

**Photoprozesse im bilingualen Chemie- und Biologieunterricht:
eine explorative Studie**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Erziehungswissenschaften (Dr. paed.)
in der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Rainer Brunnert
geb. in Ahlen (Westf.)

Wuppertal 2022

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von Februar 2017 bis Januar 2022 im Arbeitskreis Didaktik der Chemie an der Bergischen Universität Wuppertal unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Michael W. Tausch.

Erstgutachter: Herr Professor Dr. Michael W. Tausch
Zweitgutachterin: Frau Professorin Dr. Claudia Bohrmann-Linde

Prüfungskommission: Herr Professor Dr. Michael W. Tausch
Frau Professorin Dr. Claudia Bohrmann-Linde
Frau Professorin Dr. Bärbel Diehr
Frau Dr. Annette Kroschewski

Tag der mündlichen Prüfung: 26. August 2022

Name, Vorname: Brunnert, Rainer
Anschrift:
E-Mail / Tel.-Nr.:

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich

1. die von mir eingereichte Dissertation

„Photoprozesse im bilingualen Chemie- und Biologieunterricht: eine explorative Studie“

selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe,

2. nur die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche unter Angabe der Quelle gekennzeichnet habe,
3. die Dissertation in der gegenwärtigen oder einer anderen Fassung noch keinem anderen Fachbereich oder noch keiner wissenschaftlichen Hochschule vorgelegt habe,
4. bislang keinen Promotionsversuch unternommen habe,
5. mit der Anwesenheit von Zuhörern, die nicht Mitglieder der Prüfungskommission sind, einverstanden bin.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Dissertation wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt werden kann.

Korrektur- oder Bewertungshinweise in meiner Arbeit dürfen nicht zitiert werden.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift

Das Leben kann man nicht verlängern, aber wir können es verdichten.
(Roger Willemsen)

Danksagung

Meinem Doktorvater **Herrn Professor Dr. Michael W. Tausch** möchte ich an erster Stelle und ganz besonders herzlich danken. In den Erstgesprächen vom Herbst 2016 hat er mich überzeugt, den Schritt in Richtung Universität und Promotionsvorhaben zu gehen. An der BUW wurde ich freundlich in seinen sympathischen Arbeitskreis aufgenommen und kontinuierlich in meinem Projekt zu einem spannenden Thema unterstützt. Ich danke dafür und für die hervorragende Betreuung und Arbeitsatmosphäre.

Frau Professorin Dr. Claudia Bohrmann-Linde möchte ich ebenfalls ganz besonders herzlich danken. In Nachfolge von Michael Tausch hat sie weiterhin für hervorragende Arbeitsbedingungen in einem sympathischen Arbeitskreis gesorgt. Ich konnte sehr vom kontinuierlichen Austausch zu bilingualen und chemiedidaktischen Inhalten profitieren. Weiterhin danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Dem **Prüfungsgremium**, also **Herrn Professor Dr. Michael W. Tausch**, **Frau Professorin Dr. Bohrmann-Linde**, **Frau Professorin Dr. Bärbel Diehr** und **Frau Dr. Annette Kroschewski** danke ich herzlich für die hervorragende Prüfungsatmosphäre.

Allen **Mitgliedern in der Wuppertaler Chemiedidaktik** danke ich herzlich für die schöne, lehrreiche und von Kooperation geprägte Zeit, die ich in bester Erinnerung behalten werde. Besonders hervorheben möchte ich die nachhaltige Zusammenarbeit im SOE-Team mit Dr. Jane Hübner, Dr. Yasemin Gökkuş, Dr. Diana Zeller und Elisabeth Kiesling. Insbesondere Jane und Yasemin danke ich für die vertrauensvollen, lustigen und erhellenden Gespräche und Reflexionen. Ebenfalls Dank gebührt meinen Büropartnern Richard Kremer und Nuno Pereira Vaz: Danke für die gute Zeit, den Humor und den fachwissenschaftlichen wie persönlichen Austausch. Yvonne Grauer danke ich dafür, dass sie mein Geburtstagskompagnon ist. Dr. Nico Meuter danke ich für die Unterstützung in Sachen Technik.

Meinen **Büronachbar*innen** auf dem Gemeinschaftsflur der Chemiedidaktik und Lebensmittelchemie danke ich für die angenehme Atmosphäre. Danke besonders an Frau Professorin Dr. Julia Bornhorst sowie die „ghost busters“ Dr. Katharina Rund, Dr. Nadja Kampschulte und Elisabeth Koch.

Der **Bili-Gemeinschaft in der Chemiedidaktik**, Frau Professorin Dr. Claudia Bohrmann-Linde und Elisabeth Kiesling, danke ich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und die vielen arbeitssamen Stunden, die wir gemeinsam in Sachen BU Chemie verbringen durften.

Den **Mitgliedern der AG Bilinguales Lernen und Lehren** möchte ich einen herzlichen Dank für die vielen Gelegenheiten des Austausches über bilinguale Inhalte und die unterschiedlichen Perspektiven auf das Themenfeld aussprechen. Besonders bedanken möchte ich mich bei **Frau Professorin Dr. Bärbel Diehr** für die Möglichkeit, mein Vorhaben im Zuge ihres Seminars „Be prepared!“ vorzustellen und kritisch zu diskutieren. Davon habe ich nachhaltig profitiert.

Allen **Studierenden**, die ich in der Zeit an der BUW kennlernen durfte, danke ich für den sehr freundlichen Austausch auf dem Campus und innerhalb der diversen Veranstaltungen (Schulorientiertes Experimentieren I und II sowie Vor- und Begleitseminar zum Praxissemester Chemie). Meine eigenen Professor*innen in Münster, York und Wuppertal haben stets hervorgehoben, wieviel sie von ihren Studierenden lernen. Jetzt war ich selbst in dieser privilegierten Position.

Meinen **Schulleitern** am Anne-Frank-Gymnasium Werne, **Herrn Heinz-Joachim Auferoth** bzw. **Herrn Marcel Damberg**, danke ich herzlich dafür, dass sie meiner Teilabordnung an die Bergische Universität Wuppertal zugestimmt und mich in meinem Promotionsprojekt unterstützt haben.

Herrn Professor Patrick J. Krug, Ph.D. (California State University, Los Angeles) danke ich für die Erlaubnis, seine herrlichen Fotos der Meeresschnecke Elysia Chlorotica zu verwenden.

Dem **Fonds der chemischen Industrie (FCI)** und **Frau Dr. Verena Weidmann** danke ich für die Bereitstellung von Fördergeldern, mithilfe derer das notwendige Equipment besorgt werden konnte.

Meinem Heinzelmännchen **Vanessa Griebing** danke ich für die Transkriptionsarbeiten, die sie für mich erledigt hat. So war es überhaupt erst im Rahmen der gegebenen Zeit möglich, die umfangreichen Datenmengen aus den unterschiedlichen Erhebungen zu bewältigen.

Allen **Schüler*innen** und **Lehrer*innen**, die in direkter oder indirekter Weise an meiner Studie beteiligt waren, danke ich herzlich für die aktive Mitarbeit. Ohne eure, ohne Ihre Kooperation wäre diese Arbeit nie entstanden.

Nicht zuletzt danke ich meiner lieben **Familie** und meinem lieben **Freundeskreis** für alles.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Forschungsfragen	2
1.3 Gliederung	4
Teil I - Theoretischer Rahmen	5
2 Modelle des bilingualen mentalen Lexikons	5
2.1 Das Revised Hierarchical Model	6
2.2 Das Modified Hierarchical Model	9
2.3 Das Integrated Dynamic Model	13
2.4 Ertrag aus den Modell-Darstellungen für die Weiterarbeit	15
2.4.1 Kode-Wechsel & funktionale Sprachwechsel	15
2.4.2 Kulturspezifische Einblicke & Sprachanalyse	16
2.4.3 Konzeptäquivalenz bei fachspezifischen Termini & Konzeptanalysen	16
2.4.4 Sprachliche Fehlgriffe & Fehleranalysen	17
2.4.5 Zusammenfassung	17
3 Code-Switching und <i>translanguaging</i>	18
3.1 Begriffsklärung	18
3.2 Zwecke in Alltagssituationen und in bilingualem Sachfachunterricht	19
3.3 Funktionale Sprachwechsel in der Unterrichtspraxis	20
4 Fachtermini als ein Element von Sachfachliteralität	20
4.1 „Fachliche Diskurskompetenz in zwei Sprachen“ und „doppelte Sachfachliteralität“	20
4.2 Sachfachliteralität im Chemieunterricht	23
5 Sachanalyse: Die natürlichen Vorbilder des PBB-Experiments	24
5.1 Photosynthese	24
5.1.1 Ausgewähltes zur Pflanzenmorphologie	25
5.1.2 Ein bedeutsamer Teilprozess: Die Wasseroxidation	26
5.1.3 Die grundlegenden lichtgetriebenen Reaktionen der Photosynthese	27
5.1.4 Die Lichtreaktion: Der Photo-Teil der Photosynthese	27
5.1.5 Der Calvin-Benson-Zyklus: Der Synthese-Teil der Photosynthese	28
5.1.6 Fokus auf lichtinduzierte Prozesse: Vorgänge im Photosyntheseapparat	29
5.1.7 Lichtabsorption	32
5.2 Zellatmung	34
5.3 Kohlenstoffkreislauf	34
5.4 Energiespeicherung	35
6 Sachanalyse: Das PBB-Experiment und seine verwendeten Varianten	36
6.1 Redox-Reaktionen generieren farbige Ethylviologen-Monokation-Radikale	36
6.2 Bedeutung der Lichtabsorption für die Redox-Prozesse	37
6.3 Redox-Reaktionen zur Regeneration von Proflavin-Dikationen	41
6.4 Erkundung der Oxidation von EDTA	41
6.5 Proflavin: Photokatalysator vs. Photosensibilisator	45

6.6	Ethylviologen: Blauer Farbeindruck durch Chromophorerweiterung	47
6.6.1	Farbe durch Lichtabsorption	47
6.6.2	Absorptionsspektren unbestrahlter und bestrahlter PBB-Lösungen	48
6.6.3	Strukturelle Besonderheiten Viologen: Dikationen und Monokation-Radikale	50
6.6.4	Darstellung des Chromophors im Ethylviologen-Monokation-Radikal	52
6.6.5	Betrachtungen zum radikalischen Charakter	54
6.6.6	Umwandlung und Speicherung von Energie	56
7	Fachdidaktischer Hintergrund	57
7.1	Zum Begriff ‚Modell‘	57
7.2	Zum Begriff ‚Modellexperiment‘	61
7.3	Modellexperimente und Analogien	61
7.4	Modelle und Modellexperimente: Schwierigkeiten auf Lernendenseite	62
7.5	Analysekriterien für Modellexperimente	62
7.6	Vorstellung der unterschiedlichen PBB-Varianten	63
7.7	PBB-Experimente als Modellexperimente	66
7.7.1	PBB-Basisexperiment: Analogien und Unterschiede zum Original	67
7.7.2	PBB-Basisexperiment (Lichtreaktion) und Photosynthese	69
7.7.3	PBB-Basisexperiment (Schütteln) und Zellatmung	70
7.7.4	PBB-Basisexperiment und Kohlenstoffkreislauf in der Biosphäre	72
7.7.5	Variante photogalvanische Konzentrationszelle und Energiespeicherung	72
7.7.6	Zwischenfazit	74
7.8	PBB-Experiment: Bezug zu Pflichtinhalten im Chemieunterricht	76
7.9	Planung von bilingualem Unterricht	77
	Teil II – Vorarbeiten	78
8	Empirische Voruntersuchungen und weitere Vorbereitungsschritte	78
8.1	Bedarfsanalyse unter bilingual Unterrichtenden in Deutschland	78
8.2	Literaturrecherche	79
8.3	Materialentwicklung	81
8.4	Zusammenfassung	81
	Teil III – Empirische Untersuchung	81
9	Methodik der empirischen Untersuchung	81
9.1	Untersuchungsfragen	81
9.2	Untersuchungsdesign	82
9.3	Forschungskontext: Curriculare Innovationsforschung	83
9.4	Forschungsmethode: Aktionsforschung	87
9.4.1	Allgemeines	87
9.4.2	Aktionsforschung im Kontext Chemieunterricht	87
9.4.3	Aktionsforschung im Kontext Fremdsprachenunterricht	89
9.5	Gütekriterien	90
9.5.1	Intersubjektive Nachvollziehbarkeit	90
9.5.2	Indikation des Forschungsprozesses	91
9.5.3	Empirische Verankerung	91
9.5.4	Limitation	91
9.5.5	Kohärenz	92
9.5.6	Relevanz	92
9.5.7	Reflektierte Subjektivität	92
9.6	Zusammenfassung	94

10	Hauptuntersuchung: Zyklus 1, Sommer 2018	94
10.1	Rahmenbedingungen: Materialvorstellung und Planungsentscheidungen	94
10.2	Stichprobe	97
10.3	Datenerhebung: Sachfachliches Inhaltslernen	98
10.4	Datenerhebung: Perspektiven der Versuchspersonen	99
10.5	Datenaufbereitung und -analyse	99
10.6	Inhaltslernen: Modalnetze Gruppe UNT (VT und NT)	101
10.7	Inhaltslernen: Modalnetze Gruppe EUR (VT und NT)	102
10.7.1	Ergebnisse Inhaltslernen Gruppen UNT und EUR	103
10.7.2	Diskussion und Reflexion	104
10.8	Zusammenfassung Inhaltslernen	105
10.9	Lernenden-Perspektive: Leitfadeninterviews (Datenaufbereitung und -analyse)	105
10.10	Forschungsbericht zur Lernenden-Perspektive (Basis: Leitfaden-Interviews)	106
10.10.1	Fokus: Lehr-Lern-Material	106
10.10.2	Fokus: Chemiemodul in englischer Sprache	114
10.10.3	Fokus: Wertvolle Aspekte und Lernertrag	114
10.10.4	Fokus: Schwierigkeiten und Verbesserungsvorschläge	115
10.10.5	Fokus: Aussagen in Bezug auf das Modellexperiment	116
10.10.6	Zusammenfassung	117
10.10.7	Diskussion und Reflexion	117
10.10.8	Fokus: Sprachliche Auffälligkeiten (Code-Switching Deutsch → Englisch)	118
10.10.9	Diskussion und Reflexion	119
10.11	Zwischenfazit	119
11	Hauptuntersuchung: Zyklus 2, Sommer 2019	121
11.1	Rahmenbedingungen: Weiterentwicklung des Materials	121
11.2	Entscheidungen zu den Untersuchungsinstrumenten	123
11.3	Stichprobe	124
11.4	Datenerhebung: Sachfachliches Inhaltslernen und sprachlicher Zugewinn	124
11.5	Datenerhebung: Perspektiven der Versuchspersonen	124
11.6	Datenerhebung: Perspektive der Lehrkraft aus RLP (Gruppe Coc)	124
11.7	Reflexion	125
11.8	Überarbeitungen	125
11.9	Weitere Erprobung im Winter 2019/2020: Kurs Bio bilingual Jahrgangsstufe 8	126
12	Hauptuntersuchung: Zyklus 3, Sommer 2020	127
12.1	Rahmenbedingungen: Weiterentwicklung des Materials	127
12.2	Stichprobe	130
12.3	Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung	130
Teil IV – Datenaufarbeitung, Ergebnisdarstellung, Auswertung, Diskussion		130
13	Einstellungen zum Modul	130
13.1	Allgemeine Einschätzung des Moduls	130
13.1.1	Methodik der Datenaufbereitung	131
13.1.2	Ergebnisse	131
13.2	Gründe für Moduleinschätzungen	132
13.2.1	Methodik der Datenaufbereitung	132
13.2.2	Ergebnisse: Positive Moduleinschätzungen	134
13.2.3	Ergebnisse: Negative Moduleinschätzungen	134

13.3	Einschätzungen zu Chemieunterricht in englischer Sprache _____	135
13.3.1	Methodik der Datenerhebung _____	135
13.3.2	Ergebnisse _____	136
13.4	Gründe für Haltungen zu Chemie auf Englisch _____	137
13.4.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	137
13.4.2	Ergebnisse: Gründe für positive Haltung _____	138
13.4.3	Ergebnisse: Gründe für negative Haltung _____	139
13.5	Einschätzungen zum eigenen Inhaltsverständnis _____	140
13.5.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	140
13.5.2	Ergebnisse _____	141
13.5.3	Gründe für das Gut- und Schlechtverstehen _____	141
13.6	Schwerer oder leichter als üblicher Chemieunterricht? _____	142
13.6.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	142
13.6.2	Ergebnisse _____	142
13.6.3	Gründe für die Einschätzung als „schwerer“ oder „leichter“ _____	143
13.7	Einschätzungen zu Aspekten, die Freude gemacht haben _____	144
13.7.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	144
13.7.2	Ergebnisse _____	144
13.8	Änderungswünsche _____	147
13.8.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	147
13.8.2	Ergebnisse _____	147
13.9	Sprachwechsel _____	147
13.9.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	148
13.9.2	Ergebnisse _____	148
13.10	Ergänzende Auswertungen zu Gruppe Ona _____	151
13.10.1	Ergebnisdarstellung und -diskussion _____	151
13.10.2	Allgemeine Grundhaltung _____	153
13.10.3	Experimente _____	153
13.10.4	Lernzuwachs _____	154
13.10.5	Video-Clip-Einsatz _____	154
13.10.6	Weiteres Lehr-Lernmaterial _____	155
13.10.7	Fazit _____	156
13.11	Zusammenfassung Einstellungen zum Modul _____	157
13.12	Diskussion _____	158
14	Sprachlicher Lernzuwachs _____	160
14.1	Wie ändern sich die englischen Definitionen bzgl. Textlänge und Wortschatzqualität? _____	160
14.1.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	160
14.1.2	Ergebnisse _____	161
14.2	Wie setzt sich der neu verwendete englische Wortschatz zusammen? _____	164
14.2.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	164
14.2.2	Ergebnisse _____	165
14.3	Welche englische Lexik aus Fach- und Bildungssprache wird neu verwendet? _____	166
14.3.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	166
14.3.2	Ergebnisse _____	166
14.4	Welche englischen Vokabeln werden am häufigsten neu verwendet? _____	168
14.4.1	Methodik der Datenaufarbeitung _____	168
14.4.2	Ergebnis _____	168

14.5	Doppelte Sachfachlitalität: Inwiefern sind die deutschen Definitionen von fachsprachlichen Äquivalenten geprägt? _____	169
14.5.1	Methodik der Datenaufbereitung: _____	169
14.5.2	Ergebnisse _____	170
14.6	Doppelte Sachfachlitalität: Welche Ausweichphänomene auf der Wortebene charakterisieren die deutschen Definitionen? _____	175
14.6.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	175
14.6.2	Ergebnisse _____	176
14.7	Entspricht der verwendete englische Wortschatz einem anvisierten Zielvokabular? _	176
14.7.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	177
14.7.2	Ergebnisse _____	177
14.8	Welches englische Vokabular aus dem Glossar gelangt in das mentale Lexikon? ____	179
14.8.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	179
14.8.2	Ergebnisse _____	182
14.9	Doppelte Sachfachlitalität: Wie oft werden die englischen Glossareinträge im Deutschen korrekt versprachlicht? _____	182
14.9.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	182
14.9.2	Ergebnisse _____	183
14.10	Doppelte Sachfachlitalität: Welche häufig angebotenen Vokabeln finden in den englischen und deutschen Definitionen Anwendung? _____	185
14.10.1	Methodik der Datenaufbereitung _____	185
14.10.2	Ergebnisse _____	185
14.11	Zusammenfassung: _____	189
14.12	Diskussion _____	190
15	Inhaltlicher Lernzuwachs _____	194
15.1	Instrument _____	194
15.2	Durchführung _____	194
15.3	Methodik der Datenaufbereitung _____	195
15.4	Ergebnisse _____	196
15.4.1	Visualisierungen _____	196
15.4.2	Beschreibungen _____	202
15.5	Diskussion _____	204
Teil V – Ausblick _____		210
16 Zusammenfassung und Perspektiven _____		210
16.1	Zusammenfassung der Forschungsfragen _____	210
16.2	Reflexionen zum PBB-Modellexperiment und dem unterrichtlichen Einsatz _____	214
16.3	Relevanz der Studie _____	217
16.4	Limitationen _____	220
17 Literatur _____		221
18 Anhang _____		244
18.1	Elektronischer Anhang _____	244
18.2	Verwendete Software _____	244
18.3	Anhang A8: Artikel Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde (2020) _____	244
18.4	Anhang A9.1: Englisches Photo-LIKE-Material _____	245
18.5	Anhang A10.1: Modulentwurf aus der ersten Erprobung 2018 _____	252

18.6	Anhang A10.4: Leitfaden Gruppeninterviews 2018 _____	269
18.7	Anhang A10.5: Modalnetze und Concept Maps _____	310
18.8	Anhang A10.9: Start-Stop-Continue _____	310
18.9	Anhang A11.1: Modulentwurf aus der Erprobung im Sommer 2019 _____	311
18.10	Anhang A11.2: Anschreiben, Erhebungsinstrument „Definieren“, etc. _____	325
18.11	Anhang A12.1: Modulentwurf aus der Erprobung 2020 _____	332
18.12	Anhang A13.2: Fragebogen _____	352
18.13	Anhang A13.8.2: Anregungen SuS (Konkretisierungen) _____	352
18.14	Anhang A13.8.2_A1: Übersicht Anregungen SuS _____	353
18.15	Anhang A13.8.2_A2: Geclusterte Änderungsvorschläge; Totale Zahlen je Lerngruppe _____	354
18.16	Anhang A14.2.1: Lemmatisierungsarbeiten mit Excel 2013 _____	354
18.17	Anhang A14.2.1_A1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	356
18.18	Anhang A14.4.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	356
18.19	Anhang A14.5.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	356
18.20	Anhang A14.6.1: Code Switching, Neologismen, Transfer _____	356
18.21	Anhang A14.7.1/14.10.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	359
18.22	Anhang A14.8.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	359
18.23	Anhang A14.10.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	359
18.24	Anhang A15.3: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang) _____	360
18.25	Anhang A15.4: Weitere Netzdiagramme und Beschreibungen _____	361
18.26	Anhang AX: Übersichtstabellen zu Untersuchungsgruppen und Erhebungen _____	365
18.27	Curriculum Vitae _____	368
18.28	Publikationen _____	368

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Das Revised Hierarchical Model nach Kroll/Stewart (1994) (vgl. Wartenburger 2012:180)	7
Abb. 2: Das Modified Hierarchical Model nach Pavlenko (2009:147).....	10
Abb. 3: Das Integrated Dynamic Model nach Diehr (2016:71)	13
Abb. 4: Adaptiertes IDM nach Frisch (2021:35)	14
Abb. 5: Moospflanzen-Blättchen: makroskopisch, mikroskopisch und modellhaft submikroskopisch; Quelle: Schmitz (2020)	25
Abb. 6: Modellhafte Darstellung der Thylakoidmembran mit PS II und PS I nach Schmitz (2020)	26
Abb. 7: Linearer Elektronenfluss auf Basis lichtinduzierter Prozesse (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:263)	30
Abb. 8: Z-Schema nach Dau/Kurz/Weitze (2019:49).....	32
Abb. 9: Absorptionsspektrum von Chlorophyllen und beta-Carotin nach Tausch (2019:228)	33
Abb. 10: Strukturformeln von Chlorophyll- und beta-Carotin-Molekülen (vgl. Tausch/Schmitz/Meuter 2013:17)	33
Abb. 11: Gekoppelte Reaktionszyklen im PBB-Basisexperiment (vgl. Kremer/Tausch 2019:17).....	37
Abb. 12: Die Chemikalien in der PBB-Lösung: Strukturformeln und Bezeichnungen (vgl. Tausch 2019:222)	38
Abb. 13: Standardpotentiale der PBB-Substanzen (vgl. Gökkuş née Yurdanur 2020:80, adaptiert nach Korn/Tausch 2001)	38
Abb. 14: Verbotene (b) und erlaubte (c) Elektronenübertragungsreaktion zwischen Photokatalysator-Molekül und Substrat-Molekül (Quelle: Tausch 2019:224, leicht modifiziert).....	40
Abb. 15: Zusammenhang zwischen absorbiertem Licht und vom Menschen wahrgenommener Farbe (vgl. Meuter 2018:26)	41
Abb. 16: Strukturformeln von Glycolsäure-, Kohlenstoffdioxid- und Iminodiessigsäure-Molekülen (jeweils mit ausgewählten Oxidationszahlen); eigene Anfertigung	43
Abb. 17: Strukturformel eines EDTA-Moleküls (farbige Markierungen siehe Text); eigene Anfertigung	44
Abb. 18: Per Lichtanregung werden Photokatalysatoren zu Reduktions- und Oxidationsmitteln (vgl. König/Hilgers 2016:26).....	47
Abb. 19: Lichtabsorption und strahlungslose Desaktivierung im Energiestufenmodell (vgl. Tausch 2019:120)	48
Abb. 20: Absorptionsspektrum von unbestrahlter PBB-Lösung (Heffen 2017:44)	49
Abb. 21: Absorptionsspektrum von lichtbestrahlter PBB-Lösung (vgl. Heffen 2017:45)	49
Abb. 22: Strukturformeln einer allgemeinen Viologen-Spezies in ihren geläufigen Redoxzuständen; von oben nach unten: Dikation, Monokation-Radikal, neutrales Molekül; eigene Anfertigung nach Porter/Vaid (2005:5028)	52
Abb. 23: Darstellung von Benzylviologen-Strukturen im Stäbchenmodell; von links nach rechts: neutrales Molekül, Monokation-Radikal, Dikation (vgl. Pham/Gentz/Zörlein et al. 2006:1442)	52
Abb. 24: Mögliche Chromophorausbreitung im Ethylviologen-Monokation-Radikal; b', b'' sowie c' und c'' zeigen mesomere Grenzstrukturen ausgehend von a; die Strukturen Chr1 bis Chr4 spiegeln die Ausbreitung des Chromophors in Bezug auf die Ausgangsstruktur a wider; eigene Anfertigung	53
Abb. 25: Strukturformeln von Cyanin-Molekülen (I und II) und EV** (III); eigene Anfertigung (für I und II nach Bohrmann-Linde/Kröger/Tausch et al. 2014:173)	54
Abb. 26: Mesomere Grenzstrukturen des EV**; eigene Anfertigung	55
Abb. 27: Photoelektrochem. Konzentrationszelle (Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019:34, Zeichnung: N. Meuter).....	57
Abb. 28: Original-Modell-Abbildung nach Stachowiak (1973:157) in der Umsetzung nach Tausch (1982:226, 1983:44, 2019:92).....	58

Abb. 29: Erkenntnisprozess durch Modelle (Schema nach Kircher aus Barke/Harsch/Kröger et al. 2018: 244)	60
Abb. 30: Entwicklungsstufen des PBB-Experiments und seiner Varianten (vgl. Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019:126)	64
Abb. 31: Die Basisversion des PBB-Experiments als aktuelle Mikro-Version: Beleuchtung je eines 4 mL-Schraubdeckelgläschens mit weißem, rotem, blauem und grünem Licht (im Uhrzeigersinn, beginnend mit links oben, Standbild aus Tausch/Kremer/Gökkuş 2021d) ...	65
Abb. 32: Die Basisversion des PBB-Experiments als aktuelle Makro-Version: Beleuchtung je eines 500 mL-Schraubdeckelgebindes mit (a) Sonnenlicht, (b) drei blauen LED von unten und (c) weißem Licht aus Taschenlampen von der Seite (c) (vgl. Tausch 2021:3).....	65
Abb. 33: Versuchsaufbau der Zweitopfzelle nach Kremer (vgl. Tausch 2021:7).....	75
Abb. 34: Bildung ‚grünen‘ Wasserstoffs in der Zweitopfzelle (vgl. Kremer/Tausch/Meuter 2019).....	75
Abb. 35: Forschungsfragen FF1 bis FF5 (farblich codiert); vgl. auch Abb. 36.....	82
Abb. 36: Überblick über Untersuchungsdesign und –instrumente (Voruntersuchung 2017; Hauptuntersuchung 2018-2020); Forschungsfragen und zugehörige Erhebungsinstrumente sind farblich codiert (vgl. auch Abb. 35)	83
Abb. 37: Modell für die curriculare Innovationsforschung (Tausch 2019:43)	86
Abb. 38: Das Forschungsmodell der PAR (aus Ralle/Di Fuccia 2014:47, nach Eilks/Ralle 2002:15)	88
Abb. 39: Konstruktivistische Lernschleife des im Sommer 2018 erprobten Moduls (Erprobungszyklus 1, Skizze); von unten nach oben bauen sich die Phasen der Erkundung, des Erforschens, der Anpassung und der Anwendung systematisch auf (<i>Hinweis: für das Photo „Vertical Pinkhouse“ unter der E. Chlorotica liegen keine Abdruckrechte vor, deshalb unkenntlich gemacht, vgl. dazu auch S. 266</i>).....	94
Abb. 40: Datenmatrizen für die Concept Maps der Probandin unt05. Basis: Vor- und Nachtests (eigene Anfertigung; Screenshots aus der mit Excel verarbeiteten Datengrundlage)	100
Abb. 41: Vortest-Modalnetz für Gruppe „2018 unt (N = 16)“ mit Cut Point 5 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04). Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.	101
Abb. 42: Nachtest-Modalnetz für Gruppe „2018 unt (N = 16)“ mit Cut Point 5 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04); neu hinzugekommene Begriffe und Propositionen sind dunkelblau hervorgehoben, weggefallene nicht mehr aufgeführt. Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.	102
Abb. 43: Vortest-Modalnetz für Gruppe „2018 eur (N = 8)“ mit Cut Point 3 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04). Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.	103
Abb. 44: Nachtest-Modalnetz für Gruppe „2018 eur (N = 8)“ mit Cut Point 3 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04); neu hinzugekommene Begriffe und Propositionen sind dunkelblau hervorgehoben, weggefallene nicht mehr aufgeführt. Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.	103
Abb. 45: Codebaum für die inhaltsanalytische Aufarbeitung der Leitfadeninterviews (Hauptkategorien; Screenshot aus MAXQDA 2020)	105
Abb. 46: Codebäume; links: Hauptkategorie „Material“ mit Subkategorien; rechts: Subkategorie „Erarbeitung: PBB -Experiment“ mit weiteren Ausdifferenzierungen (Screenshots)	106
Abb. 47: Codebaum zur Hauptkategorie „Chemie auf Englisch“ mit weiteren Ausdifferenzierungen (Screenshot)	114
Abb. 48: Lernschleife der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Coc) (Vorskizze)	121
Abb. 49: Lernschleifen der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Hie bzw. F-A in NRW)	123
Abb. 50: Moduleinschätzungen aus SuS-Sicht auf Basis des offenen Fragebogens; jeder Balken steht für eine der sechs Lerngruppen, alle aus der Einführungsphase in die Oberstufe. ...	131
Abb. 51: Screenshot aus dem Dokument-Browser für Nr. 3 und 4.....	133
Abb. 52: Screenshot aus dem Dokument-Browser für Nr. 5.....	133
Abb. 53: SuS-Begründungen für die positive Moduleinschätzung.....	134
Abb. 54: SuS-Begründungen für die negative Moduleinschätzung.....	135

Abb. 55: Chemieunterricht in englischer Sprache aus SuS-Sicht; Basis ist der offenen Fragebogen; jeder Balken steht für eine der vier Lerngruppen, alle aus der Einführungsphase in die Oberstufe.	136
Abb. 56: Clustern der sprachlichen Gründe für die negative Haltung in drei übergreifende Kategorien (links) sowie Zusammenhang mit Sprachrezeption und –produktion (rechts) .	140
Abb. 57: SuS-Einschätzung des Verstehens der dargebotenen Inhalte; Basis ist der offenen Fragebogen; jeder Balken steht für eine der vier Lerngruppen, alle aus der Einführungsphase in die Oberstufe.	141
Abb. 58: Codierte SuS-Antworten zur Einschätzung, wie schwer sie das Modul einordnen	142
Abb. 59: Darstellung der Aspekte, die den beteiligten SuS innerhalb des Moduls zum bilingualen Chemieunterricht Freude gemacht hat.	144
Abb. 60: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – coc, N = 18	145
Abb. 61: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – hie, N = 23.....	145
Abb. 62: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – f-a, N = 7	145
Abb. 63: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2020 – ona, N = 9	146
Abb. 64: Darstellung der vier Hauptdimensionen (prozentuale Anteile); Untersuchungsgruppen: Hie, F-A, Ona, Coc (N = 57).....	147
Abb. 65: Sprachwechsel in allen vier Lerngruppen; totale Zahlen hinter der Kreissegmentbezeichnung	148
Abb. 66: Übersicht über Sprachwechsel-Phasen; totale Zahlen hinter den Balken; Basis: SuS-Fragebogen (2019-Coc, 2019-Hie, 2019-F-A, 2020-Ona).....	149
Abb. 67: Nach Frisch (2016:93) kategorisierte Gründe für den Sprachwechsel; totale Zahlen hinter den Balken; Basis: SuS-Fragebogen (2019-Coc, 2019-Hie, 2019-F-A, 2020-Ona)	150
Abb. 68: Auffächerung der Erscheinungsform „Kommunikative Funktion“; hinter den eingefärbten Diagrammsegmenten finden sich totale Zahlen, gefolgt von prozentualen Angaben (Untersuchungsgruppen Hie, F-A, Ona, Coc; N = 57)	150
Abb. 69: Auswertung des ergänzenden, geschlossenen Fragebogenteils bei Gruppe Ona: Allgemeine Grundhaltung, Experimente, Lernzuwachs, Einsatz Lehrfilm, weiteres Lehr-Lern-Material (N = 9; ein Fragebogen nicht ausgefüllt).....	152
Abb. 70: Analyse der englischen Lexik vor und nach Intervention (Mediane; keine Tilgung von Duplikaten); Nebeneinanderstellung der drei Gruppen Hie, F-A und Ona.....	161
Abb. 71: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe Hie.....	162
Abb. 72: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe F-A.....	163
Abb. 73: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe Ona	163
Abb. 74: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, gruppiert nach Instruktionstyp (Typ C vs. Typ A).....	164
Abb. 75: Analyse der neu hinzugekommen englischen Wörter im NT, Nebeneinanderstellung der drei Gruppen Hie, F-A und Ona (die Aufarbeitungen enthalten keine Wort-Duplikate).....	165
Abb. 76: Wortwolken der neuen englischen Lexik in den Gruppen Hie (links oben), F-A (rechts oben) und Ona (unten)	168
Abb. 77: Versprachlichung der Wörter „compound“, „excited“, „pigment“, „low-energy“ und „high-energy“ in den dt. NT-Definitionen: korrekte, fehlende und falsche Verwendungen; Fokus Fundstellen, d.h. compound: 3 Fundstellen bei 2 Proband*innen; excited: 1 Fundstelle; pigment: 5 Fundstellen bei 5 Proband*innen; low-energy: 14 Fundstellen bei 12 Proband*innen; high-energy: 21 Fundstellen bei 19 Proband*innen; die Abkürzung „FB“ steht für „Fachbegriff“	171
Abb. 78: Deutsche Versprachlichung in den drei Untersuchungsgruppen; blau: Fachbegriff korrekt, orange: Fachbegriff fehlt; grau: Fachbegriff falsch; die Werte beziehen sich auf die Anzahl der Fundstellen; compound: 3 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; pigment: 2 Fundstellen Hie/2 Proband*innen, 3 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; low-energy: 7 Fundstellen Hie/6 Proband*innen, 5 Fundstellen F-A/4 Proband*innen, 2 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; high-energy: 11 Fundstellen Hie/10 Proband*innen, 6 Fundstellen F-A/6 Proband*innen, 4 Fundstellen Ona/4 Proband*innen.	174

Abb. 79: Deutsche Versprachlichung nach Instruktionstyp; blau: Fachbegriff korrekt, orange: Fachbegriff fehlt; grau: Fachbegriff falsch; compound: 3 Fundstellen Typ C/2 Proband*innen; pigment: 5 Fundstellen/5 Proband*innen; low-energy: Typ A 6 Fundstellen/5 Proband*innen, Typ C 8 Fundstellen/6 Proband*innen; high-energy: 7 Fundstellen Typ A/7 Proband*innen, 15 Fundstellen Typ C/13 Proband*innen.	174
Abb. 80: Vorkommen der L2-Einfluss-Phänomene in Proban*innen-Definitionen (NT Deutsch); Gruppen: Hie, F-A, Ona (N = 38); totale Angaben an NT Deutsch mit L2-Einfluss.....	176
Abb. 81: Vorkommen der L2-Einfluss-Phänomene in Proband*innen-Definitionen (NT Deutsch); Aufteilung nach Gruppe und Typ (N = 38; Typ A: 27 – 22 aus Hie, 5 aus Ona; Typ C: 11; 7 aus F-A, 4 aus Ona); prozentuale Angaben.....	176
Abb. 82: Fundstellen der Glossar-Einträge im Lehr-Lern-Material und in Proband*innen-Texten Gruppe Ona (zusammengefügte und teils eingefärbte Screenshots aus MAXQDA 2020-Kategorien-Matrix-Browserfenster)	181
Abb. 83: Deutsche Fundstellen der Glossar-Einträge in Proband*innen-Texten Gruppe Ona (rote Kreise; zusammengefügte und teils eingefärbte Screenshots aus MAXQDA 2020-Kategorien-Matrix-Browserfenster)	184
Abb. 84: Verwendungshäufigkeit von Verbalisierungs-strategien zu ausgewählten Wörtern in Nachtests der Gruppe Ona. Innen: engl. Terminus; außen: dt. Terminus.....	186
Abb. 85: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Chlorophyll (Vortest blau – Nachtest rot)	197
Abb. 86: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Kohlenstoffkreislauf (Vortest blau – Nachtest rot)	198
Abb. 87: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc und Hie; Fokus: Licht (Vortest blau – Nachtest rot)	199
Abb. 88: Inhaltliche Auswertung der Gruppen F-A und Ona; Fokus: Licht (Vortest blau – Nachtest rot)	200
Abb. 89: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Photosynthese (Vortest blau – Nachtest rot)	201
Abb. 90: Inhaltlich aufeinander aufbauende Sequenz zur unterrichtlichen Thematisierung von Licht, Lichtfarbe und weißem Licht (vgl. Haagen-Schützenhöfer 2017:6). Diese Bausteinabfolge wurde in einem praxisorientierten DBR-Projekt entwickelt (vgl. Haagen-Schützenhöfer/Hopf 2020).....	208
Abb. 91: Das „Plopp-Gummi“ (Bommersheim/Heuper 2020:312)	217

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Sprachwechsel im bilingualen Unterricht (vgl. Frisch 2016:93)	19
Tab. 2: Analogien und Unterschiede zwischen Modellexperiment und natürlichem Original; eigene Anfertigung (inhaltliche Adaption; Darstellungsart nach Gökkuş née Yurdanur 2020:192)	68
Tab. 3: Anknüpfungspunkte Basisexperiment und „Solarakku“ an curriculare Vorgaben für den Chemieunterricht in Deutschland (adaptiert nach Tausch 2021; Online-Supplement)	76
Tab. 4: The carbon cycle in animate nature: photosynthesis/respiration through the PBB- experiment (Modulübersicht der ersten Erprobung im Sommer 2018)	95
Tab. 5: Fehlerhafter Gebrauch der deutschen Fachsprache in den fünf Leitfadeninterviews	118
Tab. 6: Modulübersicht der Moduldurchführung im Frühsommer 2019 (Gruppe Coc in RLP)	122
Tab. 7: Modulübersicht der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Hie bzw. F-A in NRW)	123
Tab. 8: Modulübersicht der Erprobung im Sommer 2020 (Gruppe Ona in NRW)	128
Tab. 9: Liste der codierten Segmente: MAXQDA-Export in Excel-Tabelle zur Codierung „positive Moduleinschätzung“, Unterkategorie „Sprachliche Gründe (+)“	133
Tab. 10: Beispiele für die Kategorisierung der Gründe anhand von Neucodierungen	137
Tab. 11: Übersicht über die Gründe für eine positive Haltung zu Chemieunterricht auf Englisch	138
Tab. 12: Übersicht über die sprachlichen Gründe für eine negative Haltung zu Chemie auf Englisch; die beiden außersprachlichen Gründe sind hier nicht aufgeführt, vgl. Fließtext.	139
Tab. 13: Übersicht über die von Hie, F-A, Ona und Coc (N = 57) genannte Gründe und Aufteilung in vier Hauptdimensionen.....	146
Tab. 14: Anzahl SuS, die Sprachwechsel einräumen sowie Nennung von Phase bzw. Grund des Sprachwechsels.....	149
Tab. 15: Neu verwendete englische Bildungs- und Fachsprache im NT gruppiert nach Hie, F-A und Ona (Angaben in %)	167
Tab. 16: Auswertung dt. Äquivalente von „compound“, „excited“, „pigment“ und „low-energy“	172
Tab. 17: Auswertung deutscher Äquivalente von „high-energy“	173
Tab. 18: Vokabular in mindestens der Hälfte der Proband*innen-Dokumente (Gruppen Hie N = 22, F-A N = 7, Ona N = 9; VT und NT jeweils nebeneinander dargestellt).....	177
Tab. 19: Vokabular in mindestens der Hälfte der Proband*innen-Dokumente; Auswertung mit VocabProfiler nach k1 (blau), k2 (grün), awl/Bildungssprache (gelb) und Fachsprache (rot)	178
Tab. 20: Auswertung deutsche Versprachlichung (Abb. 83), gruppiert nach Instruktionstyp A bzw. C.....	183
Tab. 21: Fundstellen und kategorisierte Verbalisierungsstrategien zu den Wörtern (chemically) bonded, compound und low-energy (Gruppe Ona, N = 9); fettierte und grün hervorgehobene Bereiche markieren Unterschiede zwischen englischem und deutschem Text der jeweiligen Proband*in	187
Tab. 22: Fundstellen und kategorisierte Verbalisierungsstrategien zu den Wörtern pigment und spectrum (Gruppe Ona, N = 9); fettierte und grün hervorgehobene Bereiche markieren Unterschiede zwischen englischem und deutschem Text der jeweiligen Proband* in.....	188

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

AWL	academic word list (vgl. Coxhead 2011; Cobb 2022)
Bilis	Schüler*innen, die Vorerfahrungen mit BU haben
BU	Bilingualer Unterricht
CEFR	Common European Framework of Reference for Languages; vgl. GeR/GER
CLIL	Content and Language Integrated Learning
Coc/coc	Eine von drei Untersuchungsgruppen im Sommer 2019 (Gymnasium, RLP), Zyklus 2
DE	Deutsch
EDTA	Ethylendiamino-tetraessigsäure Dinatriumsalz, Titriplex III
EF	Einführungsphase in die Oberstufe
EN	Englisch
Eur/eur	Eine von zwei Untersuchungsgruppen im Sommer 2018 (Gymnasium, NRW), Zyklus 1
EV ⁺	Ethylviologen-Monokation-Radikal
EV ²⁺	Ethylviologen-Dikation
F-A/f-a	Eine von drei Untersuchungsgruppen im Sommer 2019 (Gymnasium, NRW), Zyklus 2
GeR/GER	Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen für Sprachen; vgl. CEFR
G8	achtjähriges Gymnasium (Abitur nach der zwölften Jahrgangsstufe)
G9	neunjähriges Gymnasium (Abitur nach der dreizehnten Jahrgangsstufe)
Hie/hie	Eine von drei Untersuchungsgruppen im Sommer 2019 (Gymnasium, NRW), Zyklus 2
IDM	Integrated Dynamic Model nach Diehr (2016, 2018)
KMK	Kultusministerkonferenz (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland)
k1	die ersten 1.000 am häufigsten verwendeten Wörter der englischen Sprache (vgl. Cobb 2022)
k2	die zweiten tausend am häufigsten verwendeten Wörter der englischen Sprache (vgl. Cobb 2022)
LF	Leitfadeninterview
MSW	Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen
MHM	Modified Hierarchical Model nach Pavlenko (2009)
NRW	Nordrhein-Westfalen
NT	Nachtest
off list	Wörter, die weder in der Kategorisierung nach k1, k2 und AWL vorkommen (vgl. Cobb 2022); in der vorliegenden Arbeit wurde die off list der Frequency Profiles jeweils durchgearbeitet, so dass hier Fachwortschatz identifiziert werden konnte
Ona/ona	Untersuchungsgruppe Sommer 2020 (Gymnasium, NRW), Zyklus 3
PBB	Photo-Blue-Bottle; Modelleexperiment zur Photosynthese und zur Atmung entwickelt von Tausch und Wöhrle (vgl. Tausch 1994)
PF ⁺	Proflavin-Monokation im elektronisch angeregten Zustand
PF ²⁺	Proflavin-Dikation
RHM	Revised Hierarchical Model nach Kroll/Stewart (1994)
RLP	Rheinland-Pfalz
SuS	Schüler*innen
Typ A, B, C	Typologie der Organisationsformen von BU nach Diehr (2012)
Unt/unt	Eine von zwei Untersuchungsgruppen im Sommer 2018 (Gymnasium, NRW), Zyklus 1
VT	Vortest

Bibliographische Abkürzungen

Bd.	Band
CEPS	Center for Educational Policy Studies
CERP	Chemistry Education Research and Practice
CHEMKON	Chemie konkret - Forum für Unterricht und Didaktik
chimica didacticae etc	chimica et ceterae artes rerum naturae
ChiuZ	Chemie in unserer Zeit
CUP	Cambridge University Press
Diss.	Dissertation
EIC	Education in Chemistry
F.A.L.	Forum Angewandte Linguistik
FLuL	Fremdsprachen Lehren und Lernen
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
J.	Journal
KFU	Kolloquium Fremdsprachenunterricht
LISUM	Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg
LSP	Language for Special Purposes
MNU	Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
MSU	Mehrsprachigkeit in Schule und Unterricht
NiU	Naturwissenschaften im Unterricht Chemie
o.J.	ohne Jahr
O.V./o.V.	ohne Verfasser
OUP	Oxford University Press
PdN-ChidS	Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule
RSC	Royal Society of Chemistry
R.	Reihe
Z.	Zeitschrift
ZfDN	Z. für Didaktik der Naturwissenschaften/German J. of Science Education

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die vorliegende Arbeit ist im Kontext der Chemiedidaktik verortet. Diese Disziplin „ist die Wissenschaft vom fachspezifischen Lehren und Lernen innerhalb und außerhalb der Schule. [...] [Sie hat die] Aufgabe, Inhalte und Methoden der Chemie für Bildungs- und Erziehungsaufgaben zu erschließen und im unterrichtlichen Handeln erfolgreich werden zu lassen“ (Pfeifer 2018a:12). Ein wichtiger Schwerpunkt ist also der sachfachliche Unterricht. Dieser ist, ebenso wie die wissenschaftliche Disziplin der Chemiedidaktik selbst, von den Forderungen der didaktischen Wende der 1960er Jahre beeinflusst. Es wurde erkannt, dass die Fachwissenschaft Chemie „für alle Lebensbereiche“ (Pfeifer 2018b:657) bedeutsam ist und deshalb jede Einzelperson¹ über ein chemiespezifisches Orientierungswissen verfügen sollte. Ferner wurde u.a. die Anforderung an die handelnden Personen innerhalb dieser Disziplin gestellt, neue Sachgebiete für den Chemieunterricht zu erschließen (vgl. *ibid.*:656-659). Folglich soll sich die Fachdidaktik Chemie auch mit der Aufgabe der Konzeption und Evaluation von Lehr-Lern-Materialien befassen (vgl. z.B. Tausch 1998:173, Pfeifer 2002:9, Tausch/Goodwin 2003:210). Eine Fraktion der experimentell-konzeptionellen fachdidaktischen Forschung, die curriculare Innovationsforschung, hat erkannt, dass die „Pflichtinhalte [in Lehrplänen] [...] naturgemäß den neuen Entwicklungen hinterherhinken“ (Tausch 1991:4, vgl. dazu auch Bach 2010:10). Deshalb befasst sie sich explizit mit der „Erneuerung und Anpassung der Lehrgänge an den Entwicklungsstand wissenschaftlicher Erkenntnisse“ (Tausch 2004:18).

Vor dem Hintergrund dieser Ausführungen ist es nachvollziehbar, dass sich die Chemiedidaktik in einer „interdisziplinären Position“ (Pfeifer 2018a:13) befindet, die sich unter anderem zwischen Fachwissenschaft Chemie, Bildungswissenschaften, pädagogischer Psychologie und Lehr-Lern-Forschung verorten lässt. Auch ihr innovativer Charakter im Hinblick auf „Bildungsziele und Qualifikationsanforderungen“ (*ibid.*) tritt in den Vordergrund, wenn man betrachtet, dass die Chemiedidaktik auf Veränderungen in Gesellschaft und Technologie adaptierend eingehen soll (vgl. *ibid.*). Ihr wird somit eine Vermittlerposition zwischen gesellschaftlich-technologischer Veränderung und chemiespezifischer Unterrichtsentwicklung zuteil. Hier liegt ein bedeutsamer Ankerpunkt der curricularen Innovationsforschung.

In der Lebensrealität heranwachsender Personen „[gehört] die Beherrschung des Englischen [...] zu den Schlüsselqualifikationen“ (Wolff 2010:151). Sie wird beispielsweise als Voraussetzung für die Partizipation an kulturellen Prozessen oder den Eintritt in die Berufswelt und somit für „die soziale Integration [Heranwachsender]“ (Bach 2010:10) in die Gesellschaft angesehen (vgl. Niemeier 2010:33ff, Wolff 2010:151ff, Bach 2010:10ff). In diesem Kontext ist auch die Bedeutung bilingualen Sachfachunterrichts (BU)² zu sehen, insbesondere in der Sprachkombination Englisch/Deutsch (vgl. Niemeier 2010:32, vgl. auch Breidbach 2010:169ff, 2013:12f, Bonnet/Breidbach 2013:29). Als Wurzel

¹ Ich bemühe mich, in dieser Arbeit eine angemessene, gendergerechte Sprachwahl zu treffen. Dies geschieht in Orientierung an den Maßgaben der Bergischen Universität Wuppertal, die auf der Website „Gendergerechte Sprache“ (<https://www.gleichstellung.uni-wuppertal.de/de/beratung-service/geschlechtergerechtesprache.html>; letzter Zugriff 14.01.2022) hinterlegt sind. In manchen Fällen verwende ich aufgrund der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum.

² Zum Begriff bilingualer Sachfachunterricht vgl. Wolff/Sudhoff (2015) und Diehr (2012). Ich orientiere mich an der bei Wolff/Sudhoff (2015:15) zitierten KMK-Aussage, dass BU „Unterricht in zwei Sprachen [ist]. Über den traditionellen Fremdsprachenunterricht hinaus werden auch Teile des Fachunterrichts in der Fremdsprache erteilt (KMK 2006).“ Diehr (2012:23ff) entwirft eine Typologie der Organisationsformen von BU, wie sie in der unterrichtlichen Realität aufzufinden sind: Typ A – Fremdsprache als Medium des Lernens, d.h. die Fremdsprache, L2, dominiert und der Schulsprache, L1, „wird kein wirklicher Platz im Lerngefüge eingeräumt“ (Wolff/Sudhoff 2015:20); Typ B – Fremdsprache als Leitsprache, d.h. die L2 dominiert weiterhin, und der L1 wird „eine untergeordnete, aber stützende Funktion“ (*ibid.*) zuteil; Typ C – Fremdsprache und Schulsprache als komplementäre Bestandteile des BU, d.h. neben der L2 leistet auch die L1 „einen integralen Bestandteil zum Lernprozess“ (*ibid.*) (vgl. auch die übernächste Fußnote zum Begriff CLIL).

bilingualer Bestrebungen in Europa wird der deutsch-französische Vertrag von 1963 angesehen, in dessen Nachklang erste Initiativen zum BU pilotiert wurden. War in den späten 1960ern zunächst französisch-deutscher BU dominant, so wies die deutsche Bildungslandschaft bald deutlich mehr englische als französische bilinguale Angebote aus, die sich zudem weiterhin mehrheitlich aus gesellschaftswissenschaftlichen Angeboten zusammensetzten (vgl. Königs 2013:46f, Bonnet 2015:170ff, Schmelter 2013:41). Das Fach Chemie wird Bohrmann-Linde (2012:183) zufolge seit den 1990ern als bilinguales Sachfach geführt und hat sich trotz seiner vergleichsweise geringen Verbreitung im Kanon der bilingualen Sachfächer etabliert, allerdings häufig in Form von Modulen (vgl. *ibid.*:197, Bonnet 2012:214). Eine weitere Ausweitung wird „von offizieller Seite gewollt“ (Bohrmann-Linde 2013:296, vgl. Bohrmann-Linde/Strippel 2018:719, Breidbach 2013:13). Da BU darauf abzielt, zusätzlich zur Muttersprache weitere Sprachen zu etablieren, kann man ihn „dem sogenannten Bereicherungsmodell [zuordnen]“ (Rymarczyk 2012:119). Der Unterricht wird also mit dem Ziel besucht, dass die Lernenden bilingual werden wollen (vgl. *ibid.*). Wenn sich die Chemiedidaktik nun mit dem Bereich BU befasst, nimmt sie genuin Veränderungen in der Gesellschaft auf – so, wie es mit der didaktischen Wende gewollt (vgl. Pfeifer 2018a:12ff) und wie es auch für andere Themenbereiche wie die der Digitalisierung, Nachhaltigkeit oder Nanotechnologie der Fall ist (vgl. Wilke/Engelmann 2020:9ff). Somit widmet sich die Chemiedidaktik eindeutig einer ihrer zentralen Aufgabenbereiche.

Gökkuş née Yurdanur merkt an, dass die Wuppertaler Chemiedidaktik, die den fachdidaktischen Forschungsansatz der curricularen Innovationsforschung maßgeblich mitgeprägt hat, zwar bereits eine Vielzahl innovativer chemiedidaktischer Experimente und Lehr-Lern-Materialien hervorgebracht hat, jedoch durchaus noch Bedarf hinsichtlich der praxisnahen Erforschung mancher Materialien besteht (vgl. 2020:7f). Sie erkundet deshalb in einer breit angelegten praxisnahen Studie das Potential und die Wirksamkeit einer Auswahl innovativer, photochemischer Experimente und Inhalte für den regulären, d.h. monolingual deutschen, Chemieunterricht und zieht das folgende positive Fazit:

Die [...] Daten dokumentieren eine starke Korrelation zwischen Lernertrag und Identifikation [von Akteuren des sekundären Bildungsbereiches] mit photochemischen Inhalten sowie eine [von Akteuren des sekundären und tertiären Bildungsbereiches als] überaus bedeutend eingeschätzte Zukunftsrelevanz der Energieform Licht im Chemieunterricht und im Lehramtsstudium. (Gökkuş/Tausch 2021³)

Auf diese Weise schließt sie eine Forschungslücke, da sie eine bildungswissenschaftlich geprägte Brücke von der curricularen Innovationsforschung in den unterrichtlichen Alltag schlägt und final die inhaltlich-affektive Bedeutung der konzipierten Lehr-Lern-Materialien aus dem Bereich Photochemie für Lernende und Chemielehrkräfte herausstellt. Die vorliegende Arbeit schließt sich an dieser Stelle inhaltlich an.

1.2 Forschungsfragen

Die vorliegende Arbeit nimmt ihren Ausgangspunkt in der curricularen Innovationsforschung und ist zudem im Bereich des bilingualen Unterrichts beheimatet. Innovative, photochemisch durchwirkte Themen werden für bilinguale Settings weiterentwickelt und im Schulalltag beforscht. Hier wird Neuland betreten, denn im Forschungsbereich BU bzw. Content and Language Integrated Learning (CLIL)⁴ liegen bislang keine entsprechenden Forschungen zu photochemischen Themen vor. Zum BU Chemie, der aufgrund seiner relativ niedrigen Verbreitung metaphorisch als „[w]achsende Orchidee“ (Bonnet

³ Diese Publikation liegt in einer Early View-Version vor, weshalb noch keine Seitenangaben möglich sind.

⁴ Hier orientiere ich mich an der in Wolff/Sudhoff (2015:14f) vorgestellten Definition von EURYDICE, die auch von der KMK an Stelle des Begriffes BU verwendet wird: „CLIL refers to the teaching of a current subject other than foreign languages in more than one language.“ Somit werden die Termini hier synonym verwendet, wobei dem Autor sowohl die klaren Unterschiede zwischen CLIL und BU, wie z.B. Wolff (2011, 2017) sie darlegt, als auch die Komplexität der unterrichtlichen Realitäten, wie Diehr (2012) sie akzentuiert, bewusst sind. Der Fokus der vorliegenden Studie ist dabei der deutsch-englische bilinguale Sachfachunterricht in Deutschland bzw. in deutschsprachigen Kontexten.

2012:201, vgl. dazu auch Bohrmann-Linde 2012:183) angesehen wird, liegen erst einige wenige Dissertationen vor, und zwar diejenigen von Bonnet (2004), Koch (2005), Geller (2017), Connolly (2019) und Hollweck (anteilig vorgestellt in Hollweck/Schwarzer 2020). Sie befassen sich mit deutlich voneinander divergierenden Schwerpunkten. Es hat sich aber ein lebendiger Diskurs entwickelt, der dem Fach Chemie einen festen Platz im Kanon der bilingualen Sachfächer zuweist (vgl. Bohrmann-Linde 2012:197, Bonnet 2012:214). Erfahrungsbasierte Studien und theoretische Ansätze stellen dabei die Eignung des Faches Chemie als bilinguales Sachfach in den Vordergrund (vgl. dazu Bohrmann-Linde/Strippel 2018, Bohrmann-Linde 2013 sowie z.B. Aristov 2013, Bonnet 2004, Hülten 2014, Nawrot-Lis 2019, Rittersbacher 2007). Überdies finden sich vereinzelt bilinguale Materialien zum unterrichtlichen Einsatz (vgl. dazu die Übersicht in Bohrmann-Linde/Strippel 2018:721f, weiteres Material z.B. bei ISB 2020/2021, Stein 2015, Fechner/Schüttler 2013, Brunnert/Harsch/Heimann 2008).

Aufgrund der Tatsache, dass BU sich an den jeweils geltenden Lehrplan-Vorgaben orientiert (vgl. Bohrmann-Linde/Strippel 2018:719, Heine 2014:231), kann auf bereits entwickeltes deutschsprachiges Lehr-Lern-Material aus der curricularen Innovationsforschung in Wuppertal zurückgegriffen werden. Mit der Weiterentwicklung des Materials und der Adaption für bilinguale Lehr-Lern-Settings soll ein Beitrag zur aus Praxissicht notwendigen Materialentwicklung für den englisch-deutschen BU Chemie erfolgen (vgl. Bohrmann-Linde 2013:300, Bohrmann-Linde/Strippel 2018:722) und ein Beitrag zur Weiterentwicklung der existierenden Curricula geleistet werden.

Aufgrund der interdisziplinären Verortung der Chemiedidaktik werden im Zuge der Erprobung und Evaluierung Anleihen aus den Nachbardisziplinen, zu denen nun explizit auch die Fremdsprachendidaktik bzw. die Linguistik gehört, genommen. Durch die begleitende Beforschung soll eine Evaluation und Weiterentwicklung der konzipierten Materialien erfolgen und Rückmeldungen sowohl an die experimentell-konzeptionelle Chemiedidaktik als auch die Forschung und Entwicklung von BU aus fremdsprachendidaktischer bzw. psycholinguistischer Sicht stattfinden. Aus den Herleitungen ergibt sich die erste Forschungsfrage:

1. Welche innovativen experimentbasierten Materialien aus dem Fundus der Wuppertaler Chemiedidaktik bieten sich für einen Einsatz im BU Chemie an?

Zu diesem Zweck identifiziert der Autor in einer Vorstudie praktizierende bilinguale Lehrkräfte aus Deutschland. Er kontaktiert und befragt sie im Sinne einer Bedarfsanalyse (needs analysis). Dazu sind zunächst grundlegende Recherchen notwendig, die in einer Übersicht von entsprechenden Lehrkräften und ihren Kontaktinformationen resultieren (vgl. hierzu Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde 2020).

Die aus der Vorstudie gewonnenen Kenntnisse über aus Praxissicht relevante bilinguale Inhalte werden genutzt, um Lehr-Lern-Materialien für den Bereich The Carbon Cycle in Animate Nature: Photosynthesis and Cellular Respiration zu erstellen. Parallel wird ein Forschungsansatz gesucht, der das in die schulische Praxis eingebettete Erprobungsanliegen ermöglicht. Hier fällt die Entscheidung auf einen aktionsforschend begleiteten Ansatz (vgl. Altrichter/Posch/Spahn 2018, Schart/Schocker 2013), der Anteile der partizipativen fachdidaktischen Aktionsforschung (vgl. Eilks/Ralle 2002, Eilks 2018) aufweist. Es wird ein Versuch unternommen, eine Aktionsforschungsgruppe aus bilingualen Chemielehrkräften zu gründen. Auch weist die vorliegende Studie Ähnlichkeiten zum Design Based Research-Ansatz auf (vgl. Collins/Joseph/Bielaczyc 2004, Reinmann 2018, Adaptionen des Ansatzes in McKenney/Reeves 2013, Hußmann/Thiele/Hinz et al. 2013), jedoch geht es nicht um die feingliedrige Entwicklung einzelner, zuvor bereits identifizierter Aspekte, sondern eher um eine etwas breiter angelegte, explorative Näherung an das Thema mit (formativ) evaluierenden Anteilen, da zum Forschungsgegenstand noch keine Studien vorliegen. Die zentrale Fragestellung lautet also:

2. Inwiefern eignet sich ein photochemisches Modul zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur als Einstieg in den BU Chemie?

Der Schwerpunkt der Studie liegt somit in der Entwicklung, Erprobung und Optimierung von Lehr-Lern-Material zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur. Hierzu werden die Sichtweisen von Lernenden einbezogen, die allesamt keine Vorerfahrungen mit BU Chemie haben. Dies geschieht

mithilfe von Methoden der qualitativen Forschung, d.h. mit Leitfadeninterviews und offenen Fragebögen. In schriftlichen Pre- und Posttests werden der inhaltliche und sprachliche Lernzuwachs erhoben, wobei der Schwerpunkt auf der doppelten Sachfachliteralität liegt, zu welchem empirische Forschungen aktuell noch ausstehen (vgl. Diehr 2016, Bohrmann-Linde 2016). Die Erhebung erfolgt zunächst mit Concept Maps (vgl. Koch 2005), dann anhand von Definitionen (vgl. Gablasova 2014, 2015). Mittels qualitativer und quantitativer Methoden – letztere dienen im Sinne einer explorativen Datenanalyse der Visualisierung und übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse (vgl. Döring/Bortz 2016:620ff) – findet eine Auswertung statt. Hieraus ergeben sich weitere Forschungsfragen, die sich an die obige angliedern:

3. **Welchen Einfluss hat das Modul auf das produktive bildungssprachliche und fachwissenschaftliche Vokabular als Anteil einer englischen Sachfachliteralität?**
4. **Fokus doppelte Sachfachliteralität: Wird das neue englische Vokabular adäquat in der L1 versprachlicht? Welche Implikationen ergeben sich daraus für die Modellierung des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter, dem Integrated Dynamic Model (IDM) nach Diehr (2016)?**
5. **Welche Aspekte des sachfachlichen Inhaltslernens fördert das Modul in besonderer Weise?**

Ferner werden auch Optimierungsansätze des zugrunde liegenden Modellexperiments gesucht und dazu das Kriterienraster von Sommer/Toschka/Schröder et al. (2017) zur analytischen Aufarbeitung verwendet. Ein Nebenaspekt dieser Arbeit ist es, der Frage nachzugehen, welche Implikationen sich aus der Erprobung für die Weiterentwicklung der verwendeten Photo-Blue-Bottle-Experimente ergeben.

Zusätzlich zu den genannten Entwicklungsprozessen werden auch linguistisch geprägte Forschungsfragen adressiert. Dazu gehört auch die Beschäftigung mit Postulaten zum BU, die aus der bisherigen einschlägigen Forschung erwachsen sind (vgl. Diehr 2016).

Die Forschungsfragen sind während des Forschungsprozess entstanden, welcher aufgrund der Wahl der innovativen Inhalte sowie des bilingualen Settings in einem wenig erkundeten Bereich anzusiedeln ist. Diehr/Preisfeld/Schmelter machen deutlich:

[W]er in eigenen Studien nicht nur den (fremd)sprachlichen, sondern auch den fachlichen Kompetenzgewinn erfassen will, um die in bilingualen Bildungsangeboten erworbenen Kompetenzen mit denen in monolingualen Kontexten vergleichen zu können, der ist schnell auf sich gestellt. Denn bislang fehlen für all diese Bereiche konzeptuell und empirisch abgesicherte Instrumente. (Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016b:12)

Auch gibt es Bedarf an empirischer Forschung, die zur Theorie- und Modellentwicklung zum bilingualen Lexikon, dem IDM, beiträgt (vgl. Diehr 2016). Es handelt sich im Kern um eine qualitative, explorative Feldstudie (vgl. Döring/Bortz 2016:192ff, 207ff, 184ff), die aufgrund dieser Ausrichtung von einer gewissen Flexibilität hinsichtlich der Forschungsfragen und –methodik geprägt ist. Mit dieser gehen während des Untersuchungsprozesses durchaus auch begründete, das Forschungsinteresse und die Untersuchungsmethodik betreffende, Modifikationen einher (vgl. Lamnek/Krell 2016:37ff, Döring/Bortz 2016:184). Der „Forschungsstil“ (ibid.:596) orientiert sich an der Tradition der Aktionsforschung (vgl. Altrichter/Posch/Spann 2018) mit Anteilen der partizipativen fachdidaktischen Aktionsforschung (PAR, participatory action research) nach Eilks/Ralle (2002, vgl. auch Eilks 2018 sowie Lamnek/Krell 2016:596ff). Im Rahmen der PAR, die sich auch als „praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung“ (Eilks/Ralle 2002:14) versteht, ist es sowohl möglich, sich auf breiter Basis der Entwicklung und Evaluation innovativer Lehr-Lern-Materialien zu widmen als auch „allgemeine Erkenntnisse über unterrichtliche Lehr- und Lernprozesse [abzuleiten]“ (ibid.)

1.3 Gliederung

In den folgenden Kapiteln wird der Beantwortung der aufgeworfenen Fragestellungen nachgegangen. Hierfür wird in **Teil I (Kap. 2 bis 7)** zunächst der theoretische Rahmen der Arbeit dargestellt. Dabei

werden Aspekte des sachfachlichen Konzept- und Sprachlernens im BU unter Bezugnahme auf ausgewählte psycholinguistische Modelle aufgearbeitet. Dazu gehört auch die Diskussion um die Zieldimension doppelte Sachfachliteralität (vgl. Bohrmann-Linde 2016). Schwerpunktmäßig werden das Modified Hierarchical Model (MHM) nach Pavlenko (2009, vgl. Heine 2014) und das IDM nach Diehr (2016, 2018, vgl. Diehr/Rumlich 2021) als Erläuterungsgrundlage verwendet. Dann werden sachfachliche Hintergründe zum Photo-Blue-Bottle-Experiment und seinen Varianten (vgl. z.B. Tausch 1994, 2019, 2021, Korn/Tausch 2001, Tausch/Heffen 2016, Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019, Kremer/Tausch 2019, Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019) präsentiert. Das Kapitel endet mit fachdidaktischen Aspekten: Einerseits wird das vorliegende Modellexperiment in seinen Varianten als Modellexperiment (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017) diskutiert, bevor grundlegende Aspekte der Planung von BU dargelegt werden (vgl. Dalton-Puffer 2017, Breidbach 2010, Meyer 2010, Bohrmann-Linde/Strippel 2018, Bohrmann-Linde 2012, 2013, 2016, Bonnet 2012, Mentz 2013). **Teil II (Kap. 8)** umfasst Vorarbeiten zur Hauptuntersuchung. Auf der Grundlage einer selbst durchgeführten Umfrage unter bilingualen Chemielehrkräften in Deutschland (vgl. Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde 2020) und basierend auf der fachdidaktischer Literatur (vgl. u.a. Steigert 2012) wird die thematische Entscheidung für das später konzipierte Modul getroffen. In **Teil III (Kap. 9 bis 12)** erfolgt die Darlegung der Forschungsstilistik, Aktionsforschung mit Anteilen von PAR, und das Untersuchungsdesign zum Beforschen der research questions wird dargelegt. Dies schließt auch Entscheidungen bzgl. der verwendeten Auswertungsinstrumente mit ein. Die thematisierte Hauptuntersuchung basiert auf mehreren Erprobungs- und Optimierungszyklen, die vom Autor durchgeführt und beforscht werden. Hier fließen Erkenntnisse der formativen Evaluation (vgl. Döring/Bortz 2016:50, 109ff) mit ein, um eine Weiterentwicklung des Moduls auf Basis von Aktion und Reflexion (vgl. Altrichter/Posch/Spann 2018:14ff, 22ff, vgl. Eilks/Ralle 2002:15ff) zu gewährleisten. Ferner werden Erprobungen des Moduls durch andere Lehrpersonen integriert. **Teil IV (Kap. 13 bis 15)** widmet sich im Kern zunächst einer differenzierten Darstellung der Ergebnisse der Hauptuntersuchung, bevor diese diskutiert und zur Beantwortung der Forschungsfragen genutzt werden. Hierbei werden auch Perspektiven derjenigen Lehrkräfte auf das bilinguale photochemische Modul genutzt, die es in ihrem Chemie- bzw. Biologieunterricht ausprobiert haben. Abgeschlossen wird die Arbeit durch **Teil V (Kap. 16)** mit zusammenfassenden bzw. einen Ausblick darlegenden Worten.

Ein Hinweis noch zu den **Forschungsfragen**: Diese werden bereits in der Einleitung angesprochen. Sie haben sich, wie es für den gewählten Ansatz üblich ist (vgl. Lamnek/Krell 2016:39), ausgehend von der ersten allgemeinen Frage im Zuge der Studie weiterentwickelt und ausdifferenziert.

Teil I - Theoretischer Rahmen

2 Modelle des bilingualen mentalen Lexikons⁵

In den Ausführungen von Baker/Wright (2017:157ff) werden im Zuge einer historischen Rückschau unterschiedliche Theorien zum natürlichen Bilingualismus diskutiert. Cummins und andere erforschen also, wie Sprachen und Konzepte zusammenhängen und wie diese im menschlichen Gehirn organisiert sind. Um das Original teilweise abzubilden, schlagen sie Modellierungen vor, mit deren Hilfe ein konkreter Austausch über das Original erfolgen und das Verständnis darüber weiterentwickelt werden kann. Hier setzen auch aktuelle psycholinguistische Untersuchungen an, deren Grundinteresse in den folgenden Aspekten liegt: „Psycholinguistics is the study of how the mind equips human beings to handle language. Its central concern is with the cognitive processes that underlie the storage, use and acquisition of language, and their correlates in observable neural activity in the brain“ (Field 2011:472, vgl. auch Höhle 2012b:11). Aus diesem Interesse heraus sind verschiedene Modelle entstanden, die die „mind-language-relationship“ (Field 2011:472) fokussieren. In letzter Zeit erfährt das Modified

⁵ In diesen Ausführungen wird die Rezeption psycholinguistischer Modelle auf Basis der bilingualdidaktischen Literatur aufgearbeitet, so dass einige Aspekte, die im Kontext des bilingualen Unterrichts als besonders bedeutsam erscheinen, aus diesem Grund stärker herausgestellt werden. Weitere Annahmen der jeweiligen Modelle, d.h. RHM und MHM, werden deshalb ausgeklammert.

Hierarchical Model (MHM) nach Pavlenko (2009) großen Zuspruch in der deutschsprachigen bilingualen Forschergemeinschaft, wie auch das darauf basierende Integrated Dynamic Model. Es wurde von Diehr (2016) auf Grundlage des MHM „für bilingualdidaktische Zwecke weiterentwickelt“ (Diehr/Rumlich 2021:9, vgl. zum MHM und IDM Diehr/Rumlich 2021, Frisch 2021, Scholl/Schmelter 2021, Diehr 2019, Diehr/Frisch 2018, Diehr 2018, Botz/Diehr 2016, Diehr 2016, Lindemann/Diehr 2016, Heine 2014).⁶

Die genannten psycholinguistischen Modelle MHM und IDM des bilingualen mentalen Lexikons sind laut o.g. Autorenschaft geeignet, den von Heine (2014) genannten Desiderata zu begegnen. Sie stellt heraus, dass es einer theoretischen Rahmung für die Beschreibung und Untersuchung der Verbindung von Sprach- und Inhaltlernen in unterrichtlichen Kontexten bedarf (vgl. 2014:225). Für eine Betrachtung von bilinguaem Unterricht sind Aspekte des sachfachspezifischen Konzepterwerbs⁷ und des sachfachspezifischen Sprachenlernens in L1 und L2 zu berücksichtigen, wie auch die hier vorherrschenden Wechselbeziehungen. Hierzu gehört ein Abbilden des Einflusses der L2 auf das Anpassen und Verändern bereits vorliegender Konzepte auf Lernendenseite, das als *conceptual restructuring* bezeichnet wird. Ferner sei eine empirische Absicherung des theoretischen Unterbaus vonnöten (ibid.:226). Anderen Modellen mangle es an der Einbindung relevanter Aspekte, da sie eher sprachspezifisch oder fachlich-inhaltsspezifisch ausgerichtet seien. Sie klammern die für den BU grundlegende Bereiche des fachspezifischen Konzept- und Spracherwerbs in zwei Sprachen, L1 und L2, aus.

2.1 Das Revised Hierarchical Model

Während das IDM auf dem MHM basiert, wurde das MHM auf der Grundlage von Kroll und Stewarts (1994) Revised Hierarchical Model, RHM, weiterentwickelt. Dieses wird zunächst in seinen Grundzügen vorgestellt, um die Modifikationen im MHM und IDM nachvollziehen zu können und den Nutzen dieser für den bilingualen Unterricht herauszuarbeiten.

Grundsätzlich nehmen Kroll/Stewart (1994) bei der Konzeption des RHM bezüglich des bilingualen mentalen Lexikons an, dass Bezeichnungen in jeder Sprache unabhängig voneinander im Gehirn der bilingualen Person repräsentiert sind. Es gibt einen L1- und einen L2-Speicher, wobei ein gemeinsamer Konzeptspeicher (semantisch-konzeptuelles System) auf Basis psycholinguistischer Experimente u.a. zum *crosslinguistischen Priming*⁸ modelliert wird.⁹ Das Modell bildet den hypothetischen Aufbau von

⁶ Laupenmühlen (2012) aus der Wuppertaler Arbeitsgruppe um Diehr greift das RHM auf und schlägt Aspekte der Weiterentwicklung vor (173ff).

⁷ Dieser Arbeit liegt Fields Definition von Konzepten zu Grunde: „The core (decontextualised) meaning of a word; the set of entities or events in the real world which a word is understood to refer to“ (Field 2008:69, zitiert nach Laupenmühlen 2012:169).

⁸ Wartenburger erläutert hierzu die Herangehensweise: „Beim cross-linguistischen Priming wird ein Prime aus Sprache A verwendet und sein Einfluss auf die Verarbeitung des folgenden Zielitems aus Sprache B erhoben. Dieser crosslinguistische Priming-Effekt wird verglichen mit dem Priming-Effekt innerhalb einer Sprache. Beispielsweise folgt dem Prime Vogel das Zielitem *dog*. Die Entscheidung, ob es sich bei *dog* um ein belebtes oder unbelebtes Item handelt, erfolgt schneller, wenn das Zielitem dem Prime Vogel folgt als wenn es dem Prime Tasse folgt. Da gezeigt werden konnte, dass – zumindest bei Mehrsprachigen mit sehr hohem Leistungsniveau – Priming-Effekte sowohl innerhalb als auch über die Sprachen hinweg vorhanden sind, lässt sich die Existenz einer gemeinsamen semantisch-konzeptuellen Repräsentation ableiten“ (2012:179).

⁹ Für weitere Modelle, die teilweise von einem gemeinsamen, integrierten Lexikon ausgehen, teilweise entsprechend dem RHM mehrere voneinander getrennte Lexika annehmen, siehe Heine (2014:227f), Wartenburger (2012:180ff), Laupenmühlen (2012:173-177), Pavlenko (2009:142ff) oder Roche/Suñer (2017:134ff). Hier werden zum Beispiel das Bilingual-Interactive-Activation-Model (BIA bzw. BIA+) von Dijkstra/van Heuven oder das Distributed Feature Model, DFM, von De Groot sowie das Shared Asymmetrical Model, SAM, von Dong/Gui/MacWhinney angeführt. Letztere griffen das RHM auf und entwickelten es weiter und u.a. auch auf dieser Basis entstanden Pavlenkos Überlegungen und Konzeptualisierungen des RHM zum Modified Hierarchical Model (vgl. Roche/Suñer 2017:146ff). Derzeit ist ein Anteil der fachwissenschaftlichen Diskussion von der Frage geprägt, ob das Konzipieren eines psycholinguistischen Modells mit allgemeingültigem Charakter möglich ist (vgl. Laupenmühlen 2012:173ff).

lexikalischen und konzeptuellen Verknüpfungen (links bzw. Links) ab, d.h. zwischen L1-Wort und L2-Wort auf der einen Seite sowie zwischen (L1- bzw. L2-) Wort und Verknüpfungsinhalt auf der anderen Seite, wobei das einzelne Wort im Fokus steht (vgl. Wartenburger 2012:179), vgl. Abb. 1. Die Qualitäten der Verknüpfungen verändern sich mit zunehmendem L2-Erwerb, sie sind also als dynamisch anzusehen (vgl. Entwicklungshypothese nach Kroll/Stewart, z.B. Roche/Suñer 2017:143).

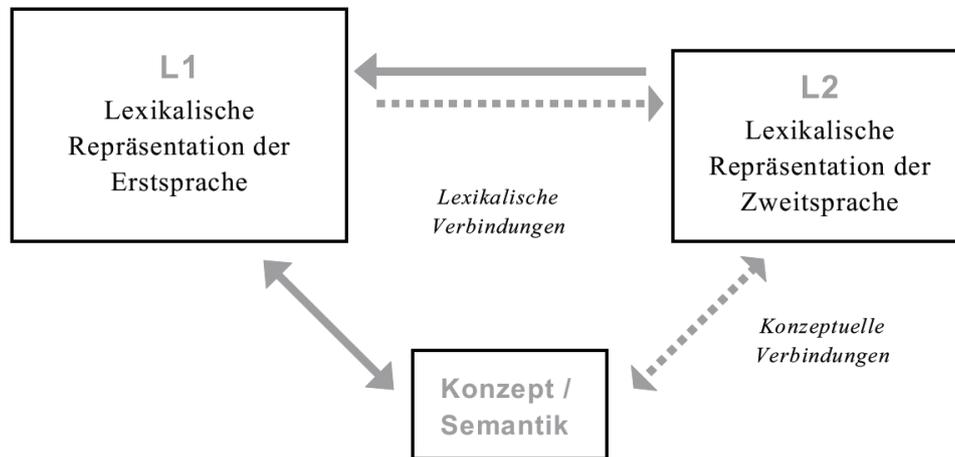


Abb. 1: Das Revised Hierarchical Model nach Kroll/Stewart (1994) (vgl. Wartenburger 2012:180)

Im Modell wird mithilfe der durchgezogenen oder gestrichelten Linien die Stärke der Verbindung zwischen den unterschiedlichen Sprachspeichern und dem Sprach- und Inhaltsspeicher deutlich. Man nimmt bezüglich der Verknüpfung Sprachspeicher-Konzeptspeicher an, dass „die konzeptuellen Links zwischen den Formen und dem konzeptuellen System in der L1 stärker [sind] als in der L2“ (Roche/Suñer 2017:145, vgl. Kroll/Stewart 1994:158), d.h. „die Bedeutung der Zweitsprachenwörter [wird] über den Zugriff auf das Erstsprachenlexikon erschlossen“ (Wartenburger 2012:179f). Die Unterschiede der Sprachspeichergrößen verdeutlicht, dass hier zunächst von einem asymmetrischen bilingualen Sprecher ausgegangen wird, also einer Person mit im Vergleich zur L1-geringer ausgeprägter L2-Kompetenz: „Aufgrund der unterschiedlichen Kontaktzeiten umfasst der größer dargestellte L1-Sprachspeicher mehr Wörter als der L2-Speicher und erlaubt Zugriff auf mehr konzeptuelle Wissensrepräsentationen“ (Diehr 2016:68). Zunächst ist lediglich der L1-Sprachspeicher mit dem Konzeptspeicher verbunden. Das bedeutet, wie erwähnt, dass das Lernen eines L2-Wortes über die L1 vermittelt wird. Diehr konkretisiert diese Annahme mit einem Beispiel:¹⁰

Eine starke konzeptuelle Verbindung bestünde demnach z.B. zwischen einem L1-Wort wie „Regen“ und dem dazugehörigen Vorstellungsinhalt, dargestellt durch den durchgezogenen Pfeil (beschriftet mit Conceptual links [in Abb. 1 als konzeptuelle Verbindungen bezeichnet, RB]), da in Deutschland aufwachsende Kinder diesen Begriff und das Konzept schon früh erwerben und häufig verwenden. Wenn im Laufe des Englischunterrichts für das bereits vorhandene Konzept REGEN die neue L2-Bezeichnung „rain“ eingeführt wird, verarbeiten vor allem Fremdsprachenanfänger dieses Wort lexikalisch, d.h. über die Verbindung zum deutschen Wort. Es ist anzunehmen, dass bei deutschen Muttersprachlern die konzeptuelle Verbindung von rain-REGEN schwächer ausfällt als die konzeptuelle Verbindung von Regen-REGEN. Das kann bedeuten, dass die Verbindung Fremdwort-Konzept seltener aktiviert wird und – wenn sie aktiviert wird – über den Umweg der L1 eine lexikalische Verbindung herstellt. (Diehr 2016:67)

Je nach Entwicklungsstand der Zweitsprache und der relativen Dominanz der Erstsprache sind die Verbindungsstärken der Sprachspeicher zum semantisch-konzeptuellen Speicher unterschiedlich stark

¹⁰ Das Konzept wird in diesem Abschnitt mit Großbuchstaben dargestellt, das dazu gehörende Wort bzw. die dazu gehörende Bezeichnung folgt der üblichen Schreibweise.

ausgeprägt, im obigen Fall des L2-Novizen fehlt die Verbindung gänzlich. In Abb. 1 symbolisiert die gestrichelte Linie den relativ schwachen Verknüpfungsgrad zwischen L2-Sprachspeicher und Konzeptspeicher, wodurch weiterhin das bilinguale mentale Lexikon eines asymmetrischen bilingualen Sprechers modelliert ist. Man nimmt bezüglich der Verknüpfungen der Sprachspeicher untereinander an, dass die Übersetzung eines L2-Wortes in ein L1-Wort schneller erfolgt als der umgekehrte Weg. Dieses wird durch die unterschiedlichen Pfeile abgebildet (vgl. Abb. 1) und damit begründet, dass eine asymmetrische Verbindungsstärke existiert. Diese wiederum erklärt sich dadurch, dass die Übersetzungsrichtung L2 nach L1 (Rückwärtsübersetzung) auf der lexikalischen Ebene, d.h. ohne das Einbeziehen der konzeptuellen Ebene, erfolgt. Im Gegensatz dazu wird bei der Übersetzungsrichtung L1 nach L2 (Vorwärtsübersetzung) die konzeptuelle Ebene im Sinne einer Aktivierung einbezogen „und [ist] daher langsamer und stärker durch semantische Faktoren beeinflussbar“ (Wartenburger 2012:180, vgl. Roche/Suñer 2017:143ff, Kroll/Stewart 1994:157).¹¹ Mit Zunahme der L2-Sprachkompetenz auf Lernendenseite wird jedoch der Aufbau einer direkten konzeptuellen Verknüpfung zwischen L2-Sprachspeicher und Konzeptspeicher angenommen (vgl. Roche/Suñer 2017:144, Kroll/Stewart 1994:167). In den Worten von Barcroft/Sundermann/Schmitt: „As proficiency in the L1 increases, the interlanguage connections change and shift from lexical processing to semantic processing. In other words, L2 learners move away from the L1 translation strategy“ (2011:580).

Kritiker des RHM bringen vor, dass dieses „zwar den unterschiedlichen Zugang von den L1- und L2-Formen zu den Konzepten in Abhängigkeit mit dem Sprachniveau [erklärt]“ (Roche/Suñer 2017:145), jedoch auch weitere Einflussfaktoren als Begründung herangezogen werden könnten. Weiterhin sei die Konzeptebene zu vereinfacht, d.h. die Darstellung des Konzeptspeichers als zu inhaltlich homogen, dargestellt (vgl. Diehr 2016:68, Pavlenko 2009:146, Roche/Suñer 2017:145). Überdies bildet das RHM den Konzepterwerb in der L2 nicht ab, da im Fremdsprachenunterricht die L2-Bezeichnung vor der L1-Bezeichnung gelernt wird, also zuerst eine konzeptuelle Verbindung zwischen L2-Sprachspeicher und allgemeinem Konzeptspeicher ausgebildet wird. Diehr (2016:68) nennt die Konzepte PRECIPITATION und PETRICHOR mit den dazugehörigen L2-Bezeichnungen precipitation und petrichor als Beispiele. Laupenmühlens Ausführungen (2012:175f) weisen darauf hin, dass manche Lernenden innerhalb eines bilingualen Unterrichts nach Typ A (vgl. Diehr 2012:23-27) gar Konzepte erwerben, die ausschließlich mit der L2-Bezeichnung verknüpft seien. Sie berichtet von Begegnungen mit Lernenden während Ihrer Forschungen zum bilingualen Unterricht:

So ist einigen Schülern z.B. nicht bewusst gewesen, dass die seit Jahren verwendete Bezeichnung metabolism das englische Übersetzungsäquivalent für Stoffwechsel ist und mit diesem inhaltlich verbunden ist. Anderen war neu, dass sich Kenntnisse über proteins nicht nur auf Proteine, sondern auch auf Eiweiß übertragen lassen. (Laupenmühlen 2012:157f)

Es ist also nachvollziehbar, dass Laupenmühlen gar für eine Umkehr des RHM plädiert (2012:157). Dieses unterstreicht, dass das RHM lediglich ansatzweise die sich aufbauende und im Zuge des

¹¹ Kroll und Stewart (1994:158ff) berichten von einem psycholinguistischen Experiment, in dem die mittleren Übersetzungszeiten L2 nach L1 niedriger als diejenigen von L1 nach L2 sind. Durch das inhaltliche, d.h. semantische, Vorsortieren der zu übersetzenden Wörter erhöhten sich die Übersetzungszeiten L1 nach L2 um 100 ms im Vergleich mit der unsortierten Wortliste, d.h. von 1250 ms auf 1350 ms, was als Indikator für den Umweg über die konzeptuelle Ebene angesehen wird. Es wird als category interference effect (ibid.:152ff, 155, 161) angesehen, der auch beim Benennen von Bildern beobachtet wurde: „continuous access to related concepts produces increased activation at the conceptual level which makes it more difficult to then select the single lexical entry that best names the picture“ (ibid.:157). Normalerweise erwartet man einen schnelleren Zugriff durch semantische Aktivierung per Priming (zum Priming vgl. Roche/Suñer 2017:135ff, Stadie/Drenhaus/Höhle et al. 2012:23ff, Wartenburger 2012:173ff), hier ist es ein störendes Element, das das Zuordnen des korrekten Wortes erschwert. Die sich hier ergebenden Kontexteffekte, welche sich auf geteilte Bedeutungsmerkmale der genannten Wörter beziehen, lassen vermuten, dass die Bedeutungen der Wörter auf eine gewisse Weise miteinander im konzeptuellen Speicher des bilingualen mentalen Lexikons verbunden sein müssen. Das Vorsortieren nach Kategorien hatte indes auf die Übersetzungszeiten L2 nach L1 keinen Einfluss – sie blieben unvermindert niedrig, bei etwa 1175 ms (Kroll/Stewart 1994:160). Dieses weist auf die rein lexikalische Verarbeitung hin (ibid.:160, 168).

vermehrten Sprachkontaktes verstärkende Verbindung zwischen L2-Sprachspeicher und Konzeptspeicher bei zunehmender Sprachkompetenz der Lernenden berücksichtigt, jedoch auf einer Ebene verbleibt, die lediglich Hypothesen hierüber formuliert, während die anderen Anteile des Modells als empirisch abgesichert gelten: „The result supports the notion that it is the ease of accessing connections between L2 words and concepts that changes most dramatically as proficiency in L2 increases“ (Kroll/Stewart 1994:167). Als abschließender Punkt ist zu nennen, dass das Lernen in der L2 im Kontext des bilingualen Unterrichts nach Typ A zudem dafür sorgt, dass sich der fach- und themenspezifische Wortschatz in der L2 vergrößert, während derjenige der L1 stagniert. Insofern kann das RHM an dieser Stelle als zu statisch angesehen werden (vgl. Diehr 2016:68). In den Worten von Diehr: „What needs to be emphasized from a theoretical perspective is the fact that the RHM is neither suitable nor complex enough to further research on bilingual learning“ (2018:153).¹²

2.2 Das Modified Hierarchical Model

Pavlenko (2009) greift in ihrer MHM-Entwicklung auf das RHM zurück, wobei sie „die von ihr als Stärken identifizierten Merkmale [...] beibehält“ (Diehr 2016:68). Sie berücksichtigt einige der oben dargelegten Kritikpunkte und integriert Aspekte aus dem Shared Asymmetrical Model, SAM, nach Dong, Gui und MacWhinney und dem Distribution Feature Model, DFM, nach De Groot (für Details zu diesen Modellen vgl. Pavlenko 2009:142ff). Ferner stellt sie deutlich heraus, dass das MHM nur für diejenigen Konzepte gilt, auf die mithilfe von Worten Bezüge hergestellt werden können d.h. sie können versprachlicht werden – eine Maßgabe, die auch für das RHM gilt und die kongruent mit derjenigen von Field ist (s.o.), wobei diese Definition umfassender und detaillierter ist:

Undoubtedly, there are many more concepts than words and some concepts have no linguistic encoding any language. The focus of the present discussion is exclusively on lexical concepts, that is linguistic categories linked to words [...] that develop in the process of language socialization, with the aid of autobiographic and episodic memory. In the view adopted here, lexical concepts are seen as multimodal mental representations that include visual (mental imagery), auditory (sound), perceptual (texture) and kinesthetic (sensory-motor) information stored in implicit memory. (Pavlenko 2009:132)

Bassetti/Cook erweitern diese Ausführungen Pavlenkos um eine „codability of concepts“ (2011:154). Manche Konzepte sind in der einen Sprache durch eigens dafür existierende Vokabeln ausdrückbar, wohingegen dieses in anderen Sprachen nicht der Fall ist. Sie räumen ein, dass manche Konzepte jedoch dann durch Umschreibungen adressiert werden können. Überdies können neue Konzepte, die in der einen Sprache nicht lexikalisiert sind, durch Erfahrungen mit diesem angeeignet werden (vgl. *ibid.*:154f).

Das MHM übernimmt die Grundzüge des RHM, also die Aufteilung in zwei separate Sprachspeicher und einem gemeinsamen Konzeptspeicher. Wie im RHM fällt der L1-Speicher größer als der L2-Speicher aus, jedoch fällt die Asymmetrie weniger stark ausgeprägt aus. Berücksichtigt wird dadurch aber die Situation eines Sprachlernenden, dessen Sprachkompetenz in der L1 stärker ausgeprägt ist als diejenige in der L2 (vgl. Pavlenko 2009:146f). Der konzeptuell-semantische Speicher hingegen ist deutlich differenzierter dargestellt, vgl. Abb. 2. Pavlenko berücksichtigt dabei die Möglichkeit, dass Konzepte in zwei Sprachen gemeinsame Bestandteile aufweisen (shared categories), jedoch auch jeweils sprachspezifische Bestandteile beinhalten (die jeweiligen L1- bzw. L2-specific categories).

¹² Eine Darlegung empirische Beweise für die dargestellten Aspekte des RHM sowie vertiefte kritische Diskussionen finden sich z.B. in Kroll/De Groot (2007).

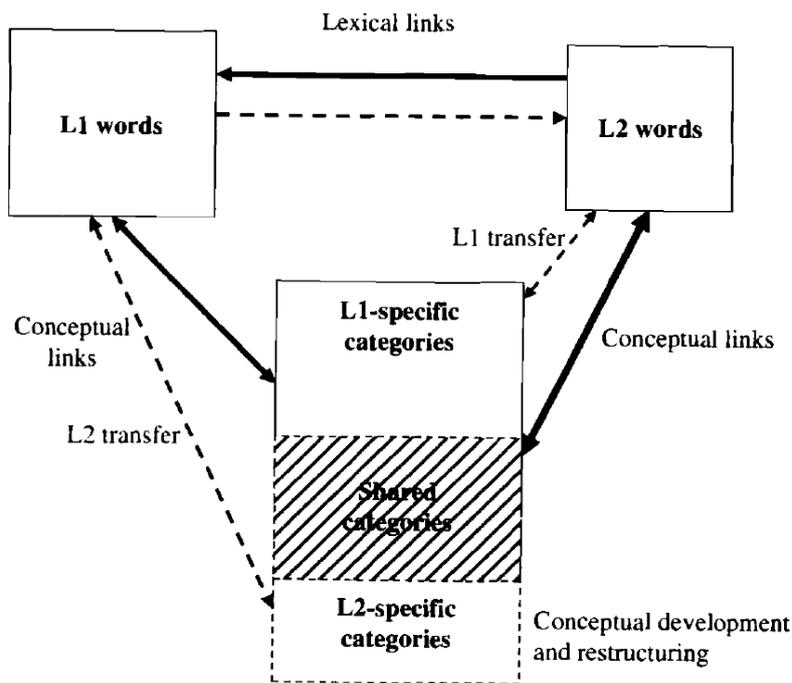


Abb. 2: Das Modified Hierarchical Model nach Pavlenko (2009:147)

Als Beispiel werden die scheinbaren Übersetzungsäquivalente *lunch* (Englisch) und *pranzo* (Italienisch) angeführt (vgl. Diehr 2016:68f bzw. Diehr 2018:153f, Bezug nehmend auf Bassetti/Cook 2011:172ff), die beide auf ein Konzept MITTAGESSEN verweisen. Wenn dieses aus der jeweiligen Sprachrichtung untersucht wird, gibt es dabei anteilig konzeptuelle Überschneidungen wie die Tageszeit des Ereignisses sowie anteilig konzeptuelle Unterschiede, wie die tatsächliche Ausgestaltung, zu der bspw. die zeitliche Rahmung des Ereignisses oder das Reichen von kalten oder warmen Speisen gehört. Bezüglich dieses Konzeptes herrscht somit eine „partielle Äquivalenz“ (Diehr 2016:68, „partial (non)equivalence“ nach Pavlenko 2009:134¹³). An dieser Stelle wird deutlich, dass die Bezeichnungen *lunch* und *pranzo* nicht austauschbar verwendet werden können. Bilinguale Sprecher können sich diesem Modell zufolge entsprechend über die sprach- bzw. kulturbedingten Unterschiede des jeweiligen Konzeptes bewusst werden und im jeweiligen Kontext die relevanten Konzeptanteile aktivieren und die jeweils irrelevanten Anteile ausblenden (Pavlenko 2009:147f) – wenn also bspw. bei einem Besuch in Italien zum *pranzo* geladen wird, ist den englischen L1-Sprechern bewusst, was das bedeutet und inwiefern es sich vom *lunch* des englischen Kulturraums unterscheidet. So können mithilfe des MHM kulturelle Perspektivwechsel zutreffend illustriert werden, wie Diehr am Beispiel des aus dem Geschichtsunterricht entlehnten Konzeptes KLATSCHMOHN erläutert (2016:70). Ähnliches gilt für das Konzept *BUS* (vgl. Niemeier 2010:37f) oder jenes des *HAUSES*: „The German Words 'Haus' and 'Gebäude' are not completely equivalent to 'house' and 'building' because in German office buildings and apartment buildings can be called 'Haus'“ (Old/Priss 2001:101f). Auch die Bezeichnungen *agua* und *Wasser* verweisen auf einen geteilten konzeptuellen Kernbereich, wobei es wiederum sprachspezifische Nebenbedeutungen gibt, die in der jeweils anderen Sprache nicht transportiert werden: Im Spanischen ist das Konzept *WASSER* mit der Konnotation Knappheit versehen, während es im Deutschen mit Fülle verknüpft ist (vgl. Heine 2014:228 unter Verweis auf Müller-Lancé 2003:125). Im Deutschen können also Bürogebäude, kleine und große Wohneinheiten als *Haus* bezeichnet werden, während dieses im Englischen lediglich für kleine Wohneinheiten möglich ist. Die Beschäftigung mit dem jeweiligen Konzept sowohl (im Kulturraum der) L1 als auch der L2 ermöglicht eine Ausdifferenzierung des Konzeptes und somit „conceptual restructuring“ (Pavlenko 2009:141). Damit einher

¹³ Pavlenko unterscheidet dabei unterschiedliche Typen der partiellen Äquivalenz (2009:134ff), die hier nicht weiter diskutiert werden.

geht auch die Möglichkeit einer interkulturellen Erfahrung (vgl. Lindemann/Diehr 2016:264f, Hallet 2015:295).

Neben der partiellen Äquivalenz existieren auch noch vollständig äquivalente („conceptual equivalence or near equivalence“¹⁴) und nichtäquivalente Konzepte („conceptual non-equivalence“) (Pavlenko 2009:133ff). Conceptual equivalence bedeutet, dass ein Konzept in beiden betrachteten Sprachen die gleichartigen Bestandteile umfasst. Diese (nahezu) vollständige Äquivalenz ist laut Pavlenko (ibid.:133) zum Beispiel beim Konzept TASSE in den Sprachen Französisch (Bezeichnung: tasse) und Niederländisch (Bezeichnung: tas) gegeben, wie eine Zuordnungsübung von Ameel/Storms/Malt et al. (2005) zeigte. Ähnliches gilt für naturwissenschaftliche Konzepte:

Naturwissenschaften sind in wesentlich geringerem Ausmaß als beispielweise Geschichte oder Sozialwissenschaften durch nationale oder kulturelle Sichtweisen geprägt. Die sprachlichen und nicht-sprachlichen Darstellungen biologischer Fachinhalte (z.B. das menschliche Immunsystem oder der Bau des Gehirns) ähneln sich überall auf der Welt erheblich. (Bohn/Doff 2010:80, vgl. auch die vollständige Äquivalenz bei precipitation/Niederschlag, Diehr 2016:72)

Auch Fachtermini per se können im Gegensatz zu aus dem Alltagswortschatz stammenden Bezeichnungen als kulturunabhängig gelten, da sie „gezielt dazu entwickelt [wurden], um in ihrer strengen Definiertheit und hochaufgelösten Kategorisierung klare Abgrenzungen zu ermöglichen“ (Heine 2010:208). Conceptual non-equivalence liegt vor, „[if] a linguistic category of one language does not have a counterpart in another language“ (Pavlenko 2009:138). Als Beispiel für konkrete Objekte führt Pavlenko das russische Konzept und Wort fortochka an, „a small window pane on top of a window that can be opened to let some air in, common in Russian buildings“ (2009:138). Diese Art Fenster ist für Amerikaner unbekannt und deshalb existiert hier weder Konzept noch Bezeichnung.¹⁵ Neben diesem konkreten Beispiel verweist Pavlenko auf mehrere Abstrakta wie z.B. privacy oder personal space, die zwar im Englischen auf ein Konzept verweisen, im Russischen lediglich über lexikalische und inhaltliche Näherungen abgebildet werden (vgl. Pavlenko 2009:138f, 2003:271f, vgl. hierzu auch die Ausführungen unten zur Kiev Story/Ithaca Story). Diese unterschiedlichen Dimensionen von Äquivalenz werden im MHM über die als dynamisch anzusehende Dreiteilung des Konzeptspeichers dargestellt: „[I]n the MHM conceptual representations may be fully shared, partially overlapping or fully language-specific: L1 and L2 categories in [Fig. 2] stand for conceptual nonequivalents and for language-specific aspects of partial equivalents“ (ibid. 2009:146).

Oben wurde verdeutlicht, dass sprachliche Transfers zwischen L2-Begriffen und einem sich ausdifferenzierenden Konzept angenommen werden: Wenn ein Mittagessen italienischer Art gemeint ist, kann darauf nur per pranzo verweisen, auch wenn man sich im Kontext der englischen Sprache befindet (vgl. Diehr 2016:69, vgl. Bassetti/Cook 2011:172ff zum Beispiel verschiedener Blautöne und deren Bezeichnungen im Italienischen und im Englischen). Überdies finden konzeptuelle Übernahmen¹⁶ aus der anderen Sprache statt, wie Pavlenko (2003) auf Basis eines psycholinguistischen Experiments am Beispiel des abstrakten Konzepts PRIVATSPHÄRE (privacy) und INTIMSPHÄRE (im Sinne einer persönlichen Distanzzone, personal space) verdeutlicht. Diese sind im Russischen nicht lexikalisiert, d.h. es existieren keine entsprechenden russischsprachigen Bezeichnungen, wohl schon im Amerikanischen. Auch weist das Russische eine konzeptuelle Fehlstelle auf. Es zeigt sich, dass Russisch-

¹⁴ Ich nehme an dieser Stelle keine Übersetzungen vor, um nicht für Verwirrung mit denjenigen Begriffen zu sorgen, die von Diehr im Zuge des IDM verwendet werden.

¹⁵ Eine damit in Beziehung stehende Diskussion um das linguistische Relativitätsprinzip bzw. die (unterschiedlichen Interpretationen) der so genannten Sapir-Whorf-Hypothese (vgl. Bußmann 2008:599, Yule 2014:273f) wird an dieser Stelle ausgeblendet und kann in Heine (2014, 2010) und Pavlenko (2009, 2003) sowie Bassetti/Cook (2011), Boroditsky (2010) oder Fausey/Boroditsky (2011) nachvollzogen werden.

¹⁶ Pavlenko spricht hier von der Entlehnung so genannter „interpretive frames“ (2003:277) vom Amerikanischen Englisch ins Russische. Diese Interpretationsrahmen versteht sie mit Clair als „rhetorical/discursive practices that define or assign interpretation to the social event“ (1993:196, zitiert nach Pavlenko 2003:261). Im vorliegenden Fall liegen die Interpretationsrahmen *privacy* und *personal space* vor, die den Konzepten PRIVACY und PERSONAL SPACE entsprechen.

sprechende, die in Amerika die L2 Amerikanisches Englisch gelernt haben, auch dort das Konzept und die Bezeichnung Privatsphäre erworben haben. Wenn Ihnen nun eine Situation präsentiert wird, in der sie das Verletzen der Privatsphäre beobachteten und ihre Beobachtungen anschließend in der L2 Amerikanisch und der L1 Russisch versprachlichen sollten, transportierten sie jeweils eben dieses. In der L1 Russisch, in der es keine Bezeichnung dafür gibt, griffen sie auf „lexical borrowing“ und „loan translations incorporating Russian translation equivalents“ (Pavlenko 2003:273) zurück. Russisch Sprechende, die in Russland Amerikanisches Englisch haben, erkannten das Konzept PRIVATSPHÄRE und das Verletzen dieser nicht, so dass sie dieses auch nicht versprachlichten, sondern anders interpretierten (vgl. *ibid.*:272). Diejenigen, die im amerikanischen Kulturraum die L2 Amerikanisches Englisch erworben haben, bauen also in der L2 (ganz) neue Konzepte auf und versprachlichen sie mit entsprechenden Wörtern (oder greifen auf oben genannte Kompensations-strategien zurück, um die Kommunikation aufrecht zu halten, vgl. *ibid.*:277) im Sinne eines „conceptual development“ (Heine 2014:228):

[A]t the center of L2 vocabulary learning are the processes of conceptual restructuring, that is readjustment of the category structure and boundaries in accordance with the constraints of the target linguistic category, and conceptual development, that is development of new multimodal representations that allow speakers to map new words onto real-world-referents similar to native speakers of the target language. (Pavlenko 2009:141)

Bilinguale Sprechende bauen also existierende Konzepte gemäß der (sprachlich-kulturellen) Kontexterfahrungen um und erweitern sie.¹⁷ Sie können dadurch die Welt nuancierter dechiffrieren und per Sprachgebrauch mit ihr interagieren, wobei eine kontext- und sprachangemessene Sprachhandlung von ihnen abverlangt wird und sie diese „conceptual differentiation – the ability to activate appropriate concepts required for appropriate L1 and L2 use“ (Heine 2014:228; vgl. Bassetti/Cook 2011:173f) in der Tat erfüllen können. Zudem ergeben sich für sie Lehr-Lern-Situationen, in denen das Sprachlernen direktes Inhaltslernen ist (conceptual development), was frühere Vorstellungen von einem voll entwickelten Konzeptspeicher, der nur noch mit sprachlichen Realisationen in der jeweiligen Zielsprache verknüpft werden muss, infrage stellt (vgl. Heine 2014: 228f). Wenn ein Teil der neuen Konzepte als sprach- oder kulturspezifisch anzusehen ist, können diese auch nur in dieser Sprache mit entsprechenden Worten ausgedrückt werden, mit einer entsprechenden Konsequenz für das Versprachlichen dieses Konzepts in der anderen Sprache: „If we see some linguistic categories as language- and culture-specific, only one language may have the necessary word forms, while activation of lexical links in the other language would fail, producing breakdowns in fluency“ (Pavlenko 2009:147). Das bedeutet, dass ein neues Konzept erworben wird, für das jedoch (noch) keine Bezeichnung in beiden Sprachen vorliegt (vgl. Bassetti/Cook 2011:154f). So werden in der L2 erworbene Konzepte auch im Anwendungszusammenhang der L1 mithilfe der L2 versprachlicht (oder umgekehrt), um die Kommunikation aufrecht zu erhalten: „To use lexical concepts of one language as interpretive categories in another language, bilinguals may resort to codeswitching, lexical borrowing or loan translations“ (Pavlenko 2009:147). Hier werden also die sprachlichen Lücken durch zwei unterschiedliche Arten der Sprachübernahme aus der jeweils anderen Sprache geschlossen. Während das Entleihen (borrowing, loan) den „Vorgang und das Ergebnis der Übernahme eines sprachlichen Ausdrucks [...] aus der [L2] in die [L1]“ (Bußmann 2008:164) darstellt, bezieht sich der KodeWechsel (code switching) eher deskriptiv auf den Wechsel von einer Sprache in eine andere, wobei das Wort aus der L2 (noch) nicht final in L1 übernommen wurde. Ferner kann der Kode-Wechsel unterschiedliche pragmatische Funktionen einnehmen (vgl. *ibid.*:106f, vgl. auch die Darstellungen unten).

¹⁷ Lindemann/Diehr (2016) untersuchen, wie sich unterschiedliche Konzepte nach einem dreimonatigen Auslandsschulpraktikum in Großbritannien verändern. Nach ersten Analysen des Konzepts NATIONALITY nach der Kulturkontakterfahrung stellen sie heraus: „eigene Erfahrungen [im Ausland], Emotionen und persönliche Eindrücke [scheinen] das Differenzierungsvermögen zu erhöhen und das Erkennen partieller Konzeptäquivalenz zu erleichtern“ (2016:272). Diese ersten Forschungsbefunde dienen hier als aktuelle Illustration der vorgenommenen Ausführungen zum *conceptual restructuring* (vgl. Heine 2014, Pavlenko 2009).

Die Entlehnung (lexical borrowing) oder die Lehnübersetzung (loan translation) (ibid.:164ff, 369) beziehen sich also auf das Ergebnis der lexikalischen oder semantischen Entlehnung. So können ganze Fremdwörter übernommen werden, wie es mit Courage oder Flirt der Fall ist, oder sie werden als Lehnwörter im eigentlichen Sinne assimiliert, d.h. in die jeweilige Sprache übertragen, wie bei Wein (lat. vinum) oder schreiben (lat. scribere). Bei Lehnübersetzungen werden die Ursprungswörter Glied für Glied übersetzt, wie Pavlenko es für russische Beispiele anführt (vgl. 2003:273ff) oder wie es für Halbwelt (frz. demi-monde) sowie ear worm (deutsch: Ohrwurm) gilt (Beispiele aus Bußmann 2008:165 und Cambridge Dictionary Online). Heine ergänzt die genannten Kompensationsstrategien durch diejenige des Paraphrasierens (vgl. 2014:229). Diese auf den Modellen basierenden, theoretischen Ausführungen verdeutlichen, dass man in von der L2 dominierten Kontexten nicht davon ausgehen kann, dass ein automatisches Verknüpfen eines L1-Wortes mit einem Konzept stattfindet. Erst recht nicht, wenn ein Konzept in der L2 angebahnt wird und dafür in der L1 noch kein Konzept vorliegt (vgl. ibid.:228, Diehr 2016:66). Zwar bedeutet das MHM laut Heine (2014:229) einen Fortschritt in der theoretischen Modellierung, jedoch sieht Diehr weiteren Bedarf, denn das MHM „vermag [...] den integrativen Charakter des sprachlich vermittelten Fachlernens sowie die besondere Dynamik seiner Entwicklung im bilingualen Unterricht noch nicht vollständig zu erklären“ (2016:65).

2.3 Das Integrated Dynamic Model

Ausgehend vom Lernen im bilingualen Kontext soll das von Diehr (2016, 2018) entwickelte Modell Aspekte berücksichtigen, die insbesondere im bilingualen Unterricht wichtig sind: „Dem bilingualen Sachfachunterricht ist es [...] vorbehalten, wissenschaftsbasierte Konzepte überhaupt erst anzulegen und auszubilden. Von Beginn des bilingualen Sachfachunterrichts an findet diese Art der Begriffsbildung also in der fremden Sprache statt“ (Hallet 2002:119, zitiert nach Diehr 2016:66, vgl. Vollmer 2013:125f; imbalanced bilingualism in der Schule: Heine 2014:229). Hierauf basierend ergeben sich spezifische Änderungen gegenüber dem MHM.

Zunächst ist es bedeutsam herauszustellen, dass sowohl Sprach- also auch Konzeptspeicher wachsen können. Sie sind dahingehend dynamisch (im Modell des IDM als gestrichelte Linie dargestellt, vgl. Abb. 3).

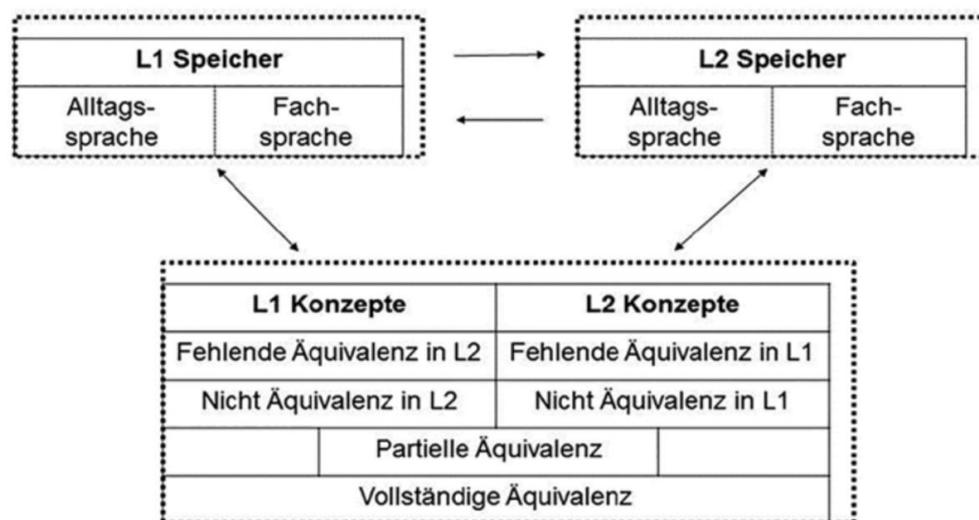


Abb. 3: Das Integrated Dynamic Model nach Diehr (2016:71)

Zwar ist laut Diehr (2016:69ff) für viele Lernende die L1 vermutlich weiterhin die dominante Sprache, doch von stärkeren L1-Wort-Verknüpfungen ist nicht mehr auszugehen: Während im klassischen Fremdsprachenunterricht auf einen größeren L1-Speicher zurückgegriffen wird – d.h. die Begriffe und die damit im Konzeptspeicher verbundenen Vorstellungsinhalte liegen bereits weitgehend vor – und L2-Wort-Verknüpfungen mit den jeweiligen Konzepten hergestellt werden müssen, werden gänzlich

neue Thematiken im bilingualen Sachfachunterricht angebahnt. Damit einhergehend wird ein eigenständiger L2-Wortschatz mit entsprechenden Konzepten erarbeitet, weshalb der L2-Sprachspeicher bezüglich der neuen Konzepte als relativ größer anzusehen ist. Dieses mag wie beim Erlernen der Konzepte in der Ithaca Story/Kiev Story (vgl. Pavlenko 2003) für sprachliche Lücken in der L1 sorgen, denen durch Kompensationsstrategien oder gezieltes Einbinden von L1-Fachtermini begegnet werden sollte (siehe unten).

Die beiden Sprachspeicher sind unterteilt. Es finden sich Abteilungen für Fach- sowie Alltagssprachen im Sinne der BICS-CALP-Unterscheidung nach Cummins (vgl. Baker/Wright 2017), wobei weitere Differenzierungen möglich wären (z.B. Symbolspeicher), jedoch zu Gunsten der Übersichtlichkeit ausgeklammert werden. Zur Fachsprache gehören hier auch gattungsspezifische Bezeichnungen sowie die Beteiligung am Fachdiskurs, z.B. per „flüssige[r] Darstellung von Inhalten“ (Diehr 2016:72). Auf dem Weg zur Fachsprache wird Vorwissen zunächst über die Alltagssprache aktiviert, um dieses dann nach und nach auszudifferenzieren, zu erweitern oder zu verändern. Damit geht das Aufbauen eines fachspezifischen Vokabulars einher (vgl. Diehr 2018:155f). Eindrücklich wird dieses von Frisch in einer Adaption des RHM bzw. IDM visualisiert (vgl. 2021:35 und den dortigen Verweis auf Kroll/Stewart 1994 und Diehr 2016), wobei hier offensichtliche Vereinfachungen vorgenommen wurden, z.B. in Bezug auf den Konzeptspeicher oder die potentielle Dynamik bzgl. der Speichergrößen, vgl. Abb. 4. Die waagerechten Pfeile innerhalb der Sprach- und Konzeptspeicher deuten die beabsichtigte Veränderung innerhalb von bilingualen Unterricht an, wobei das Modell aus Betrachtungen für bilingualen Unterricht an Grundschulen hervorgegangen ist.

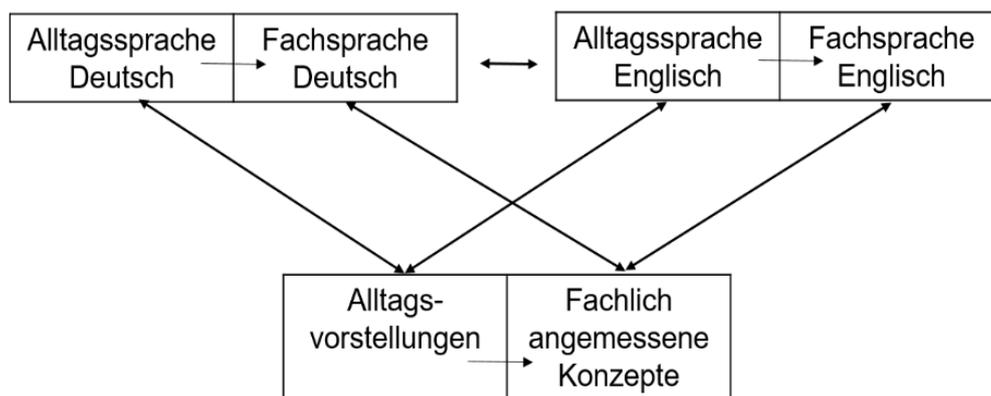


Abb. 4: Adaptiertes IDM nach Frisch (2021:35)

Im IDM (Abb. 3) wie auch in der Adaption nach Frisch (Abb. 4) wird im Gegensatz zum RHM und MHM keine unterschiedlich starke Verknüpfung der Sprachspeicher untereinander dargestellt. Zwar wird weiter angenommen, dass bei geringer Fremdsprachenkompetenz ein lexical processing (s.o.) stattfindet, jedoch wird hier durch die eindeutige graphische Darstellung auch die Veränderung hin zum eigenständigen Aufbau von L2-Wort-Verknüpfungen mit dem Konzeptspeicher eingeräumt. Diese ist umso bedeutender, je mehr Lernen neuer Inhalte im bilingualen Kontext (und dann wiederum insbesondere nach dem Typ A) stattfindet (vgl. Frisch 2021:35f, Diehr 2018:1551ff). Die obigen Darstellungen haben gezeigt, dass dieses auch für das RHM und das MHM gelten, jedoch wird es nicht ähnlich deutlich im Modell abgebildet.

Der IDM-Konzeptspeicher berücksichtigt vier verschiedene Arten von Konzepten (vgl. *ibid.* 2016:72f): Konzepte mit vollständiger Bedeutungsäquivalenz (vgl. „(near) conceptual equivalence bei Pavlenko; Bsp. siehe oben), Konzepte mit partieller Äquivalenz (vgl. „L1-specific categories“, „L2-specific categories“, „shared categories“ bei Pavlenko; Bsp. siehe oben; zzgl. das Beispiel der Begriffe Wissenschaft und science, die bei den jeweiligen Muttersprachlern unterschiedliche Konzeptbestandteile aktivieren so dass Naturwissenschaften zwar mit Wissenschaft verbunden werden, die Literatur- oder Kulturwissenschaften hingegen nicht, sie lauten literary studies oder cultural studies), nicht-äquivalente Konzepte (Nicht-Äquivalenz in L1 oder L2) im Sinne von false friends wie bei der

fälschlichen Annahme von Bedeutungsäquivalenz im Falle von tube (Röhre; Untergrundbahn) im Englischen und Tube (Behälter für Zahnpasta, (Schmier-)Fette oder Pasten) im Deutschen oder im Falle von recycling und Recycling (vgl. Frisch 2016:96), sowie Konzepte fehlender Äquivalenz (Fehlende Äquivalenz in L1 oder L2), für den Fall dass „eine lexikalische Lücke mit dem Fehlen eines Konzeptes einhergeht“ (Diehr 2016:73). Letzteres ist auch bei Pavlenko (2009) bekannt, hier allerdings als conceptual non-equivalence bezeichnet (nicht bedeutungsäquivalent mit der Nicht-Äquivalenz im Sinne Diehrs; diese beiden Konzepte würden also im Diehrschen Sinne nicht-äquivalent sein, also false friends). Ein Beispiel wäre wiederum das oben erwähnte konkrete Konzept mit der russischen Bezeichnung fortochka, dessen Vorstellungsinhalt oben bereits paraphrasiert wurde oder das ebenfalls oben erwähnte Konzept mit der englischen Bezeichnung privacy.

2.4 Ertrag aus den Modell-Darstellungen für die Weiterarbeit

2.4.1 Kode-Wechsel & funktionale Sprachwechsel

Es zeigt sich, dass mithilfe des MHM und IDM argumentiert werden kann, warum es in bilingualen Unterrichtssettings nach Typ A zu Phänomenen des Kode-Wechsels, der sprachlichen Entlehnungen oder der Lehnübersetzungen kommen kann. Es wird so zwar die Kommunikation aufrechterhalten, jedoch in einer dem intendierten Sprachgebrauch nicht zielführenden Weise, da aus dieser ausgestiegen werden muss. Somit werden gängige Vorstellungen entkräftet („Bisweilen äußern Lehrkräfte die Auffassung, dass der Einbezug des Deutschen [im bilingualen Unterricht] nicht notwendig sei, da die Schülerinnen und Schüler der bilingualen Zweige das Gelernte von sich aus auch auf Deutsch ausdrücken könnten“ (Diehr 2016:64)) und auch einschlägige Forschungen „lassen zumindest an einem mühelosen und automatischen bidirektionalen Transfer Zweifel aufkommen“ (ibid. unter Verweis auf Kondring/Ewig 2005 und Gablasova 2014, 2015; vgl. auch Diehr 2016:75-77).

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit „funktionale[r] Sprachwechsel“ (Bohrmann-Linde 2016:166, vgl. auch Diehr/Kroschewski 2016:18, Diehr 2016:77, Frisch 2016:89), integriert in einen bilingualen Unterricht nach Typ C (vgl. Diehr 2012:23-27) um hier bzgl. der Fachtermini in beiden Sprachen der KMK-Forderung des „Aufbau[s] [einer] sachfachliche[n] Kompetenz, die eine fachliche Diskurskompetenz in zwei Sprachen beinhaltet“ (KMK 2013:7), nachzukommen (vgl. Diehr/Rumlich 2021:5ff, Gogolin 2011:239). Man kann also demzufolge bzgl. des Vokabellernens nicht mehr lediglich davon ausgehen, dass bereits vorhandene Konzepte mit den Begriffen der jeweiligen Sprache versehen, sondern dass für neue Vorstellungsinhalte sowohl L1- also auch L2-Termini erworben werden müssen:

[Es] [...] sollte eine gezielte Unterrichtsentwicklung eingeleitet werden, die an den Funktionen von Sprachwechseln ansetzen sollte. Uns erscheint diese Form der wissenschaftlich begleiteten Unterrichtsentwicklung sinnvoll, da der implizite, beiläufige Erwerb der Fachbegriffe in der Verkehrssprache Deutsch in einem bilingualen Unterricht des Typs A nicht erwiesen ist. Daraus folgt nicht, dass bilingualer Unterricht des Typs C zur Hälfte auf Deutsch stattfinden soll. Vielmehr müssen Sprachwechsel didaktisch legitimiert werden und gut überlegt sein [...]. Ein weiteres Argument für eine Unterrichtsentwicklung hin zu genuiner Zweisprachigkeit ergibt sich aus dem Wissen, dass Sprache nicht nach dem Etikettenmodell funktioniert, dass zahlreiche Fachbegriffe in unterschiedlichen Sprachen nicht vollständig bedeutungsgleich sind und dass doppelte Fachliteralität nicht über bilinguale Vokabellisten entwickelt werden kann. (Diehr/Frisch 2018:250f, vgl. auch Pavlenko 2009:141)

Auch in der internationalen Forschung wird die Unterrichtsgestaltung unter Einbezug der Schulsprache, L1, zusätzlich zur Zielsprache, der L2, diskutiert und Überlegungen der Zutraglichkeit des L1-Einsatzes angestellt, wobei der Nutzen der L1 herausgestellt wird (vgl. z.B. Cummins 2007, Lim Falk 2015, Lin 2015, Nikula/Moore 2019, Tavares 2015).

2.4.2 Kulturspezifische Einblicke & Sprachanalyse

Die Darstellungen der inhaltlichen Ausgestaltung des Konzeptspeichers im MHM, mehr noch im IDM, können als Planungs- und Reflexionsinstrument für bilinguale Unterrichtssettings dienen, die anhand der **kontrastiven Betrachtung von Termini und/oder Konzepten kulturspezifische Einblicke** ermöglichen. Es wird in dem Zusammenhang deutlich, welche Begriffe in der Kultur und Sprache der L1 eine Fehlstelle aufweisen (z.B. half term bzgl. der L2 Englisch und der L1 Deutsch; vgl. Diehr 2016:73), wo aufgrund der partiellen Äquivalenz ein vorhandenes (Alltags-) Konzept ausdifferenziert werden müsste, um kultur- und kontextspezifische Anwendungen zu verstehen (z.B. poppy und Klatschmohn in Bezug auf das Konzept KLATSCHMOHN, das im Englischen kulturell aufgeladen ist, vgl. Ausführungen oben), oder wo lexikalische Ähnlichkeiten potentiell zur falschen Annahme semantischer Äquivalenz führen könnte.

2.4.3 Konzeptäquivalenz bei fachspezifischen Termini & Konzeptanalysen

Die Diskussion um mentale Repräsentationen von Sprachen und Vorstellungsinhalten im Kontext bilingualen Unterrichts wirft ein Schlaglicht auf die Tatsache, dass „sich in sprachlichen Strukturen kulturell geprägte Denkschemata manifestieren“ (Diehr 2016:76). Zwar weisen Bohn/Doff (2010), Heine (2010) oder Hoffmann (2005) darauf hin, dass dieses nicht für naturwissenschaftliche Begriffe aus der Biologie oder für fachwissenschaftliche Begriffe allgemein gelte, was jedoch in der bilingualdidaktischen Literatur kritisch hinterfragt wird. Das nun folgende Zitat von Lindemann/Diehr, aber auch der später aufgeführte Wortlaut von Bromhead unterstreichen die Zweifel an den formulierten Annahmen:

In Worten schlägt sich die gemeinsame Geschichte einer Gesellschaft nieder, Worte transportieren gesellschaftliche Konzepte und Kategorien, in denen gehandelt und gedacht wird: „Culture specific words are conceptual tools that reflect a society's past experience of doing and thinking about things in certain ways; and they help to perpetuate these ways“ (Wierzbicka 1997:82f). Dies bedeutet, dass, auch wenn Wörterbücher für (Fach-)Begriffe Übersetzungsmöglichkeiten vorschlagen, diese oft nur annähernd das gleiche Konzept bezeichnen. (Lindemann/Diehr 2016:264f)

Um diese Sachlage zu klären, bedarf es also einer Bedeutungs- bzw. Konzeptanalyse, einer „lexikalischen Dekomposition“ (Bußmann 2008:401) beispielsweise nach Goddard/Wierzbicka (2016). Sie liefern mit der Natural Semantic Metalanguage (NSM) ein erprobtes Analyseinstrumentarium, das auf Basis von 65 semantischen Primitiven (semantic primes; vgl. Tabelle zu englischen Realisationen in Ye 2017b:7) funktioniert. In den Worten von Wierzbicka: „The truth about 'human understanding' is, I believe, that it is based on a universal, and presumably innate, 'alphabet of human thoughts' [as Gottfried Wilhelm Leibniz put it], and it is this 'alphabet of human thoughts' which offers us a key to the understanding of other peoples and cultures“ (1992:27). Auf diese Weise ist es möglich, in verschiedenen Sprachen vorliegende Begriffe so auf ihre jeweils verknüpften Vorstellungsinhalte zu untersuchen, dass sie bis in ihre kleinsten Bedeutungsbausteine aufgeschlüsselt und miteinander verglichen werden können (vgl. Goddard/Wierzbicka 2016:238ff, Ye 2017b:5ff). In Ye (2017a) sind verschiedene Studien versammelt, die konkrete und abstrakte Konzepte untersuchen, von denen manche auch naturwissenschaftlicher Art sind. Bromhead befasst sich mit einem Konzeptvergleich von Stillgewässern (standing-water places) in drei verschiedenen Sprachen (Englisch, Französisch sowie Pitjantjatjara/Yankunytjatjara, der Sprache der australischen Ureinwohner) und arbeitet konzeptuelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede heraus:

To begin with, the study's cross-linguistic comparison has revealed, along with differences, certain shared elements in the conceptualization of standing-water places. People identify places in the landscape in which there is water, but different languages and cultures label on the basis of different criteria. [...] This study has also proposed that the meanings of landscape concepts, like those of other concepts based in the concrete world, are anchored in a human-centred perspective. Landscape concepts are based on human vision and human experience in space. (Bromhead 2017:202)

Habib unternimmt Ähnliches für das abstrakte Konzept Engel ebenfalls in drei Sprachen (Englisch, Arabisch, Hebräisch). Er arbeitet partielle Äquivalenzen heraus und stellt die Frage, wie mit der Bezeichnung der jeweiligen Konzepte umgegangen werden solle, da sie inhaltlich so unterschiedlich sind und kein einfaches Übersetzungsäquivalent existiert (vgl. 2017:118). Si (2017) befasst sich mit unterschiedlichen Wörtern für verschiedene Honigbienen in der dravidischen Sprache Solega des gleichnamigen südindischen Volkes. Er wendet die NSM auf mehrere verwandte Konzepte an und untersucht eine wenig erforschte Sprache.

Bei der Untersuchung relevanter Begriffe für den bilingualen Unterricht kann man also auf die NSM zurückgreifen. Eine andere strukturierte Herangehensweise bietet Nuopponen (2010a-b, 2011) an, um Vorstellungsinhalte systematisch zu explorieren. So sollen per concept analysis für neuere fachwissenschaftliche Disziplinen, wie z.B. die Pflegewissenschaften, klare Verknüpfungen von Bezeichnungen und Konzepten etabliert werden, um hierüber auch unter den Konzepten Abgrenzungssicherheit zu schaffen. Auf diese Weise wird eine neue Fachsprache entwickelt. Diese Herangehensweise kann auch umgekehrt genutzt werden, um existierende Konzepte in verschiedenen Sprachen strukturiert, d.h. kategorienorientiert zu erforschen. Hier können eigene thematische Minikorpora erstellt und geprüft werden, die Äußerungen wie themenspezifische Definitionen von Muttersprachlern beinhalten.

2.4.4 Sprachliche Fehlgriffe & Fehleranalysen

Überdies lassen MHM und IDM weitere Einblicke in das Sprachenlernen und eine tiefere Fehleranalyse von sprachlichen Äußerungen an sich zu, die von Pavlenko als conceptual transfer oder semantic transfer beschrieben und von ihr mit Beispielen erläutert und voneinander abgegrenzt werden (2009:148ff). Auch Heine analysiert Fallbeispiele vor dem Hintergrund des MHM, so zum Beispiel Kode-Wechsel (2014:232ff).

2.4.5 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit sind folgende Aspekte von zentraler Bedeutung: Mithilfe des IDM steht ein Analyseinstrument für sprachliches und (kulturspezifisch geprägtes) inhaltliches Lernen – und dessen Verknüpfung – im BU zur Verfügung. In Bezug auf das MHM, auf dem das IDM aufbaut, macht Heine diese Verknüpfung besonders deutlich (vgl. 2014:231f). Über das Wachsen der unterschiedlichen Konzeptspeicher des IDM kann das Inhaltslernen reflektiert werden, das gemäß gängiger Konzeptwechsel- bzw. Konzeptveränderungstheorien verstanden wird (vgl. *ibid.*:231f). Mithilfe der dynamischen Sprachspeicher der L1 und der L2 und ihrer Anbindung an die Konzepte, sind Einsichten in sprachliche Lernprozesse und das Aufbauen einer Fachliteralität in mehreren Sprachen (vgl. Kap. 4.1 und 4.2 zur Fachsprache als ein Ausprägungsmerkmal hiervon) möglich.

Anhand des Kapitels wird überdies deutlich, dass Forschungen zum Erreichen der doppelten Sachfachliteralität im BU notwendig sind. Es werden ferner Annahmen zu von Lernenden verwendeten Kompensationsstrategien gemacht, die dann auftreten, wenn ein Begriff zu einem Konzept fehlt. Dem Thema Kode-Wechsel wird unten entsprechend ein Kapitel gewidmet, da dieses Merkmal in der Sprachverwendung von Lernenden Potential als zusätzliches Analysewerkzeug für die Untersuchung des Anbahnens einer doppelten Sachfachliteralität aufweist.

Indes kann die Modellierung des IDM nicht als empirisch abgesichert angesehen werden, da entsprechende Forschungen noch ausstehen. Folglich müssen die Überlegungen, die aus dem IDM erwachsen, mithilfe empirischer Forschung reflektiert und der Aussagegehalt auf diese Weise überprüft werden (vgl. Diehr 2016:73).

Im Zusammenhang des Planens von funktionalen Sprachwechseln im bilingualen Unterricht wird der Forderung nach einer entsprechenden Strategie (s.o.) dadurch begegnet werden, dass aktuell in der Diskussion befindliche Methodenwerkzeuge vorgestellt und in den Kontext des klassischen scaffolding eingebettet werden.

3 Code-Switching und *translanguaging*

3.1 Begriffsklärung

Die Bedeutung der L1-Aktivierung in bilingualen Settings rückt in der einschlägigen Forschung immer mehr in den Vordergrund, wobei auf die Begriffe Code-Switching und *translanguaging* rekurriert wird (vgl. z.B. Diehr/Rumlich 2021, Scholl/Schmelter 2021, Nikula/Moore 2019, Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016a, Baker/Wright 2017, Bohrmann-Linde 2016). Mit Mercado wird das Code-Switching als sprachliches Phänomen verstanden, das die Verwendung von zwei Sprachen innerhalb desselben Gesprächs bzw. derselben Sprachsituation beschreibt, wobei diese kulturell aufgeladen sein sowie pragmatische Zwecke erfüllen kann (vgl. Frisch 2016:89f, vgl. auch Baker/Wright 2017:98). Es ist also „ein Verhalten, das bei bilingualen Sprechern zu beobachten ist“ (Frisch 2016:89). In der Literatur werden weitere Bezeichnungen wie Code-Mixing und Code-Shifting geführt und voneinander abgegrenzt (vgl. Baker/Wright 2017:98ff, Frisch 2016:88ff). Dieses detaillierte Abgrenzen und Verwenden unterschiedlicher Begrifflichkeiten ist für die vorliegende Arbeit von nebensächlicher Bedeutung, so dass die allgemeinen Bezeichnungen Code-Switching, Kode-Wechsel oder Sprachwechsel verwendet werden, wenn in (unterrichtlichen) mündlichen oder schriftlichen Äußerungen sprachliche Wechsel von der einen Sprache in die andere stattfinden.

Die chemische Fachsprache ist auch von „Formelsprache“ (Bohrmann-Linde 2012:187, vgl. auch Strippel/Bohrmann-Linde 2018:243ff) geprägt, die sprachphilosophisch betrachtet die „Abbildung einer Spr[ache] in ein formales Zeichensystem“ (Prechtl 2016:206) ist. Sie dient u.a. dem Herstellen von Eindeutigkeiten und kann einen allgemein gültigen Charakter annehmen, da sie weltweit in der entsprechenden wissenschaftlichen Gemeinschaft rezeptiv und produktiv angewendet wird (vgl. Strippel/Bohrmann-Linde 2018:240f). In der auch als „Formelschreibweise“ (Bohrmann-Linde 2012:188) benannten chemischen Formelsprache wird eine Vielzahl von Aussagen verdichtet, die von der rezipierenden Person aufgeschlüsselt werden müssen. Folglich ist die Formelsprache eine Sprache für sich. Vor diesem Hintergrund ist also auch der Wechsel von einer Sprache, deren Bedeutung u.a. durch Worte transportiert wird, zu einer formelbasierten Sprache ebenfalls als Code-Switching kategorisierbar. Dies kommt also dem Kode-Wechsel zwischen zwei unterschiedlichen „communicative modes“ (García/Wei 2014:40) gleich. In dieser Arbeit wird der Kode-Wechsel in die Formelsprache aber nicht als Form des Code-Switching analysiert sondern, wenn nötig, herausgefiltert. Es kann nicht eindeutig identifiziert werden, ob die Formelsprache ein Indikator für das Fehlen eines L1- oder L2-Wortes ist, oder ob dies aus ökonomischen oder performativen Gründen geschieht. Die lernende Person könnte beispielsweise dem Leser kommunizieren wollen, dass sie durchaus über vielfältiges, ggf. vertieftes, chemisches Wissen verfügt.

Code-Switching wird in der einschlägigen Literatur im engen Zusammenhang mit *translanguaging* verwendet. Auf eine umfassende Darstellung des walisischen Konzepts des *translanguaging*, das auf Williams (1994) zurückgeht, oder des *classroom translanguaging*, das in walisischen Schulen zur Spracherhaltung der Minoritätensprache neben der Majoritätensprache Einsatz findet, wird hier verzichtet. Dasselbe gilt für das US-amerikanische *translanguaging*, mit dem am prominentesten die Namen García und Wei verbunden sind, denn auch dieser soziokulturell-linguistischen Sichtweise auf das Handeln bilingualer Personen könnte im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht genüge getan werden. Dafür bedürfte es einer klaren Darstellung und sorgfältigen Abgrenzung vom walisischen Modus – und auch dieses müsse sauber von dem eher linguistischen Phänomen des Code-Switching abgegrenzt bzw. die Integration des Phänomens Code-Switching als Teil von *translanguaging* detailliert aufgearbeitet werden, um jeweils klare Vorstellungen der drei Begriffe walisisches *translanguaging*, US-amerikanisches *translanguaging* und Code-Switching zu erhalten. Insofern genügt dem Autor im Zusammenhang des BU ganz pragmatisch das Verständnis von *translanguaging* als der „systematic shift from one language to another for specific reasons“, wie Coyle/Hood/Marsh (2010:16) es ausdrücken und worauf u.a. Bohrmann-Linde (2016:166f) oder Diehr (2016:31) sich jeweils ebenfalls verständigen. Detaillierte Auffächerungen und Vertiefungen zu den Termini sowie Ausführungen zum Verhältnis von Code-Switching und *translanguaging* finden sich in Lewis/Jones/Baker (2012), García/Wei (2014) sowie Baker/Wright (2017). Insofern wird in dieser Arbeit kein Unterschied zwischen *translanguaging* und

Code-Switching gemacht, weshalb Kode-Wechsel oder Code-Switching als Begriffe Anwendung finden.

3.2 Zwecke in Alltagssituationen und in bilingualen Sachfachunterricht

Kode-Wechsel erfüllen unterschiedliche Aufgaben in kommunikativen Situationen. Baker/Wright attestieren ihnen in den Alltag betreffenden Sprachsituationen 14 Funktionen. Dazu gehört das Stiften von Identität unter Sprechern gleichen kulturell-sprachlichen Hintergrunds, das Schaffen eines privaten Raumes in der L2 innerhalb einer von der L1 dominierten öffentlichen Sprechsituation oder auch das Versprachlichen von Konzepten, die nur in der betreffenden Sprache vorliegen (vgl. 2017:101-103). Damit gibt es Überschneidungen mit den von Pavlenko (2009) dargestellten Funktionen. Frisch arbeitet in einer Metastudie fünf zentrale Zwecke von bilingualunterrichtlichen Kode-Wechseln in der Schule heraus, die außerhalb des konkret geplanten Anbahnens der doppelten Sachfachliteratur relevant sind (vgl. Frisch 2016:92ff) und sich in den Beiträgen von Lehrenden und Lernenden finden. Tab. 1 gibt einen entsprechenden Überblick über Zwecke und konkrete Erscheinungsformen, die nicht immer zuvor geplanter, d.h. systematisch angelegter, Natur sein müssen (vgl. auch Lin 2013 für einen Forschungsüberblick zum Code-Switching in unterrichtlichen Situationen; vgl. Nikula/Dalton-Puffer/Llinares 2013, Zanoni 2018):

Tab. 1: Sprachwechsel im bilingualen Unterricht (vgl. Frisch 2016:93)

Kognitive Funktion	Kommunikative Funktion	Zeitökonomische Funktion	Affektive Funktion	Pädagogische Funktion
<ul style="list-style-type: none"> • Erwerb von Fachkonzepten (Einsicht in partielle und fehlende Konzeptäquivalenz in zwei Sprachen) • Aufbau von kulturbewusster Mehrperspektivität • Überwindung inhaltlicher Herausforderungen (z.B. Erklärung eines komplexen Konzepts in der L1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erwerb von Fachbegriffen und Fachsprache in zwei Sprachen • Überwindung fremdsprachlicher Herausforderungen (z.B. Bereitstellen des L1-Äquivalents oder Erklärung eines grammatischen Phänomens) • Zur Verständnissicherung 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterrichtsorganisation (z.B. Planung einer Exkursion; Erläuterungen zu Hausaufgaben) • Überwindung zeitlicher Engpässe 	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglichen eines emotionalen Zugangs zu einem Thema • Lerner trösten, ermuntern, bestärken 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz erzieherischer Maßnahmen

In den Bereichen der kognitiven und kommunikativen Funktion finden sich u.a. mit dem „Erwerb von Fachbegriffen und Fachsprache in zwei Sprachen“ genau auch der Zielbereich funktionaler Sprachwechsel, die von Lehrendenseite planvoll integriert werden sollen. Im Code-Switching besteht gerade für Lernende eine Möglichkeit, der Lehrkraft mitzuteilen, dass eine Vokabel fehlt und diese dann durch Einhilfen zu bekommen. Auf diese Weise kann die Kommunikation fortgesetzt und neues Vokabular angeeignet werden. Rymarczyks Beitrag steht stellvertretend für diesen Befund, stellt sie doch u.a. heraus, dass die Anzahl sprachlicher Gründe für den Kode-Wechsel, d.h. die fehlende Lexik der involvierten Sechstklässler*innen, die nichtsprachlichen übertraf (2012:123). Nichtsprachliche

Gründe konnten der affektiven oder kommunikativen Dimension zugeordnet werden: In der L1 drückten die SuS Gefühle aus oder führten informelle Austausche mit ihren Sitznachbarn (ibid.:122f).

Über die bei Baker/Wright (2017) und Frisch (2016) genannten Aspekte hinaus weist Bohrmann-Linde (vgl. 2013:289) für den Chemieunterricht darauf hin, dass das Code-Switching auch ein Indikator für inhaltliche Verständnisprobleme sein kann, die allerdings auch durch Verwendung des L1-Begriffes nicht gelöst werden können, weil das zu Grunde liegende Konzept nicht verstanden wurde (vgl. auch Bonnet 2012:210). Hier würde unmittelbar nach dem Sprachwechsel eine Unterbrechung des Gespräches beobachtbar sein. Bohrmann-Linde findet einen weiteren Anlass für den Sprachwechsel auf Lernendenseite: „spontane[] [SuS-]Äußerungen“ (2012:186).

Weiterhin untersuchten Geller/Tausch die Sprache von bilingual Lernenden in Phasen chemieunterrichtlichen Experimentierens, die in der vorliegenden Unterrichtssystematik in der L1 Deutsch stattfinden. In diesen muttersprachlichen Gesprächssituationen findet der Rückgriff auf die L2 deshalb statt, weil für die verwendete Formelsprache die Verknüpfung zum deutschen Fachterminus noch nicht ausreichend stark gefestigt ist (vgl. Geller/Tausch 2016:192). Es wird im Sinne Diehrs (vgl. Kap. 2.3) gedeutet, dass hier die Verknüpfung zwischen Formelsprache und L2-Wort stärker ausgeprägt ist.

3.3 Funktionale Sprachwechsel in der Unterrichtspraxis

Kode-Wechsel werden auch didaktisch motiviert eingesetzt. Damit soll es möglich sein, im Zuge von BU nach Typ B oder C die Schulsprache in den BU zu integrieren, so dass die doppelte Sachfachlateralität angemessen ausgebildet werden kann (vgl. z.B. Diehr 2016, 2012, Bohrmann-Linde 2016). Hierfür werden unterschiedliche praktische Vorschläge gemacht, die z.B. bei Bohn/Doff (2010), Bohrmann-Linde (2016), Diehr (2016), Gallagher/Colohan (2017), Heimes (2010) sowie, allgemein gesprochen, in den Sammelbänden von Diehr/Preisfeld/Schmelter (2016a) bzw. Diehr/Schmelter (2012) zu finden sind. Diehr/Preisfeld/Schmelter (2016b:11) oder Frisch (2016:97) stellen den für diesen Bereich noch großen Forschungsbedarf heraus – und das gilt folglich auch für den BU Chemie (vgl. Bohrmann-Linde 2016:167, 179).

4 Fachtermini als ein Element von Sachfachlateralität

4.1 „Fachliche Diskurskompetenz in zwei Sprachen“ und „doppelte Sachfachlateralität“

In den KMK-Vorgaben sind Anforderungen an bilinguale Lernarrangements in Deutschland formuliert. Es wird erwartet, dass sie eine „sachfachliche[] Kompetenz [aufbauen], die eine fachliche Diskurskompetenz in zwei Sprachen beinhaltet“ (KMK 2013:7, vgl. Zydati 2010a:262).¹⁸ An anderen Stellen wird von der Anbahnung einer angemessenen „doppelten Sachfachlateralität“ (Zydati 1997, zitiert nach Vollmer 2010a:56) bzw. „doppelte[n] Fachlateralität“ (Diehr 2016:57) gesprochen. Cotzee-Lachmann grenzt diese Begriffe voneinander ab:

Der Begriff ‚fachspezifische Diskurskompetenz‘ beschränkt sich auf die Fähigkeit der Lernenden, Sprache nach bestimmten Konventionen zu verwenden, um fachlich angemessene Bedeutung zu konstruieren. Im Gegensatz dazu umfasst fachspezifische Lateralität die Fähigkeit, alle sozial-semiotischen Systeme anzuwenden, die eine Fachgemeinschaft nutzt, um Bedeutung zu konstruieren. So benutzt das Fach Erdkunde neben Sprache zum Beispiel unter anderem auch Landkarten, Klimadiagramme und Luftaufnahmen. (Cotzee-Lachmann 2006:255)

¹⁸ Der Begriff Kompetenz wird hier mit Vollmer allgemein wie folgt verstanden: „Dem funktionalen Kompetenzbegriff von Weinert (vgl. 2011:21f.) zufolge sind Kompetenzen mehrfach dimensionierte Dispositionen eines Menschen, die einerseits Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten (also kognitive Potentiale) und andererseits Einstellungs- und handlungsbezogene Merkmale wie Erfahrungen, Motivationen, Absichten, Bereitschaft zum Handeln und soziale Aspekte umfassen. Sie befähigen einen Menschen, konkrete aber variable und komplexe ‚Anforderungssituationen eines bestimmten Typs zu bewältigen‘ (Klieme u.a. 2003:59)“ (Vollmer 2013:131).

Mithilfe des Zitats werden die Teilmengen von fachlicher Diskurskompetenz und (Sach-)Fachliteralität offenkundig: Rezeptives und produktives Verwenden von allgemeinsprachlichen und fachsprachlichen Elementen sind jeweils integrale Bestandteile. Ferner gehört dazu das Wissen um angemessenes Register, zielführende Anwendung von Diskursfunktionen und das Decodieren und/oder flüssige Produzieren verschiedener Textgattungen, deren Regeln nicht immer expliziter Natur sind (vgl. Schmelter 2016: 136f, Heine 2012:101f), so dass Zugriffe auf das „in den verschiedenen Wissenschaften produzierte Wissen“ und „Zugänge zu einem fachlich verankerten Verständnis von Lebenswirklichkeit“ (Zydati 2007) ermöglicht werden. Vor diesem Hintergrund gehört also der Umgang mit kontinuierlichen Textsorten zur Schnittmenge.

Der Umgang mit diskontinuierlichen Texten wie Diagrammen, dem Periodensystem der Elemente, Reaktionsmechanismen oder tabellarischen Übersichten wie Standardpotentialen würde dann nach Cotzee-Lachmanns Ausführungen (2006:255ff) in den Bereich der Sachfachliteralität fallen. Das Eingangszitat aus den KMK-Vorgaben kombiniert jedoch eine sachfachliche Kompetenz mit sprachlicher Kompetenz. Nach Vollmer setzt sich (Sach-) Fachkompetenz fachübergreifend aus

mindestens drei (miteinander interagierenden Dimensionen) [zusammen]: der inhaltlichen (dem vernetzten Fachwissen), der prozeduralen (der Fähigkeit, Denk- und Erkenntnisvorgnge erfolgreich zu strukturieren) und der sprachlichen Dimension (der Fähigkeit zur Versprachlichung, die für den Prozess der Wissensaneignung und Wissensartikulation konstitutiv ist). (Vollmer 2013:126)

Hieran wird deutlich, inwiefern die sachfachliche Kompetenz auch die Dimension der „[sach]fachliche[n] Diskurskompetenz“ (KMK 2013:7) enthält. Verbunden mit der Aussage, dass sich fachliches Lernen auch im erfolgreichen Umgang mit einer „Vielfalt semiotischer Bedeutungsträger“ wie „z.B. einer Grafik, einer Statistik, einem Bild oder einer Tabelle“ sowie „in chemischer Formelsprache“ (Vollmer 2013:127) bzw. im „Verständnis und Gebrauch der Formelschreibweise und von Reaktionsgleichungen [sowie im] Umgang mit dem Periodensystem“ (Bohrmann-Linde 2012:195) manifestiert, kann nun der Kreis geschlossen werden: Der Umgang mit diesen Bedeutungstrgern, die teils nichtkontinuierliche Texte sind, fällt dann sowohl in den Teilbereich der Sachfachliteralität als auch in den Teilbereich der mit Sachfachkompetenz verschränkten sachfachlichen Diskurskompetenz. Es geht hier also insgesamt um den fachspezifisch eingebetteten, kompetenten Umgang mit der jeweils benötigten Sprache. Dies ist also eine besondere Form der Sprachkompetenz, die mit Inhaltskompetenzen verschränkt ist (vgl. Heine 2012:98f), oder, in den Worten von Hallet:

Der literacy-Begriff [...] [verstanden] im weiten, angloamerikanischen Sinn als grundlegendes, kulturelles Können und Wissen, signalisiert, dass die basale Lesefähigkeit dafür unverzichtbar ist, aber auch, dass es um ganz andere, komplexere, lebensweltlich relevante und diskursiv gefasste Kompetenzen geht. Es ist daher sinnvoll, diesen allgemeinen Kompetenzbegriff, der literacy im umfassenden Sinn als (fremd)sprachliche Diskursfähigkeit und kulturelle Partizipationsfhigkeit auffasst [...], aufzuschlüsseln. (Hallet 2009:64)

Vollmer (2010a) verweist darauf, dass Zydati bereits in Überlegungen zum bilingualen Unterricht in der Primarstufe den Begriff der doppelten Sachfachliteralität verwendet. Damit diese erreicht wird, seien „vielfältige[] Sprachlehrhandlungen im Rahmen des zweisprachigen Lernens [vonnöten]“ (Vollmer 2010a:56). Das folgende Zitat verdeutlicht in kondensierter Weise, was allgemein für das Unterrichten von Sachfachliteralität von der Lehrkraft erfordert wird:

Das wissenschaftlich fundierte Fachwissen und –können der heutigen [Schul-]Curricula wird diskursiv und kumulativ aufgebaut; d.h. didaktisch reflektierte Lernarrangements entwickeln die basalen Konzepte und Kategorien, die Denkweisen und Wege der Erkenntnisgewinnung sowie die Diskursgepflogenheiten und Urteils Kompetenzen des jeweiligen Faches in systematischer und (hoffentlich) nachhaltiger Weise. Fachwissen erschöpft sich nicht in der Fachterminologie.

Das gemeinsame Merkmal der oben erläuterten Konstrukte ist die Spezifik der diskursiv-kognitiven Verarbeitung der fachlichen Inputressourcen, aber auch der von den Lernenden geforderten fachkommunikativen Outputleistungen. Die Fachkommunikation verlangt die

intellektuell anspruchsvolle Fähigkeit, mit (in situativer Hinsicht) kontextreduzierter, objektsprachlich expliziter, textgebundener und rhetorisch wie semantisch durchstrukturierter Sprache umgehen zu können und zwar zum Zweck eines individuellen Wissens- und Könnenserwerb. (Zydati 2010a:262)

Diese Ausführungen lösen Hallets oben erwähnte Forderung des inhaltlichen Darlegens der Begriffe literacy bzw. Sachfachlitalität ein, bleiben dabei indes eher allgemeiner Natur. Es wird jedoch einerseits deutlich, dass es um aktive Sprach- und Textverarbeitung im rezeptiven wie produktiven Sinne geht, deren Gepflogenheiten durch dem Fach inhärente Konventionen, denen eine eingeweihte community folgt, vorgegeben sind. Auf den ersten Blick mag die kulturelle Dimension für das Sachfach Chemie nicht offenkundig sein, doch mit Bonnet (2012:206) gesprochen bietet jedes Sachfach eine interkulturelle Erfahrung, denn wie andere Sachfächer auch greift das Fach Chemie in einer ihr eigenen Weise auf die Welt zu und nutzt dabei spezifische Methoden und sprachliche Mittel. So wird ein qua Sprache vermitteltes Bild der Welt ausgehandelt, das durch die fachspezifischen Herangehensweisen bedingt wird. Laut Bonnet kann somit die kulturelle Dimension als eingelöst betrachtet werden.

Zur unterrichtlichen Umsetzung gehört dann auch das Verwenden der so genannten Operatoren, die in ihren Anforderungen verstanden und sprachlich realisiert werden müssen (vgl. Heine 2012:101f). Andererseits hebt Zydati hervor, dass es durch das Fach vorbestimmte Funktionen von Sprache gibt, die die für das Fach unerlässlichen Denkopoperationen kommunizieren. In diesem Sinne gibt es Überschneidungen mit den sprachlichen Mitteln, die für die fachspezifischen Vorgehensweisen vonnöten sind. Überdies geht es um die Realisierung der so genannten akademischen Diskursfunktionen (vgl. Zydati 2017:299), mit Dalton-Puffer (2013:217) auch als kognitive Diskursfunktionen (cognitive discourse functions, CDF) verstanden, die je Fach unterschiedlich bedeutsam sind und ihren Ursprung im kommunikativen Fremdsprachenunterricht haben (vgl. z.B. Schmenk 2017, McKay 1980). Mit ihrer Hilfe werden sowohl kognitive Dimensionen, d.h. die so genannten Bloomschen Taxonomien (vgl. Barke/Harsch/Marohn et al. 2015:71) versprachlicht, als auch eine gewünschte fremdsprachliche Handlungsfähigkeit realisiert (vgl. Lütge 2017:118, Schmenk 2017:162) und es wundert nicht, dass Linguisten mehr als 300 unterschiedliche Sprachhandlungskategorien identifiziert haben, die u.a. das Äußern von unterschiedlichen Auffassungen, das freundliche Bitten, das Treffen von Voraussagen, das Formulieren von Empfehlungen oder das Unterbreiten von Vorschlägen umfassen (vgl. McKay 1980:180-183, vgl. auch den Anhang in Zydati 2007:447ff). Dalton-Puffer kristallisiert in einer Typologie sieben Kategorien heraus (Classify, Define, Describe, Evaluate, Explain, Explore, Report), die durch performative Verben umgesetzt werden, heraus (vgl. Dalton-Puffer 2013:235f). Bonnet (2012:210) stellt hier insbesondere das Vergleichen, Beschreiben, Schlussfolgern und Bewerten als bedeutsam für naturwissenschaftliche Fächer heraus. Dadurch, dass der unterrichtliche Umgang mit Diskursfunktionen immer auch Inhaltliches transportieren muss, wird die Verschränkung von Sprache und Inhalt offenkundig.

Heine (2012) klagt an, dass „[i]n keinem fachlich ausgearbeiteten Kompetenzmodell für ein Sachfach in der Schule [...] momentan genaue Vorstellungen darüber [bestehen], wie sprachliche Lernziele genauer gefasst werden können, noch, wie sie im Einzelnen angebahnt werden sollen“ (ibid.:95). Die Bedeutsamkeit von Sprache wird zwar betont, allerdings wird nicht konkretisiert, wie „fachspezifische Sprache zu fassen ist, wie sie mit anderen Kompetenzbereichen in Beziehung steht und wie sie ausgebildet werden soll“ (ibid.). Dabei sind einerseits fachsprachliche Besonderheiten wie 1. eine fachspezifische Terminologie (Lexik), 2. spezifische Wortstrukturen (Morphosyntaktik), d.h. Nominalisierung, Komposita, Abstrakta, und 3. komplexe Satzstrukturen zu berücksichtigen, die zu einer Verdichtung der sachfachlichen Informationsfülle führen (ibid.:97).

Abgesehen von der Ebene der Wörter und Satzstrukturen müssen auch größere sprachliche Zusammenhänge berücksichtigt werden. Neben der Ministruktur der Wörter und Satzstrukturen sei der Umgang mit Mini-Genres (d.h. „rhetorische Strukturen, die Fachgemeinschaften nutzen [...], wie zum Beispiel Definitionen, Beschreibungen, Erklärungen und Argumentationen“ (Cotzee-Lachmann 2006:259)) und Genres (d.h. fachspezifischen Textsorten bzw. Gattungen „wie zum Beispiel Labor- und Feldberichte“ (ibid.)) zu integrieren (vgl. Heine 2012:98f). Anhand der Analyse eines Klimadiagrammes im Erdkundeunterricht legt Heine offen, welche Wissensbestandteile konkret zur Bewältigung der

analytischen Aufgabe notwendig sind (2012:100ff) und stellt heraus, dass einige Lernende innerhalb und außerhalb bilingualer Lernarrangements daran scheitern und fachlich als weniger kompetent eingeschätzt werden müssen, weil sie die etablierten Konventionen ignorieren (ibid.:102 unter Rückgriff auf Cotzee-Lachmann 2009). Als Konsequenz daraus entwickelt Heine Aufgaben, mittels derer eine Bewusstheit hierfür und für die Bedeutung der fachspezifischen Terminologie mit Lernenden erarbeitet werden kann (vgl. 2012:104-106).

4.2 Sachfachliteralität im Chemieunterricht

In der Chemie findet sich ebenfalls eine Vielzahl an Mini-Genres: Hier sind Formulieren von Vermutungen, Hypothesen, (sich an den sinnlichen Wahrnehmungen orientierenden) Beobachtungen und Beschreibungen oder das Versprachlichen von Deutungen zu nennen (vgl. Bohrmann-Linde 2012:184). Ein Blick in ein aktuelles Schulbuch (vgl. Bohrmann-Linde/Siehr/Kröger 2020) und in Forschungsliteratur (vgl. Bohrmann-Linde 2016, Bohrmann-Linde/Strippel 2018, Polias 2016) gibt Einblicke in die unterschiedlichen Genres wie z.B. Versuchsprotokolle erstellen, (Energie- oder Konzentrations-Zeit-) Diagramme beschreiben und auswerten, argumentative Bewertungen verfassen, wissenschaftliche Poster präsentieren oder sachliche Diskussionen führen. Die unterschiedlichen Arten von Protokollen machen deutlich, dass es überdies Sub-Genres gibt, zu denen die Erwartungen an die Schülerschaft wiederum unterschiedlich ausfallen. Obwohl der Chemieunterricht klassischerweise als so genanntes mündliches Fach gilt (vgl. Bohrmann-Linde/Strippel 2018:709), weist er dennoch einige Standardsituationen des schriftlichen Sprachgebrauchs auf.

Bezüglich der chemiespezifischen Fachsprache ist zu konstatieren, dass neben einer fachspezifischen Terminologie auch eine international verständliche Formelsprache vorherrscht (vgl. z.B. Bohrmann-Linde 2012:188f), mit der Wissensbestandteile kommuniziert werden können. Aufgrund ihres allgemeinen Charakters kann sie mit der jeweiligen Landessprache versprachlicht werden. Ferner werden durch sie makroskopische und submikroskopische Vorgänge und Verhältnisse abzubilden versucht, wie es im Dreieck von Johnstone bzw. Tetraeder von Mahaffay dargestellt wird (vgl. Bohrmann-Linde 2012:174ff, Sumfleth/Nakoinz 2019:232ff). Sie wird ausdrücklich in den Bildungsstandards eingefordert und „stellt die formalste und exakteste verbale Ausdrucksweise für chemische Inhalte dar“ (Strippel/Bohrmann-Linde 2018:240). Wie Heine (s.o.) konstatiert auch Özcan, dass es „keine klare Definition zur Identifikation von chemischen Fachbegriffen gibt“, sondern dass die jeweilige Festlegung durch eine Übereinkunft von Expertenbewertungen geschaffen wird (2012:20, vgl. auch Voß/Wagner 2021). Allerdings sind Fachbegriffe „an integral part of subject learning“ (Gablasova 2015:62) und deshalb ein bedeutsames Kennzeichen von Sachfachliteralität (vgl. auch Heine 2014:230f, insb. bzgl. „subject-specific linguistic competence“). Sie ist ferner im Bereich der CALP zu verorten und, wie die Bildungssprache¹⁹ (academic language), ein zentrales Ziel von Unterricht (vgl. Vollmer/Thürmann 2013:41ff, Heine 2014:230f, 2012:106). Bildungssprache und Fachsprache finden sich auf der einen Seite eines konstruierten Register-Kontinuums, während die Alltagssprache sich auf der gegenüberliegenden befindet (vgl. Polias 2016:95). Eine ähnliche Konstruktion, allerdings anhand von vier Quadranten, wird von Cummins bei der Verortung von BICS und CALP vorgenommen (vgl. z.B. Coyle/Hood/Marsh 2010:42f, Baker/Wright 2017:161ff).

Der zu verwendende Wortschatz im Chemie ist laut Bonnet von den folgenden Einflüssen geprägt: „[c]hemische Fachbegriffe im engeren Sinne, Farben, geometrische Formen, Geräusche, Gerüche,

¹⁹ Vollmer/Thürmann weisen darauf hin, dass es keine einvernehmliche Definition von Bildungssprache gibt, obwohl Bemühungen um das Zusammenstellen von konsensfähigen Merkmalen getätigt werden (2013:43; vgl. Coxhead 2020:99). In Ihrem Beitrag von 2013 erkunden Sie den Begriff von verschiedenen Seiten. Online-Analysewerkzeuge von schriftlich vorliegender englischer Sprache wie der Lextutor/VocabProfiler greifen zur Einordnung der produzierten Wortqualität auf eine *academic word list*, AWL, zurück. Diese wurde von Coxhead im Jahr 2000 auf Basis von 570 Wortfamilien erstellt, die im alltagssprachlichen Gebrauch absent, jedoch häufig in Texten verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen auftauchen (vgl. Coxhead 2011; zur kritischen Auseinandersetzung mit der AWL sei auf Durrant 2014 verwiesen). Seitdem sind weitere Wortlisten mit bildungssprachlichen Ausdrücken zusammengestellt worden, von denen manche auf der AWL aufbauen (vgl. z.B. Coxhead 2020:100f).

Laborgeräte, Oberflächen, Temperaturen“ (2012:213). Die Aufzählung zeigt, dass auch der Alltagssprache eine bedeutende Rolle zukommt. Die chemische Fachsprache an sich ist „im Wesentlichen lateinischen Ursprungs und es [gibt deshalb] viele Ähnlichkeiten zwischen den deutschen und englischen Fachbegriffen“ (Bohrmann-Linde 2012:183, vgl. auch die Ausführungen zu Kognaten in Kapitel 14.5.1).

Fach- und Formelsprache wird von Lernendenseite als schwierig angesehen und einschlägige Studien weisen Schwierigkeiten beim Erwerb der jeweiligen Sprache nach, wobei auch Gründe im didaktischen Gang, d.h. der systematischen, kumulativen Einführung von Fachtermini, gesehen werden (vgl. Parchmann/Bernholt 2013:245ff). Auch das Verfassen von klassischen Textgattungen wie Protokollen sorgt für unterrichtliche Schwierigkeiten: Es kann mit Motivationsverlusten einhergehen, denen manche Unterrichtende mit neuen Gattungen entgegen treten. Auf diese Weise werden jedoch integrale fachbezogene Kommunikationssituationen umgangen. Weil in der Gattung Protokoll sowohl der intensive Umgang mit Fach- und Sprachinhalten verlangt wird, schlagen Parchmann/Bernholt vor, diese zwei Anforderungen für schwächere Lernende zu entzerren (2013:247ff). Vor diesem Hintergrund leuchten Förderungsmaßnahmen fachsprachlicher Fähigkeiten sowohl auf Wort- als auch auf Textebene ein – und diese wiederum rezeptiv und produktiv (vgl. für den Chemieunterricht z.B. Bohrmann-Linde 2018, 2019, Bohrmann-Linde/Strippel 2018, Strippel/Bohrmann-Linde 2018, Busch 2012, Leisen 2013, Parchmann/Bernholt 2013, Özcan 2013, Sumfleth/Kobow/Tunali et al. 2013, vgl. Maßnahmen in Schulbüchern wie Bohrmann-Linde/Siehr/Kröger 2020, vgl. z.B. das Themenheft Fachsprache NiU 173). Diese finden auch im Zuge des allgemeinen Scaffolding für monolingualen oder BU statt (vgl. z.B. Bohrmann-Linde 2016, Leisen 2013, 2015a-b, Thürmann/Krabbe/Platz et al. 2017, Ulrich 2013, Vollmer 2010a-b, Vollmer/Thürmann 2013, Zydatis 2017).

Vor dem Hintergrund dieser unterschiedlichen Anforderungen an die rezeptiven und produktiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, leuchtet das Anmahnen einer „sprachlichen Schwellenkompetenz“ für den BU (Breidbach 2006:11, zitiert nach Bohrmann-Linde 2012:189) ein. Jedoch verweist Bohrmann-Linde auf die bereits in weiten Teilen vorhandene fremdsprachliche Kompetenz der SuS, über die sie mit Einsetzen des Chemieunterrichts in Klasse 7 bereits verfügen, so dass das Problem der Schwellenkompetenz im Chemieunterricht „recht klein“ (ibid.) sei.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Ausführungen sowohl für monolinguale als auch bilinguale Lehr-Lern-Situationen gelten. Hierbei wird englischen Fachtexten eine geringere Komplexität und somit eine bessere Zugänglichkeit zugeschrieben als deutschen (vgl. Siepmann 2010:580, zitiert nach Plag 2011:371). Dies ist ein Befund, der Gegenstand von wissenschaftlichen Diskussionen geworden ist (vgl. ibid.).

5 Sachanalyse: Die natürlichen Vorbilder des PBB-Experiments

5.1 Photosynthese

Die Photosynthese wird als „biochemisch wichtigste Reaktion auf unserem Planeten“ (Tausch 2019:22) angesehen. Autotrophe Organismen wandeln dabei eingestrahktes Sonnenlicht in chemische Energie um und speichern sie in energiereichen Verbindungen. Vom auf die Erde einstrahlenden Sonnenlicht werden lediglich etwa zwei bis fünf Hundertstel Prozent im Zuge von Photosynthese-Prozessen in chemische Energie umgewandelt, was in etwa einem jährlichen Biomasseaufbau von etwa 700 Milliarden Tonnen Biomasse entspricht. Dadurch werden in derselben Zeitspanne 1,2 Billionen Tonnen Kohlenstoffdioxid photochemisch fixiert und 900 Milliarden Tonnen Sauerstoff generiert. Auf eine 115jährige Buche bezogen bedeutet das: „Ein solcher Baum hat ca. 200 000 Blätter mit einer Gesamtoberfläche von 1200 m², die insgesamt ca. 180 g Chlorophylle enthalten. Er bindet an einem Sonnentag 9,3 m³ Kohlenstoffdioxid unter Bildung von 12 kg Kohlenhydraten und setzt dabei 9,3 m³ Sauerstoff frei“ (ibid.:22). Von zentraler Bedeutung für diesen massenhaften Stoffumsatz dieses einen Baumes ist eine vergleichsweise geringe Masse an Chlorophyllen, die in etwa der Masse einer handelsüblichen Tüte Gummibärchen entspricht.

5.1.1 Ausgewähltes zur Pflanzenmorphologie

Die Photosynthese findet in Chloroplasten statt, dem Ort der Chlorophylle, die hauptsächlich im Inneren des Blattgewebes in Mesophyllzellen verortet werden können. Sie hängt von zwei Photosystemen (PS), PS II und I ab, die in die Membran der Thylakoide eingebettet sind. Diese befinden sich im Inneren der Chloroplasten, von denen etwa 30 bis 40 in einer Mesophyllzelle versammelt sind, und diese wiederum setzen sich zu einem „ausgefeilte[n] System aus miteinander verbundenen Membransäckchen“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:254) zusammen. Die gefalteten und eingebuchteten Thylakoide bestehen prinzipiell aus einer Thylakoid-Membran und einem als Thylakoid-Lumen bezeichneten, mit Flüssigkeit gefüllten, Innenraum. Umgeben sind die Thylakoide vom Stroma, der Zellflüssigkeit. Die Thylakoide sind oftmals zu Körnchen, Grana, gestapelt. Stomata (Spaltöffnungen) erlauben den Gasaustausch zwischen Blattinnerem und Blattumgebung, so dass Kohlenstoffdioxid aufgenommen und Sauerstoff abgegeben werden kann. Wasser und wasserlösliche Stoffe gelangen u.a. mittels Blattadern in die Blätter, in die Wurzeln und in andere Pflanzenteile, die keine Photosynthese betreiben (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:252ff).

Ausgehend von der makroskopischen Ebene über die mikroskopische Ebene vollzieht Schmitz (2020, vgl. Abb. 5) ein Hineinzoomen in die modellierte submikroskopische Ebene der Chloroplasten, die in der darauf folgenden Modelldarstellung weiter konkretisiert und detailreich ausgebaut wird. Hier wurde das Beispiel einer Moospflanze verwendet. Die jeweiligen kreisrunden bzw. rechteckigen Einrahmungen leiten den Blick der betrachtenden Person und verdeutlichen, welcher Ausschnitt weiter vergrößert wird. In der Photographie auf der linken Seite ist die Moospflanze an sich abgebildet. Ein Ausschnitt aus der grünen Beblätterung wird vergrößert und man erkennt mittels dieser Mikroskop-Aufnahme die im Moospflanzenblatt befindlichen Mesophyllzellen mit einer Vielzahl an Chloroplasten. Innerhalb der Chloroplasten sind schon jetzt die Grana als grüne Punkte sichtbar. Nun wird ein Chloroplast vergrößert und modelliert. Dargestellt sind, unter anderem, einzelne Grana, d.h. die gestapelten Thylakoide, und auch ein Stärkekorn. Eine weitere Vergrößerung fokussiert auf ein Granum, das in aufgeschnittener Form u.a. Einblicke in die Lipid-Doppelschicht mit integriertem Photosystem bietet. Ein verbindendes Merkmal zwischen dieser vierten Darstellung und der ersten Darstellung ist der rote Pfeil, der einstrahlendes Sonnenlicht simuliert, das nicht wahllos im Moosblättchen absorbiert, sondern, im Gegenteil, ganz spezifisch im Photosyntheseapparat absorbiert wird.

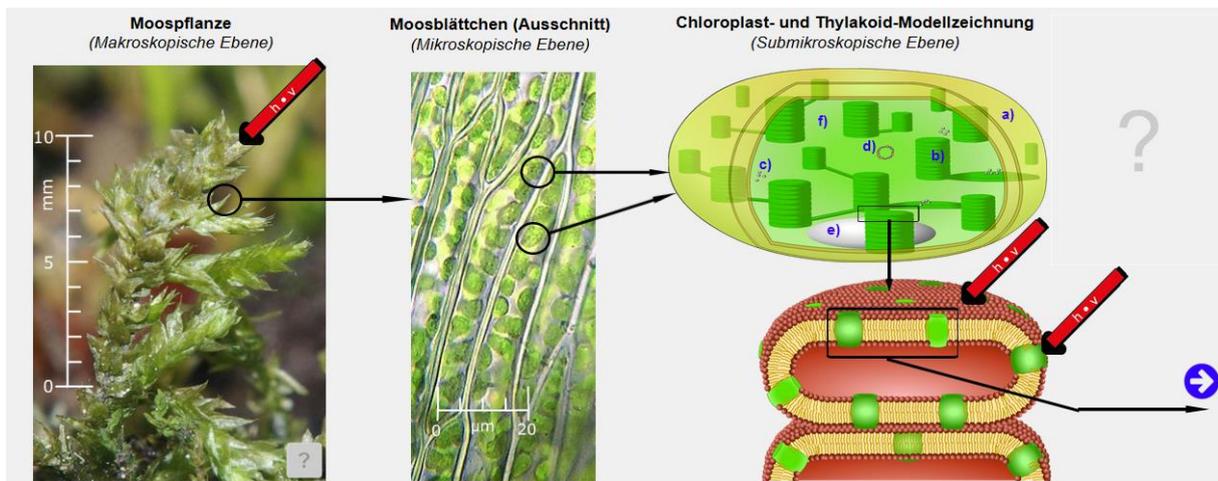


Abb. 5: Moospflanzen-Blättchen: makroskopisch, mikroskopisch und modellhaft submikroskopisch; Quelle: Schmitz (2020)

Eine weitere Vergrößerung wird im nächsten Schritt (vgl. Schmitz 2020) angegangen. Sie nimmt in modellierter Weise den Photosyntheseapparat in den Blick. Der weiße Pfeil auf blau-violett gefülltem kreisrunden Hintergrund (Abb. 5, rechts) führt die betrachtende Person zur Visualisierung der Verhältnisse innerhalb einer Membran und der von ihr abgetrennten Bereiche (vgl. Abb. 6):

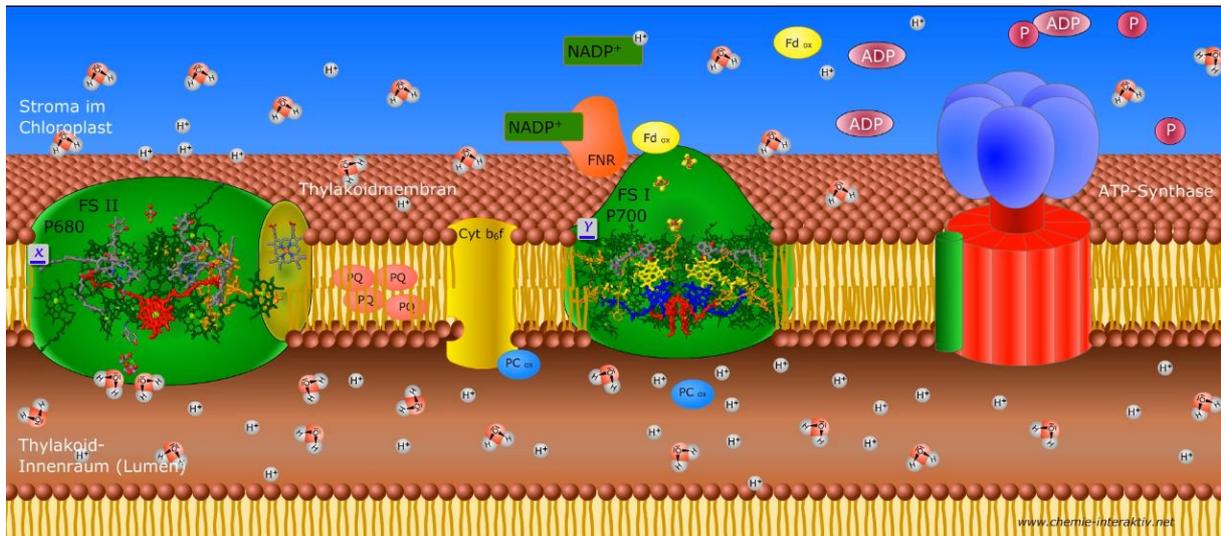


Abb. 6: Modellhafte Darstellung der Thylakoidmembran mit PS II und PS I nach Schmitz (2020)

Abb. 6 zeigt den Ausschnitt der Thylakoid-Membran mit den hier als FSII und FS I abgekürzten und grün eingefärbten Photosystemen PS II und I. Dazwischen befindet sich in gelber Farbe der transmembrane Cytochrom b₆f-Proteinkomplex und rechts in rot und blau die ATP-Synthase. Oberhalb der Membran ist der Bereich des Stromas (hier blau), unterhalb derjenige des Lumens (braun) illustriert. Auf weitere Erläuterungen und Versprachlichung des Abgebildeten wird an dieser Stelle verzichtet, da die einzelnen Prozessschritte der Photosynthese erst im Folgenden erläutert werden.

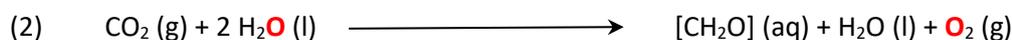
5.1.2 Ein bedeutsamer Teilprozess: Die Wasseroxidation

Diesen Teilprozess der Lichtreaktion kann man als Ausgangspunkt der Elektronentransportkette auffassen. Neben Elektronen werden Protonen generiert und es wird der Ursprung des bei der Photosynthese entstehenden Sauerstoffs deutlich. Dieser Teilprozess wird nun vor der Beschreibung der lichtinduzierten Prozesse dargelegt, um die darauf folgenden Ausführungen besser verstehen zu können, denn dort wird auf die Wasseroxidation verwiesen werden – ein Exkurs an der Stelle wäre zu umschweifig und würde den dort skizzierten, zentralen Gedanken der Elektronentransportkette unterbrechen.

Bei der Wasseroxidation werden vier Elektronen und vier Protonen aus zwei Wasser-Molekülen gewonnen, wobei ein Sauerstoff-Molekül als Nebenprodukt entsteht (vgl. Weitze/Tran/Dau et al. 2020:5):



Die entsprechende Änderung der Oxidationszahl an den kovalent gebundenen Sauerstoff-Atomen in Wasser- bzw. Sauerstoff-Molekülen liegt bei -II bzw. 0 und entspricht einer Oxidation. Aus der Reaktionsgleichung ist deutlich ablesbar, dass Sauerstoff-Moleküle aus den Wasser-Molekülen stammen und nicht etwa aus Kohlenstoffdioxid-Molekülen. Dieses wurde per Markierung der Edukt-Wasser-Moleküle mit O¹⁸-Sauerstoff-Isotopen nachgewiesen. Das wird in der folgenden Reaktionsgleichung deutlich, die die Herstellung einer allgemeinen Kohlenhydrat-Einheit, [CH₂O] (aq), abbildet. Rot hervorgehoben sind die markierten Sauerstoff-Isotope (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:252ff; Aggregatzustände hinzugefügt):



Auch die Gegenprobe wurde durchgeführt: Eine Markierung der Sauerstoff-Atome in den Kohlenstoffdioxid-Eduktmolekülen bestätigte obigen Befund.

Deutlich wird dieser Sachverhalt auch innerhalb von Purpurschwefelbakterien, die an Stelle von Wasser-Molekülen Schwefelwasserstoff-Moleküle verstoffwechseln und als Abfallprodukt elementaren Schwefel abscheiden, was als gelbe Schwefelkörnchen sichtbar wird (vgl. *ibid.*; Aggregatzustände hinzugefügt; Verwendung von Cycloocta-Schwefel, $S_8(s)$, an Stelle von „ S_2 “):

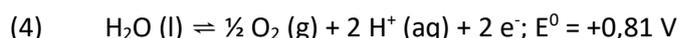


5.1.3 Die grundlegenden lichtgetriebenen Reaktionen der Photosynthese

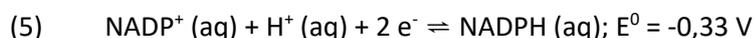
Die Photosynthese kann in Lichtreaktion und Calvin-Benson-Zyklus (Dunkelreaktion) unterteilt werden. Prinzipiell liefert die Lichtreaktion Nicotinamid-adeninucleotid-phosphat- (hier reduzierte Form NADPH) und Adenosintriphosphat-Moleküle (ATP), die im gekoppelten Calvin-Benson-Zyklus als Energiequelle bzw. Phosphorylierungsmittel (ATP) und als Reduktionsmittel (NADPH) Verwendung finden. Das übergreifend bedeutsame Produkt des Calvin-Benson-Zyklus sind sechs Glycerinaldehyd-3-phosphat-Moleküle (G3P), d.h. C3-Kohlenhydrate. Von den sechs pro Zyklusdurchlauf gebildeten G3P-Molekülen wird nur eines weitere Metabolismusschritte durchlaufen und daherfinal am Aufbau von Hexosen benötigt werden (vgl. *ibid.* 2019:251ff).

5.1.4 Die Lichtreaktion: Der Photo-Teil der Photosynthese

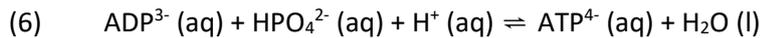
Die Photosynthese läuft im Photosyntheseapparat ab, der sich über zwei auf Proteinen basierenden Photosysteme (PS), PS II und PS I, erstreckt. Gemeinsam ist diesen Photosystemen der jeweils etwas unterschiedlich aufgebaute Lichtsammelkomplex, in dessen Mitte das aus zwei Chlorophyll a-Molekülen bestehende Reaktionszentrum sitzt. In den kooperierenden Photosystemen finden jeweils die entscheidenden lichtinduzierten Vorgänge statt, die folgende Resultate erbringen: Im PS II werden durch photochemische Prozesse Elektronen bereitgestellt, die unter anderem über den Cytochrom- b_6/f -Proteinkomplex zum PS I transportiert werden. Erstens entstehen dadurch Elektronenlücken im Reaktionszentrum des PS II. Diese werden durch den Vorgang der Wasseroxidation ausgeglichen. Zweitens entstehen während dieses Vorgangs neben den Elektronen auch Protonen und elementarer Sauerstoff gemäß Reaktion (4) (siehe auch (1) oben). Dieser Prozess findet im Thylakoid-Lumen statt (vgl. Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:131ff):



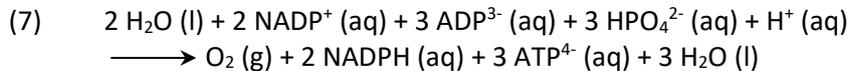
Im PS I werden durch lichtinduziert Prozesse ebenfalls Elektronen bereitgestellt, die für die reduktive Umsetzung von NADP^+ zu NADPH benötigt werden, vgl. Reaktion (5). Diese Reaktion findet im Stroma statt. Durch das Bereitstellen von Elektronen im PS I entstehen Elektronenlücken im PS I-Reaktionszentrum, die durch die Elektronen aus PS II geschlossen werden (vgl. *ibid.*).



Formal kann man nun von einem linearen Elektronentransport ausgehend von Wasser-Molekülen zur oxidierten Form des Nicotinamid-adeninucleotid-phosphat-Moleküls sprechen. Der Prozess geht mit einer Veränderung der Protonenkonzentration im Lumen und im Stroma einher. Während im Lumen durch Reaktion (4) die Protonenkonzentration erhöht wird, fällt die Protonenkonzentration im Stroma aufgrund der Reaktion (5), was insgesamt in einem derartigen Protonenkonzentrationsunterschied resultiert, der die Energie für eine Rotation (aufgrund einer Konformationsänderung) des Proteins ATP-Synthase bereitstellt. Diese ist wie die Photosysteme ebenfalls in der Thylakoid-Membran lokalisiert. Die Bedeutung der ATP-Synthase-Rotation liegt in ihrer Kopplung mit der Synthese von ATP-Molekülen aus ADP-Molekülen nach folgender Reaktionsgleichung (6) (vgl. Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:131ff):



Die stoffliche Gesamtbilanz der Lichtreaktion ergibt sich wie folgt in (7) (vgl. z.B. Kremer/Tausch 2019:16):



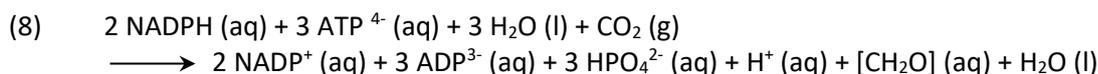
Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Lichtreaktion auch im Zuge eines zyklischen Elektronentransports stattfinden kann, bei dem alle Reaktionen lediglich vom PS I ausgehen und kreisförmig über den Cytochrom-b₆f-Komplex zum PS I zurückkehren. Hier finden folgerichtig weder Wasseroxidation noch NADPH-Synthese statt, wohl aber wird wiederum eine protonenmotorische Kraft erzeugt, die die ATP-Synthase in die Lage versetzt, ATP-Moleküle zu produzieren. Diese nicht-linearen Vorgänge findet man in Photosynthese betreibenden Bakterien oder auch in manchen Pflanzen. Bei starker Lichtaussetzung resultiert das Ablaufen dieses Vorgangs darin, dass Schäden des Pflanzengewebes vermieden werden.

5.1.5 Der Calvin-Benson-Zyklus: Der Synthese-Teil der Photosynthese

Hier wird auf den Begriff Dunkelreaktion verzichtet, da der Zyklus direkt mit der Lichtreaktion gekoppelt ist und deshalb auch vom Tageslicht abhängig ist. Natürlich läuft er ohne direkte Lichtbeteiligung ab. Allerdings erhöht die Lichteinwirkung die Effektivität des aktiven Zentrums im RubisCO, jenem Enzym, das für die Fixierung von Kohlenstoffdioxid-Molekülen verantwortlich ist und den ersten Schritt des Synthesekreislaufes zur Herstellung von C₃-Kohlenhydraten darstellt.

Der Calvin-Benson-Zyklus läuft im Stroma der Chloroplasten ab und wird in drei Unterkategorien eingeteilt. Erstens läuft die Kohlenstoff-Fixierung ab, bei der unter enzymatischer Einwirkung der Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/Oxygenase (RubisCO) ein Kohlenstoffdioxid-Molekül auf ein Ribulose-1,5-bisphosphat-Molekül übertragen (RuBP) wird. Dieses instabile Intermediat zerfällt in zwei 3-Phosphoglycerat-Moleküle (C₃-Körper). Hieraus werden im zweiten Schritt, dem der Reduktion, in aufeinander folgenden Schritten G3P-Moleküle (Glycerinaldehyd-3-phosphat-Moleküle) aufgebaut. Dabei wird ATP in ADP unter Phosphorylierung von 3-Phosphoglycerat-Molekülen zu 1,3-Bisphosphoglycerat-Molekülen umgesetzt, wobei letztere von NADPH-Molekülen zu Glycerinaldehyd-3-phosphat-Molekülen reduziert werden, was auch mit einer De-Phosphorylierung einhergeht. Der reduktive Schritt allerdings liegt darin, dass die Carboxylgruppen in den Eduktmolekülen zu Aldehydgruppen umgesetzt, d.h. reduziert, werden (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:267ff).

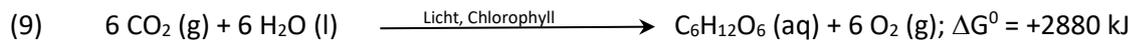
Der letzte Teilschritt umfasst die Regeneration des Kohlenstoffdioxid-Akzeptors RuBP, in dessen Zuge ATP-Moleküle zu ADP-Molekülen umgesetzt werden. Zusätzlich wird eine Reihe an G3P-Molekülen verwendet: Die vorherigen Schritte haben sukzessive insgesamt sechs G3P-Moleküle hervorgebracht, von denen lediglich eines als für andere metabolische Zwecke verwendbares organisches Produkt des Calvin-Benson-Zyklus bezeichnet werden kann, denn die fünf restlichen werden für die RuBP-Regeneration benötigt. Zusammenfassend kann die Dunkelreaktion wie in Reaktion (8) dargestellt werden, wobei hier wiederum auf die allgemeinen Kohlenhydrateinheiten, [CH₂O] (aq), zurückgegriffen wird (vgl. Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:131ff):



Aus einer Vielzahl von Durchläufen resultieren G3P-Molekülen, die in Hexosen umgewandelt und für verschiedene organismusdienliche Zwecke zur Verfügung stehen, wobei es Speicherformen wie Stärke-Moleküle oder Transportformen wie Glucose-Moleküle gibt.

Die beiden Großprozesse der Photosynthese resultieren in der bekannten, stark vereinfachten Grundgleichung für die Photosynthese: „Die in Wahrheit sehr differenzierte Folge von chemischen

Reaktionen lässt sich als Summengleichung wie folgt zusammenfassen“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:254, vgl. auch Tausch/von Wachtendonk 2007:95):



5.1.6 Fokus auf lichtinduzierte Prozesse: Vorgänge im Photosyntheseapparat

In PS II und PS I finden lichtinduzierte Reaktionen statt. Beiden ist gemein, dass Lichtsammelkomplexe Photonen aus dem VIS-Spektralbereich absorbieren und in das jeweilige Reaktionszentrum (Kernkomplex; Photoreaktionszentrum) weiterleiten, wo die eigentlichen photochemischen Reaktionen ablaufen.

Die Chlorophyll b-Moleküle und Carotinoide im Antennenkomplex bzw. Lichtsammelkomplex (light harvesting complex, LHC) wirken jeweils als Lichtantennen. In Abb. 7 sind sie durch grüne Kugeln symbolisiert, die photonische Energie aufnehmen und die den Energiequant weitergeben (Energietransfer; symbolisiert durch schwarze Pfeile in Abb. 7). Im Sinne von Kap. 6.5 dienen sie als Photosensibilisatoren, denn sie ermöglichen photochemische Reaktionen in einem anderen Molekül, hier entweder dem special pair (speziellen Paar) P680 II bzw. dem special pair P700 in PS I, bleiben jedoch selbst chemisch unverändert. Die Chlorophyll a-Moleküle, die jeweils das spezielle Paar bilden, werden dadurch in den elektronisch angeregten Zustand gehoben, sodass die angeregten Chlorophyll b-Moleküle des Lichtsammelkomplexes Energie aus diesem angeregten Zustand per „Energiewanderung“ (vgl. Becker 1991:410) zum Reaktionszentrum leiten. Mayer räumt ein, dass diese Vorgänge auf Basis von „noch nicht ganz verstandene[n] Mechanismen“ (2009) stattfinden.²⁰

Zunächst findet die Anregung des PS II statt. Als Folge dessen wird nun ein Chlorophyll a-Molekül im Reaktionszentrum elektronisch angeregt, d.h. in der HBE (im HOMO) entsteht ein Elektronenloch und ein angeregtes Elektron befindet sich in der NUE (im LUMO). Das angeregte P680-Molekül, d.h. P680*, besitzt nun ein deutlich negativeres Elektrodenpotential²¹ und reduziert den primären Elektronenakzeptor, ein Phäophytin-Molekül (vgl. *ibid.*, Dau/Kurz/Weitze 2019:49), welches das Elektron zu einem Plastochinon-Molekül (PQ) weiterleitet. Das dabei entstehende Molekülkation, P680⁺, ist ein starkes biologisches Oxidationsmittel und in der Lage, unter Einwirkung eines Mangan-komplexes (Calcium-Mangan-Cluster; bekannt als oxygen evolving complex, OEC; vgl. *ibid.*:53), Wasser-Moleküle zu oxidieren. Das findet entsprechend statt, um das P680⁺-Molekül zu reduzieren, so dass der Ausgangszustand wiederhergestellt wird. Insofern sind die beteiligten Chlorophyll a-Moleküle als Photokatalysatoren zu verstehen (vgl. auch Kapitel 6.5).

²⁰ Die Chlorophyll a-Moleküle absorbieren aufgrund ihrer jeweils leicht unterschiedlichen Einbettungsstruktur, die von einer Vielzahl von Proteinen gekennzeichnet ist (vgl. Dau/Kurz/Weitze 2019:52ff, Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:261f), bei jeweils leicht unterschiedlichen Maxima, die durch die Namen „Pigment 680“ und „Pigment 700“ angegeben werden. Das hier im Fokus stehende Absorptionsmaximum des einen Pigments liegt bei einer Wellenlänge von 680 nm und die des anderen bei 700 nm, d.h. leicht in den längerwelligen Bereich verschoben.

²¹ Hier wird allgemein vom Elektrodenpotential oder Potential gesprochen. In der Biochemie wird das Potential, das auch als Redoxpotential benannt wird, wie in der Chemie auch gegen eine Wasserstoffhalbzelle gemessen, jedoch bei pH = 7. Die in der Chemie bekannten Standardelektrodenpotentiale werden gegen die Normal-Wasserstoffelektrode (NHE), bei der $c(\text{H}^+) = 1,0 \text{ mol/L}$ liegt, gemessen, d.h. sie nimmt einen pH-Wert von 0 an. pH-abhängige Reaktionen, wie diejenige der Wasserstoffdarstellung, werden von den unterschiedlichen pH-Werten beeinflusst: Ihr Elektrodenpotential ändert sich. Im Falle der Wasserstoffdarstellung verändert sich das Elektrodenpotential von $E^0 (\frac{1}{2} \text{ H}_2/\text{H}^+) = 0 \text{ V}$ bei pH 0 auf einen Wert von $E^{0'} (\frac{1}{2} \text{ H}_2/\text{H}^+) = -0,42 \text{ V}$. Ähnliches gilt für die Wasseroxidation, die von $E^0 (\text{O}_2, 2 \text{ H}^+/\frac{1}{2} \text{ H}_2\text{O}) = +1,23 \text{ V}$ auf den negativeren Wert $E^{0'} = +0,82 \text{ V}$ absinkt (vgl. Brehm 2004, Wöhrle 2016:246, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:132ff). Elektrodenpotentiale pH-unabhängiger Reaktionen werden von den unterschiedlichen Messverfahren, d.h. also von den Messungen gegen die Wasserstoffhalbzelle bei unterschiedlichen $\text{H}^+ (\text{aq})$ -Konzentrationen, nicht beeinflusst. Im Folgenden sind die pH-abhängigen Elektrodenpotentiale aufeinander abgestimmt, so dass sie vergleichbar sind. Es sind jeweils die Elektrodenpotentiale für einen pH-Wert von 7 angegeben, d.h. hier wird der Konvention aus dem Bereich der Biochemie gefolgt.

Über eine Elektronentransportkette (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:263, Dau/Kurz/Weitze 2019:49), die auch als „Elektronentransferpool“ (Wöhrle 2016:246) bezeichnet wird, werden Elektronen von Plastochinon (PQ) über den Cytochromkomplex, der u.a. das Eisenprotein Cytochrom b_6/f (Membranprotein mit Häm-Gruppe; Cy) beinhaltet, und anschließend über das Kupferprotein Plastocyanin (PC) zum PS I transportiert. Hier hat zwischenzeitlich eine analoge lichtinduzierte Reaktion wie im PS II stattgefunden: Lichtsammelkomplexe haben per Energietransfer (vgl. schwarze Pfeile in Abb. 7) den Kernkomplex elektronisch angeregt, so dass das special pair P700* ein deutlich negatives Elektrodenpotential aufweist und somit in der Lage ist, das Elektron auf Akzeptor-Moleküle, hier „wahrscheinlich Chlorophyll a“ (Mayer 2009), zu übertragen. Innerhalb einer weiteren Elektronentransportkette wird das Elektron über Ferredoxine (Fd), d.h. Nichthäm-Eisen-Proteine, zur Ferredoxin-NADP⁺-Oxidoreduktase transferiert, so dass die NADPH-Reduktion ermöglicht wird. Die Regenerierung des entstandenen P700⁺-Moleküls erfolgt über die aus dem PS I stammenden Elektronen im Zuge einer Reduktionsreaktion. Hier kann man also wie oben davon sprechen, dass die Chlorophyll b-Moleküle des Lichtsammelkomplexes als Photosensibilisatoren dienen und die Chlorophyll a-Moleküle als Photokatalysatoren. Abb. 7 verdeutlicht die ineinandergreifenden komplexen Abläufe:²²

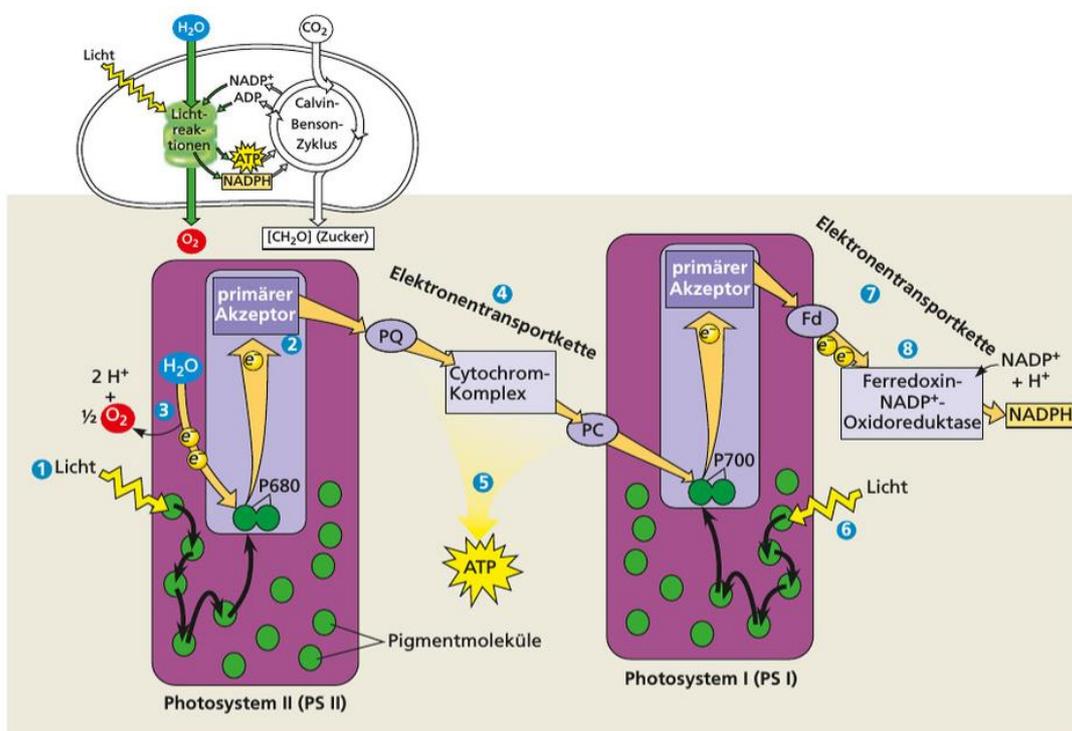


Abb. 7: Linearer Elektronenfluss auf Basis lichtinduzierter Prozesse (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:263)

Das Z-Schema, das in seiner typischen Darstellungsweise den liegenden Buchstaben Z nachzeichnet, illustriert die ablaufenden Prozesse im Photosyntheseapparat ähnlich wie in Abb. 7, indem es den formalen Elektronenfluss von Wasser-Molekülen zum NADPH-Molekül nachzeichnet. Dabei wird es an den sich verändernden Elektrodenpotentialen ausgerichtet (ähnliches suggeriert Abb. 7 durch

²² Schmitz (2020) hat dazu eine interaktive Animation erstellt, anhand derer die betrachtende Person die Vorgänge auf der modellhaften submikroskopischen Ebene nachvollziehen kann. Sehr deutlich sowie angemessen kleinschrittig werden die grundlegenden Prozesse der Lichtabsorption, des Energietransfers und der Ladungstrennung in den beiden Photosystemen visualisiert – und daraufhin auch alle diejenigen Prozesse, die hier in den Ausführungen angesprochen werden. In Abb. 6 findet sich ein Screenshot der Animation. Weitere Screenshots wurden vom Autor für die vorliegende Verschriftlichung angedacht, stellten sich aber als weniger zielführend als die hier verwendeten Abbildungen dar, weil die Animation von der Prozesshaftigkeit lebt und in statischen Screenshots nicht abbildbar ist. Ferner können immer nur kleine Schritte am Bildschirm direkt festgehalten werden, die dann den gewünschten Überblick nicht abbilden können.

Anordnung der Photosysteme). Das Hauptaugenmerk liegt darauf, dass die Elektrodenpotentiale der an den Photoredoxreaktionen beteiligten Moleküle P680 und P700 durch Lichtabsorption nachvollzogen werden können. Zunächst haben die Moleküle P680 bzw. P700 im Grundzustand Elektrodenpotentiale, die deutlich im positiven Bereich zu verorten sind. Das bedeutet, ihre Reduktionskraft ist sehr gering. Durch Absorption eines Lichtquants verändert sich das Elektrodenpotential in entscheidender Weise in den negativen Bereich, so dass die Spezies im angeregten Zustand ein deutlich höheres Oxidationsvermögen haben, d.h. sie werden starke Oxidationsmittel. Die folgenden Werte sind der Abbildung aus Dau/Kurz/Weitze (2019:49, vgl. Abb. 8) entnommen, da aufgrund der mehrfach unterteilten Ordinate im Vergleich mit den Abbildungen in Mayer (2009), Wöhrle (2016) oder Wöhrle/Tausch/Stohrer (1998) am besten abgelesen werden konnten. Auch hier werden kleinere Ableseungenauigkeiten auftreten, da die Energieniveaus nicht wie in Wöhrle/Tausch/Stohrer (1998:132) mit Strichen deutlich gekennzeichnet, sondern durch Kreise eher grob dargestellt werden. Das wird akzeptiert, da es um deutliche Tendenzen geht, die dargestellt werden sollen. Ich verwende den Kreismittelpunkt, um die Werte anzugeben:

$$\begin{array}{ll} E^0(\text{P680/P680}^+)^{23} = \text{ca. } +1,3 \text{ V} & E^0(\text{P680/P680}^+)^* = \text{ca. } -0,5 \text{ V} \\ E^0(\text{P700/P700}^+) = \text{ca. } +0,5 \text{ V} & E^0(\text{P700/P700}^+)^* = \text{ca. } -1,3 \text{ V} \end{array}$$

Die Elektrodenpotentiale verändern sich also um jeweils 1,8 V. Mit genaueren Literaturwerten ergeben sich ähnliche Einordnungen bzw. Berechnungen (vgl. $E^0(\text{P680/P680}^+) = +1,1$ bis $+1,3$ V laut Ishikita/Loll/Biesiadka et al. 2005:4118 bzw. $+1,25$ V laut McConnell/Brudvig 2013:1881 bzw. $+1,20$ laut Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:137; $E^0(\text{P680/P680}^+)^* = -0,58$ V laut McConnell/Brudvig 2013:1881); sowie $E^0(\text{P700/P700}^+) = \text{ca. } +0,4$ V bzw. $E^0(\text{P700/P700}^+)^* = -1,4$ V laut Sakuragi/Bryant 2006:207). Im Vergleich mit Werten aus der Spannungsreihe (vgl. Römpp-Redaktion 2002a) befindet sich das Elektrodenpotential von P680 im Grundzustand zwischen denjenigen von Platin ($E^0(\text{Pt/Pt}^{2+}) = +1,2$ V) und Gold ($E^0(\text{Au/Au}^+) = +1,5$ V). Im angeregten Zustand ist es negativer als dasjenige von Eisen, $E^0(\text{Fe/Fe}^{2+}) = -0,44$ V. Ein ähnlicher Vergleich für P700 liefert, dass das Potential im Grundzustand etwas positiver als dasjenige von Kupfer, $E^0(\text{Cu/Cu}^{2+}) = +0,34$ V, ist. Im elektronisch angeregten Zustand hingegen nimmt es einen deutlich negativeren Wert als Zink ($E^0(\text{Zn/Zn}^{2+}) = -0,76$ V) an und sinkt fast in den Bereich des Wertes von Aluminium ($E^0(\text{Al/Al}^{3+}) = -1,67$ V). Diese Vergleiche versinnbildlichen den jeweils edlen Charakter der beteiligten PS I- bzw. PS II-Moleküle im Grundzustand, der sich entscheidend in einen jeweils deutlich unedlen Charakter verändert.

Hier sei abschließend noch das Z-Schema aus Dau/Kurz/Weitze (2019) abgedruckt, um die obigen Prozesse zu visualisieren. Die Autoren haben die vier relevanten Membranproteine in abgerundeten Kästen abgegrenzt und in Relation zum Elektrodenpotential (Ordinatenachse) angeordnet. Sie operieren mit anderen Abkürzungen für die beteiligten Stoffe und fügen weitere hinzu, die im Detail in meinen Ausführungen nicht vollständig vorliegen (z.B. wurde auf die Eisenschwefelcluster, FeS oder F_x , verzichtet, wie auch auf das redoxaktive Tyrosinderivat Y_z , weil diese für das zentrale sachanalytische Erkenntnisinteresse nicht von zentraler Bedeutung sind). In der Übersicht bleiben die Prozesse aber weiterhin auf Basis vorheriger Ausführungen nachvollziehbar und lassen die Form des liegenden Z erkennen. Deutlich bleibt auch die Anregung durch Lichtenergie, hier symbolisiert mit einer mehrstrahligen Sonne. So werden die Orte in der Thylakoid-Membran mit der Veränderung von Elektrodenpotentialen und zentralen Reaktionen (Wasseroxidation links; NADP⁺-Reduktion rechts) in einem Ablaufschema in Verbindung gebracht. In diesem Schema sind die Elektrodenpotentiale bezogen auf pH 7 angegeben.

²³ Die Standardpotentiale der Redox-Paare werden hier so angegeben, dass zunächst die reduzierte Form, dann die oxidierte Form notiert wird. Dieses orientiert sich u.a. an den Vorgehensweisen in Schulbüchern wie Tausch/von Wachtendonk (2007).

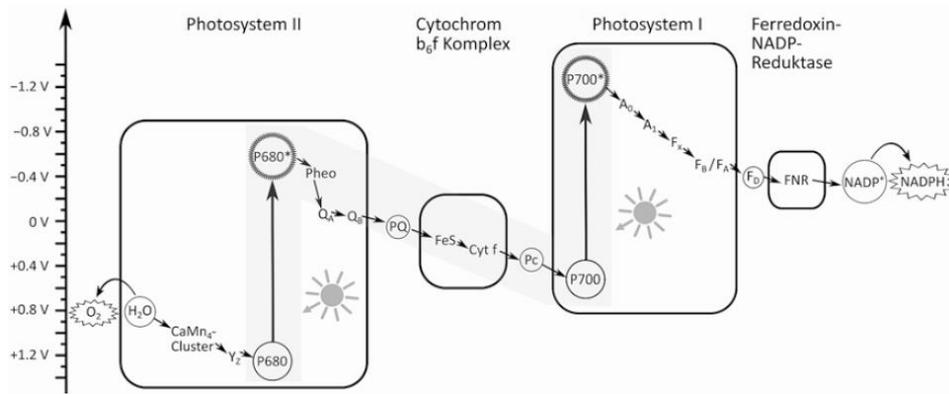


Abb. 8: Z-Schema nach Dau/Kurz/Weitze (2019:49)

Es leuchtet also ein, dass aufgrund der Elektrodenpotentiale die Oxidation von Wasser, vgl. Reaktion (4), im PS II stattfinden kann, obwohl dieses über weitere Cofaktoren, u.a. über das Tyrosinderivat und den manganhaltigen oxygen evolving complex (OEC), vermittelt wird, die jeweils eigene Elektrodenpotentiale aufweisen. Über eine Oxidationskette oxidiert das P680 zunächst das Tyrosinderivat, dieses dann den OEC, der dann wiederum Wasser-Moleküle oxidiert (vgl. McConnell/Brudvig 2013:1881).

Wasser-Moleküle werden also vom P680 oxidiert – dieses liegt durch Lichtanregung oxidiert als P680* vor und hat deshalb nun als „das stärkste bekannte biologische Oxidationsmittel“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:263) ein Elektrodenpotential von +1,25 V (vgl. McConnell/Brudvig 2013:1881). Das Elektrodenpotential ist positiver als dasjenige des zu oxidierenden Redox-Paares, weshalb die entsprechende Redox-Reaktion abläuft.

Im PS I wird, ebenfalls ausgelöst durch die Lichtanregung, eine Redox-Reaktion ermöglicht. Hier handelt es sich um die Darstellung von NADPH, vgl. Reaktion (5), die ebenfalls über mehrere Cofaktoren abläuft. Das hohe negative Elektrodenpotential des P700* treibt diese Reaktion an. Das Elektrodenpotential ist negativer als dasjenige des zu reduzierenden Redox-Paares, weshalb die anvisierte Redox-Reaktion möglich ist. Im Grundzustand, d.h. ohne Lichteinwirkung, ist dies nicht der Fall.

5.1.7 Lichtabsorption

Blätter erscheinen dem menschlichen Auge grün, weil sich in ihnen grüne Pflanzenfarbstoffe, d.h. die Chlorophyll-Pigmente aus Chlorophyll a- und Chlorophyll b-Molekülen, befinden. Diese absorbieren Licht im Bereich blauviolett und rot (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:258), den Brandl/Tausch (1997:208) auf den Bereich 420 bis 480 nm bzw. 640 bis 680 nm konkretisieren. Diese Erkenntnisse wurden durch das Wirkungsspektrum im Engelmann'schen Experiment schon im 19. Jahrhundert bestätigt. Ein Teil der so genannten Grünlücke, vgl. Abb. 9, wird durch weitere Farbstoffe, wie die Carotinoide, geschlossen (vgl. Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:260, Tausch 2019:228).

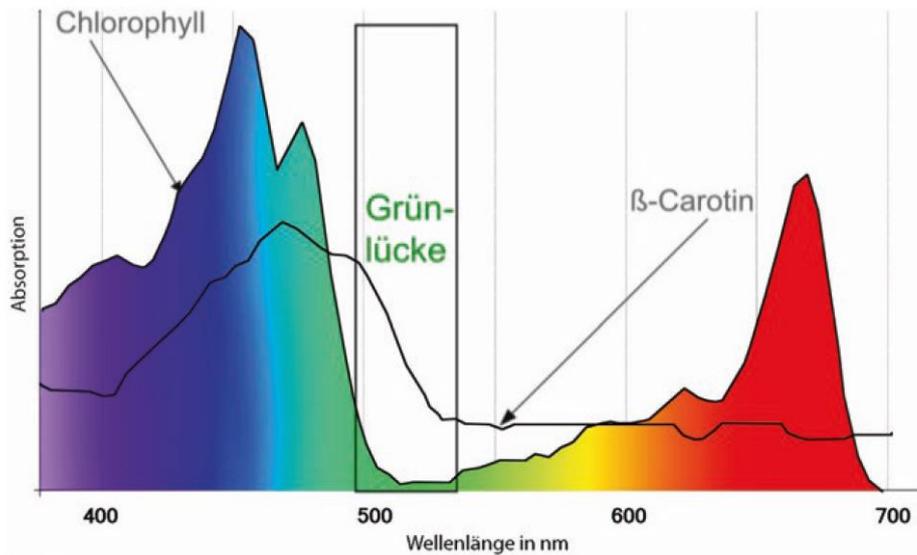


Abb. 9: Absorptionsspektrum von Chlorophyllen und beta-Carotin nach Tausch (2019:228)

Die zu Grunde liegenden Strukturformeln von Chlorophyll- und beta-Carotin-Molekülen verfügen über große Chromophore, die sichtbares Licht absorbieren und farbig erscheinen, vgl. Abb. 10. Die Absorptionseffektivität der Lichtsammelkomplexe wird dadurch erreicht, dass die Thylakoid-Wandungen einerseits hohe Konzentrationen von etwa $c(\text{Chlorophylle}) = 0,15 \text{ mol/L}$ bis $0,45 \text{ mol/L}$ an eingelagerten Chlorophyll-Moleküle aufweisen. Andererseits werden große Schichtdicken an lichtabsorbierenden Chlorophyll-Molekülen dadurch erreicht, dass die Thylakoide gestapelt vorliegen (vgl. u.a. Bildung von Grana). Auf diese Weise ist eine hohe Extinktion gewährleistet (vgl. Becker 1991:409f).

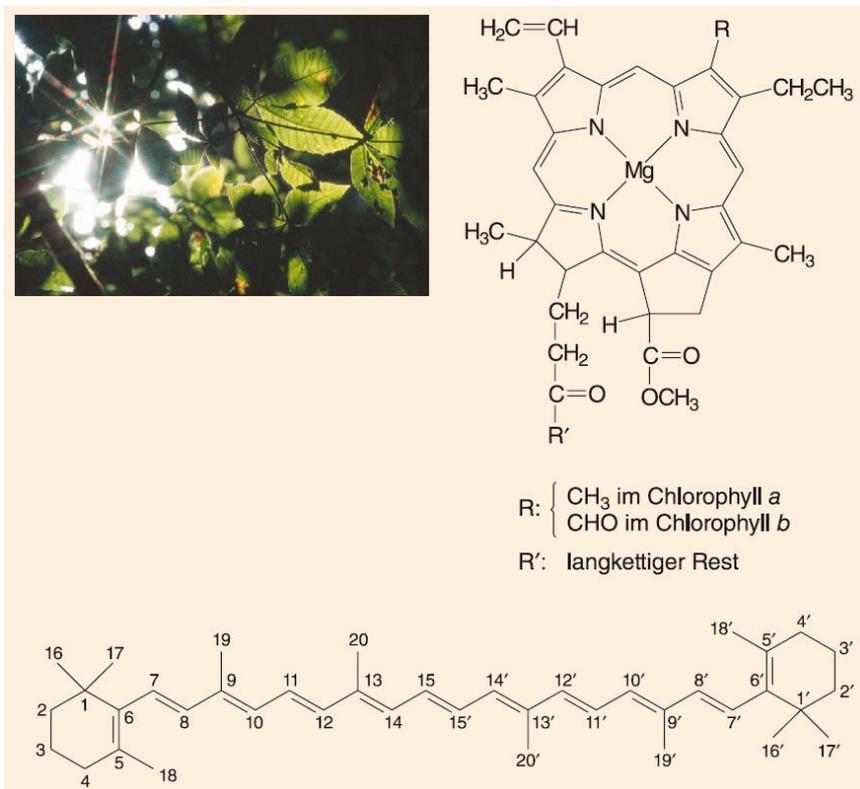


Abb. 10: Strukturformeln von Chlorophyll- und beta-Carotin-Molekülen (vgl. Tausch/Schmitz/Meuter 2013:17)

5.2 Zellatmung

Nachdem die Photosynthese recht detailliert dargestellt wurde, um einerseits die Komplexität der Prozesse und andererseits die Bedeutung von Licht und Chlorophyll darzulegen, sodass die didaktischen Reduktionen und Elementarisierungen innerhalb des PBB-Experimentes (vgl. Kap. 6) offenkundig werden, liegt nun der Fokus auf dem Inhaltsbereich der Zellatmung. Diese wird erheblich geraffter erläutert, da hier keine photochemischen Prozesse ablaufen, sie also nicht direkt in Verbindung mit dem Einfluss von Licht steht. Davon ausgehend wird der Bogen zum Kohlenstoffkreislauf und zur Energiespeicherung geschlagen.

Stoffwechselwege innerhalb einer Zelle, bei denen „Energie durch den Abbau komplexer Moleküle zu einfachen Verbindungen [freigesetzt wird]“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:192), werden mit dem Begriff katabole Prozesse bezeichnet. Hierzu gehören aerobe Zellatmung und anaerobe Atmung, sowie die anaeroben Prozesse der Gärung bzw. Fermentation. Die aerobe Zellatmung findet in den Zellen vieler Lebewesen in Flora und Fauna statt. Sie wird in drei Stadien untergliedert, und zwar in Glykolyse, Pyruvat-Oxidation mit Citratcyclus sowie die oxidative Phosphorylierung (die oxidative Phosphorylierung wird auch Atmungskette genannt; hier findet die ATP-Synthese statt). Final liegen die Produkte Wasser und Kohlenstoffdioxid vor. Auch gibt es Organismen, die anaerobe Prozesse, also Gärung, betreiben. Zellatmung und Gärung ist gemein, dass sie der Herstellung von ATP auf Basis der Glykolyse dienen, wobei Erstere ein Vielfaches mehr an ATP generiert – bis zu sechzehn Mal mehr. ATP ist bedeutsam, da es die Energie für die meisten zellulären Abläufe liefert, z.B. wird dadurch der Transport von Stoffen vom Zelläußeren in das Zellinnere ermöglicht (vgl. *ibid.*:191ff, Alberts/Johnson/Lewis et al. 2017:74ff, Savada/Hillis/Heller et al. 2019:250ff).

Nahrung für Organismen besteht aus „komplexe[n] Moleküle[n]“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:221) wie Stärke, die in der Pflanze als Folge photosynthetischer Prozesse erzeugt und gespeichert wird. Dieses Polysaccharid wird zunächst enzymatisch hydrolysiert und die resultierenden Monosaccharide, Glucose, reagieren während der aeroben Zellatmung mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Bei diesem exergonischen Prozess wird neben Wärme auch oben genanntes ATP als „universelle zelluläre Energiewährung“ (*ibid.*:221) erzeugt, wodurch in der Folge diverse zelluläre Arbeiten angetrieben werden können (*ibid.*:220ff). Für die Bruttogleichung der Zellatmung wird diejenige chemische Reaktionsgleichung aufgestellt, die der Rückreaktion der Photosynthese-Reaktion entspricht, mit dem Unterschied, dass die eine endergonisch und die andere exergonisch abläuft (vgl. Tausch 2019:23f, Korn/Tausch 2000:29, Urry/Cain/Wasserman et al. 2010:222).

Es bleibt festzuhalten, dass bei der Zellatmung der umgekehrte Weg der Photosynthese abläuft, bei dem Energie in Form von Wärme und ATP für den Organismus bereitgestellt werden. ATP ermöglicht eine Vielzahl bedeutender Prozesse im Organismus, die hier nur angerissen werden sollen, um die Bedeutung dieses Moleküls anzudeuten: So treibt die ATP-Hydrolyse biosynthetische Prozesse wie die Darstellung des Biopolymers DNA an oder betreibt Motorproteine wie Myosin sowie Ionenpumpen wie die V-ATPase oder die Na⁺/K⁺-Pumpe und beeinflusst Proteine wie den Klammerlader bei der DNA-Replikation. Die ATP-Hydrolyse sorgt also dafür, dass endergonische, anabole Prozesse stattfinden können und sie sorgt durch Veränderung der Konformation bzw. Aktivität von Proteinen für die Funktion von Zellen, das Leisten mechanischer Arbeit oder das Zustandekommen von Konzentrationsunterschieden bzw. Ionengradienten und somit Membranpotentialen, die für die elektrische Signalübertragung zwischen Zellen essentiell sind (vgl. Alberts/Johnson/Lewis et al. 2017:67ff, 93ff, 182ff, 658ff, 766ff, 948ff, 1006ff, Savada/Hillis/Heller et al. 2019:220ff, Schneider 2012:26f).

5.3 Kohlenstoffkreislauf

Werden die Photosynthese und die Zellatmung als Umkehrreaktionen verstanden, bilden sie einen natürlichen Kohlenstoff- und Sauerstoffkreislauf in der belebten Natur (vgl. z.B. Tausch 1994:13, Korn/Tausch 2000:29, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:416f, Graf 1999:42f, Alberts/Johnson/Lewis et al. 2017:74ff). Auf den Kohlenstoff bezogen spricht man davon, dass er von Pflanzen im Zuge der Photosynthese assimiliert wird. Während der Zellatmung (und natürlich auch bei der hier nicht betrachteten Gärung) findet die Dissimilation von Kohlenstoff statt (vgl. Graf 1999:42). Selbstredend wird hier absichtsvoll nur ein kleiner Bereich der globalen Kohlenstoffkreisläufe in der Natur, wie z.B.

von Wöhrle (2020) thematisiert, betrachtet. Er geht hier auf unterschiedliche Prozesse ein, die Kohlenstoff, d.h. gemeint sind chemische Verbindungen, in denen Kohlenstoff-Atome kovalent gebunden sind, freisetzen und diskutiert Kohlenstoff-Senken.

Im betrachteten Kohlenstoffkreislauf sind Kohlenstoff-Atome sowohl in Glucose- also auch Kohlenstoffdioxid-Molekülen kovalent gebunden, die je nach Sichtweise als Edukt oder Produkt betrachtet werden können. Bedeutsam ist, dass sie im Zuge einer Stoffumwandlung unter Zuhilfenahme weiterer Reaktionsteilnehmer ineinander überführt werden. Es sind neben den zuvor thematisierten energetischen Prozessen auch stoffliche Vorgänge relevant. Diese gehen wiederum einher mit Redox-Reaktionen, welche anhand der gebundenen Kohlenstoff-Atome nachvollzogen werden können: Sie weisen Oxidationszahlen von +IV im Kohlenstoffdioxid-Molekül und +I bzw. –I im Glucose-Molekül auf (vgl. Korn/Tausch 2000:29, Tausch 2019:22f). Hinsichtlich der Oxidationszahlen bleiben die anderen kovalent gebundenen Atomsorten, Sauerstoff und Wasserstoff, unverändert, werden jedoch in den Produkten neu untereinander sortiert. Von einem chemischen Standpunkt aus betrachtet, kann man die Zellatmungsprozesse in Hinblick auf den Kohlenstoff als exergonische Oxidationsreaktionen und umgekehrt die der Photosynthese als endergonische Reduktionreaktionen einordnen.

5.4 Energiespeicherung

Das Konzept Energie kann vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus lediglich als „eine abstrakte Erhaltungsgröße“ beschrieben werden, „deren Wert sich bei Vorgängen in einem abgeschlossenen System nicht ändert“ (Habelitz-Tkotz 2019:36). Energie ist also „nicht definierbar und somit eine abstrakte mengenartige Größe, die nur umschrieben werden kann“ (ibid. in Anlehnung an Feynman/Leighton/Sands (1991)). Eine Vorstellung von Energie soll im Schulunterricht auf den von Duit herausgestellten vier Aspekten Energieerhaltung, Energieumwandlung und Energieformen (Wandel von Energie-Erscheinungsformen), Energieübertragung (Wandel von Erscheinungsformen) und Energieentwertung (Abnahme des Nutzwertes) fußen – der so genannten Energiequadriga (vgl. Duit 2014:68, Habelitz-Tkotz 2019:36f, Greinert 2020:19, Schlichting/Backhaus 1984). Der Terminus Energiespeicherung fällt in dieser Quadriga nicht, gehört aber zum Gesichtspunkt Energieumwandlung und Energieformen:

Bei den verschiedenen Energieformen unterscheidet man zwischen den Energieformen, die in einem System gespeichert sind, den so genannten Speicherformen von Energie [...] [wie z.B. Lageenergie oder chemische Energie,] und den Energieerscheinungsformen, in denen Energie von einem System/einem Körper auf einen anderen übertragen wird, den so genannten Transportformen von Energie [wie z.B. elektrische Arbeit oder Strahlung].
(Habelitz-Tkotz 2019:37)

Im Chemieunterricht sind diejenigen energetischen Erscheinungen besonders relevant, die mit chemischen Umsetzungen einhergehen. Sie sind eng mit der Energiequadriga verbunden. Allgemein gilt, dass chemische Reaktionen mit Energieumwandlungen und dem Energieerhaltungssatz gekoppelt sind. Bei Energie freisetzenden, exergonischen chemischen Reaktionen wird die Speicherform der Energie, chemische Energie bzw. potentielle Energie der Teilchen, als Transportform von Energie abgegeben bzw. übertragen. Die Transportformen umfassen mechanische Arbeit (z.B. bei Explosionen), elektrische Arbeit (z.B. bei Batterien), Wärme (z.B. bei exothermen Reaktionen) oder Strahlung (z.B. bei Lumineszenz). Bei endergonischen Reaktionen werden ebenfalls diese Transportformen benötigt, man denke beispielsweise an die Absorption von Lichtenergie im Zuge der Photosynthese. Dadurch wird über komplexe Abläufe chemische Energie in Form von Glucose²⁴ gespei-

²⁴ Im allgemeinen Sprachgebrauch wird inkorrekterweise Glucose als Energiespeicher benannt. In der Tat ist es das System, das aus Glucose und Sauerstoff besteht. In den Worten von Kind, die ihre Ausführungen auf Basis von K. Ross (1993) entwickelt: „In teaching about energy we must refer to “X-oxygen systems” not just “X” – where this may represent a fuel or other reactant. This will help to prevent students thinking that just the fuel or other chemical is an energy “source”“ (Kind née Barker 2004:64ff).

chert und z.B. als Stärke in Pflanzenzellen eingelagert. Um eine Reaktion in Gang zu bringen, bedarf es ebenfalls einer Energie-Transportform (vgl. Schmidkunz/Parchmann 2011:4f, Habelitz-Tkotz 2019:37, Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. 2013:26f).

Ziel von Energiespeicher-Prozessen kann das Bereitstellen von Energie in seiner Speicherform chemische Energie²⁵ sein - also in „chemischen Langzeitspeichern“ (Tausch 2019:28). Aus dieser entstehen durch freiwillig ablaufende chemische Reaktionen Energie-Transportformen. Im Sinne einer durch den Menschen beabsichtigten ‚Nutzung‘ von Energie sind diese Transportformen wichtig, da sie bedarfsweise übertragen bzw. ausgetauscht werden können (vgl. Wandel von Energieerscheinungsarten und -formen). Dieses würde dann auch der Definition²⁶ von einem Energiespeicher entsprechen, wie Ausfelder (2016) sie angibt: „Ein Energiespeicher ist ein System, das eine Energiemenge kontrolliert aufnehmen (Beladung), sie über einen im Kontext relevanten Zeitraum in einem Speichermedium zurückhalten (Speicherung) und sie in einem gewünschten Zeitraum wieder kontrolliert abgeben (Entladen) kann“ (Ausfelder/Beilmann/Bertau et al. 2015:22, zitiert nach Ausfelder 2016:10). Die gespeicherte Energie, hier chemische Energie, wird in eine Transportform umgewandelt. Die Umwandlungsprozesse gehen mit Energieerhaltung einher, jedoch auch mit einer Energieentwertung (vgl. die entsprechenden Gesichtspunkte der Energiequadrige). Zudem wird ein Teil der Energie als Wärmeenergie an die Umgebung des Systems abgegeben. Ähnliches gilt für Übertragungsabläufe. Dieser abgegebene Energiebetrag kann nicht mehr komplett in andere Formen von Energie umgewandelt werden und sorgt für eine Erwärmung des Bereiches, in den sie abgegeben worden ist (vgl. Greinert 2020:19, Duit 2014, Schlichting/Backhaus 1984, Tausch 2019:23, 188). Man spricht von „Energiedissipation (Energieentwertung)“ (Tausch 2008:15, vgl. auch Abnahme des Nutzwertes).

In Bezug auf die Photosynthese und Pflanzen liegt also die Beladung und Speicherung darin, dass „Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt [und] in organischen Stoffen gespeichert [wird]“ (Graf 1999:42). Das kontrollierte Abgeben bzw. Entladen wäre dann z.B. im Zuge der Zellatmung oder Gärung gegeben.

6 Sachanalyse: Das PBB-Experiment und seine verwendeten Varianten

6.1 Redox-Reaktionen generieren farbige Ethylviologen-Monokation-Radikale

Das PBB-Experiment basiert auf einer Reihe miteinander in Verbindung stehender Redox-Reaktionen. Um rechnerisch zu ermitteln, ob eine Redoxreaktion freiwillig abläuft, muss die Differenz der Standardpotentiale größer als Null sein ($\Delta E^0 > 0$), d.h. es wird die Differenz aus dem Standardpotential des Redox-Paares, in dem die Reduktion stattfinden soll ($E^0_{\text{Reduktion}}$; Elektronen-Akzeptor), und des Redox-Paares, in dem die Oxidation stattfinden soll ($E^0_{\text{Oxidation}}$; Elektronen-Donator), gebildet:

$$\Delta E^0 = E^0_{\text{Reduktion}} - E^0_{\text{Oxidation}}$$

²⁵ Im Gegensatz hierzu gibt es auch weitere Formen wie mechanische Energiespeicher (Adler 2019:61ff). Ein Beispiel sind Pumpspeicherwerke, in denen potentielle Energie in Form von Lageenergie gespeichert ist (vgl. Habelitz-Tkotz 2019:37).

²⁶ Die Definition hat sich Ausfelder zufolge bei den zentralen deutschen wissenschaftlichen Gesellschaften und Organisationen als konsensfähig erwiesen. Dabei werden die folgenden Vereinigungen angeführt: DBG (Deutsche Bunsen-Gesellschaft für physikalische Chemie e.V.), DECHEMA (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.), DGMK (Deutsche wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.; die Abkürzung DGMK, Deutsche Gesellschaft für Mineralölwissenschaft und Kohlechemie, wurde nach der Namensänderung beibehalten), DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.), GDCh (Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V.), VCI (Verband der deutschen Industrie e.V.), VDI-GVC (Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen im Verein Deutscher Ingenieure e.V.).

Es gilt also, die miteinander in Verbindung stehenden Redox-Prozesse und ihre jeweiligen Standardpotentiale zu analysieren und anhand der Unterschiede zwischen Grundzustand und angeregtem Zustand zu verdeutlichen, welche Bedeutung die Anregung durch Lichtabsorption hat.

Diese Übersicht aus Kremer/Tausch (2019:17) zeigt die gekoppelten Reaktionszyklen, die innerhalb des PBB-Experiments unter Lichteinfluss ablaufen (vgl. Abb. 11).

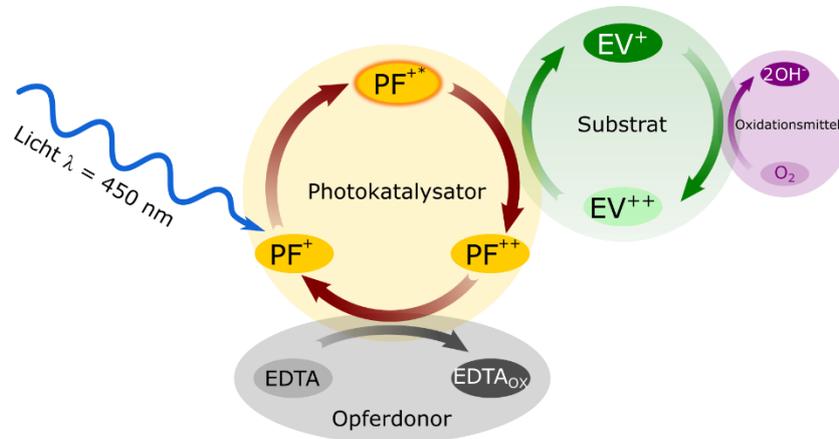
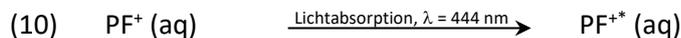
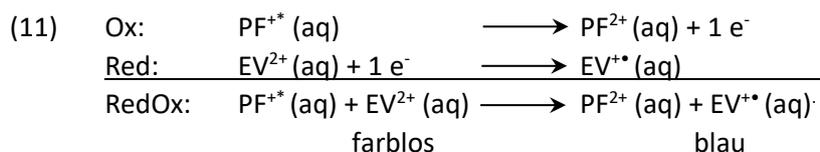


Abb. 11: Gekoppelte Reaktionszyklen im PBB-Basisexperiment (vgl. Kremer/Tausch 2019:17)

Das phänomenologische Ziel des Experiments besteht darin, einen sichtbaren Farbwechsel von farblos zu blau zu erzeugen. Hierfür muss das Substrat, d.h. Ethylviologen-Dikationen ($\text{EV}^{2+}(\text{aq})$), zu Ethylviologen-Monokation-Radikalen ($\text{EV}^{+\cdot}(\text{aq})$, vgl. grüner Zyklus oben) reduziert werden. Diese zentrale Reaktion (10) wird durch das Reduktionsmittel Proflavin, d.h. Proflavin-Monokationen im angeregten Zustand ($\text{PF}^{+\cdot}(\text{aq})$), ermöglicht. Dafür ist die Absorption von Licht geeigneter Wellenlänge durch Proflavin-Monokationen ($\text{PF}^+(\text{aq})$) im Grundzustand notwendig (vgl. gelber Zyklus oben):



Erst dann ist die entscheidende Redox-Reaktion (11) möglich, in der Proflavin-Dikationen ($\text{PF}^{2+}(\text{aq})$) sowie $\text{EV}^{+\cdot}(\text{aq})$ entstehen:



Die weiteren Reaktionen bezeichnen zum einen die Oxidation des Substrats, d.h. von $\text{EV}^{+\cdot}(\text{aq})$ zu $\text{EV}^{2+}(\text{aq})$, mit der die Entfärbung von blau zu farblos einhergeht (vgl. grüner Zyklus und die gekoppelte Reaktion mit dem Oxidationsmittel Sauerstoff im lilafarbenen Bereich). Zum anderen wird $\text{PF}^{2+}(\text{aq})$ qua Opferdonor Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) in einer Reduktionsreaktion regeneriert. Diese Reaktion wird weiter unten thematisiert.

6.2 Bedeutung der Lichtabsorption für die Redox-Prozesse

Der Grafik ist jedoch nicht zu entnehmen, warum die Reaktion erst durch Lichtabsorption ermöglicht wird. Um dieses darzulegen, werden zunächst die Standardpotentiale der beteiligten Substanzen versammelt und vor Lichtanregung, d.h. im Grundzustand, und nach Lichtanregung, d.h. im elektronisch angeregten Zustand, betrachtet und auf die Reaktionszyklen bezogen. Die relevanten Standardpotentiale für die drei Redoxpaare der beteiligten Substanzen Ethylviologen, Ethylen-

diamintetraessigsäure und Proflavin (vgl. Abb. 12), d.h. EV^+/EV^{2+} , Ethylendiammin-tetraessigsäure/Ethylendiammintetraeesigsäure-Monokation ($EDTA/EDTA^+$) und Proflavin-Monokation/Proflavin-Dikation (PF^+/PF^{2+}) lauten: $E^0(EV^+/EV^{2+}) = -0,45\text{ V}$, $E^0(EDTA/EDTA^+) = +1,0\text{ V}$ und $E^0(PF^+/PF^{2+}) = +1,1\text{ V}$ (entnommen Heffen 2017:51, vgl. Tausch 2019:135, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:49, Gökkuş née Yurdanur 2020:79f). Durch Lichtabsorption verändert sich das Standardpotential des Proflavins signifikant auf $E^0(PF^+/PF^{2+})^* = -0,6\text{ V}$ (vgl. Tausch 2019:153), so dass es nun das negativste Standardpotential der drei Substanzen aufweist, was in Abb. 13 aus Gökkuş née Yurdanur (2020:80, adaptiert nach Korn/Tausch 2001:1238) nachvollziehbar visualisiert wird. Die Veränderung des Standardpotentials um 1,7 V wird durch den hellblauen Pfeil offenkundig:

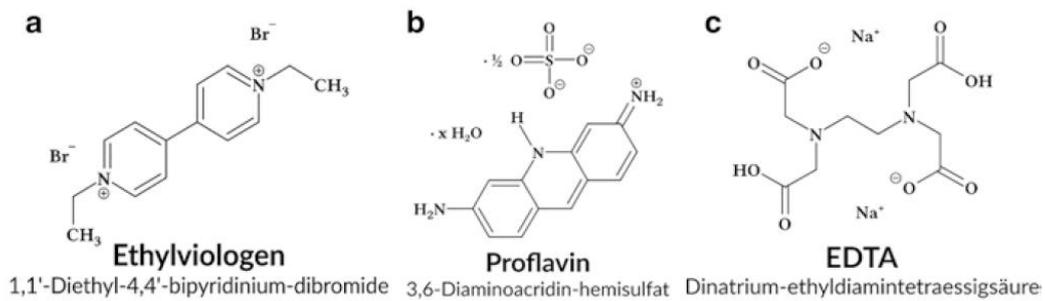


Abb. 12: Die Chemikalien in der PBB-Lösung: Strukturformeln und Bezeichnungen (vgl. Tausch 2019:222)

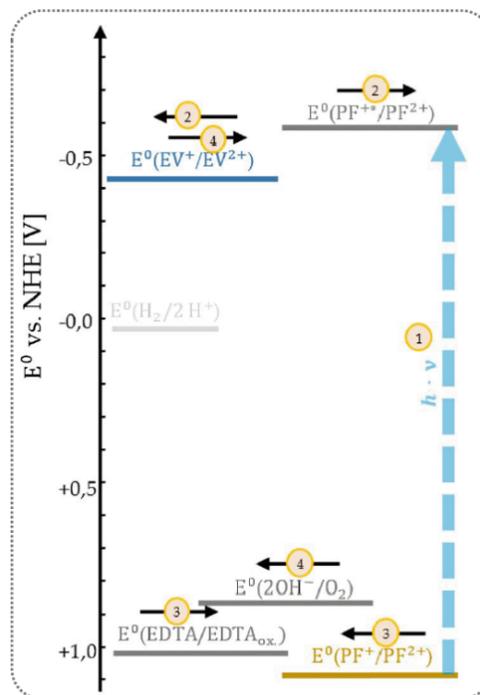
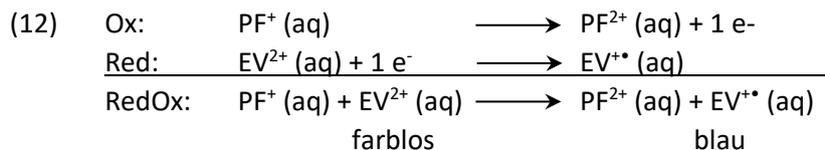


Abb. 13: Standardpotentiale der PBB-Substanzen (vgl. Gökkuş née Yurdanur 2020:80, adaptiert nach Korn/Tausch 2001)

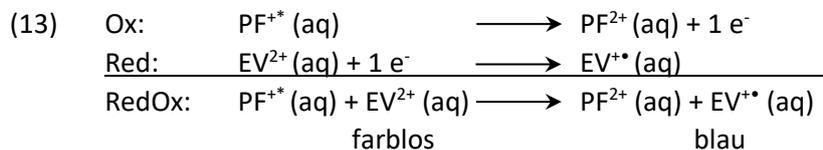
Die Grafik in Abb. 13 zeigt, dass die anderen Standardpotentiale auch bei Lichteinstrahlung unverändert bleiben. Wenn nun über $\Delta E^0 = E^0_{\text{Akzeptor}} - E^0_{\text{Donator}}$ berechnet wird, ob die Reaktion zwischen Proflavin und Ethylviologen ohne Lichtanregung abläuft, muss dafür zuerst die relevante Redox-Reaktion (12) aufgestellt werden:



Die Berechnung aus den Standardpotentialen ergibt sich aus:

$$\begin{aligned}
 \Delta E^0 &= E^0_{\text{Akzeptor}} - E^0_{\text{Donator}} \\
 \Delta E^0 &= E^0 (\text{EV}^{+\bullet}/\text{EV}^{2+}) - E^0 (\text{PF}^+/\text{PF}^{2+}) = -0,45 \text{ V} - (+1,1 \text{ V}) = -1,55 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Diese Reaktion wird folglich so nicht stattfinden, da der Wert $\Delta E^0 < 0$ beträgt. Das Reduktionsvermögen von PF^+ im Grundzustand reicht nicht für die beabsichtigte Redox-Reaktion aus. Betrachtet man nun die Redox-Reaktion, die bei Lichteinwirkung stattfindet, so sei zunächst wiederum die Redox-Reaktion (13) aufgestellt:



Nun hat sich das Reduktionsvermögen derart verändert, dass sich auch bzgl. des Standardpotentials des PF^+ neue Werte ergeben, die in die Rechnung einbezogen werden:

$$\begin{aligned}
 \Delta E^0 &= E^0_{\text{Akzeptor}} - E^0_{\text{Donator}} \\
 \Delta E^0 &= E^0 (\text{EV}^{+\bullet}/\text{EV}^{2+}) - E^0 (\text{PF}^+/\text{PF}^{2+}) = -0,45 \text{ V} - (-0,6 \text{ V}) = +0,15 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Diese Rechnung ergibt ein positives Ergebnis, d.h. $\Delta E^0 > 0$, so dass gefolgert werden kann, dass diese Reaktion, wie oben skizziert, freiwillig abläuft. Während also PF^+ im Grundzustand schlechte Reduktionsmittel sind, was am recht hohen positiven Standardpotential deutlich wird, sind PF^+ im elektronisch angeregten Zustand für die gewünschte Reaktion ausreichend starke Reduktionsmittel. Dieses kann durch einen Vergleich mit bekannten Vertretern der Spannungsreihe der Metalle illustriert werden, um die deutliche Veränderung des Reaktionsvermögens nachzuvollziehen. Proflavin im Grundzustand kann man aufgrund seines Standardpotentials von $E^0 (\text{PF}^{+\bullet}/\text{PF}^{2+}) = +1,1 \text{ V}$ zwischen Silber und Platin einsortieren ($E^0 (\text{Ag}/\text{Ag}^+) = +0,8 \text{ V}$ bzw. $E^0 (\text{Pt}/\text{Pt}^{2+}) = +1,2 \text{ V}$, vgl. RÖMPP-Redaktion 2002a). Diese Referenz verdeutlicht den edlen Charakter des Acridin-Derivats. Durch Lichteinfluss verändert sich das Standardpotential um $1,7 \text{ V}$ auf $E^0 (\text{PF}^{+\bullet}/\text{PF}^{2+})^* = -0,6 \text{ V}$, also beinahe in einen Bereich von unedlen Referenzsubstanzen wie Chrom und Zink ($E^0 (\text{Cr}/\text{Cr}^{3+}) = -0,74 \text{ V}$ bzw. $E^0 (\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}) = -0,76 \text{ V}$, vgl. RÖMPP-Redaktion 2002a). Das Standardpotential des Ethylviologens bleibt unverändert in einem Bereich, der mit dem des unedlen Eisens ($E^0 (\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}) = -0,44 \text{ V}$) zu vergleichen ist. Es ist also nicht verwunderlich, dass Heffen (2017:98) dieses mithilfe eines Experiments mit chemieunterrichtlich bekannten Metallen hervorhebt: Die Elemente Kupfer, Nickel, Eisen und Zink werden in jeweils frische PBB-Lösung eingebracht, wobei lediglich beim Metall Zink ein Farbumschlag von gelb nach blau zu beobachten ist. Das heißt, dass das Reduktionsmittel in der PBB-Lösung ein mindestens dem Zink vergleichbares Standardpotential aufweisen muss, da nur das Metall Zink als Elektronendonator fungiert und $\text{EV}^{+\bullet}$ entstehen, was sich an der blauen Farbe zeigt. Die anderen eingesetzten Metalle sind dafür im Vergleich mit Ethylviologen zu edel, d.h. ihr Standardpotential liegt höher als dasjenige des Ethylviologens. Die Ausführungen haben folglich dargelegt, warum eine Lichtabsorption für diese Reaktion unabdingbar ist: Das PF^+ wird qua Lichtabsorption zu einer „andere[n] chemische[n] Spezies“, wie Tausch (2019:75) es ausdrückt. Damit denkt er Turros Beschreibung weiter, der die Moleküle in

den unterschiedlichen Zuständen als Isomere bezeichnet („the excited molecule is really an electronic isomer of the corresponding ground-state molecule“ (Turro 1991:12, vgl. Tausch 2019:75)).

Bislang wurde erläutert, dass die Redox-Reaktionen nur ablaufen, weil sich die Standard-elektrodenpotentiale der relevanten Spezies in entscheidender Weise durch Lichtabsorption ändern. Aus dem elektronisch angeregten Zustand übertragen die entsprechenden Moleküle Elektronen auf andere Moleküle. Also ist erst aufgrund dieser Veränderungen eine Elektronenübertragungsreaktion möglich. Diese lichtinduzierten Abläufe werden auch als photoinduzierte Elektronentransfers (PET) bezeichnet, die schematisch in Abb. 14 dargestellt sind (vgl. auch Gökkuş née Yurdanur 2020:80, dort adaptiert nach Tausch 2018:26 bzw. Tausch 1994:16).

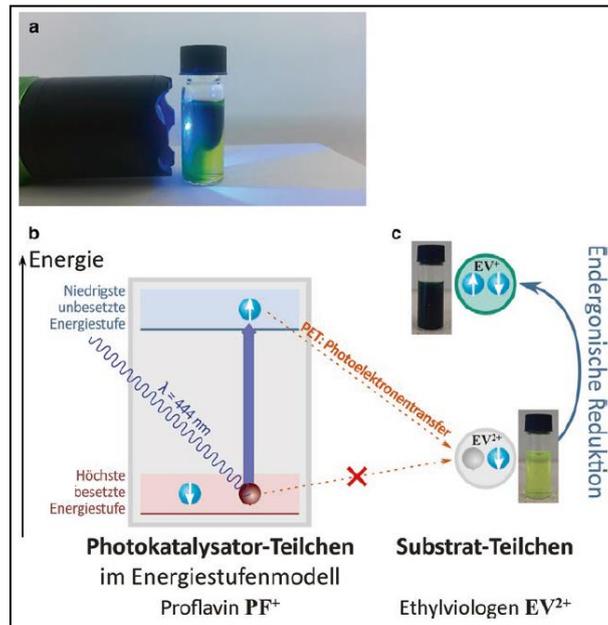


Abb. 14: Verbotene (b) und erlaubte (c) Elektronenübertragungsreaktion zwischen Photokatalysator-Molekül und Substrat-Molekül (Quelle: Tausch 2019:224, leicht modifiziert)

Im skizzierten Fall ist eine Elektronenübertragungsreaktion ohne Lichtabsorption nicht möglich. Das Standardelektrodenpotential des PF⁺ im Grundzustand, d.h. des Elektrons in der höchsten besetzten Energiestufe (HBE), reicht dafür nicht aus (b). Erst durch Lichtanregung, d.h. Absorption eines Lichtquants aus dem blauen Spektralbereich, wird das PF⁺ in den elektronisch angeregten Zustand angehoben, und zwar auf dieser Grundlage: „Bei Einstrahlung der Energie in ein Molekül, die der Differenz LUMO-HOMO entspricht, wird ein Elektron aus dem [...] [HOMO in das LUMO] gehoben. [...] Grundsätzlich behält das angehobene Elektron seinen Spin bei; eine Spinumkehr ist streng verboten“ (Becker 1991:30). Das bedeutet, das betreffende Elektron aus dem HBE kommt in die niedrigste unbesetzte Energiestufe (NUE), wodurch sich die Redox-Eigenschaften des Moleküls ändern und nun der PET möglich ist (c). Dieses geht mit dem Beobachten einer Blaufärbung einher (c, a), denn während das EV²⁺ keine Absorption im sichtbaren Bereich des Lichtspektrums zeigt (die Gelbfärbung der Lösung geht auf das Absorptionsverhalten des PF⁺ zurück, das im Bereich von $\lambda = 444 \text{ nm}$ sein Absorptionsmaximum hat, d.h. es absorbiert im blauen Bereich, was für die wahrgenommene gelbe Farbe sorgt), absorbiert das EV²⁺ hauptsächlich im gelb-orangeroten Bereich (vgl. Heffen 2017:44f, vgl. die detaillierten Ausführungen unten) und sorgt daher für einen blauen Farbeindruck (vgl. Heffen 2017:44f, vgl. auch Tausch 2019:220-230 und Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:414-418 bzw. Tausch 1994:15 für das System mit einem anderen, Analoges leistendem Viologen-Derivat). Diese Zusammenhänge zwischen absorbiertem Licht und vom Menschen wahrgenommenen Farbeindruck werden in diesem Überblick von Meuter in für den Chemieunterricht idealer Weise dargestellt (vgl. Abb. 15):

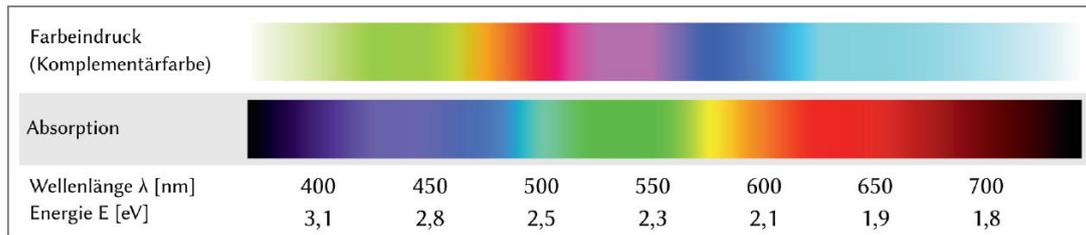
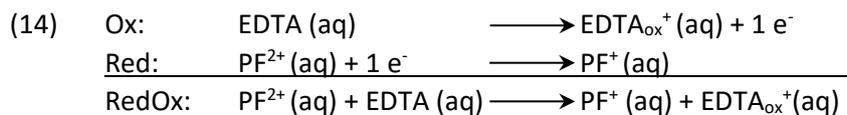


Abb. 15: Zusammenhang zwischen absorbiertem Licht und vom Menschen wahrgenommener Farbe (vgl. Meuter 2018:26)

Das entstandene EV^{2+} wird anschließend durch Sauerstoff oxidiert, so dass makroskopisch wiederum eine gelbe Lösung vorliegt (vgl. Heffen 2017:46, 94ff, Tausch/Heffen 2016:10, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:216 bzw. Tausch 1994:10 für eine andere Viologen-Spezies).

6.3 Redox-Reaktionen zur Regeneration von Proflavin-Dikationen

Nach der lichtinduzierten Elektronenübertragungsreaktion liegen PF^{2+} vor, die durch Reaktion mit dem Opferdonor EDTA regeneriert werden. Bei diesem Vorgang handelt es sich wiederum um eine Redox-Reaktion, bei der EDTA-Moleküle oxidiert und PF^{2+} reduziert werden. Hierbei wird ein Elektron vom EDTA-Molekül auf das PF^{2+} transferiert (vgl. Tausch 2019:224), was vereinfacht zur Produktion von oxidiertem EDTA, d.h. $EDTA_{ox}$, führt, wie in Reaktion (14) gezeigt:²⁷



Bei näherer Betrachtung der relevanten Standardpotentiale ergibt sich durch die folgende Rechnung, dass die betrachtete Reaktion freiwillig abläuft, da eine positive Standardpotentialdifferenz vorliegt:

$$\begin{aligned}
 \Delta E^0 &= E^0_{\text{Akzeptor}} - E^0_{\text{Donator}} \\
 \Delta E^0 &= E^0 (\text{PF}^+/\text{PF}^{2+}) - E^0 (\text{EDTA}/\text{EDTA}_{ox}^+) = 1,1 \text{ V} - (1,0 \text{ V}) = +0,1 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Insofern kann nachvollzogen werden, dass das Reduktionsvermögen des EDTAs ausreicht, um die zweifach positiv geladenen Proflavin-Moleküle zu recyceln und somit wieder den gekoppelten Reaktionskreisläufen zurückzuführen.

6.4 Erkundung der Oxidation von EDTA

In den Betrachtungen wurde aus didaktischen Gründen auf die Ausdifferenzierung der möglichen Oxidationsprodukte des Opferdonors EDTA verzichtet und stattdessen funktional auf das Entstehen von oxidierten EDTA-Molekülen, $EDTA_{ox}$, verwiesen. Die konkrete Betrachtung von tatsächlich vorliegenden Reaktionsprodukten ist jedoch dahingehend sinnvoll, als dass Chemie-SuS mithilfe dieser die vorliegenden Redox-Reaktionen nachvollziehen und vorhandenes Wissen, wie das Bestimmen von Oxidationszahlen in organischen Molekülen und das Identifizieren von Oxidations- und Reduktionsvorgängen anhand der Oxidationszahländerung, konkret anwenden können. In der relevanten

²⁷ Siehe Heffen (2017:21f) sowie Korn/Tausch (2001:1239) für einen konkurrierenden Reaktionsweg, bei dem EDTA zu einem anderen Zeitpunkt als Elektronendonator wirkt. Dieses erzeugt ein gleiches Ergebnis wie die hier formulierten Vorgänge, die sich an Kalyanasundaram/Dung (1980) orientieren (vgl. dazu Heffen 2017:19ff bzw. Korn/Tausch 2011:1239).

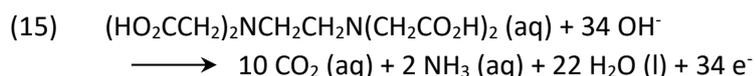
fachdidaktischen Literatur wurde diese Thematik bislang lediglich in der oben erwähnten, funktionalen Weise behandelt, so dass es Klärungsbedarf gibt, dem an dieser Stelle Rechnung getragen wird.

In der fachwissenschaftlichen Literatur gibt es einige Befunde zur Oxidation von EDTA. Fife/Moore (1979) beschäftigten sich mit der Reaktion von dem Proflavin verwandten Isoalloxazin-Derivaten und stellen heraus, dass bei aerobem EDTA-Abbau die Produkte Kohlenstoffdioxid, Formaldehyd und ein unspezifischer „amine residue“, also ein Amin-Derivat, entstehen. Bei anaerobem Abbau entsteht wiederum eben dieses unspezifische Derivat und zudem Glycolsäure (Hydroxyessigsäure) (ibid.:43). Sun/Kirschenbaum/Kouadio (1991:2313) weisen wie Chang/Korshin/Ferguson (2006:5091) ebenfalls Glycolsäure nach, wohingegen andere stattdessen Glyoxylsäure (Oxoessigsäure) detektieren (vgl. Enns/Burgess 1965:5769, Gilbert/Hoffmann-Glewe 1990:41, Motekaitis/Martell/Hayes et al. 1980:2002ff, Sörensen/Zurell/Frimmel 1998:109), was damit zu tun hat, dass sich aus dem Zwischenprodukt Glyoxal in unterschiedlichen Milieus entweder die eine oder die andere Spezies bildet (vgl. Sun/Kirschenbaum/Kouadio 1991:2313). Dieses ist den unterschiedlichen experimentellen Bedingungen und verschiedenen Reaktionspartnern geschuldet ist. Festzuhalten bleibt, dass als quantitativ bedeutsame Produkte entweder Glycolsäure oder Glyoxylsäure entstehen, die auch per Oxidation ineinander überführbar sind und in der Regel als Salze vorliegen.

Die Recherche nach dem unbekanntem Aminderivat bei EDTA-Abbau bringt trotz unterschiedlicher Reaktionspartner und -bedingungen immer wieder ein zentrales Amin zu Tage. Es handelt sich um das sekundäre Amin Iminodiessigsäure (IDA), das in zahlreichen einschlägigen Publikationen genannt wird (vgl. Chang/Korshin/Ferguson 2006:5089, Gilbert/Hoffmann-Glewe 1990:40, Motekaitis/Martell/Hayes et al. 1980:1999, Sörensen/Zurell/Frimmel 1998:111, hier IMDA abgekürzt, Sun/Kirschenbaum/Kouadio 1991:2313, Zhao/Zhu/Mu et al. 2017:8).

Weiterhin wird eine Vielzahl von identifizierbaren Produkten und Zwischenprodukten genannt, deren Entstehen auch stark von den Konzentrationsverhältnissen der eingesetzten Edukte abhängt. Hier werden die in obigen und weiteren Publikationen genannten Produkte der Übersicht halber aufgereiht und dabei ggf. auftretende Dopplungen nicht getilgt: Ammoniak, Nitrit, Nitrat, Format, Oxalat und Kohlenstoffdioxid (vgl. Chang/Korshin/Ferguson 2006:5091); Oxalsäure, Glycin, Ameisensäure, Glyoxal (vgl. Gilbert/Hoffmann-Glewe 1990:41); Ethylendiamintriessigsäure (ED3A), Formaldehyd, Kohlenstoffdioxid (vgl. Motekaitis/Martell/Hayes et al. 1980:2002, 2005); Glycin, Ethylendiamindiacetat (EDDA), Ethylendiaminmonoacetat (EDMA), Oxalsäure, Oxamat, aber schließlich Nitrat, Nitrit, Ammoniumsalze, Kohlenstoffdioxid, Cyanat (vgl. Sörensen/Zurell/Frimmel 1998:113); Glyoxal, Glycolat, Glycinat, Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Formaldehyd, aber schließlich Ammoniak, Formaldehyd, Kohlenstoffdioxid und Wasser (vgl. Sun/Kirschenbaum/Kouadio 1991:2311); diverse Glycinderivate (vgl. Zhao/Hhu/Mu et al. 2017:8).

Bei Überschuss eines starken Oxidationsmittels kann die oxidative Zersetzung laut Sun/Kirschenbaum/Kouadio (1991:2311) wie folgt beschrieben werden, wobei hier der Elektronenakzeptor nicht einbezogen wurde. Reaktionsgleichung (15) bildet die Reaktion eines EDTA-Moleküls ab:



Wichtig ist, dass laut Sörensen/Zurell/Frimmel (1998:113) final keine giftigen Produkte vorliegen, wobei Ethylendiamin als Zwischenprodukt erwartet wird (vgl. auch Sun/Kirschenbaum/Kouadio 1991:2311), jedoch nicht nachgewiesen werden konnte. Diese Untersuchungen und auch die Beiträge von Kulkarni/Naik/Nandibewoor (2009:591) oder Kiran/Nandibewoor (2006:4321), die jedoch die Ethylendiamin-Abbauprozesse mit starken Oxidationsmitteln durchführen, legen nahe, dass hieraus final unbedenkliche Produkte entstehen. Das leuchtet umso mehr ein, da im PBB-Experiment deutlich

mildere Bedingungen als in den betrachteten Studien herrschen: es werden weder starke Oxidationsmittel verwendet, noch wird eine Ozonolyse durchgeführt.

Für schulische Zwecke können zwei, jeweils didaktisch reduzierte, Maßnahmen abgeleitet werden. Die erste Maßnahme umfasst das Einbeziehen von Zwischenprodukten. Ausgehend vom Artikel von Fife/Moore (1979) können als Hauptprodukte der aerob verlaufenden Reaktion von angeregtem Riboflavin mit EDTA die Stoffe Kohlenstoffdioxid und IDA als Amin-Derivat festgehalten werden. Für die anaerob verlaufende Reaktion wären es Glycolsäure (Hydroxyessigsäure) und IDA.

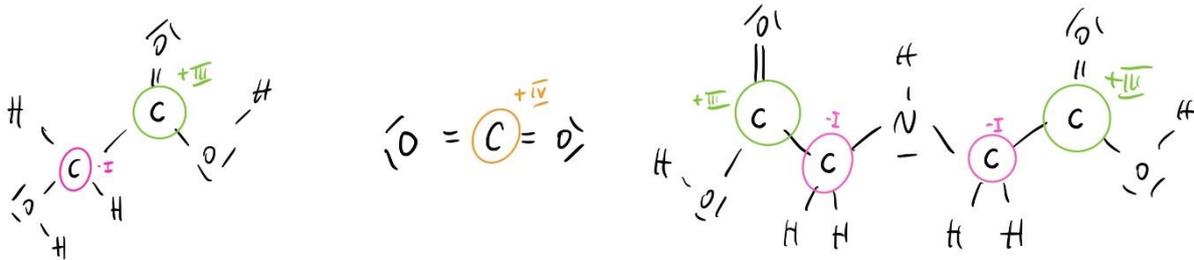


Abb. 16: Strukturformeln von Glycolsäure-, Kohlenstoffdioxid- und Iminodiessigsäure-Molekülen (jeweils mit ausgewählten Oxidationszahlen); eigene Anfertigung

In den Strukturformeln der Produkt-Moleküle (vgl. Abb. 16) würden dann, wie in der Strukturformel des Edukt-Moleküls EDTA, relevante Oxidationszahlen markiert werden, um darauf folgend Veränderungen an entsprechenden kovalent gebundenen Atomen herauszuarbeiten. Die Ergebnisse würden eine Grundlage für das Identifizieren und Benennen von Redox-Prozessen anhand von Zunahme (d.h. sie wird positiver) und Abnahme der Oxidationszahl (d.h. sie wird negativer) darstellen. Das Zunehmen der Oxidationszahl wäre eine Oxidationsreaktion, während die Abnahme der Oxidationszahl einer Reduktionsreaktion entspräche.

Die zweite Maßnahme würde die soeben diskutierten Zwischenprodukte nicht einbeziehen, sondern den Blick auf die Reduktionsprodukte einer kompletten oxidativen Umsetzung richten. Hier würden die Stoffe Kohlenstoffdioxid, Ammoniak und Wasser betrachtet werden, ebenfalls ausgehend von der Strukturformel eines EDTA-Moleküls sowie, wie oben für die erste Maßnahme skizziert, hinsichtlich der stattfindenden Redox-Reaktionen.

Natürlich bietet sich auch eine Kombination der beiden Maßnahmen an, um deutlich zu machen, dass die zwischenzeitlich gebildeten chemischen Substanzen auch zu weiteren Stoffen umgesetzt werden können, die dann die Endprodukte darstellen. Auch könnte man diejenigen Moleküle herausgreifen, die kovalent gebundene Stickstoff-Atome beinhalten und die unterschiedlichen Amine untersuchen, klassifizieren und hinsichtlich der Oxidationszahlen am Stickstoff-Atom untersuchen und mit anderen bekannten Stoffen vergleichen, die chemisch gebundenen Stickstoff enthalten, wie z.B. Ammoniak.

Nun werden anhand von EDTA, Glycolsäure (Hydroxyessigsäure), Kohlenstoffdioxid und IDA die Redox-Prozesse nachvollzogen. Das EDTA-Molekül (vgl. Abb. 17) hat Kohlenstoff-Atome, die entweder eine Oxidationszahl von **+III (grün)** oder **-I (rosa)** aufweisen (vgl. die unterschiedlichen Elektro-negativitäten der jeweils kovalent gebundenen Atome). Die Stickstoff-Atome (immer -III) bleiben wie die Sauerstoff-Atome (immer -II) und die Wasserstoff-Atome (immer +I) im Zuge der Redox-Reaktion unverändert und werden nicht mehr betrachtet. Man sollte diese Erkenntnis mit Chemieschüler*innen aber unbedingt gemeinsam erarbeiten.

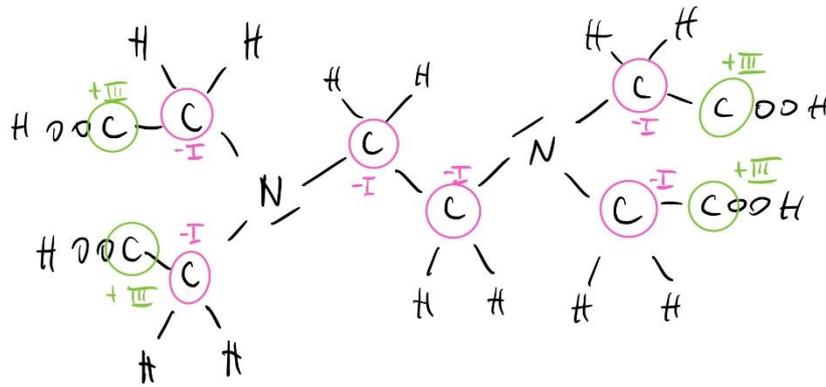


Abb. 17: Strukturformel eines EDTA-Moleküls (farbige Markierungen siehe Text); eigene Anfertigung

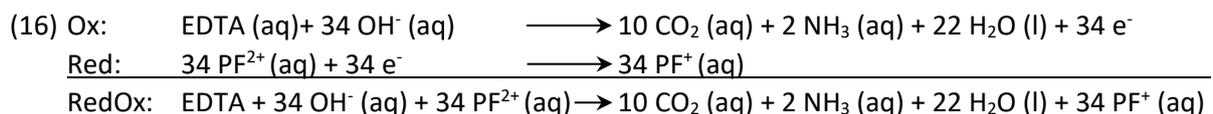
In den Strukturformeln der Produkt-Moleküle werden folgende Oxidationszahlen der Kohlenstoff-Atome ermittelt:

Glycolsäure	+III (Carboxylgruppe), -I (Alkanol-Rest)
Kohlenstoffdioxid	+IV
IDA	+III (Carboxylgruppe), -I (alle anderen)
EDTA	+III (Carboxylgruppe), -I (alle anderen)

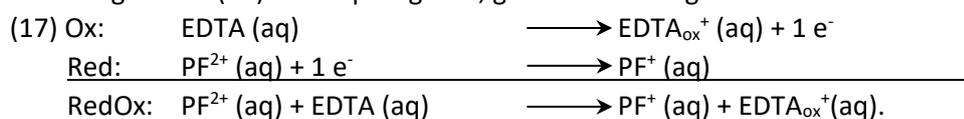
Rein formal können die **C^{+III}-Atome** der Carboxylgruppe in EDTA-Molekülen zu allen denjenigen C-Atomen der Produkt-Moleküle oxidieren, die eine positivere Oxidationszahl aufweisen (also hier die **C^{+IV}-Kohlenstoff-Atome** in Kohlenstoffdioxid-Molekülen). Vergleichbares gilt für die **C^{-I}-Atome** in EDTA-Molekülen, die rein formal zu **C^{+IV}-Atomen** im Kohlenstoffdioxid-Molekül, sowie **C^{+III}-Atomen** in Glycolsäure- und IDA-Molekülen. Rein räumlich-strukturelle Gründe, d.h., wo die Kohlenstoff-Atome jeweils in den Edukt- und Produkt-Molekülen sitzen, würden einige der genannten Möglichkeiten ausschließen, doch darauf wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

Deutlich übersichtlicher und dadurch vereinfachter und weniger anspruchsvoll, auch hinsichtlich der strukturellen Argumentationen, wäre der Umgang mit den Molekülen von Kohlenstoffdioxid, Ammoniak und Wasser, zumal hier nur das Kohlenstoffdioxid von Relevanz ist, da es das einzige Molekül mit chemisch gebundenen Kohlenstoff-Atomen ist.

Diese Überlegungen können dann in abschließende Redox-Gleichungen einfließen, bei denen PF^{2+} reduziert (s.o.) und EDTA-Moleküle entsprechend der vorherigen Ausführungen oxidiert werden. Eine Kombination der Maßnahmen würde so aussehen, dass die Gesamtreaktion mit den Produkten des vollständigen EDTA-Abbaus aufgestellt wird, z.B. in dieser Weise in Gleichung (16), in der im Vergleich zur Reaktion oben keine Halbstrukturformel des EDTA-Moleküls eingefügt wurde:



Zum Vergleich in (17) die ursprüngliche, gekürzte Fassung der Redox-Reaktionen:



Die große Anzahl an Hydroxid-Ionen könnte irritieren, jedoch können SuS-Argumentationen, die den Ursprung in der Autoprotolyse des Wassers und auch in den ablaufenden Regenerationsreaktionen

von Ethylenviologen-Monokation-Radikalen zu Ethylenviologen-Dikationen innerhalb der PBB-Reaktionszyklen sehen, als Erklärungsansätze dienen. Danach können Redox-Schritte auf Basis von Oxidationsreaktionen unter Einbezug der größeren Zwischenprodukt-Moleküle erfolgen (s.o.) und auch andere detektierte Zwischenprodukte können aus didaktischen Gründen Anwendung finden.

6.5 Proflavin: Photokatalysator vs. Photosensibilisator

In der PBB-Lösung sind mit den PF^+ Teilchen vertreten, die Licht absorbieren und dadurch zu einer „andere[n] chemische[n] Spezies“ (Tausch 2019:75) werden. Wöhrle/Tausch/Stohrer (1998:415) bezeichnen das Proflavin als Photokatalysator, doch muss aufgrund der Abwesenheit einer allgemeingültig fixierten Definition (vgl. Tausch 2011:30) eine Begriffsbestimmung herausgearbeitet werden (vgl. auch Heffen 2017:10ff). Tausch führt im Zuge einer Darlegung der Begriffsgenese zur Photokatalyse aus, dass

[man in der Regel] zwischen Photokatalyse und Photosensibilisation [unterscheidet]. Sowohl das Photokatalysator-Teilchen als auch das Photosensibilisator-Teilchen werden im ersten Schritt durch Absorption eines Lichtquants elektronisch angeregt. Während anschließend zwischen dem Photokatalysator-Teilchen und einem Edukt-Teilchen der photochemischen Reaktion ein Elektronentransfer erfolgt, findet zwischen dem angeregten Photosensibilisator-Teilchen und dem Edukt-Teilchen der photochemischen Reaktion ein Energietransfer statt. (Tausch 2011:30)

Im vorliegenden Fall findet in Form eines Photoelektronentransfers eine Reduktionsreaktion statt, und zwar zwischen PF^{+*} und EV^{2+} . Das entstehende PF^{2+} wird dann durch die als Opferdonoren wirkenden EDTA-Moleküle regeneriert. Es ist also gemäß der obigen Ausführungen eindeutig, dass PF^+ als Photokatalysatoren fungieren, der Desaktivierungsprozess umfasst eine Elektronenübertragungsreaktion. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Definition von Photokatalyse gefolgt und sie wird mit Elementen zur Photokatalyse aus der IUPAC-Definition vervollständigt, denn die Schnittmengen zwischen obiger Definition und der folgenden werden offenkundig und ein Ausbuchstabieren weiterer notwendiger Aspekte ebenso.

Diese Klarheit in der Begriffsbestimmung bzw. die Festlegung auf eine Definition ist auch deshalb vonnöten, weil die IUPAC den Vorgang der Photokatalyse und denjenigen der Photosensibilisierung (photosensitization) wie folgt definiert:

Photocatalysis: Change in the rate of a chemical reaction or its initiation under the action of ultraviolet, visible or infrared radiation in the presence of a substance — the photocatalyst— that absorbs light and is involved in the chemical transformation of the reaction partners.

Photocatalyst: Catalyst able to produce, upon absorption of light, chemical transformations of the reaction partners. The excited state of the photocatalyst repeatedly interacts with the reaction partners forming reaction intermediates and regenerates itself after each cycle of such interactions. (IUPAC 2014a-b)

Photosensitization: The process by which a photochemical or photophysical alteration occurs in one molecular entity as a result of initial absorption of radiation by another molecular entity called a photosensitizer. In mechanistic photochemistry the term is limited to cases in which the photosensitizer is not consumed in the reaction. (IUPAC 2014c)

Hier ist augenfällig, dass sowohl Photokatalysator- als auch Photosensibilisator-Teilchen chemische Reaktionen auslösen können, lediglich letztere aber zusätzlich photophysikalisch wirken können, d.h. im Sinne eines Energietransfers (vgl. Becker 1991:88-92 für Unterschiede zwischen Energietransfer und Elektronenübertragung und 92-94 für unterschiedliche Energietransfermechanismen). Die Trennlinie innerhalb der IUPAC-Definition verläuft also etwas anders. Ferner ist die Photokatalyse laut Definition von einer Regenerierung des Katalysators gekennzeichnet, wohingegen ein Photosensibilisator-Teilchen nicht regeneriert werden muss, da es während der Photosensibilisierungsprozesse nicht aufge-

braucht wird, d.h. keine chemische Veränderung erfährt. Es verbleibt anzumerken, dass beide Arten von lichtangeregten Teilchen das Merkmal vereint, dass sie eine Vermittlerposition zwischen eingestrahlem und notwendigerweise potentiell absorbierbarem Licht auf der einen Seite, und Reaktand auf der anderen Seite einnehmen. Die Definition der Photokatalyse entspricht in gewisser Weise auch derjenigen der Katalyse, die auch schulisch genutzt wird – mit den Unterschieden, dass erstens der Photokatalysator nur durch Lichteinstrahlung wirksam wird und zweitens bei der schulisch eingeführten Katalyse keine Regeneration des Katalysators durch weitere Stoffe, wie z.B. Opferdonoren, vorgesehen ist.

Ein **Katalysator** beschleunigt oder ermöglicht eine chemische Reaktion, die ohne Katalysator nur langsam oder unter sehr hohem Energieaufwand ablaufen würde. In Anwesenheit eines Katalysators findet der Stoffumsatz über einen anderen Reaktionsweg statt, bei dem weniger Aktivierungsenergie aufgebracht werden muss. Die Reaktionsenergie ist jeweils gleich. Nach der Reaktion liegt der Katalysator unverändert vor. (Bohrmann-Linde/Siehr/Kröger 2020:299)

Deutlich ist in allen Definitionen zur Katalyse bzw. zur Photokatalyse, dass der katalysierte Reaktionsweg ein anderer ist als derjenige ohne Katalysator.

König/Hilgers (2016:25) führen den Begriff **Photoredoxkatalysator** ein und unterstreichen dadurch die Funktion des entsprechenden Stoffes im Zuge der Elektronenübertragung. Sie schreiben dem Photokatalysator-Molekül dabei die Eigenschaft zu, dass es nach Lichtanregung aufgrund der jeweils lediglich einzeln besetzten NUE und HBE sowohl als Photoelektronen-Donor (also als Reduktionsmittel) als auch als Elektronen-Akzeptor (also als Oxidationsmittel) fungieren kann. Sie stellen ferner die notwendige Eigenschaft des Ausbildens „mehrerer stabiler Redoxzustände“ (2016:26, vgl. auch Ausführungen zum EV^{2+} unten) heraus. Während sie unter photokatalytischer Einwirkung von Riboflavin gleichzeitig Benzylalkohol-Moleküle zu Benzylaldehyd-Molekülen oxidieren und Sauerstoff-Moleküle zu Wasserstoffperoxid-Molekülen reduzieren, nutzen sie die oxidativen und reduktiven Eigenschaften des Photokatalysators aus.

Im PBB-Experiment liegt der Fokus jedoch nicht auf dem gleichzeitigen Ausnutzen dieser Eigenschaften, sondern vielmehr darauf, eine farblose Spezies per Reduktion unter Proflavin-Verwendung in einen Farbstoff zu verwandeln, d.h. in eine Spezies, die sichtbares Licht absorbiert und für das menschliche Auge als Farbstoff wirkt. Es geht hier folglich um den didaktischen Clou, eine Stoffumwandlung (und damit einhergehend einen Photoelektronentransfer) phänomenologisch nachvollziehbar zu machen. Dass das PF^{2+} allerdings ein hervorragendes Oxidationsmittel darstellt, zeigt sich innerhalb obiger Ausführungen konkret an seinem Standardpotential PF^+/PF^{2+} . Ein Regenerieren per Reaktion mit EDTA-Molekülen hat dann auch die Funktion, den Photokatalysator immer wieder in den Reaktionszyklus mit EV^{2+} zurückzuführen und nicht denjenigen, die hohe Oxidationskraft zu demonstrieren. Dennoch kann Abb. 18 aus König/Hilgers (2016:26) dahingehend dienlich sein, dass sie die vorherrschenden Besetzungen der HBE (= HOMO, highest occupied molecular orbital) und der NUE (=LUMO, lowest unoccupied molecular orbital) im Grundzustand wie im angeregten Zustand illustriert. Darüber hinaus wird mithilfe der Bezeichnung SOMO (single occupied molecular orbital; einzeln besetztes Molekül-Orbital) deutlich, dass die HBE und die NUE nach Anregung jeweils nur einfach besetzt sind.

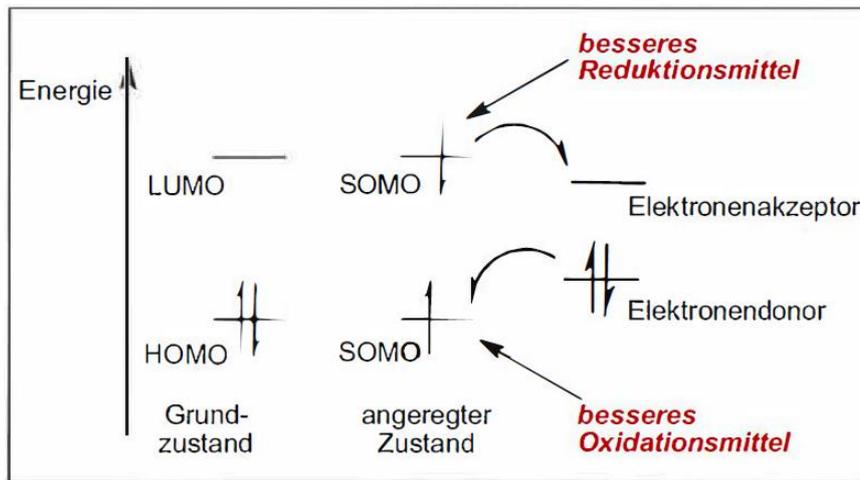


Abb. 18: Per Lichtanregung werden Photokatalysatoren zu Reduktions- und Oxidationsmitteln (vgl. König/Hilgers 2016:26)

Das NBE/LUMO des Elektronenakzeptors nimmt also vom am höchsten liegenden Elektronendonator-SOMO, also demjenigen aus dem angeregten Photokatalysator-Molekül, ein Elektron auf. Die Abbildung verdeutlicht, dass das NBE/LUMO des Akzeptors niedriger liegen muss als das höchste SOMO des Reduktionsmittels, damit ein PET stattfinden kann (vgl. Becker 1991:92).

6.6 Ethylviologen: Blauer Farbeindruck durch Chromophorerweiterung

Die relevante fachdidaktische Literatur geht bislang pragmatisch mit der Tatsache um, dass EV^{2+} farblos und $EV^{+•}$ tiefblau erscheinen. Bislang wurde aber noch nicht genau dargestellt, wie diese Farberscheinung strukturell zu erklären ist. Daher wird es als lohnenswert erachtet, die zu Grunde liegenden Gegebenheiten genau zu eruieren und im Zuge der folgenden Ausführungen und Diskussionen darzulegen.

6.6.1 Farbe durch Lichtabsorption

Der durch Licht ausgelöste PET auf Ethylenviologen-Dikation-Radikale ist nach außen hin durch das Blauwerden der Lösung für alle Beobachtenden sichtbar. Dahinter stehen veränderte strukturelle Verhältnisse in den reduzierten Molekülen, die in einer veränderten Lichtabsorption münden – und somit sich auch die wahrnehmbare Farbe verändert.

Hier greift das Prinzip der Farbentstehung durch Lichtabsorption: Die in der Lösung vorliegenden $EV^{+•}$ absorbieren Photonen aus dem sichtbaren Lichtspektrum. Die nicht absorbierten Photonen aus dem Lichtspektrum treffen auf das menschliche Auge und die dadurch ausgelösten Farbwahrnehmungen werden in der Folge additiv zusammengesetzt. Wenn das absorbierte Licht wie im vorliegenden Falle im Bereich des visuellen Spektrums liegt, resultiert dieses in der Wahrnehmung eines Farbeindrucks. Auf molekularer Ebene muss ein Chromophor vorliegen, der einfallende Photonen absorbiert, so dass das Molekül in den elektronisch angeregten Zustand angehoben wird. Das Zurückfallen in den Grundzustand ist strahlungslos, da das Molekül in der Lage ist, durch Schwingungsrelaxation (d.h. Schwingungen und Rotationen) die aufgenommene Energie in Form von Wärme an die Umgebung abzugeben (vgl. Tausch 2019:123ff, 169ff, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:116ff).

Abb. 19 zeigt ein didaktisch reduziertes Energiestufenmodell, das die elementaren Prozesse bezogen auf die Elektronenanregung darstellt. Im Kernlehrplan Chemie NRW (vgl. MSW 2014a:35, 45) wird dieses verlangt, weshalb auch hier nicht von HOMO und LUMO gesprochen wird, sondern von höchster besetzter Energiestufe (HBE) und niedrigster unbesetzter Energiestufe (NUE):

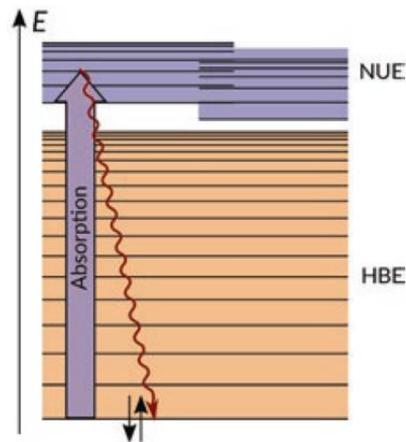


Abb. 19: Lichtabsorption und strahlungslose Desaktivierung im Energiestufenmodell (vgl. Tausch 2019:120)

Ein Elektron aus der HBE wird per Absorption eines Lichtquants, symbolisiert durch einen blauen Pfeil, in die NUE angehoben. Von dort erfolgt die strahlungslose Desaktivierung, dargestellt durch den wellenförmigen roten Pfeil. Eine Anregung erfolgt allerdings nur für den Fall, dass die Strahlung eine geeignete Energie besitzt. Wie groß diese sein muss, wird durch den Abstand HBE zu NUE bedingt, der stoffspezifisch ist und für organische Moleküle vom Chromophor abhängt (vgl. Tausch 2019:123ff, 169ff, Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:116ff).

Grundlage für die Absorption von Photonen aus dem sichtbaren Lichtspektrum ist, wie erwähnt, ein entsprechender Chromophor im betrachteten Molekül, also ein lineares oder cyclisches System bestehend aus konjugierten Doppelbindungen. Hier gilt das Prinzip, je ausgedehnter das π -Elektronensystem, also das System aus konjugierten Doppelbindungen, umso länger die Wellenlänge des absorbierten Lichtes. Das bedeutet, dass durch Chromophorerweiterung der Abstand zwischen HBE und NUE niedriger wird, so dass Photonen geringeren Energiegehalts für die Anhebung des Moleküls in den elektronisch angeregten Zustand benötigt werden. Weiterhin wirken auxochrome Gruppen (Elektronendonator-Gruppen) sich rotverschiebend (bathochromer Effekt) aus, d.h. der Abstand zwischen HBE und NUE wird nochmals verringert, so dass die Lichtabsorptionsbande weiter in den längerwelligen Bereich verschoben wird. Ideal ist dabei das Zusammenspiel mit antiauxochromen Gruppen (Elektronenakzeptor-Gruppen) (vgl. Peichert 2005:106ff). Der Abstand HBE – NUE kann jedoch auch durch bestimmte Einflüsse vergrößert werden, die die Chromophorausbreitung vermindern, so dass kurzwelligeres Licht zur Molekül-Anregung benötigt wird. Dies wird als Blauverschiebung (hypsochromer Effekt) bezeichnet (vgl. Wöhrle/Tausch/Stohrer 1998:116ff).

6.6.2 Absorptionsspektren unbestrahlter und bestrahlter PBB-Lösungen

Wird nun die unbestrahlte PBB-Lösung spektroskopisch untersucht, ist im sichtbaren Bereich des Spektrums (Abb. 20) ein Absorptionsmaximum von $\lambda = 444 \text{ nm}$ zu erkennen, das durch Proflavin verursacht wird. Licht im Bereich violett bis blau wird absorbiert, so dass die Lösung einen gelben Farbeindruck aufweist.

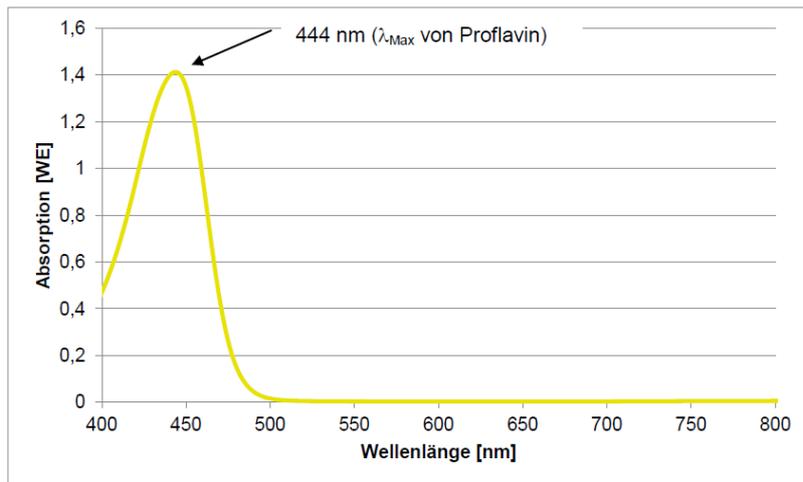


Abb. 20: Absorptionsspektrum von unbestrahlter PBB-Lösung (Heffen 2017:44)

Die EV^{2+} in der Lösung sind also farblos, d.h. sie absorbieren Photonen außerhalb des sichtbaren Spektrums. Nach Bestrahlen der PBB-Lösung bildet sich eine neue Absorptionsbande mit einem Maximum bei $\lambda = 605 \text{ nm}$ und Schultern bei etwa 500 nm bis 700 nm (vgl. Abb. 21 sowie Heffen 2017:43ff). Dieser Bande können die absorbierten Spektralfarben gelb, orange bis orange-rot (vgl. Wöhrle/Stohrer/Tausch 1998:115) zugeordnet werden, woraus die Wahrnehmung der Komplementärfarben dunkelblau bis blau resultiert.

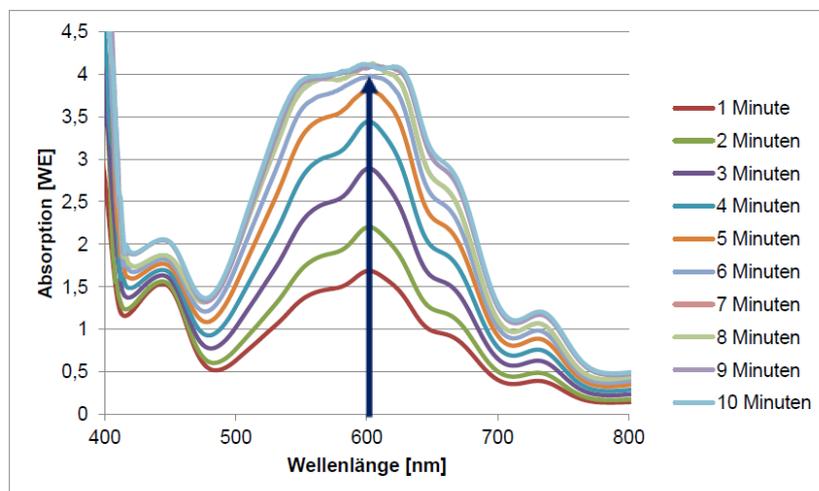


Abb. 21: Absorptionsspektrum von lichtbestrahlter PBB-Lösung (vgl. Heffen 2017:45)

Wie der Abb. 21 zu entnehmen ist, bestrahlte Heffen die PBB-Lösung für insgesamt zehn Minuten und zeichnete in Abständen von einer Minute Absorptionsspektren auf. Die Absorptionsintensität nimmt bis zur sechsten Messung stark zu. Die darauf folgenden Kurvenverläufe sind nur leicht höher und überlagern sich, so dass Heffen von einem sich einstellenden Gleichgewicht spricht. Für das betrachtete System, in dem nicht unter Sauerstoffabschluss gearbeitet wurde, lag somit ein Konzentrationsmaximum an gebildeter blauer Spezies vor, die von dem EV^{+} erzeugt wird (vgl. Heffen 2017:44). Zudem lässt sich in Abb. 21 wiederum das Proflavin-Absorptionsmaximum, $\lambda = 444 \text{ nm}$, feststellen.

6.6.3 Strukturelle Besonderheiten Viologen: Dikationen und Monokation-Radikale

Die Veränderung des Absorptionsmaximums steht im Zusammenhang mit entscheidenden strukturellen Veränderungen vom EV^{2+} zum EV^{+} . In der Literatur werden benzyl-, methyl-, und phenylsubstituierte Viologenderivate sowie ein nichtsubstituiertes Modellviologen-Molekül betrachtet. Alle Monokation-Radikale absorbieren Licht im sichtbaren Spektrum mit folgenden Maxima: Benzylviologen-Monokation-Radikale bei $\lambda = 550$ nm, Methylviologen-Monokation-Radikale, genau wie EV^{+} , bei $\lambda = 605$ nm und Phenylviologen-Monokation-Radikale bei $\lambda = 705$ nm (Werte aus Heffen 2017:44-50, sie rekurriert dabei auf Mills/McFarlane/Schneider 2006, Porter/Vaid 2005, Yang/Frith/Garcia-Araez et al. 2015 sowie Bellin/Alexander/Mahoney 1973). Aus den folgenden Betrachtungen werden final Schlüsse für die in der PBB vorliegende Spezies abgeleitet.

Die Coplanarität der Heterocyclen ist ein entscheidendes strukturelles Merkmal, das die Chromophorausbreitung bedingt. Bei Betrachtung der Viologen-Dikationen stellt die Literatur heraus, dass die aromatischen Pyridiniumringe gegeneinander verdrillt sind. Pham/Gentz/Zörlein et al. (2006:1441) weisen einen Winkel von $40,1^\circ$ für das Benzylviologen-Dikation aus, Wolkers/Stegmann/Freking et al. (1993:1343) nennen einen Verdrillungswinkel von 60° für das Methylviologen-Dikation, Porter/Vaid berichten von einem $37,7^\circ$ -Winkel für das Phenylviologen-Dikation (2005:5031, 5028). Ferner wurde eine nichtsubstituiertes Modellviologen, also ein 4,4'-Bipyridin-Dikation, von Orimoto/Ishimoto/Aoki analysiert, für das die Autoren einen Winkel von $52,5^\circ$ nennen (2018:4547f).²⁸ In diesen Fällen kann also gefolgert werden, dass sich das delokalisierte π -Elektronensystem nicht über das gesamte System, also nicht über beide Heterocyclen, erstrecken kann. Es wird als Argument für die Lichtabsorption im Bereich höherer Energie außerhalb des sichtbaren Spektrums herangezogen. Diese Erläuterungen erinnern ferner an die recht ähnlichen Strukturverhältnisse im Diphenyl-Molekül: Sowohl das ungeladene Diphenyl-Molekül als auch die jeweiligen Dikationen der genannten Viologene weisen Verdrillungswinkel auf (vgl. auch Abb. 23).

Im Vergleich dazu weisen die erwähnten Studienautoren tendenziell coplanare Strukturen für die Monokation-Radikale aus: Die Winkel liegen bei $5,4^\circ$ für das Benzylviologen-Monokation-Radikal (Pham/Gentz/Zörlein et al. 2006:1441), bei $1,0^\circ$ für das Phenylviologen-Monokation-Radikal (Porter/Vaid 2005:5031, 5028), für das Methylviologen-Monokation bei 15° (Wolkers/Stegmann/Freking et al. 1993:1343) sowie für das Modell-Viologen-Monokation-Radikal bei $0,1^\circ$ (Orimoto/Ishimoto/Aoki 2018:4547f). Aus dieser Reihe sticht der Wert von Wolkers/Stegmann/Freking et al. für das Methylviologen-Monokation-Radikal heraus. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass „[d]er für eine Planarisierung benötigte Energieaufwand [...] sehr gering [ist]“ (1993:1343). Aus diesen Informationen kann gefolgert werden, dass sich der Chromophor über beide Ringe erstrecken kann. Monk macht deutlich, dass die Coplanarität eine notwendige Bedingung für die Farbe ist. Er formuliert es allgemein für ein Viologen-Monokation-Radikal, bipyridilium radical cation ($bipm^{+}$), in dieser Weise: „if the two pyridine rings of $bipm^{+}$ are forced to be 'skew', then the intense colour of the radical cation does not last long, as shown by intercalation of $bipm^{+}$ into solid various matrices“ (Monk 1998:5, unter Bezugnahme auf Poizat/Sourisseau/Corset 1986).

Porter/Vaid visualisieren die resultierende Ausbreitung des delokalisierten π -Elektronensystems für das Phenylviologen-Monokation-Radikal als chinoide Struktur, wie in Abb. 22 angegeben (2005: 5028). Barltrop/Jackson formulieren für ein allgemeines Viologen eine konkrete mesomere Grenzstruktur, an der sich sowohl die positive Ladung als auch das ungepaarte Elektronenpaar an demselben Stickstoff-Atom befinden (1984:367). Dieser Sachverhalt wird als Argument für die Lichtabsorption der genannten Monokation-Radikale im Bereich des sichtbaren Spektrums herangezogen.

Aus der Analyse der Bindungslänge der die Heterocyclen verbindenden C-C-Bindung können weitere Informationen bezüglich der Chromophorausbreitung abgeleitet werden. Aus der

²⁸ Die genannten Winkel beruhen auf experimentell ermittelten Daten aus Röntgenstrukturanalysen und aus quantenmechanischen Berechnungen.

fachwissenschaftlichen Literatur (vgl. Wollrab 2014:28, 198) sind die Werte für C-C-Einfachbindungen in Alkanen (154 pm), C-C-Doppelbindungen in Alkenen (134 pm) und C-C-Bindungen in Benzol-Molekülen (140 pm) bekannt. Für die unterschiedlichen Dikationen werden folgende Werte angegeben, die hier aufgelistet sind:

- Methylviologen-Dikation: 149,2 pm (Wolkers/Stegmann/Freking et al. 1993:1344)
- Phenylviologen-Dikation: 148,5 pm (Porter/Vaid 2005:5031)
- Modell-Viologen-Dikation: 149,7 nm (Orimoto/Ishimoto/Aoki 2018:4548)

Diese Werte liegen nah an denjenigen für C-C-Einfachbindungen und folglich liegt ein weiteres Argument getrennter delocalisierter π -Elektronensysteme vor.

Die Werte für Monokation-Radikale liegen zwischen 142,1 pm und 142,7 pm, wie dieser Liste zu entnehmen ist:

- Methylviologen-Monokation-Radikal: 142,7 pm (Wolkers et al. 1993:1344)
- Phenylviologen-Monokation-Radikal: 142,7 pm (Porter/Vaid 2005:5031)
- Modell-Viologen-Monokation-Radikal: 142,1 pm (Orimoto/Ishimoto/Aoki 2018:4548)

Sie sind also deutlich kürzer als in den Dikationen und nah an den Werten für C-C Bindungen im Benzol-Molekül. Insofern lassen diese Daten darauf schließen, dass sich ein delocalisiertes π -Elektronensystem über diese zentrale C-C-Bindung erstreckt.

In diesem Überblick aus der Fachliteratur zu verschiedenen Viologenderivaten wird deutlich, dass sie tendenziell ähnliche Charakteristika aufweisen. Daher können die Erkenntnisse im Trend auch auf das EV^{2+} und das $EV^{+\bullet}$ übertragen werden. Im Monokation-Radikal erstreckt sich das Chromophor also über die nahezu coplanar angeordneten Ringe. Auch seine Stabilität liegt darin begründet: „[it] is attributable to the delocalisation of the radical electron throughout the π -framework of the bipyridyl nucleus“ (Monk/Mortimer/Rosseinsky 2007:342f). Dem kann in der Formelschreibweise mit chinoiden Strukturen Rechnung getragen werden.

Die beiden Abbildungen, Abb. 22 und Abb. 23, enthalten Strukturformeln, die diese Erkenntnisse visualisieren. Neben Strukturformeln für Dikation und Monokation-Radikal wird auch das ungeladene Molekül mit abgebildet, das jedoch für die aktuellen Betrachtungen unbedeutend ist.²⁹

²⁹ Mit der Farbigkeit von Monokation-Radikal und ungeladenem Molekül befasst sich Mohammad. Bei Ähnlichkeiten der Absorption im Bereich von ca. 350 nm bis 420 nm gibt es Unterschiede im Bereich des längerwelligen sichtbaren Lichts: Während das Monokation-Radikal im Bereich des sichtbaren Lichtes absorbiert, fehlen diese Banden im Absorptionsspektrum des ungeladenen Moleküls. Daraus ergeben sich unterschiedliche Farbwahrnehmungen von tiefblau für das Dikation-Radikal und rötlich-gelb für das ungeladene Molekül (vgl. 1987:2780f). Mohammad wiederlegt somit die Hypothese, dass es sich beim ungeladenen Molekül um ein Diradikal handeln könne: „[It] was not found to be a diradical“ (ibid.:2779). Monk stützt diese Befunde („In fact, the di-reduced compound was found to be an amine when first formed in the solid state“ (1998:9)) und verweist darauf, dass die Moleküle dieser Spezies hochreaktiv sind: „[They] are very powerful reducing agents [...]. It is known that they may reduce hydrogen ions into hydrogen gas“ (ibid.:10).

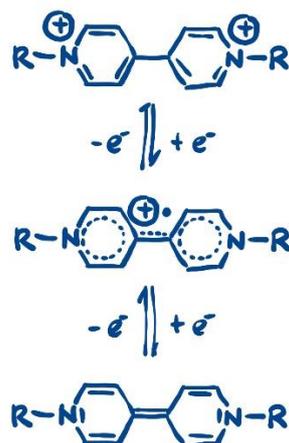


Abb. 22: Strukturformeln einer allgemeinen Viologen-Spezies in ihren geläufigen Redoxzuständen; von oben nach unten: Dikation, Monokation-Radikal, neutrales Molekül; eigene Anfertigung nach Porter/Vaid (2005:5028)

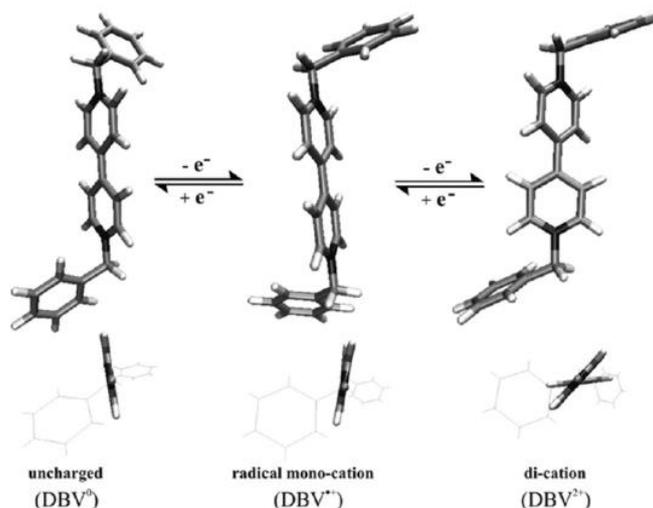


Abb. 23: Darstellung von Benzylviologen-Strukturen im Stäbchenmodell; von links nach rechts: neutrales Molekül, Monokation-Radikal, Dikation (vgl. Pham/Gentz/Zörlein et al. 2006:1442)

Es kommt also auch bei $EV^{+\bullet}$ „zu chinoiden Grenzstrukturen, in denen die Ringe coplanar sind. Der Chromophor aus konjugierten Doppelbindungen dehnt sich [...] aus, die Absorption verschiebt sich [bathochrom]“ (Tausch 2019:225f). Der Chromophor ist überdies von miteinander interagierenden auxochromen (dem tertiären Amin im einen Ring) und antiauxochromen Gruppen (dem tertiären Amin mit positiver Ladung und Radikal im anderen Ring) gekennzeichnet. All dieses hat zur Folge, dass dieses Molekül Photonen aus dem gelben Bereich des sichtbaren Spektrums absorbiert und eine blaue Farbwahrnehmung hervorruft (vgl. Absorptionsspektren oben). Entscheidend ist, dass die Stickstoff-Atome in den Heterocyclen jeweils sp^2 -hybridisiert sind, so dass die im p_z -Orbital befindlichen Elektronen an der Delokalisation partizipieren (vgl. Bruice 2011:864, 869).

6.6.4 Darstellung des Chromophors im Ethylviologen-Monokation-Radikal

Die folgenden Grenzstrukturen zeigen, dass sich der Chromophor über beide Ringe erstreckt. Die Ausgangsstruktur ist so gewählt, dass das „Klappen“ der Elektronenpaare gut nachvollziehbar ist. Als Donator-Gruppe fungiert die tertiäre Aminogruppe, drei konjugierte Doppelbindungen bilden die

Konjugationsbrücke und das positiv geladene Stickstoff-Atom mit Radikal wirkt als Akzeptor-Gruppe. Das erklärt die Farbigkeit im kontrastierenden Vergleich mit dem EV^{2+} -Molekül, wo dieses nicht möglich ist.

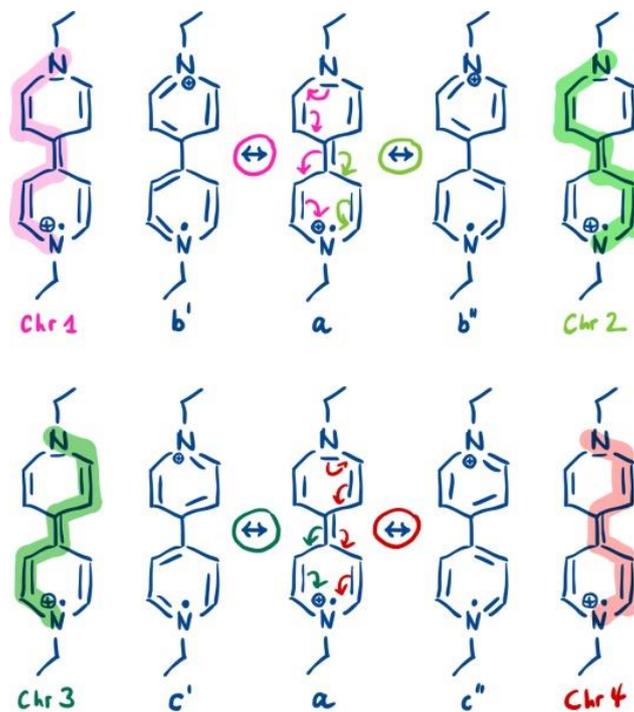


Abb. 24: Mögliche Chromophorausbreitung im Ethylviologen-Monokation-Radikal; b', b'' sowie c' und c'' zeigen mesomere Grenzstrukturen ausgehend von a; die Strukturen Chr1 bis Chr4 spiegeln die Ausbreitung des Chromophors in Bezug auf die Ausgangsstruktur a wider; eigene Anfertigung

Wie in den in Abb. 24 dargestellten mesomeren Grenzstrukturen ersichtlich ist, ergeben sich je nach Ausführung des „Klappens“ vier unterschiedliche Chromophore, innerhalb derer sich dieselbe Anzahl an π -Elektronen, jeweils acht, über dieselbe Anzahl an Atomen, ebenfalls jeweils acht, erstrecken. Prinzipiell sind manche Chromophorausbreitungen ineinander spiegelbar, so dass man argumentieren könnte, dass es weniger mögliche Grenzstrukturen gibt. Dem ist entgegenzuhalten, dass die jeweils beteiligten C-Atome potentiell unterschiedliche Isotope sein können und daher unterschiedlich zu betrachten sind.

Nun wird eines dieser Chromophore stellvertretend für die anderen aus dem System isoliert und mit den Strukturen ähnlich ausgedehnter Chromophore in Cyaninen verglichen, die über ähnlich kooperierende Auxochrome und Antiauxochrome verfügen (vgl. Abb. 25). Man sollte meinen, dass das Absorptionsmaximum des EV^{+} etwa im Bereich der Cyanine I und II liegt. Dem ist jedoch nicht so: In Wahrheit liegt das Absorptionsmaximum des Monokation-Radikals bei $\lambda = 605$ nm und ist damit deutlich bathochrom verschoben. Dagegen liegt das Absorptionsmaximum eines Cyanin-Moleküls mit einem Chromophor über 9 Atome und einer Beteiligung von 10 π -Elektronen in vier konjugierten Doppelbindungen und in der Donatorgruppe bei $\lambda = 519$ nm und erscheint purpur. Ein anderes Cyanin-Molekül mit 7 Atomen, 8 π -Elektronen in drei konjugierten Doppelbindungen und in der Donatorgruppe hat eines von $\lambda = 420$ nm, so dass es gelbgrün erscheint (vgl. Bohrmann-Linde/Kröger/Tausch et al. 2014:174f).

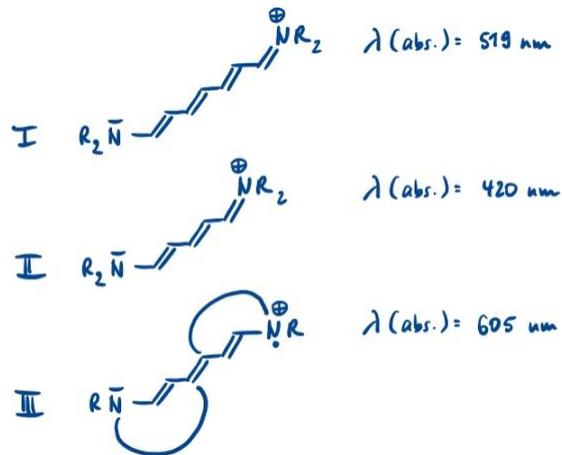


Abb. 25: Strukturformeln von Cyanin-Molekülen (I und II) und EV** (III); eigene Anfertigung (für I und II nach Bohrmann-Linde/Kröger/Tausch et al. 2014:173)

Dieser Unterschied ist dadurch erklärbar, dass sich die Delokalisation bei den Cyaninen über eine lineare Kette von Atomen erstreckt. Dahingegen erfolgt die Delokalisation der cyaninartigen Struktur im EV** innerhalb einem komplexen System, bei dem die Grenzstrukturen auch aromatische Ringe und chinoide Strukturen einbeziehen. Folglich bleibt festzuhalten, dass nicht nur die Länge der Delokalisation, sondern auch die Topologie des betrachteten Systems, in dem sich die Delokalisation befindet, bedeutsam ist. Selbst bei einer geringeren Anzahl an beteiligten Atomen und Elektronen begünstigt die Topologie die leichtere elektronische Anregbarkeit von Elektronen. Auch bietet dieses komplexe System mannigfaltige Möglichkeiten der Delokalisation, wie die unterschiedlichen Chromophor-Ausbreitungen ausgehend von der auxochromen Gruppe andeuten (vgl. Abb. 24. mit den vier unterschiedlichen Chromophoren Chr1 bis Chr4). All dieses sorgt dafür, dass die Delokalisation im EV** sehr viel ausgeprägter ist als in den betrachteten Cyanin-Vertretern.

6.6.5 Betrachtungen zum radikalischen Charakter

Neben den obigen Ausführungen muss auch in Betracht gezogen werden, dass das Ethylviologen-Monokation ein Radikal ist. Auch diese Tatsache wirkt sich auf die Farbigkeit aus: Ein Vergleich der Abstände zwischen HOMO (bzw. HBE) und LUMO (bzw. NUE) im Modellviologen-Dikation, -Monokation-Radikal und ungeladenem Molekül weist den kürzesten Abstand beim Monokation-Radikal auf. Ähnliches gilt für die Verhältnisse im Biphenyl-Dikation, -Monokation und ungeladenem Molekül (vgl. Orimoto/Ishimoto/Aoki 2018:4548f). Dieser Abstand korreliert mit dem für eine Anregung notwendigen Energiebetrag, der für das Monokation-Radikal folglich am geringsten ist. Daher werden Elektronen im HOMO (bzw. HBE) von Monokation-Radikalen mit Photonen des geringsten Energiegehalts elektronisch angeregt.

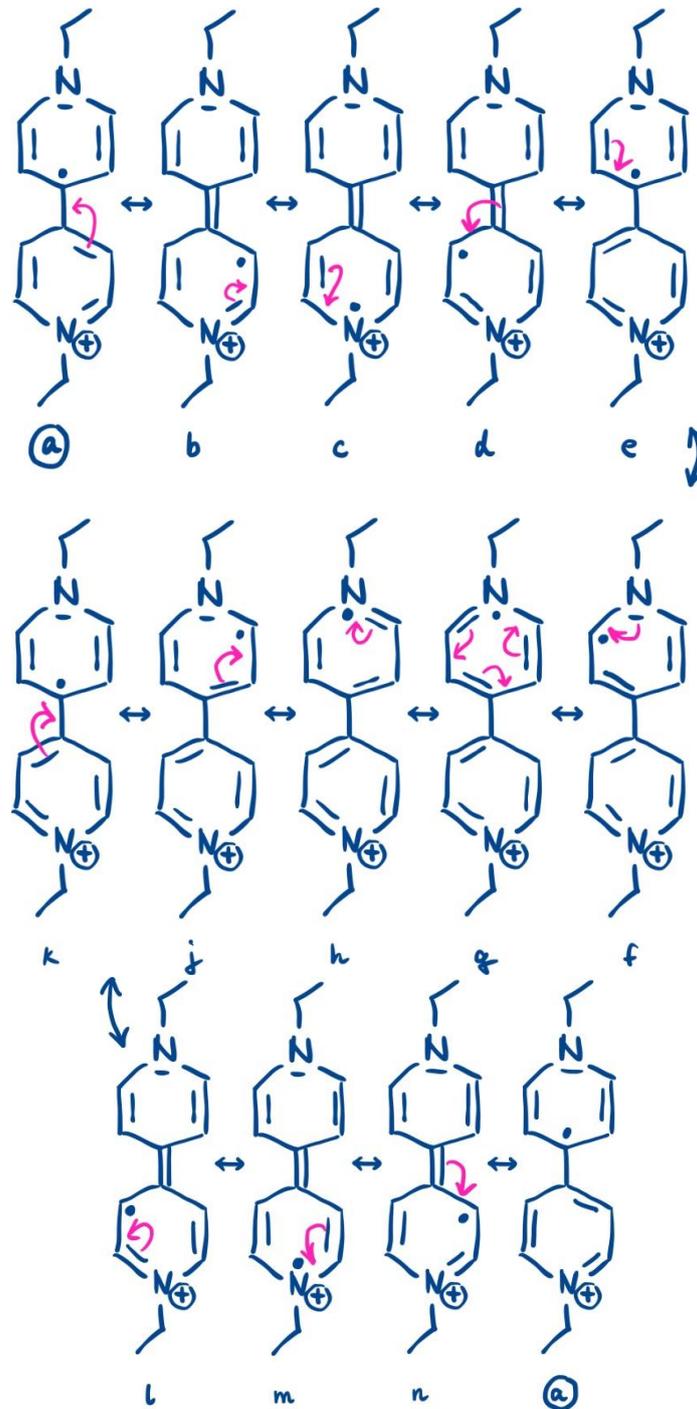


Abb. 26: Mesomere Grenzstrukturen des EV^{2+} ; eigene Anfertigung

In Abb. 26 ist die Delokalisierung des π -Elektronensystems im EV^{2+} ausgehend vom C-Atom in der Stellung 4 zum C-Atom in der Stellung 4' über beide Heterocyclen dargestellt. Es können 13 mesomere Grenzstrukturen gebildet werden, wovon sechs (b, c, d, l, m, n) die Ausbildung chinoider Strukturen nachvollziehen lassen. Sie tragen deshalb am meisten zur Beschreibung des Zustands von EV^{2+} bei, da sich hieran die Ausbreitung des leicht elektronisch anregbaren π -Elektronensystems nachvollziehen lässt. Auch hier ist die besondere Topologie von Bedeutung, denn sie ermöglicht die besonders ausgeprägte Delokalisation. Somit erhält die auf makroskopischer Ebene beobachtbare Färbung der Lösung eine weitere einleuchtende Erklärung auf der modelltheoretischen, submikroskopischen Ebene.

Der Sachverhalt, dass der *Radikalcharakter* eines Moleküls das Absorptionsverhalten beeinflusst und wahrnehmbare Farben erzeugt, ist auch bei anderen organischen Molekülen anzutreffen. Als Beispiel eignet sich das Triphenylmethyl-Radikal, da im Chemieunterricht die Spezies der Triphenylmethanfarbstoffe curricular verankert sind (vgl. MSW 2014a:47), wenn auch nicht in Bezug auf mögliche Radikale. Nach der Behandlung von Triphenylmethanfarbstoffen wie z.B. Malachitgrün, könnte das Feld der Farbstoffe ausgeweitet und das Triphenylmethyl-Radikal thematisiert werden. Im folgenden Zitat wird angesprochen, dass das Triphenylmethyl-Radikal aufgrund des Radikalcharakters eine spezifische Färbung erhält:

Das Einzelelektron befindet sich in einem π -Orbital und kann sich über das gesamte π -Elektronensystem der drei Benzolringe verteilen (in der Formel ist das durch die mesomeren Grenzformeln angedeutet; insgesamt könnte man zehn solche Formeln schreiben). Die Verteilung der negativen Ladung des Elektrons auf einen größeren Molekülbereich ist für das Molekül günstiger, als wenn die gesamte Ladung an einem Atom lokalisiert wäre. Das ist auch die Ursache für die langwellige Lichtabsorption, welche die gelbe Farbe hervorruft.
(Rüchardt/Mayer-Rüthardt 1969:41)

Ferner lässt sich anhand desselben Molekül-Radikals die Bedeutung von Coplanarität der beteiligten aromatischen Ringe thematisieren. Auch hier sind die Phenylringe leicht gegeneinander verdrillt. Da sich die ortho-Wasserstoff-Atome räumlich sehr nahe kommen, stoßen sie sich ab und das Triphenylmethyl-Radikal weist dann leicht propellerartig zueinander stehende Phenylringe auf. Bei einer leichten Abschwächung der Mesomerie wird sie aber nicht dadurch verhindert (vgl. *ibid.*:41).

Insgesamt ist für die Farbigkeit des $EV^{••}$ also einerseits die Coplanarität der Heterocyclen und Chromophorausbreitung verantwortlich. Hier spielt auch die besondere Molekültopologie hinein. Andererseits ist der vorliegende Radikalcharakter von großer Bedeutung.

6.6.6 Umwandlung und Speicherung von Energie

Die Generierung von $EV^{••}$ basiert auf endergonischen Prozessen. Lichtenergie wird benötigt, damit die Reaktion abläuft, wobei diese Spezies so lange stabil ist, bis sie in Kontakt mit Sauerstoff kommt. Die Oxidation zu EV^{2+} verläuft exergonisch. Es wurde versucht, diesen Sachverhalt durch thermische Messungen zu dokumentieren, was jedoch nicht gelungen ist: „Trotz größter Bemühungen konnte die im reduzierten Substrat gespeicherte Energie nicht als freiwerdende Wärme bei seiner Oxidation nachgewiesen werden“ (Tausch 2019:225). Stattdessen wird die Energiespeicherung mit Hilfe einer photoelektrochemischen Simulation nachgestellt (vgl. Korn/Tausch 2001). Sie basiert auf der Überlegung, dass eine Konzentrationskette aus zwei Halbzellen jeweils mit den Redoxpaaren EV^{2+} (oxidierte Form) und $EV^{••}$ (reduzierte Form) hergestellt werden kann (Proflavin und EDTA nehmen nicht am Aufbau der Potentiale teil). Anfänglich sind aufgrund derselben Konzentrationsverhältnisse die Elektrodenpotentiale gleich, so dass keine Potentialdifferenz und somit auch keine Spannung gemessen werden kann. Durch Bestrahlung einer Halbzelle mit blauem Licht wird dort die Konzentration der oxidierten Ethylviologen-Form vermindert, wodurch das Elektrodenpotential niedriger und eine Spannung messbar wird. Diese Zusammenhänge können über die Einbeziehung der Nernst-Gleichung nachvollzogen werden (vgl. Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. 2013:29f für eine detaillierte Darstellung des strukturell verwandten Substrats Methylviologen). Die Spannung wird solange aufrechterhalten, bis Sauerstoff eindiffundiert bzw. absichtlich eingeleitet wird. Daraufhin entfärbt sich die Lösung, sie wird gelb, und die Spannung bricht ein. Auf diese Weise sind Energiekonversion und Speicherung „in Schülerexperimenten einfach und überzeugend [durchzuführen]“ (Tausch 2019:225). Zudem ist die Spannung liefernde Konzentrationszelle durch wiederholtes Beleuchten mit blauem Licht regenerierbar, so dass man auch von einem Akkumulator sprechen kann, mit dem Unterschied, dass hier der Photokatalysator durch EDTA regeneriert wird. Ist dieses aufgebraucht, ist auch keine Regeneration des für die Reaktion essentiellen Photokatalysators möglich.

In diesem Teilbereich des PBB-Experiments wird also Lichtenergie genutzt, um ein Konzentrationsgefälle aufzubauen, das wiederum im Aufbau einer elektrischen Spannung resultiert. Eine Diskussion der Unterschiede zwischen dem beschriebenen photoelektrochemischen System und zzt. noch als klassisch zu bezeichnenden Sekundärzellen nehmen Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. vor (vgl. 2013:30f). Abb. 27 führt den in dieser Studie verwendeten Aufbau der „photoaktiven Konzentrationszelle“ (Heffen 2017:99) vor Augen.

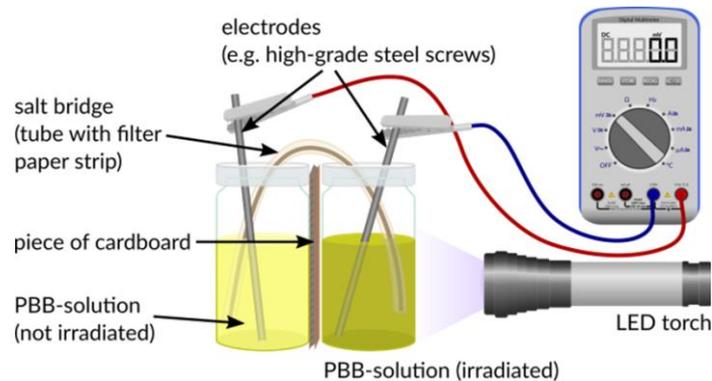


Abb. 27: Photoelektrochem. Konzentrationszelle (Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019:34, Zeichnung: N. Meuter)

Im Zuge der chemiedidaktischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurden die in Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. (2013) vorgestellten apparativen Aufbauten der Konzentrationszelle von Heffen (vgl. 2017:99ff, vgl. auch Heffen/Tausch 2015:54f) und Gökkuş née Yurdanur (2020:262ff) verfeinert. Eine aktuelle Darstellung finde sich in Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019) und in Tausch (2019:226).

7 Fachdidaktischer Hintergrund

7.1 Zum Begriff ‚Modell‘

Chemieunterricht ist wie jeder andere naturwissenschaftliche Unterricht geprägt vom Umgang mit vielerlei unterschiedlichen Modellen. Hier werden sie einerseits „als Werkzeuge für die Gewinnung neuer Erkenntnisse genutzt, andererseits [...] [dienen] sie als Medien für die Kommunikation bereits bekannter Fakten“ (Krüger/Kauertz/Upmeier zu Belzen 2018:414).

Eine Annäherung an die Thematik spezifisch für den Chemieunterricht gelingt durch die Sichtung der aktuellen deutschsprachigen chemiedidaktischen Grundlagenliteratur: Die Fachdidaktiker*innen orientieren sich an der Modelltheorie nach Stachowiak (1973) (vgl. z.B. Tausch 1982:226ff, Barke/Harsch 2001:136, Lutz/Pfeifer 2002:50ff, Reiners/Saborowski 2017a:46ff, Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:241ff, Hilker 2018:123, Krüger/Kauertz/Upmeier zu Belzen 2018:142f, Pfeifer/Sommer 2018a:520f, Streller/Bolte/Dietz et al. 2019:178, Tausch 2019:92ff).³⁰ Dabei gilt der zentrale Gedanke: „Ein Modell ist allgemeine eine strukturierte Menge, die Elemente und Strukturen eines Originals teilweise abbildet“ (Tausch 1982:226). Der Zusammenhang zwischen Modell und Original kann anhand

³⁰ In dieser Auflistung sind zentrale Texte verschiedener Chemiedidaktiker*innen versammelt, die aus unterschiedlichen Jahren und unterschiedlichen Verlagshäusern stammen. Zweimal sind Werke aufgeführt, die sowohl in ihren älteren als auch ihren jüngsten Auflagen auf Stachowiak zurückgreifen (vgl. Barke/Harsch 2001 und Barke/Harsch/Kröger et al. 2018 sowie die Beiträge von Lutz/Pfeifer 2002 und Pfeifer/Sommer 2018a, die aus den Sammelbänden von Pfeifer/Lutz/Bader 2002 bzw. Sommer/Wambach-Laicher/Pfeifer 2018 entnommen wurden). Für einen Überblick über den chemiedidaktischen und deutschsprachigen Horizont hinaus vgl. auch Krüger/Kauertz/Upmeier zu Belzen (2018).

der „Original-Modell-Abbildung“ (Stachowiak 1973:157) verdeutlicht werden, die von Tausch (vgl. 1982, 1983, 2019) explizit aufgegriffen wird,³¹ vgl. Abb. 28³²:

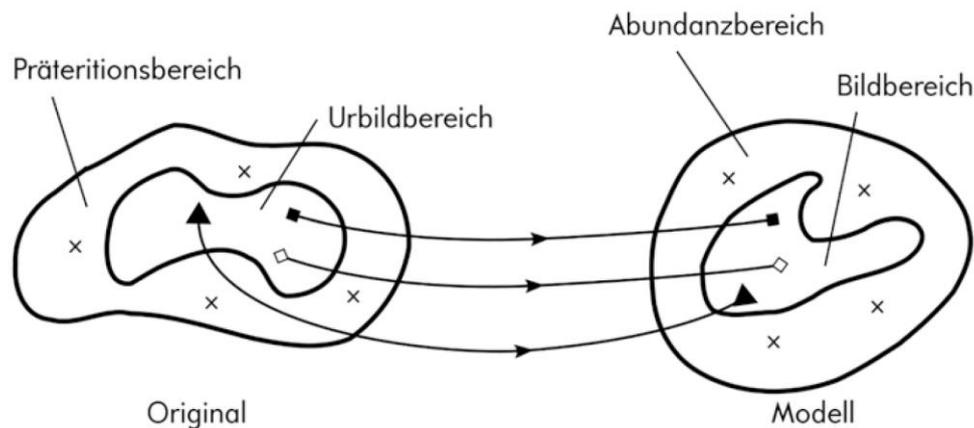


Abb. 28: Original-Modell-Abbildung nach Stachowiak (1973:157) in der Umsetzung nach Tausch (1982:226, 1983:44, 2019:92)

Die Gesamtheit des Originals besteht aus Urbildbereich und Präteritionsbereich, diejenige des Modells aus Bildbereich und Abundanzbereich. Gemäß der teilweisen Abbildung des Originals im Modell befinden sich im Urbildbereich des Originals diejenigen Attribute,³³ die im Modell abgebildet und dort im Bildbereich versammelt werden. Pfeilverbindungen aus dem Urbildbereich in den Bildbereich verdeutlichen diese Übertragung. Die „übergangene[n], ausgelassene[n]“ Attribute (Stachowiak 1973:155) des Originals bilden den Präteritionsbereich. Da sie als „operativ irrelevant[.]“ (ibid.) für die Verwendungsabsicht des entworfenen Modells gelten oder weil dieser Teil des Originals noch als „weniger bekannt“ (Tausch 1983:44, vgl. Stachowiak 1973:155ff) eingestuft wird, findet keine Übertragung statt. Der Abundanzbereich des Modells umfasst „Attribute [...], denen keine originalseitigen Attribute [...] entsprechen“ (ibid.:156). Mittels dieser als „überfließend“ oder „überschüssig“ (ibid.) bezeichneten Attribute werden die Gedanken der das Modell entwerfenden Person zum Ausdruck gebracht. Sie weisen teilweise eine „pragmatisch kontingente“ Qualität (ibid.) auf. Es sind zwei Kategorien von Abundanzen genannt: Erstens gibt es „technisch-ökonomische“ (ibid.) Abundanzen, die im Zuge der konkreten Modellkonzeption und -herstellung entstehen. Hier muss die entwerfende Person Entscheidungen hinsichtlich der zu beabsichtigten Darstellungs-, Erklärungs- und Einsatzzwecke oder der verwendeten Modellierungsmaterialien treffen, die wiederum zeitlichen, finanziellen, persönlichen oder kulturellen Einflüssen unterliegen. Diese Entscheidungen betreffen also das konkretisierte abstrakte oder konkrete Modell in seiner tatsächlichen Erscheinungsform. Diese

³¹ Die weiteren angeführten fachdidaktischen Publikationen nutzen diese „Original-Modell-Abbildung“ und die damit einhergehenden Ausführungen nicht konkret, sondern rekurren vielmehr auf die hierauf basierenden modelltheoretischen Hauptmerkmale (Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und pragmatisches Merkmal, vgl. Stachowiak 1973:131ff), die im Anschluss thematisiert werden (vgl. S. 60).

³² Diese Abbildung nach A. S. Dreiding (vgl. Tausch 1982) entspricht Schaubild 4 in Stachowiak (1973:157), enthält dabei leicht modifizierte Termini (z.B. „Präteritionsbereich“ an Stelle von „präterierte Attribute“ oder „Urbildbereich“ und „Bildbereich“ für „Abbildungsvorbereich“ und „Abbildungsnachbereich“) und konkretisiert die Attribute mithilfe von geometrischen Figuren oder Buchstaben. In Tausch (1982) sind zwei symbolhaft dargestellte Attribute, ein Kreis und ein gefülltes Quadrat, sogar noch mit einer gestrichelten Linie verbunden. Diese symbolisieren andeutungsweise, dass die Attribute in gewisser Weise in Beziehung zueinander stehen (vgl. Stachowiak 1973:134) – ein Befund für den Urbildbereich, der ebenso in den Bildbereich übertragen wird (vgl. nächste Fußnote).

³³ Attribute werden mit Stachowiak als „wohlunterscheidbare, nicht weiter zu zerlegende Teilobjekte [eines Originals verstanden] [...], die potentielle oder tatsächliche Träger von Eigenschaften sind und denen gegebenenfalls eine Relationsstruktur aufgeprägt werden kann“ (1973:134). Sie werden durch Prädikate sprachlich repräsentiert (vgl. ibid.:136).

Kategorie von Abundanzen ist also im Zweck des Modells zu begründen und sie wirkt sich auf die tatsächliche Realisation des Modells aus. Zweitens gibt es „Überbrückungsabundanzen“ (ibid.), die „Voraussagen über das Original“ (Tausch 1983:226) treffen und zurück in den Präteritionsbereich wirken. Sie bergen somit als gut begründete Hypothesen das Potential „Abbildungslücken“ (Stachowiak 1973:156) im Original zu schließen. Diese Kategorie von Abundanzen wirkt somit auf das Erkennen des Originals zurück.

Stachowiak arbeitet dazu drei modelltheoretische Hauptmerkmale heraus (vgl. 1973:131ff): Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und pragmatisches Merkmal.³⁴ Modelle bilden also ausgewählte reale Sachverhalte (Objekte oder Originale) teilweise ab. Dazu gehören natürliche sowie künstliche Originale. Ferner wird das Original nicht in seiner Gesamtheit abgebildet, sondern in elementarisierter bzw. reduzierter Weise. Die Auswahl der Verkürzungsausprägung wird von der modellierenden Person getroffen, denn sie beabsichtigt zum Zwecke der Vermittlung und zum Verständnis des Objekts, dass zentrale Originaleigenschaften ins Relief treten. Überdies werden bei der Modellierung pragmatische Entscheidungen bezüglich Zielgruppe und Zweck getroffen, die die Modellgestalt ebenso prägen, wie die Kultur und die Zeit, in der der Modellierungsprozess stattfindet. Insofern werden Modelle sowohl von Original selbst, als auch vom gesellschaftlichen Kontext definiert und in ihrer finalen Gestalt geprägt, zudem wirken Sie im Zuge einer „Retroabbildung“ (Tausch 1982:226) auf das Original zurück (vgl. z.B. Pfeifer/Sommer 2018a:520ff, Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:241ff).

Modelle können in Anschauungsmodelle, Denkmodelle und Modellexperimente unterteilt werden, für die stets die modelltheoretischen Merkmale Stachowiaks Gültigkeit haben. Während das Funktionsmodell eines Massenspektrometers und auch unterschiedliche Strukturmodelle wie Kristallgittermodelle deutlich der Anschauung dienen, sind mathematische Simulationen wie zum Beispiel Computersimulationen zum chemischen Gleichgewicht nach Barke/Harsch (2001) dem Bereich der Denkmodelle zuzuordnen. Überschneidungen können für den Bereich der Symbolik formuliert werden: Reaktionsgleichungen werden mit chemischen Formeln bzw. Symbolen, (Doppel-) Pfeil(en) und Abkürzungen für die Aggregatzustände dargestellt. Dadurch wird die nicht greifbare und somit abstrakte submikroskopische Ebene konkretisiert. Auch wirkt dies zurück in den Bereich der konkreten Anschauung, denn wenn im Zuge einer chemischen Reaktion zwischen einem Feststoff, z.B. Kohlenstoff, und einem Gas, z.B. Sauerstoff, ein Gas, hier Kohlenstoffdioxid, entsteht, wird dieses in der Reaktionsgleichung berücksichtigt. Das Subjekt kann dadurch die Vorstellung erwerben, dass durch Verbrennungen keine Stoffvernichtung stattfindet. Anschauungsmodell und Denkmodell stehen in einem wechselseitigen Zusammenhang, denn theoretische Überlegungen werden in anschauliche Modelle übertragen. Man denke hier beispielsweise an das Energiestufenmodell, das Grundzustand und elektronisch angeregten Zustand eines Moleküls, und, damit einhergehend, eines Elektrons, durch eine lokale Veränderung visualisiert: Das Molekül wird ‚angehoben‘ und ‚fällt‘ in den Grundzustand zurück. Die andere Richtung, die Beeinflussung und Weiterentwicklung bzw. Modifikation des Denkmodells durch die modellierte Anschauung, ist dabei weniger eindeutig. Es kann vielleicht so verstanden werden: Durch das Konkretisieren in einem Modellobjekt können sich genau darin bislang nicht zugängliche Aspekte des Denkmodells manifestieren. Diese können durch die Kultur, d.h. Zeitgeist, gewisse Haltungen, oder auch den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis derjenigen Personen geprägt sein, die sich für das Denkmodell verantwortlich zeichnen. Durch die Anschauung kann die Aktualität des Denkmodells folglich hinterfragt, das Theoriegebilde dekonstruiert und neu zusammengefügt werden (vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018:522ff, Tausch 2019:97f). Ein Beispiel aus dem schulischen Themenbereich könnte die Modellierung von Atomen nach J. J. Thomson (Rosinenkuchenmodell bzw. Erdbeermodell) sein, die durch den Rutherford'schen Streuversuch überprüft wurde und in einer Weiterentwicklung des Atommodells (Kern-Hülle-Modell) resultierte. Insofern haben diese Arten der Modellobjekte auch Prognosecharakter, der innerhalb von Experimenten getestet und

³⁴ Teilweise wird in der Literatur auch die Bezeichnung „Subjektivierungsmerkmal“ verwendet, wobei die Autoren auf eine frühere Publikation von Stachowiak als Quelle zurückgreifen (vgl. Barke/Harsch 2001:136; Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:241f; Hilker 2018:123), wodurch sich die leichten terminologischen Unterschiede erklären lassen.

auf die Theorie, das Denkmodell, formativ einwirken kann (vgl. Tausch 1982:226, 2019:97f, Reiners/Saborowski 2017a:46).

Das allgemeine Erstellen und der unterrichtliche Umgang mit Modellen werden von Stachowiak in den philosophisch hergeleiteten Merkmalen ausgeklammert. Herfür verweist die einschlägige fachdidaktische Literatur auf Schemata von Steinbuch (1977) bzw. Kircher (1977). Das Schema „Denken in Modellen“ nach Steinbuch wird verwendet, um das Herstellen von Modellen durch eine modellierende Instanz zu erklären (vgl. z.B. Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:242f incl. eines Anwendungsbeispiels³⁵; Pfeifer/Sommer 2018:a). Der Zugriff von Lernenden auf Modelle, also „der Erkenntnisprozess durch Modelle“ (Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:243), wird in der Literatur mit Kirchers (1977) Überlegungen formalisiert. In diesen sind Parallelen zur „Original-Modell-Abbildung“ nach Stachowiak augenfällig, vgl. Abb. 29:

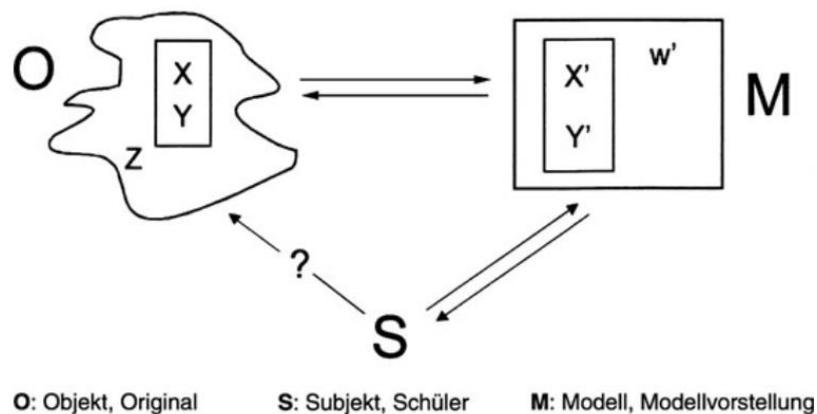


Abb. 29: Erkenntnisprozess durch Modelle (Schema nach Kircher aus Barke/Harsch/Kröger et al. 2018: 244)

Kircher hat das Subjekt, die lernende Person, in das Schema integriert und verdeutlicht, dass das Subjekt erst durch die Auseinandersetzung mit dem Modell Informationen über das Original erhalten kann. Ein direkter Zugriff auf das Original ist nicht möglich, wie der fehlende Pfeil ausgehend vom Original zum Subjekt andeutet. Zwar können „Fragen an die Natur“ (Tausch 2019:92) gestellt werden, doch der Beantwortungsprozess wird über den Umweg des Modells stattfinden müssen. Für weitere Erläuterungen sei auf Barke/Harsch/Kröger et al. (2018:244ff)³⁶ sowie auf Reiners/Saborowski (2017a:48ff)³⁷ verwiesen. Neben diesen Schemata werden auch weitere Darstellungen, z.B. die von Mahr (2008, vgl. Pfeifer/Sommer 2018a:523f), vereinzelt in der Literatur berücksichtigt.

Im M-O-S-Schema nach Kircher in Abb. 29 symbolisiert der Buchstabe S das lernende Subjekt, das sich über die Interaktion mit dem Modell mit dem Original auseinandersetzt. Das Modell muss somit für die jeweilige Lehr-Lern-Situation geeignet sein, denn das potentiell gelingende Verstehen des Originals steht im Zentrum der unterrichtlichen Aktivität (vgl. Reiners/Saborowski 2017a:49). Wenn also ein Modell Einzug in den Chemieunterricht finden soll, muss es gewissen Anforderungen genügen, die den Einsatz rechtfertigen. Es befindet sich in einem Spannungsfeld, das auf der einen Seite aus dem Pol der Einfachheit und Zugänglichkeit besteht, und auf der anderen Seite aus dem Pol der Vollständigkeit. Hier muss nach Tausch ein „optimales Gleichgewicht zwischen diesen Ansprüchen [hergestellt werden]“ (1982:226), das dem jeweiligen didaktischen Zweck entspricht. In anderen Worten: Es muss zunächst entschieden werden, welche potentiell abbildbaren Urbildattribute tatsächlich abgebildet

³⁵ Barke/Harsch/Kröger et al. (2018) zeichnen Laues Erkenntnisweg von Röntgenstrukturanalysen eines Natriumchlorid-Kristalls zum Entwurf von Raumgittermodellen nach.

³⁶ Barke/Harsch/Kröger et al. (2018) diskutieren die Entwicklungen Kirchers einerseits im Zusammenhang mit den Hauptmerkmalen der Stachowiakschen Modelltheorie und andererseits im Zusammenhang mit Steinbuchs Entwicklungen.

³⁷ In Reiners/Saborowski (2017a-b) wird deutlich gemacht, dass Kircher zufolge das Verhältnis von Objekt und Modell von „Analogien im Sinne von Ähnlichkeiten“ (Kircher 1995:96, zitiert nach Reiners/Saborowski 2017a:49) geprägt ist. Ferner werden weitere Merkmale des Schemas präsentiert.

werden sollen und welche nicht. Diese ausgeklammerten Attribute würden dann zu präterierten Attributen werden, da sie in dem Moment von operativer Irrelevanz sind (vgl. Stachowiak 1973:155). Außerdem muss entschieden werden, mithilfe welcher abundanten Attribute das Modell zweckmäßig realisiert werden kann. In den Worten von Tausch:

Aus didaktischer Sicht ist die Güte eines Modells daran zu messen, inwiefern es dem, der damit umgeht, die Möglichkeit gibt, seine Kenntnisse über das Original zu erklären und für eine beschränkte Zahl möglicher Eigenschaften des Originals wahre, d.h. im Experiment verifizierbare, Voraussagen zu treffen. (Tausch 2019:92)

Vor diesem Hintergrund formuliert Tausch konkrete didaktische Anforderungen an Modelle für den Chemieunterricht, die sich in der einschlägigen fachdidaktischen Literatur als konsensfähig erwiesen haben:

- Modelle sollen im Unterricht entwickelt und weniger (oder gar nicht) vorgestellt werden
- Modelle sollen auf die Fassungskraft der Schüler*innen zugeschnitten werden
- Die Grenzen eines jeden Modells sollen deutlich gemacht werden
- Die Schüler*innen sollen im Unterricht keinesfalls nur ein einziges Modell kennenlernen, sondern im Laufe der Schulzeit einige Male erleben, wie ein Modell versagt und durch ein neues ersetzt werden muss. (Tausch 2019:92, vgl. auch 1982:227)

7.2 Zum Begriff ‚Modellexperiment‘

Das Modellexperiment wird in der Literatur nicht direkt in Verbindung mit Anschauungsmodell und Denkmodell gebracht, doch umfasst es Merkmale, die in der Modell-Definition nach Wüstneck (zitiert nach Sommer/Steff/Toschka 2018:519) benannt werden:

Das Modell ist ein dem Original analoges System, das von einem Subjekt ausgewählt oder hergestellt wird, um von den Informationen über Modelleigenschaften unter Ausnutzung der Informationen über die vorliegende Analogierelation solche Informationen über das Original abzuleiten, die an letzterem nicht oder nur mit unzulässigem Aufwand direkt zugänglich sind. (Wüstneck 1966:1452)

Das bedeutet in anderen Worten, dass das Original nicht unmittelbar erschlossen werden kann. Gründe können beispielsweise in Kosten, Gefährdungspotential oder Komplexität des Gegenstands liegen. Neue Erkenntnisse können von Subjekten, im schulischen Kontext also von Lernenden, folglich nur über das Modell erschlossen werden. Ferner suggeriert dieses Zitat eine didaktische Elementarisierung und es setzt voraus, dass eine angemessene Entsprechung zwischen Objekt und Modell besteht (vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018:519f, 541). All dieses würde gleichsam für Anschauungs- und Denkmodell ausreichen, für das Modellexperiment bzw. den Modellversuch – Begrifflichkeiten, die hier synonym verwendet werden – jedoch nicht, denn es „wird mit dem Ziel der Erkenntnisgewinnung und eben nicht [mit demjenigen] der reinen Veranschaulichung eines Sachverhalts“ (Friedrich 2018:316 bzw. Friedrich/Oetken 2013:4) eingesetzt. Das bedeutet für schulische Modellexperimente, die das Original erkunden wollen, dass durch das Experiment Erkenntnisse über den Urbildbereich des Originals zugänglich sind – und zwar über den gedanklichen Umweg des Bildbereichs im Modell (vgl. Abb. 28). Auch über den Abundanzbereich des Modells können Hypothesen über das Original getroffen werden, die man dann experimentell überprüfen, d.h. bestätigen oder widerlegen, kann oder muss. Auf diese Weise agieren Lernende wie Wissenschaftler.

7.3 Modellexperimente und Analogien

Wenn das Modellexperiment das Original teilweise abbilden soll, setzt das voraus, dass Ähnlichkeiten zwischen den beiden bestehen, die herausgearbeitet werden können. Das Subjekt setzt sich insofern aushandelnd mit dem als Stellvertreter für das Original dienenden Modellexperiment und dem Original

an sich auseinander, als dass es auf der Suche nach Mustern analytische Transferleistungen erbringt: „Bei Analogien kommt es zur Übertragung von Strukturen, Funktionen bzw. Verhalten sowie Verfahrensweisen im Vorstellen oder Denken von einem Gegenstandsbereich auf den anderen“ (Sommer/Klein/Steff et al. 2012:5). Das Erkennen der Analogien ist demnach von entscheidender Bedeutung für gelingendes, d.h. wirksames Lernen. Im Zentrum steht somit das analogical mapping, oben als Aushandlungsprozess bezeichnet, das unterrichtlich in einem bewussten Vergleich zwischen absichtsvoll modellierten Merkmalen und Originalmerkmalen resultieren sollte (Pfeifer/Sommer 2018b:528, 546f, Tausch 2019:98, 146ff). Die Wirksamkeit kann dadurch angelegt werden, wenn das Prinzip der Anschaulichkeit für den unterrichtlichen Einsatz, aber auch die generelle Entwicklung von Modellexperimenten, Beachtung findet. Dabei sollte das Modell bzw. Modellexperiment „so einfach wie möglich und so komplex wie nötig sein und die konzentrierte Sicht auf das Wesentliche ermöglichen“ (Hilker 2018:123f, vgl. auch Reiners/Saborowski 2017a:46f).

Bei der Merkmalsidentifizierung und –modellierung wird zwischen Strukturmerkmalen und Oberflächenmerkmalen unterschieden, wobei lediglich die Strukturmerkmale als „relevant für das Verständnis des zugrundeliegenden fachlichen Konzeptes“ angesehen werden (Sommer/Steff/Toschka et al. 2018:547). In der naturwissenschaftlichen Disziplin der Chemie stehen Substanzen im Mittelpunkt. Darauf bezogen repräsentieren Oberflächenmerkmale sichtbare Merkmale, wohingegen Strukturmerkmale sich auf charakteristische stoffliche Eigenschaften und den submikroskopischen Aufbau beziehen. Beispielsweise kann das Objekt ‚Mehlstaubexplosionen‘ mit unterschiedlich gefärbten Substanzen (Oberflächenmerkmal) durchgeführt, d.h. modelliert werden, wenn diese in den entscheidenden Strukturmerkmalen, also denen der Brennbarkeit und der Pulverform, mit dem Objekt übereinstimmen (vgl. ibid.:546f, Steff/Schröder/Buse et al. 2016).

7.4 Modelle und Modellexperimente: Schwierigkeiten auf Lernendenseite

Die gewünschte Anschaulichkeit im Zuge der Analogiebildung birgt eine Störquelle im Erkenntnisprozess auf Seite der Lernenden. Harrison und Treagust weisen auf das Problem in folgender Weise hin: „most younger science students have difficulty separating models from reality (Harrison/Treagust 1996, zitiert nach Reiners/Saborowski 2017b:118, vgl. Pfeifer/Sommer 2018b:528f). Die Kernursache für Interferenzen auf Lernendenseite sehen Reiners und Saborowski „vor allem in der Anschaulichkeit der Sachmodelle“ und stellen die Notwendigkeit der Modellkritik in Form einer geleiteten Reflexion heraus (2017b:119). Auf diese Weise kann auch eine Dekonstruktion der vermeintlichen Ähnlichkeiten zwischen Modell und Objekt stattfinden, denn „Schülerinnen und Schüler orientieren sich empirischen Untersuchungen zufolge zunächst an der Ähnlichkeit von Oberflächenmerkmalen“ (Pfeifer/Sommer 2018b:528). Tausch sieht diese zunächst für Modelle im Allgemeinen formulierte Problematik auch speziell im Bereich der Modellexperimente, denn hier „besteht die Gefahr der Überinterpretation von experimentellen Fakten“ (2019:97). Hinsichtlich einer im unterrichtlichen Kontext stattfindenden kritischen Auseinandersetzung führt er aus:

Modellexperimente [...] müssen stets ernsthaft hinterfragt werden. Neben den Gemeinsamkeiten zu den natürlichen oder technischen Prozessen, die sie simulieren, müssen immer auch die Unterschiede zu diesen in Betracht gezogen werden. Nur so kann die kritische Distanz zur Aussagekraft von Experimenten und Modellen [...] nachhaltig gefördert werden. (Tausch 2019:229)

7.5 Analysekriterien für Modellexperimente

Die Maßgabe, dass das Modellexperiment über eine „reine Veranschaulichung eines Sachverhalts“ (Friedrich 2018:316 bzw. Friedrich/Oetken 2013:4) herausgehen muss, findet sich auch in den von Sommer/Toschka/Schröder et al. (2017:14f, vgl. auch Sommer/Klein/Steff et al. 2012:4f) aufgestellten Modellexperimentmerkmalen, die dreierlei Bezüge aufweisen müssen:

1. Bezug zum Experiment
2. Bezug zum Original
3. Bezug zum Modell

Der **Bezug zum Experiment** liegt nahe, denn Chemieunterricht ist ein experimentelles Unterrichtsfach. Unter Rückgriff auf chemische Fachmethoden (vgl. insb. Sommer 2007:6-11, 53 sowie Sommer/Pfeifer 2018b:155-162) und entsprechender Materialien und Chemikalien wird der Erkenntnisgewinnungsprozess vorangetrieben. Unter dem **Bezug zum Original** versteht man die Absicht, dass natürliche oder künstliche Erscheinungen, Objekte und Prozesse als Ausgangspunkt der Modellierung verstanden werden, die in der Zielform, dem Modellexperiment, nachvollzogen werden. Dabei hat das Original einen Bezug zur Fachwissenschaft Chemie. Mit Stachowiak (s.o.) gesprochen, auf den die Fachdidaktiker*innen im Zusammenhang der kriteriengeleiteten Modellexperiment-Analyse nicht rekurren, wird also der Bildbereich im Modell in den Blick genommen. Es wird allgemein untersucht, welche urbildlichen Attribute mit dazugehörigen Relationsstrukturen abgebildet werden – somit geht es hier um das Abbildungsmerkmal von Modellen. **Der Bezug zum Modell** wird von den Fachdidaktiker*innen auf Basis von Wüstneck, vgl. Zitat oben, zunächst recht abstrakt gefüllt, um dann die Ausprägung der gestalterischen Umsetzung anhand von vier untergeordneten Kategorien, nämlich Substanz (d.h. Chemikalien), Material, fachmethodisch relevante Bedingung (z.B. Stoffmengenkonzentration oder Temperatur) sowie Fachmethode zu konkretisieren. Diese können entweder direkt vom Original übernommen oder spezifisch für die Modellkonstruktion gewählt worden sein und somit vom Original abweichen. Im Kontext der Modelltheorie Stachowiaks werden hier also die Attribute des Bildbereiches genau untersucht. Auf diese Weise wird das Merkmal der Kontrastierung thematisiert: Viele Modelle lassen einzelne Attribute des modellierten Originals besonders ins Relief treten und „überverdeutlichen“ dadurch „bestimmte Züge und Beschaffenheiten des Originals“ (Stachowiak 1973:157). Überdies werden abundante Attribute analysiert. Folglich geht es hier, stringent Stachowiak folgend, um das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal von Modellen. Der Bezug zum Modell gilt nach Sommer, Steff und Toschka dann als erfüllt, wenn mindestens eine der vier Unterkategorien modelliert ist, d.h. nicht in der Ausprägung Original vorliegt (vgl. 2018:543ff, Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017:16f, Sommer 2012:4-6).

Dem Gedanken folgend kann ein **Modellierungsgrad** hinsichtlich der Kategorie **Bezug zum Modell** erstellt werden, indem die Anzahl derjenigen Unterkategorien summiert werden, die in der Ausprägung Modell vorliegen. In der chemiedidaktischen Forschung und Entwicklung können diese vier Merkmale zur kriteriengeleiteten Analyse eines Modellexperiments Verwendung finden, die sich damit befasst, in wieweit Lernende die im Modellexperiment entwickelten Analogien zum Original erkennen und auf einen konkreten originalen Sachverhalt übertragen können. Als Reaktion auf die Analyseergebnisse können dann die einzelnen Unterkategorien an sich im Bereich der Modellausprägung oder im Bereich der Objektausprägung in vielfacher Weise variiert werden (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017:18, Sommer/Klein/Steff et al. 2012:5f).

Ferner legt die einschlägige fachdidaktische Literatur fünf **Inhaltsfelder** zu Grunde, die eine weitere Facette von Klassifikationsmöglichkeiten anbieten und die Bereiche Stoff-Struktur-Eigenschaft, großtechnische Prozesse und Technologien, Arbeitssicherheit, Komplexe Themen mit Chemie als Querschnittswissenschaft, und Fachmethoden umfassen (vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018:543f, Sommer/Klein/Steff et al. 2012:6f).

7.6 Vorstellung der unterschiedlichen PBB-Varianten

Bevor das vorliegende Modellexperiment bzgl. seiner Analogien und Unterschiede zum natürlichen Original und dann auch kriteriengeleitet nach den zuvor entwickelten Gesichtspunkten vorgestellt wird, erfolgt zunächst eine Darstellung des Modellexperiments. Das ist notwendig, da es in **unterschiedlichen Varianten** vorliegt, die zu jeweils unterschiedlichen Zwecken entwickelt wurden. Diese Zwecke können dabei teilweise überschneiden. Erst nach diesem Überblick kann eine weitere Analyse erfolgen, weil erst dann klare Bezüge zum zu Grunde liegenden Gegenstand etabliert sein werden. Das Experiment liegt zum jetzigen Zeitpunkt als Basisexperiment und in den Varianten ‚photogalvanische Konzentrationszelle‘ („Solarakku“), ‚Erzeugung eines Redox-Äquivalents‘ und ‚Erzeugung grünen Wasserstoffs‘ vor, wobei allein schon das Basisexperiment bis zum jetzigen Zeitpunkt verschiedene „Metamorphosen“, wie Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019) es ausdrücken, durchlaufen hat.

Gökkuş née Yurdanur (2020:262-268) sowie Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019) zeichnen u.a. unter Rückgriff auf Heffen (2017:87ff) die **chemiedidaktische Entwicklung** des PBB-Experiments nach, beginnend mit komplexen Apparaturen und giftigen Chemikalien lediglich für den Einsatz im Universitätslabor bis hin zum Einsatz von einfachen Materialien und unschädlichen Substanzen für Schülerexperimente. Sie erfassen somit ein Vierteljahrhundert curricularer Innovationsforschung mit Ursprüngen in den 1990ern (erste einschlägige Publikation von Tausch im Jahr 1994), vgl. Abb. 30:

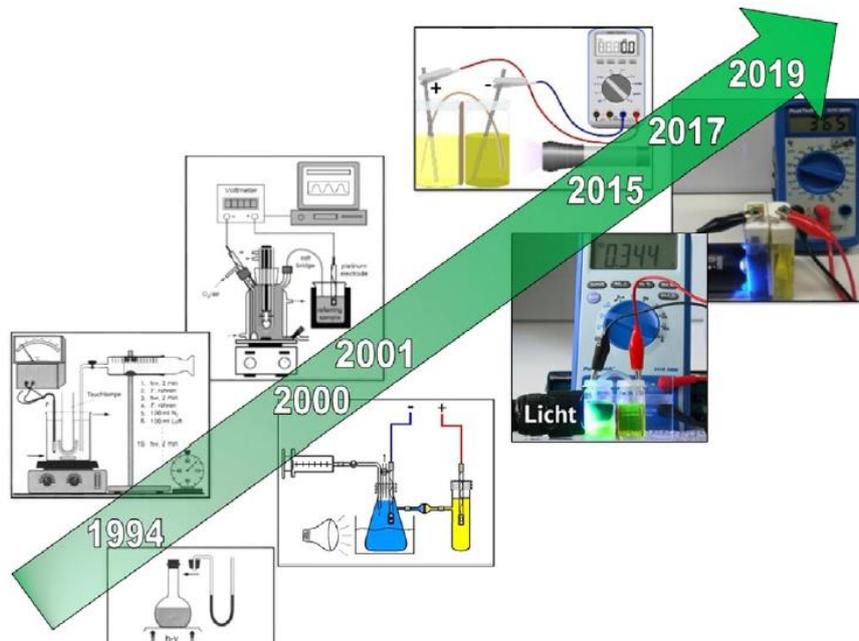


Abb. 30: Entwicklungsstufen des PBB-Experiments und seiner Varianten (vgl. Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019:126)

In Abb. 30 lässt sich erkennen, dass es verschiedene Varianten des PBB-Experiments gibt. Die unterschiedlichen Fassungen sind Modellexperimente für verschiedene Prozesse in Natur oder Technik. Das PBB-Experiment in der Variante **Basisexperiment** umfasst die Farbänderung der Lösung von gelb nach blau und zurück. Dies geschieht durch Einstrahlen von (Sonnen-) Licht bzw. Einbringen von (Luft-) Sauerstoff. Dadurch wird ein einfacher, wiederholbarer Zyklus auf Basis von beobachtbaren Farbänderungen experimentell erfahrbar gemacht. Dieses ist die Basis für einen Stoffkreislauf. Das folgende Zitat von Tausch gilt damals wie heute:

Es ist bisher noch keine Versuchsreihe für den Schulunterricht beschrieben worden, bei der es gelingt, mit ein und demselben System wiederholt eine endergonische, durch Licht angetriebene Reduktion (entsprechend der Photosynthese) und eine exergonische Oxidation mit Sauerstoff (entsprechend der Atmung) durchzuführen. (Tausch 1994:13)

Das **Basisexperiment** erfuhr im Laufe der Zeit, wie oben angedeutet, einige Modifikationen. Die aktuelle Fassung wird mit Taschenlampen unterschiedlicher Lichtfarbe, kleinen 4 mL-Schraubdeckelgläsern und einem geringen Volumen an PBB-Lösung umgesetzt (vgl. Heffen/Tausch 2015).³⁸ Man kann diese als Mikroform des aktuellen PBB-Basisexperiments bezeichnen – diese deutliche Verkleinerung der Dimensionen wird in Abb. 30 nicht ausreichend offenkundig. Darüber hinaus enthält sie auch nicht die kleinen Schraubdeckelgläser, sondern zeigt kleine Schnappdeckelgläser und Tic Tac®-Behältnisse. Aus dem Grund finden sich in Abb. 31 und Abb. 32 die Darstellungen der

³⁸ Tausch, Kremer und Gökkuş née Yurdanur (2021a-d) haben außerdem frei zugängliche Videos erstellt, die neben der Vorstellung des Basisexperiments die unterschiedlichen experimentellen Variablen Temperatur, Lichtfarbe und über der PBB-Lösung befindliches Luftvolumen erkunden. Es ist davon auszugehen, dass noch weitere Variablen experimentell erkundet und videographiert werden.

aktuellen „Mikro-Version“ (Tausch 2021:3), die mit der aktuellen „Makro-Version“ (ibid.:3) kontrastiert wird. Diese besteht aus einer 500 mL-Schraubdeckelflasche, die im vorliegenden Fall mit Sonnenlicht, einem Modul aus drei blauen LED oder zwei weißen Taschenlampen bestrahlt wird.

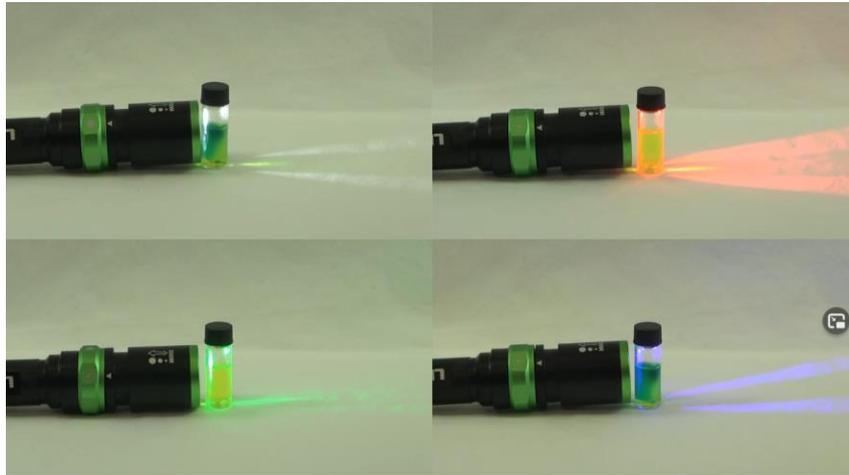


Abb. 31: Die Basisversion des PBB-Experiments als aktuelle Mikro-Version: Beleuchtung je eines 4 mL-Schraubdeckelgläschens mit weißem, rotem, blauem und grünem Licht (im Uhrzeigersinn, beginnend mit links oben, Standbild aus Tausch/Kremer/Göckkuş 2021d)

In Abb. 31 kann man erkennen: Unter Faktorenkontrolle, d.h. bei Beachtung von Aspekten wie gleiche PBB-Lösung, gleiches Lösungsvolumen, gleiche Schnapdeckelgläschen-Art, gleiche Beleuchtungsdauer, gleicher Abstand Schnapdeckelgläschen zu Taschenlampe und Taschenlampen identischer Bauweise, ergibt sich nur eine Blaufärbung bei weißem (links oben) und blauem Licht (links unten). Die mit blauem Licht bestrahlte PBB-Lösung färbt sich dabei intensiver blau. In der folgenden Abb. 32 wird mit Sonnenlicht, blauem Licht und weißen Taschenlampen bestrahlt. Um die Dimensionen der Makro-Version mit derjenigen der Mikro-Version ins Verhältnis setzen zu können, bietet es sich an, einen Vergleich über die Taschenlampenköpfe in Abb. 31 und Abb. 32 (Bild c) anzustellen. Die Taschenlampen stammen vom selben Hersteller, jedoch haben sie in der Bauversion oben einen dünnen grünen Ring und in der Bauversion unten ist derselbe Bereich wellenartig gestaltet.

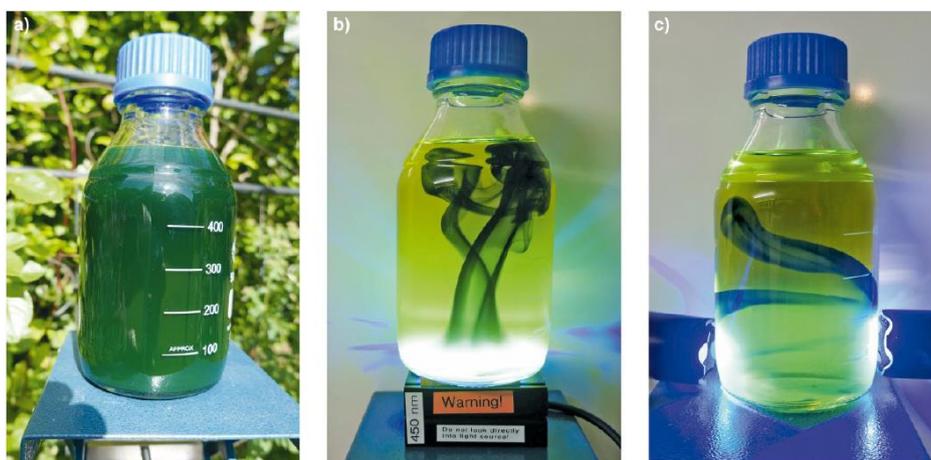


Abb. 32: Die Basisversion des PBB-Experiments als aktuelle Makro-Version: Beleuchtung je eines 500 mL-Schraubdeckelgebindes mit (a) Sonnenlicht, (b) drei blauen LED von unten und (c) weißem Licht aus Taschenlampen von der Seite (c) (vgl. Tausch 2021:3)

In Abb. 31 und Abb. 32 wird deutlich, dass eine Blaufärbung der Lösung nur bei Einstrahlen von natürlichem oder künstlichem weißem Licht (Sonnenlicht bzw. Taschenlampe) bzw. blauem Licht

erzeugt wird. Auch bei violetterm Licht einer Taschenlampe hätte die Lösung sich blau gefärbt. Diese wurde im genannten Video nicht mit einbezogen.

Bei der **Variante ‚photogalvanische Konzentrationszelle‘** („Solarakku“) (vgl. Korn/Tausch 2000, Korn/Tausch 2001, Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. 2013, Heffen/Tausch 2015, Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019, Gökkuş née Yurdanur 2020) wird eine Halbzelle mit Licht bestrahlt, so dass eine Konzentrationszelle entsteht. Sie dient dazu, die Energiespeicherung zu modellieren. Diese PBB-Variante wurde ebenfalls weiterentwickelt. Aktuell werden die Versionen von Heffen/Tausch (2015) oder Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019) verwendet. Erstere basiert auf zwei Schnappdeckelgläsern, zwei Edelstahl-Schrauben als Elektroden, einem Kaffeefilter- und Silikonschlauch-Stück als Salzbrücke sowie einer Taschenlampe als Lichtquelle. Die Halbzellen werden durch ein Pappkarton-Stück abgetrennt, damit nur eine Halbzelle bestrahlt wird, und mit einem Gummiband zusammengehalten. Letztere Version basiert auf Tic Tac®-Behältern als Ersatz für die Schnappdeckelgläserchen. Immer zwei werden zusammengeklebt und durch eine zwischenliegende Schicht aus Aluminiumfolie abgetrennt, so dass keine Pappkartonverwendung vonnöten ist.

Heffen/Tausch (2015) fügen bei zusätzlichen Varianten neue Aspekte hinzu, indem sie das Basisexperiment um Versuche mit anorganischen Photokatalysatoren (vgl. auch Heffen 2017:63ff) variieren. Eine weitere exkursartige Weiterentwicklung erfolgt auf Basis der Erkundung des Redoxpotentials von Ethylviologen mithilfe von klassischen Abscheideversuchen aus dem Bereich der Elektrochemie (vgl. Heffen 2017:98ff). Auch der Solarakku erfährt Varianten: So bauen Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. (2013) eine Kompaktzelle und Heffen/Tausch (2015) erkunden eine heterogene PBB-Eintopf-Zelle.

In letzter Zeit wurde das Modellexperiment in weitere Zusammenhänge der (künstlichen) Photosynthese und der Wasserstoffgewinnung auf Basis von Lichtabsorption gestellt. Kremer und Tausch modellieren dabei die Reduktion von NADP^+ zu NADPH (2019:16ff) (**Variante ‚Erzeugung eines Redox-Äquivalents‘**) und die Darstellung so genannten grünen Wasserstoffs in einer Zweitopf-Zelle (2019:18ff, vgl. dazu auch das Video von Kremer/Tausch/Meuter 2019 sowie Tausch 2021:6ff). Überdies berichten Kremer, Bohrmann-Linde und Tausch (2021) von aktuellen Weiterentwicklungen: Alternativ zur Zweitopf-Zelle konzipierte Kremer eine Eintopf-Zelle mit selbst hergestelltem, photokatalytisch wirksamem Nano-Platin aus Elektroschrott. Diese Entwicklungen in Eintopf- und Zweitopf-Zelle können als **Variante ‚Erzeugung grünen Wasserstoffs‘** bezeichnet werden. Überdies gibt es weitere Varianten, die hier nicht weiter vorgestellt werden.³⁹

7.7 PBB-Experimente als Modellexperimente

Im Folgenden wird zunächst das Basisexperiment in Bezug auf Analogien und Unterschiede zum Original dargestellt, woran sich Untersuchungen zum Modellierungsgrad der PBB-Varianten anschließen. Bei den Darlegungen werden die neuesten Versionen der Varianten des **Basisexperimentes** und der **‚photogalvanische Konzentrationszelle‘** verwendet. Diese Versionen sind Grundlage für die vorliegende Arbeit. Sie orientieren sich an denjenigen Chemikalien, Materialien und Gerätschaften, die in Tausch/Heffen (2016:6) vorgestellt werden und bzgl. der PBB-Lösungszusammensetzung aktualisiert in Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019:34) bzw. Gökkuş née Yurdanur (2020:172; hier listenartig sowohl Chemikalien als auch Materialien mit Mengenangaben, Kosten und Bezugsquellen) vorliegen.

Zunächst werden in einer tabellarischen Übersicht die Analogien und Unterschiede zwischen Basisexperiment und Original angesprochen. Gleiches geschieht für photogalvanische Konzentrationszelle und Original.

In der darauf folgenden Übersicht wird auf Basis der oben erläuterten Kriterien ein **Überblick des PBB-Experiments als Modellexperiment** entwickelt und der Modellierungsgrad ermittelt. Dabei

³⁹ Einen praxisnahen, aktuellen Überblick bietet das Skript Photo-Cat (2021). Es versammelt die von Korn, Posalla, Nietz, Heffen, Kremer, Gökkuş née Yurdanur und Tausch entwickelten Experimente (abrufbar unter <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiemitlicht/files/kits/photo-cat/photo-cat.pdf>; letzter Zugriff 14.01.2022).

werden die entscheidenden Kerngemeinsamkeiten herausgestellt und, wo als nötig erachtet, kurz darüber hinausgehend kommentiert. Das Hauptaugenmerk wird auf den Bereich der Photosynthese gelegt, denn dieses ist die hauptsächliche Modellierungsabsicht des Schulexperiments, da hier die lichtgetriebenen Prozesse stattfinden. Ähnlich peripher wie in den vorliegenden sachanalytischen Ausführungen werden folglich auch hier die inhaltlichen Original-Vergleichsbereiche der Atmung, des Kohlenstoffkreislaufes in der belebten Natur und die der Energiespeicherung behandelt.

7.7.1 PBB-Basisexperiment: Analogien und Unterschiede zum Original

In der folgenden tabellarischen Übersicht über Modellexperiment und Original, Tab. 2, werden die Analogien und Unterschiede noch einmal deutlich herausgearbeitet. Das Original besteht aus einem natürlichen Kohlenstoffkreislauf, dem der Photosynthese und Zellatmung. Die Kriterien zur Gegenüberstellung von Modellexperiment und Original sind Stoffkreisläufe, Energieumwandlung und Reaktionstypen. Die meisten Aspekte wurden aus Tausch/von Wachtendonk (2001, 2007) entnommen und durch Darstellungen in Gökkuş née Yurdanur (2020:192) ergänzt, jedoch für diese Arbeit teilweise sprachlich etwas anders realisiert und teilweise hinsichtlich der Darstellung bzw. des Inhalts angepasst. So werden ein paar Inhalte, die in vorherigen Erläuterungen detailliert adressiert wurden, recht knapp gehalten. Konkret werden beispielsweise Formeln von Chemikalien ausgeklammert.

Überdies werden neue Aspekte aufgenommen: Das Segment „Unterschiede“ wurde um die Sachverhalte Farbigkeit (vgl. dritter Spiegelstrich) und Beobachtbarkeit (vgl. vierter Spiegelstrich) komplettiert.

Tab. 2: Analogien und Unterschiede zwischen Modellexperiment und natürlichem Original; eigene Anfertigung (inhaltliche Adaption; Darstellungsart nach Gökkuş née Yurdanur 2020:192)

Modellexperiment PBB-Basisexperiment	Natürlicher Kohlenstoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung
Analogien	
Vergleichskriterium: Stoffkreisläufe	
<ul style="list-style-type: none"> - Ethylviologen-Kreislauf - Kreislauf des zyklisch arbeitenden Photokatalysators (Proflavin-Monokation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Kreislauf der Kohlenstoff-Atome - Kreisläufe der zyklisch arbeitenden Photokatalysatoren (Chlorophylle u.a.)
Vergleichskriterium: Energieumwandlung	
<ul style="list-style-type: none"> - Lichtenergie wird in chemische umgewandelt, gespeichert und als andere Energieform verfügbar⁴⁰ - Für die Lichtreaktion ist ein farbiger Photokatalysator (Proflavin) nötig - Die Reaktionen laufen in wässriger Lösung und an der Phasengrenze flüssig-gasförmig ab. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lichtenergie wird in chemische umgewandelt, gespeichert und in anderer Energieform verfügbar - Für die Photosynthese sind farbige Photokatalysatoren (Chlorophylle u.a.) notwendig - Die Reaktionen laufen in wässriger Lösung und an Membranoberflächen ab
Vergleichskriterium: Reaktionstypen	
<ul style="list-style-type: none"> - Der Kreislauf des Ethylviologens setzt sich aus einer endergonischen Reduktion ($\Delta G > 0$) und einer exergonischen Oxidation ($\Delta G < 0$) mit Sauerstoff zusammen - Der Kreislauf beginnt mit der Absorption von (blauem und violetterem) Licht - Der Lichtabsorption folgt eine Elektronenübertragung 	<ul style="list-style-type: none"> - Der Kreislauf der Kohlenstoff-Atome setzt sich aus einer endergonischen Reduktion ($\Delta G > 0$) und einer exergonischen Oxidation ($\Delta G < 0$) mit Sauerstoff zusammen - Der Kreislauf beginnt mit der Absorption von (blauem und rotem) Licht - Nach der Lichtabsorption folgen Elektronenübertragungen
Unterschiede	
<ul style="list-style-type: none"> - Durch die Bestrahlung der PBB-Lösung entsteht kein Sauerstoff, wie es bei der Photosynthese der Fall ist. - Bei den Reaktionszyklen der PBB-Lösung sind, mit Ausnahme von Sauerstoff, andere Stoffe beteiligt als im natürlichen Stoffkreislauf Photosynthese/Zellatmung. - In der Lichtreaktion des PBB-Basisexperiments entsteht ein blauer Stoff, wohingegen die Hauptprodukte der Photosynthese farblos sind. - Das allmähliche Generieren einer blauen Modell-Glucose⁴¹ im PBB-Experiment infolge der Lichtbestrahlung kann visuell nachvollzogen werden, während die natürliche Glucose-Synthese über zeitlich verzögerte Umwege erschlossen werden kann (z.B. per Massezunahme der Pflanze oder per Stärkenachweis mit Lugolscher Lösung), jedoch nicht unmittelbar zugänglich ist. Ähnliches gilt für die Zellatmung. - Beim natürlichen Kreislauf finden mehr chemische Reaktionen statt, als von den Reaktionszyklen des PBB-Experiments überhaupt modelliert werden können. - Die beim PBB-Experiment gebildete reduzierte Spezies ist nicht als energetischer Langzeitspeicher verwertbar wie Glucose aus der Photosynthese. - Die chemischen Prozesse im Modellexperiment finden im geschlossenen System statt (z.B. in einem Schraubdeckelglas von 4 mL Voluminhalt), wohingegen sowohl die Photosynthese als auch die Zellatmung in offenen Systemen ablaufen. 	

⁴⁰ Der Beweis für die Energie-Speicherung und -Abrufbarkeit, also dem Entladen, wird mithilfe der ‚photokatalytischen Konzentrationszelle‘ modellhaft angetreten.

⁴¹ In vorherige Ausführungen wurde stets betont, dass dieses nicht das direkte Produkt der Photosynthese ist, sondern G3P-Moleküle. Glucose wird als indirektes Produkt verstanden, in ihr ist chemische Energie gespeichert: Sie dient dem Stoffwechsel als „primäre Energiequelle“ (Savada/Hillis/Heller et al. 2019:81). Ebenfalls wurde verdeutlicht, dass Glucose die „Transportform chemischer Energie“ (ibid.:78) darstellt und in ihrer Speicherform Stärke in Pflanzen abgelegt wird (ibid.:81). Alternativ hätte man hier von Kohlenhydrat, Monosaccharid, Polysaccharid oder gar, und das eher umgangssprachlich, Zucker sprechen können. Der Einfachheit halber und vor dem Hintergrund, dass in der Zellatmung Glucose verstoffwechselt wird, wird innerhalb dieser Tabelle von Glucose gesprochen.

Im Sinne der Stachowiakschen Modelltheorie werden hier also insbesondere Bildbereich und Abundanzbereich untersucht. Die Analogien liegen zwischen Urbildbereich und Bildbereich vor (vgl. auch Kircher 1995 in Reiners/Saborowski 2017:48f). Die Unterschiede gründen auf abundanten Attributen oder auf notwendigerweise oder absichtsvoll ausgelassenen Attributen des Urbildbereiches, die dann in diesem Zusammenhang als präterierte Attribute zu bezeichnen wären. Die unterschiedliche Farbigkeit der Produkte (Bereich Unterschiede, Spiegelstrich 3) ist ein Beispiel für ein abundantes Attribut, denn die Blaufärbung des Substrats nimmt eine tragende didaktische Funktion ein (vgl. Ausführungen in 7.6, 7.7 und 6.6 dazu). Gleichzeitig ist sie ein Beispiel für ein absichtsvoll ausgelassenes Attribut, denn die Farblosigkeit der Glucose wird absichtsvoll bzgl. der Modellsubstanz verändert.

Die Tabelle kann für unterrichtliche Zwecke genutzt werden, um die Funktionen und Grenzen im Zuge einer **Modellkritik** vorzunehmen. Beides, sowohl das Erschließen der Analogien, als auch der Unterschiede, sollte stets dem Vorwissen der Lernenden angepasst werden. In NRW wird das Thema Photosynthese im Unterrichtsfach Biologie in Klasse 6 in einfachen Zügen eingeführt und in Klasse 8 in der Regel noch einmal aufgegriffen. Wenn das PBB-Experiment nun in den Chemieunterricht der Mittelstufe bzw. der Einführungsphase in die Oberstufe (EF) integriert wird, sollte auf situativ passende Vergleichskriterien aus der Tabelle zurückgegriffen werden. Auch kann sie für unterrichtliche Impulse, z.B. auf Hilfekarten, Verwendung finden, denn es ist davon auszugehen, dass die SuS über die eigenen Vergleichskriterien hinaus Impulse benötigen, die weitere Vergleichsbereiche eröffnen.

7.7.2 PBB-Basisexperiment (Lichtreaktion) und Photosynthese

Hier wird nun die Lichtreaktion des Basisexperiments anhand der oben aufgestellten Analyse Kriterien von Modellexperimenten (vgl. Kap. 7.5) beleuchtet. Die Lichtreaktion ist derjenige Teilprozess des Basisexperiments, in dem sich der blaue Stoff bildet. Es handelt sich also um die Reduktion des Substrats, d.h. Ethylviologen-Dikationen werden zu Ethylviologen-Monokation-Radikalen reduziert.

Kategorie 1: Bezug zum Experiment

Eine experimentelle Tätigkeit wird durchgeführt, die auf einer lichtgetriebenen Reduktions-Reaktion basiert. Dies entspricht der Fachmethode der Redoxreaktionen, d.h. Elektronenübertragungsreaktionen, die hier im Bereich von photochemischen Reaktionen anzusiedeln ist. Es ist also eine Methode aus dem Bereich der Synthese (vgl. Sommer 2007:52f, Pfeifer/Sommer 2018a:157).

Kategorie 2: Bezug zum Original

Es liegen lichtinduzierte, miteinander in Verbindung stehende Redoxreaktionen vor, die mithilfe eines farbigen Photokatalysators stattfinden, der nur bei Einstrahlung spezifischer Wellenlängenbereiche aktiviert wird. Im Original erfolgt dieses zudem unterstützt von Photosensibilisatoren. Als Produkt wird eine Spezies mit höherem Energiegehalt als die Edukte synthetisiert.

Kategorie 3: Bezug zum Modell

Unterkategorie Substanz: Es liegen mit Proflavin-Monokation und Ethylviologen-Dikation bzw. Ethylviologen-Monokation-Radikal Modellsubstanzen vor, die die Stoffe Chlorophyll a und Kohlenstoffdioxid bzw. Glucose modellieren. Ferner liefert EDTA als Elektronendonator die Elektronen für eine Regeneration des Photokatalysators. Hier ist der während des Modellperiments nicht thematisierte Zusammenhang zur Wasseroxidation zu sehen, die die notwendigen Elektronen zur Regeneration des special pair im Photosystem II liefert. Das Edukt Wasser und das Produkt Sauerstoff werden nicht modelliert. Die Substanzen sind wie in der Natur in Wasser gelöst. Überdies unterscheiden sich die Substanzen in ihren Oberflächenmerkmalen (Proflavin ist gelb und Chlorophyll grün; Ethylviologen-Monokation-Radikale sind blau und Glucose ist farblos).

Unterkategorie Material: Das Modell-Baumaterial besteht aus einem Schraubdeckelglas mit niedrigem Volumeninhalt, Licht unterschiedlicher Wellenlänge ausstrahlenden Taschenlampen, Heizplatten und Glasperlen.

Unterkategorie Bedingung: Der verwendete Photokatalysator Proflavin hat ein anderes Absorptionsspektrum als die Chlorophylle, so dass Licht anderer Wellenlänge zur Aktivierung benötigt wird. Im Modell geschieht dieses einfach gesprochen mit violetterem oder blauem Licht, während das Original rotes und blaues Licht benötigt.

Unterkategorie Fachmethode: Lichtgetriebene Reduktionen sind im Modellexperiment und im Original vertreten, jedoch modelliert das PBB-Experiment nur einen PET. Das Original ist, kurzgesagt, weitgehend komplexer und vielfältiger. Beispielsweise spielen Photosensibilisierungen in den Lichtsammelkomplexen eine bedeutsame Rolle, die in zwei kooperierenden Photosystemen ablaufen und einen Teil der Elektronentransportkette ausmachen. Ferner ist diese Lichtreaktion mit dem Calvin-Benson-Cyclus gekoppelt, deren Produkt Glycerinaldehyd-3-phosphat-Moleküle (G3P) sind, die erst daraufhin zu Hexosen, d.h. also z.B. der Aldohexose Glucose, weiterreagieren.

PBB-Basisexperiment (Lichtreaktion) und Photosynthese: Kommentierende Einordnung

Diese recht knappen Darstellungen der Gemeinsamkeiten zeigen auf, dass die komplexen Photosynthese-Vorgänge didaktisch reduziert auf die allgemeine Summengleichung bezogen werden und viele Details, z.B. die Wasseroxidation oder die Modellierung des Calvin-Benson-Cyclus, in den Hintergrund treten. Dies geschieht zu Gunsten der Darstellung der von spezifischen Lichtfarben abhängenden Photokatalyse und dem visuell nachvollziehbaren und somit leicht zugänglichen Generieren eines Produktes. Dazu gehört auch die Tatsache, dass es bei anderem Energieform-Einsatz auch im Modellexperiment unmöglich ist, das blaue Modellsubstrat zu produzieren. Dieses ist ausschließlich Lichtenergie geeigneter Wellenlänge vorbehalten.

Alle Kategorien und auch drei von vier Unterkategorien liegen modelliert vor, so dass hinsichtlich der Photosynthese von einem Modellexperiment zu sprechen ist. Die Unterkategorien Substanz, Material und Bedingung sind eindeutig modelliert, d.h. es liegen Modellsubstanz (MS), Modellmaterial (MM) und Modellbedingungen (MB) vor. Die entscheidenden Substanzen sind modelliert (Stichworte: Photokatalysator, Substrat, Opferdonor), wohingegen für das Modellexperiment weniger bedeutsame Substanzen unbeachtet bleiben (Wasser) oder dem Original entsprechen (Sauerstoff). Da die Hauptaugenmerke modelliert sind, wurde sich für das Vorliegen der Ausprägung Modellsubstanz entschieden – und somit gegen die Ausprägung Originalsubstanz. Analog wird bei der Fachmethode argumentiert, jedoch für den Zielbereich des Originals: Hier ist die bedeutende, Ausschlag gebende photochemische Reaktion derjenigen im Original gleich, da es sich um einen PET handelt, weshalb hier argumentiert werden kann, dass die Originalfachmethode (OF) vorliegt. Somit weist das PBB-Modellexperiment hinsichtlich der Photosynthese die Merkmalskombination MS/MM/MB/OF auf und es liegt ein hoher Modellierungsgrad vor. Das Experiment ist im Inhaltsfeld Komplexe Themen mit Chemie als Querschnittswissenschaft einzuordnen (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017, vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018b:545, Sieve/Offermann 2018:34f⁴²).

7.7.3 PBB-Basisexperiment (Schütteln) und Zellatmung

In diesem Abschnitt geht es um den zweiten Teilprozess des Basisexperiments. Essentiell ist die Oxidation des Substrats durch Sauerstoff. Durch Schütteln des Schraubdeckelgläschens wird über der blauen Lösung befindliche Luft und somit Luftsauerstoff in Kontakt mit gelöstem Substrat gebracht. Dadurch entstehen farblose Ethylviologen-Dikationen, so dass die Lösung so gelb wie vor der Bestrahlung erscheint.

Kategorie 1: Bezug zum Experiment

Eine experimentelle Tätigkeit wird durchgeführt, die im Bereich der Redoxreaktionen einzuordnen ist (vgl. Sommer 2007:52f, Pfeifer/Sommer 2018a:157). Das Gläschen mit Luft und PBB-Lösung wird geschüttelt und auf diese Weise die Reaktanden aus zwei Phasen miteinander in Berührung gebracht.

⁴² Leider berücksichtigen die Autoren mit der Originalversion aus dem Jahr 1994 einen aus der heutigen Perspektive als veraltet zu kennzeichnenden Entwicklungsstand des PBB-Experiments.

Kategorie 2: Bezug zum Original

In der Natur kommt es bei Menschen, Tieren und Pflanzen zu Zellatmungsprozessen, die diese zur Bereitstellung von Energie, z.B. in Form von Wärme und ATP, der „universelle[n] zelluläre[n] Energiewährung“ (Urry/Cain/Wasserman et al. 2019:221), nutzen. Die im Modellexperiment in einer einfachen, allgemeinen Summgleichung dargestellte Zellatmung entspricht der Umkehrreaktion zur Photosynthese und findet im Original unter Einfluss von körpereigenen Enzymen statt. Dort ist sie zudem um ein Vielfaches komplexer.

Kategorie 3: Bezug zum Modell

Unterkategorie Substanz: Mit Ethylviologen liegt eine Modellsubstanz vor, die als blaue Spezies für Glucose und in ihrer Leukoform für Kohlenstoffdioxid steht. Sauerstoff ist bereits im System enthalten und entspricht dem Original. Wasser wird nicht modelliert, ebenso wenig wie der Einfluss von Enzymen als Biokatalysatoren oder ATP.

Unterkategorie Material: Das Modell-Baumaterial besteht aus einem Schraubdeckelglas mit niedrigem Volumeninhalt, in dem sich PBB-Lösung und Luft befinden.

Unterkategorie Bedingung: Sauerstoff muss in die Flüssigkeit diffundieren, was durch Schütteln beschleunigt wird. Die Reaktion zwischen Ethylviologen-Monokation-Radikalen und Sauerstoff-Molekülen findet bei unterschiedlichen Temperaturen statt: Im Basisexperiment ist dieses bei Zimmertemperatur der Fall, doch dringen die weiterführenden unterrichtlichen forschend-entwickelnden Experimente, die mit dem Modellversuch durchgeführt werden, in Temperatur-bereiche vor, bei denen das PBB-Experiment noch funktioniert, aber natürliche Biokatalysatoren denaturieren würden.

Es handelt sich um eine exergonische Reaktion, jedoch ist das nicht über eine mögliche Temperaturänderung nachweisbar: „Trotz größter Bemühungen konnte die im reduzierten Substrat gespeicherte Energie nicht als freiwerdende Wärme bei seiner Oxidation nachgewiesen werden“ (Tausch 2019:255). Dieser Sachverhalt wird über einen didaktischen Kniff in einer weiteren PBB-Variante modelliert.

Im Modellexperiment findet die Zellatmung im gleichen System wie die modellierte Photosynthese-Reaktion statt – im Schraubdeckelgläschen.

Unterkategorie Fachmethode: Das Modellexperiment basiert auf Redox-Reaktionen. Das Original ist, kurzgesagt, jedoch weitgehend komplexer und vielfältiger und benötigt Katalysatoren, d.h. Enzyme.

PBB-Basisexperiment (Schütteln) und Zellatmung: Kommentierende Einordnung

Auch hier werden die Verkürzungen und Schwerpunktsetzungen offenkundig. Diese recht knappen Darstellungen verdeutlichen, dass die komplexen Vorgänge der Zellatmung didaktisch reduziert auf die allgemeine Summgleichung bezogen werden und viele Details in den Hintergrund treten, z.B. die Tatsache, dass Biokatalysatoren benötigt werden. Wiederum ist ein didaktischer Grund zu nennen, der die Verkürzungen rechtfertigt: Die SuS sind mit Luftsauerstoff als Oxidationsmittel vertraut, sodass sie durch die forschend-entwickelnde Variation der Experimentbedingungen die Rückreaktion, anhand der Farbveränderung blau nach gelb, nachvollziehen können.

Alle Kategorien und auch drei von vier Unterkategorien liegen modelliert vor, so dass auch hinsichtlich der Zellatmung von einem Modellexperiment zu sprechen ist. Die Unterkategorien Substanz, Material und Bedingung sind eindeutig modelliert, d.h. es liegen Modellsubstanz (MS), Modellmaterial (MM) und, im Gesamtkomplex des forschend-entwickelnden Zuganges zum PBB-Experiment, Modellbedingungen (MB) vor. Mit Glucose und Kohlenstoffdioxid sind zwei der vier zentralen Substanzen modelliert. Nur Sauerstoff entspricht dem Original, wobei Wasser als Reaktionspartner unbeachtet bleibt. Auch die Energiebereitstellung über ATP wird ausgeklammert. Da die überwiegende Anzahl der Hauptaugenmerke modelliert ist, wurde sich für die Ausprägung Modellsubstanz entschieden. Im Bereich der Fachmethode entsprechen die grundsätzlichen Reaktionen denjenigen des natürlichen Originals, weshalb die Ausprägung Objektfachmethode (OF) vorliegt. Somit weist das PBB-Modellexperiment hinsichtlich der Zellatmung die Merkmalskombination MS/MM/MB/OF auf und es liegt ein hoher Modellierungsgrad vor. Das Experiment ist im Inhaltsfeld

Komplexe Themen mit Chemie als Querschnittswissenschaft einzuordnen (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017, vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018b:545).

7.7.4 PBB-Basisexperiment und Kohlenstoffkreislauf in der Biosphäre

Im Folgenden werden die Teilprozesse Photosynthese und Zellatmung gedanklich verbunden, so dass sie einen Zyklus in der belebten Natur bilden. Dieser Kohlenstoffkreislauf wird nun vor dem Hintergrund der Kategorien untersucht.

Kategorie 1: Bezug zum Experiment

Die hier aufzuführenden Aussagen können den oben verfassten Abhandlungen zur Photosynthese und zur Zellatmung entnommen werden.

Kategorie 2: Bezug zum Original

Aufgrund der Reduktion auf Photosynthese und Zellatmung als Teilprozesse des Kohlenstoffkreislaufes werden lediglich die Stoffe Kohlenstoffdioxid und Glucose betrachtet. Die vielen anderen Kohlenstoffverbindungen, die im Original an diesem Kreislauf beteiligt sind, werden ausgeklammert.

Kategorie 3: Bezug zum Modell

Unterkategorie Substanz: Die hier aufzuführenden Aussagen können den oben verfassten Abhandlungen zur Photosynthese und zur Zellatmung entnommen werden.

Unterkategorie Material: Die hier aufzuführenden Aussagen können den oben verfassten Abhandlungen zur Photosynthese und zur Zellatmung entnommen werden.

Unterkategorie Bedingung: Die hier aufzuführenden Aussagen können den oben verfassten Abhandlungen zur Photosynthese und zur Zellatmung entnommen werden. Bedeutsam ist zudem, dass Photosynthese und Zellatmung im Modell in einem kleinen Schraubdeckelgläschen, das bedarfsweise verschlossen werden kann, simuliert werden.

Unterkategorie Fachmethode: Die hier aufzuführenden Aussagen können den oben verfassten Abhandlungen zur Photosynthese und zur Zellatmung entnommen werden.

PBB-Basisexperiment und Kohlenstoffkreislauf: Kommentierende Einordnung

Da der Kohlenstoffkreislauf in der Biosphäre auf den Vorgängen Photosynthese und Zellatmung fußt, ergeben sich vergleichbare Bilanzen. Es ergibt sich eine Merkmalsausprägung von MS/MM/MB/OF, weshalb ein hoher Modellierungsgrad vorliegt. Das Experiment ist im Inhaltsfeld Komplexe Themen mit Chemie als Querschnittswissenschaft einzuordnen (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017, vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018b:545).

7.7.5 Variante photogalvanische Konzentrationszelle und Energiespeicherung

Nun steht nicht mehr das Basisexperiment im Fokus, sondern die Variante photogalvanische Konzentrationszelle wird untersucht. Hiermit wird die Energiekonversion und -speicherung modelliert.

Kategorie 1: Bezug zum Experiment

Eine experimentelle Tätigkeit wird durchgeführt, die im Bereich der Redoxreaktionen einzuordnen ist. Dieser Teil des PBB-Experiments gehört zum Teilbereich der Elektrochemie, da durch die Bestrahlung eine Konzentrationskette vorliegt (vgl. Sommer 2007:52f, Pfeifer/Sommer 2018a:157).

Kategorie 2: Bezug zum Original

In der Natur wird Glucose als Energiespeicher angesehen. Durch Reaktion mit Sauerstoff und unter Enzymwirkung wird die darin gespeicherte Energie für den jeweiligen Organismus verfügbar, teilweise als Wärme und teilweise als ATP, das bei der Bereitstellung anderer Energieformen genutzt wird (vgl. Abschnitt Zellatmung, Kap. 5.2). Aus ATP werden andere Energieformen verfügbar gemacht, d.h. endergonische Prozesse angetrieben, die im Aufbau der unterschiedlichen Energieformen

resultieren. Basis sind komplexe Abbauprozesse im jeweiligen Organismus. Im vorliegenden Fall wird dieses durch ein photoaktives galvanisches Element (auch benannt als photoelektrochemische Konzentrationszelle) modelliert, das wie ein Solarakku funktioniert.

Kategorie 3: Bezug zum Modell

Unterkategorie Substanz: Die Halbzellen mit jeweils unterschiedlichen Konzentrationen des Redox-Paars Ethylviologen-Dikation/Ethylviologen-Monokation-Radikal bilden die Grundlage für die Modellierung der Energiespeicherung. Das blaue Ethylviologen-Monokation-Radikal wird erzeugt, was mit dem Aufbau einer elektrischen Spannung im photoaktiven galvanischen Element einhergeht. Im geladenen Zustand ist es ein Energiespeicher und simuliert die Glucose. Wenn diese blaue Substanz durch Einbringen von Luftsauerstoff abgebaut wird, bricht die Spannung zusammen. Dies ist analog zur Natur zu sehen: Sobald Glucose oxidiert wurde, kann keine nutzbare Energie in Form von Wärme und ATP erzeugt werden. Im Fall des Modellexperiments ist die Energie in chemischer Energie gespeichert, die mit der Spezies Ethylviologen-Monokation-Radikal verbunden ist: Das Konzentrationsverhältnis oxidierte Form (Ethylviologen-Dikation) zur reduzierten Form (Ethylviologen-Monokation-Radikal) wird auf Seiten der bestrahlten Halbzelle verändert. Mit der Konzentrationserhöhung der reduzierten Form wird das Verhältnis $c(\text{EV}^{2+})/c(\text{EV}^{+})$ verändert. Im geladenen Zustand ist es klein, die reduzierte Form überwiegt. Im ungeladenen Zustand ist es groß, die oxidierte Form überwiegt. Je größer nun der Unterschied der Halbzellenpotentiale, umso größer die resultierende Spannung – der Solarakku ist geladen (vgl. hierzu Ausführungen zur Nernst-Gleichung in Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. 2013:29ff). Im Fall der Glucose liegt ebenfalls chemische Energie vor, die durch katabole Prozesse frei wird und Wärme sowie ATP bildet. Das ATP wird wiederum zu weiteren Energieformen umgesetzt (vgl. Habelitz-Tkotz 2019:37).

Unterkategorie Material: Das Modell-Baumaterial besteht aus einer low cost-Konzentrationszelle, die aus zwei Schnappdeckelgläsern mit gelochtem Deckel, einem Gummiband, einer Pappscheibe, zwei Edelstahlschrauben, einer Salzbrücke mit Silikonschlauch, Kaffeefilterpapier, Kaliumnitratlösung, sowie zwei Kabeln und einem Spannungsmessgerät besteht. Die Beleuchtung erfolgt mit dem blauen Licht einer Taschenlampe.

Unterkategorien Bedingung und Fachmethode: In der Natur wird bei der Zellatmung Glucose in ATP zur Bereitstellung für weitere zelluläre Prozesse umgewandelt, wobei Wärme entsteht. Im Modellexperiment wird weder die Energieform Wärme, noch ein dem ATP äquivalentes Produkt gebildet. Jedoch liegt eine aus dem Bereich der Elektrochemie stammende Konzentrationskette vor, deren Spannung durch Beleuchtung einer Halbzelle aufgebaut wird und durch Einbringen von (Luft-) Sauerstoff wieder zusammenbricht. Beim Laden des Akkus wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Beim Entladen kann elektrische Arbeit verrichtet werden.

Zusätzlich werden hinsichtlich der Bedingung auch die Merkmale eines Energiespeichers nach Ausfelder/Beilmann/Bertau et al. (2015:22) angeführt: Eine **Beladung** findet im Modell durch Lichtbestrahlung und Generierung von Ethylviologen-Monokation-Radikalen statt. Im Original werden in Folge der Lichtreaktion und dem darauf folgenden Calvin-Benson-Zyklus G3P-Moleküle bereitgestellt. Hieraus werden auf biosynthetischem Weg Glucose-Moleküle gebildet. Die **Speicherung** über „einen im Kontext relevanten Zeitraum“ (ibid.) wird im Modell durch das blaue Ethylviologen offenkundig. Dieses bleibt im geschlossenen System erhalten und geht mit dem Erhalt der Spannung einher (vgl. auch Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. 2013:27). Im Original findet die Speicherung in der Transportform Glucose-Moleküle statt (die bedarfsweise von der Pflanze auch aus der Speicherform Stärke, z.B. in Stärkekörnern, abgerufen werden können). Ein **Entladen** findet im Modell kontrolliert statt: Luftsauerstoff oxidiert die blauen Ethylviologen-Monokation-Radikale zu Ethylviologen-Dikationen. Allerdings kann im Modellexperiment bei der Oxidation keine Wärme als Energietransportform detektiert werden. Bei der Entladung der Konzentrationszelle ist es aber prinzipiell möglich, die gespeicherte Energie als elektrische Arbeit abzurufen. Im Original kontrolliert der Organismus per Zellatmung den Zugriff auf Glucose und macht die darin gespeicherte Energie nutzbar: Eine weitere Speicherform auf Basis chemischer Energie in Form von ATP wird hergestellt und die Transportform Wärme wird erzeugt. Es zeigt sich, dass sowohl Modellexperiment als auch Original den Kriterien genügen, diese aber in deutlich unterschiedlicher Weise realisieren.

PBB-Modellexperiment in der Variante photogalvanische Konzentrationszelle und Energiespeicherung: Kommentierende Einordnung

Auch in diesem Fall wird der Modellcharakter deutlich, allerdings liegt ein radikaler Unterschied zum Original vor. Dieses konnte nur durch einen didaktischen Kniff modelliert werden. Die sich im „Solarakku“ aufbauende Spannung wird umso größer, je länger bestrahlt wird und sich in der bestrahlten Halbzelle das Konzentrationsverhältnis $c(\text{EV}^{2+})/c(\text{EV}^{**})$ immer stärker zu Gunsten der reduzierten Spezies ändert.⁴³ Gleichzeitig wird durch die Oxidation des blauen Ethylviologens der Abbau von Glucose im Körper nachvollzogen. Je weniger blaues Substrat noch in der Halbzelle vorhanden ist, umso niedriger die Spannung. Die Zellspannung symbolisiert das Vorhandensein von gespeicherter chemischer Energie. Auf das Original übertragen, entspricht das der in der Glucose gespeicherten chemischen Energie.

Alle Kategorien und Unterkategorien liegen modelliert vor, so dass auch hinsichtlich der Energiespeicherung von einem Modellexperiment zu sprechen ist. Im Unterschied zur Photosynthese und Zellatmung ist auch die Fachmethode anders als im Original. Es liegt somit die Merkmalskombination MS/MM/MB/MF vor, was im entsprechenden Modellierungsgrad kulminiert. Das Experiment ist wiederum im Inhaltsfeld Komplexe Themen mit Chemie als Querschnittswissenschaft einzuordnen (vgl. Sommer/Toschka/Schröder et al. 2017, vgl. Sommer/Steff/Toschka 2018b:545).

7.7.6 Zwischenfazit

Das PBB-Basisexperiment und die Variante „Solarakku“ modellieren die vier genannten Bereiche, die teils in großem Ausmaß Überlappungen aufweisen. Bei allen Bereichen sind Substanz, Material und Bedingungen modelliert. Während Photosynthese, Zellatmung und Kohlenstoffkreislauf sich an der Fachmethode des Originals (Redox-Reaktionen; durch Lichteinstrahlung ausgelöste Redoxreaktionen auf Basis von PET) orientieren, ist die Fachmethode der Energiespeicherung modelliert. 13 von 16 Kriterienausprägungen sind modelliert, so dass der rechnerische Modellierungsgrad bei 81,25 % liegt. Die in der Tabelle Tab. 2 auf S. 69 dargestellten Analogien zum Original rechtfertigen die radikale Elementarisierung.

Das Modellexperiment erlaubt einen forschend-entwickelnden Ansatz, so dass relevante Erkenntnisse aus dem experimentellen Handeln gewonnen werden können (vgl. hierzu z.B. die Vorschläge in Tausch/Heffen 2016 oder Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019). Dabei ist die Beobachtung von Farbveränderungen essentiell, wie auch die Möglichkeit, die Versuche in die Hände der Lernenden zu legen.

Zum Zeitpunkt der Konzeption und Exploration des bilingualen Moduls lag die photogalvanische Konzentrationszelle als bis dato einzige Möglichkeit vor, die Speicherung von Energie im Experiment nachzuvollziehen. Kremer/Tausch (2019, vgl. auch Kremer/Meuter/Tausch 2019 sowie Kremer/Bohrmann-Linde/Tausch 2021) entwickelten eine Zweitopfzelle, in der die in der PBB-Lösung gebildeten Ethylviologen-Monokation-Radikale als Elektronendonatoren für die Darstellung von Wasserstoff in einer gekoppelten Halbzelle dienen, vgl. Abb. 33. Ein Topf ist mit PBB-Lösung gefüllt und der andere, im Gegensatz zur Konzentrationszelle, mit Salzsäure. Als Elektrode dient dort eine Platin-Elektrode:

⁴³ Laut Tausch/Bohrmann-Linde/Posala et al. (2013) werden nach ca. 5 min Bestrahlung Spannungen von etwa 0,8 V für einen Aufbau mit Platinelektroden, Halogenlampe und Methylviologen erreicht (27). Heffen (2017) erhält nach 5 min Spannungen bis 0,75 V für einen vergleichbaren Aufbau (72), doch die aktuelle Version des Basisexperiments, d.h. u.a. unter Verwendung von Ethylviologen, liefert nach 5 min Bestrahlung deutlich niedrigere Spannungen von maximal ca. 0,35 V (vgl. *ibid.*:81). Die Spannungszunahme erfolgt also bis zu einem gewissen Grenzwert. Die Stromstärke ist zudem mit Werten unter 1-2 μA (vgl. *ibid.*:70) sehr gering und für die aktuelle Version des Basisexperiments kaum messbar.

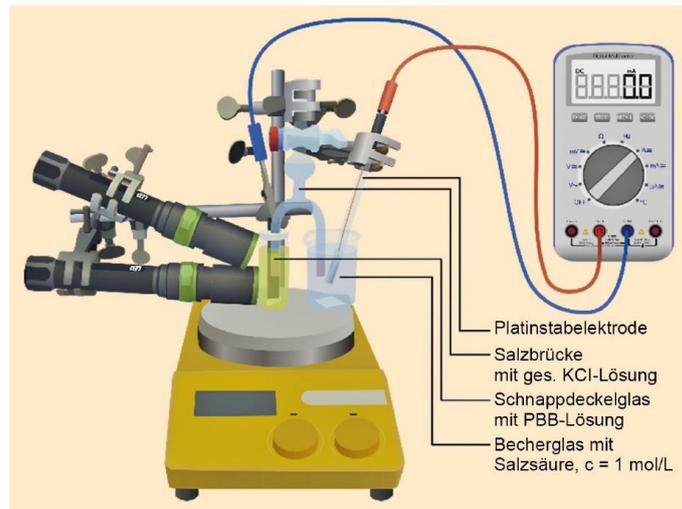


Abb. 33: Versuchsaufbau der Zweitopfzelle nach Kremer (vgl. Tausch 2021:7)

Analog zur Konzentrationszelle wird nur eine Halbzelle beleuchtet, nun mit zwei Taschenlampen. Allerdings wird nicht die Spannung gemessen, sondern die erzeugte chemische Energie in der beleuchteten Halbzelle wird in ihrer Transportform elektrischer Strom dadurch sichtbar, dass ein gewisses Wasserstoffgas-Volumen generiert wird. In der folgenden Abb. 34, einem Standbild aus dem zum Versuch gehörenden Video von Kremer/Tausch/Meuter (2019) wird die Bestrahlung der linken Halbzelle deutlich (hier ist noch eine weiße Trennwand zwischen den beiden Halbzellen eingezogen), wie auch das Abscheiden von Gasbläschen (links im Becherglas an der Platin-Elektrode und rechts oben in einer entsprechenden Vergrößerung) und die gemessene Stromstärke von etwa 0,64 mA. Die Umwandlung von Lichtenergie in die Speicherform $c(\text{EV}^{2+})/c(\text{EV}^{*})$ innerhalb der Konzentrationszelle (vgl. Ausführungen oben) und von dort aus über die Transportform elektrischer Strom bis in die Speicherform chemische Energie (farbloses Gas, das später als Wasserstoffgas identifiziert wird) kann hier nachvollzogen werden:

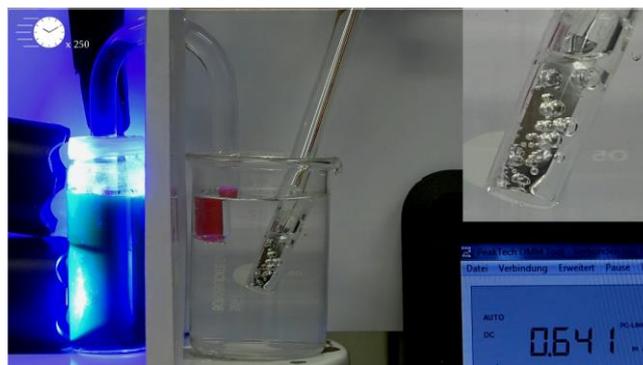


Abb. 34: Bildung ‚grünen‘ Wasserstoffs in der Zweitopfzelle (vgl. Kremer/Tausch/Meuter 2019)

Dabei dient das Konzentrationsverhältnis $c(\text{EV}^{2+})/c(\text{EV}^{*})$ als temporärer Speicher, der auch als grün zu bezeichnende Wasserstoff als Langzeitspeicher. In den Worten von Kremer/Bohrmann-Linde/Tausch: Ersteres sind „Zwischenspeicher“ und Letzteres ist ein „Energiespeicher“ (2021:18). Die Gasentwicklung ist im unterrichtlichen Zeitrahmen beobachtbar: Tausch (2021:7) gibt das Erzeugen von 0,6 mL Wasserstoffgas in 90 min an. Der typische Nachweis per Knallgasprobe ist bereits mit der Hälfte des generierten Volumens in einem modifizierten experimentellen Setting durchführbar (vgl. Tausch 2021:7, vgl. dazu auch das Video von Kremer/Tausch/Meuter 2019 sowie Kremer/Tausch 2019). Dieses wäre in Zukunft die vorzuziehende Variante, um die Energiespeicherung im Sinne von Ausfelder/Beilmann/Bertau et al. (2015) zu modellieren.

7.8 PBB-Experiment: Bezug zu Pflichtinhalten im Chemieunterricht

Aus den Erläuterungen zum Modellcharakter des PBB-Experiments ergeben sich auch diejenigen Basiskonzepte, auf denen das Experiment fußt. Im Sinne eines inhaltsbezogenen Spiralcurriculums (vgl. Parchmann/Sommer 2018:128ff) können diese mit dem Modellexperiment erarbeitet oder vertieft werden. In Tab. 3 wird auf das jeweilige Basiskonzept verwiesen und Aspekte des PBB-Basisexperiments und seiner Variante „Solarakku“ zugeordnet, das einen Beitrag zur Erschließung leistet oder daran anknüpft. Die Grundlagen basieren auf Tausch (2021).

Tab. 3: Anknüpfungspunkte Basisexperiment und „Solarakku“ an curriculare Vorgaben für den Chemieunterricht in Deutschland (adaptiert nach Tausch 2021; Online-Supplement)

Pflichtinhalte	Photochemische Anknüpfungen
Stoffeigenschaften	Farbe durch Lichtabsorption und -emission; hier: blaue Farbe von Ethylviologen-Monokation-Radikal im Vergleich mit farblosen Ethylviologen-Dikationen (Farbe durch Lichtabsorption)
Chemische Reaktion	Wärme, Licht und elektrische Energie als energetischer Antrieb für eine Reaktion und als verfügbare Energie aus einer Reaktion, hier: Fokus auf lichtgetriebene Reaktionen ausgelöst durch Licht bestimmter Wellenlänge(n)
Chemisches Gleichgewicht	Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen chemischem Gleichgewicht und photostationärem Zustand; hier keine direkten Anknüpfungen vorgesehen.
Modelle für Atome, Moleküle und Halbleiter	Grundzustand und elektronisch angeregte Zustände in Atomen, Molekülen, anorganischen und org. Halbleitern; hier: Proflavin als Photokatalysator
Katalyse, Katalysator	Photokatalyse und Photokatalysator: Beispiele, Wirkungsweise, Vergleich mit Katalyse und Katalysator; hier: Proflavin als Photokatalysator
Elektrochemie, Redoxreaktionen	Elektronentransferreaktionen in photogalvanischen und photovoltaischen Zellen; hier: „Solarakku“
Energieumwandlungen	Licht in elektrische Energie und vice versa: Photovoltaische und photogalvanische Zellen bzw. LED und OLED; hier: „Solarakku“
Reaktionstypen in der Organischen Chemie	thermische und photochemische Radikalkettenreaktionen (Substitutionen, Polymerisationen, Additionen, Homolysen), Isomerisierungen (E-Z), Redoxreaktionen (Pinakolisierung u.a.); hier: Photoelektronentransfer Proflavin-Ethylviologen; Redoxreaktion Ethylviologen-Sauerstoff
Farbstoffe	herkömmliche und funktionelle Farbstoffe (photochrome, thermochrome, solvatochrome Farbstoffe, Fluorophore, Photoinitiatoren, -sensibilisatoren, -katalysatoren etc.); hier: Proflavin und Ethylviologen
Kunststoffe	Kunststoffe mit photoaktiven molekularen Schaltern; schaltbare Eigenschaften (Farbe, Löslichkeit, Viskosität, elektrische Leitfähigkeit u.a.); hier keine direkten Anknüpfungen vorgesehen.

7.9 Planung von bilingualem Unterricht

Die Grundlage von BU bildet das vielzitierte, breit angelegte „4Cs framework“ von Coyle/Hood/Marsh (2010:41ff). Die vier Zieldimensionen Content, Cognition, Communication und Culture überträgt Biederstädt wie folgt ins Deutsche:

Content: Der Inhalt wird vom Sachfach bestimmt, dabei geht es um die Vermittlung und den Erwerb fachspezifischen Wissens und entsprechender methodischer Kompetenzen.

Cognition: Im Zentrum des Lernens steht die kognitive Leistungsdisposition. Aufgaben und Probleme gilt es, mithilfe fachlicher Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten, Strategien und Routinen sachgerecht und selbstständig zu bewältigen und die Ergebnisse zu beurteilen.

Communication: Schulische Lernprozesse werden von unterschiedlichen Interaktions- und Kommunikationsmustern geprägt, wobei der Austausch in der Gruppe über fremdsprachliche Lerninhalte in der Fremdsprache besondere Beachtung erfordert.

Culture: Interkulturelles Lernen strebt die Wahrnehmung und Anerkennung anderer Kulturen und die Relativierung des eigenen Standpunktes an, sowohl kognitiv-inhaltlich als auch sozial-affektiv. (Biederstädt 2013:7)

Für den Bereich des BU Chemie hat Bohrmann-Linde (2012:192ff) das Bilingual Triangle von Hallet (1998) adaptiert. Es lädt dazu ein, unterrichtliche Prozesse insbesondere vor dem Hintergrund des kulturellen Perspektivwechsels zu reflektieren. Bonnet (2012:212ff) stellt mögliche Gestaltungsfaktoren vor. Gemeinsam ist den Vorschlägen, dass die Planungsmomente sich an curricular verankerten sachfachlich-inhaltlichen und –methodischen Aspekten orientieren müssen, die allgemein als scientific literacy benannt werden können (vgl. auch Bohrmann-Linde 2013, Bohrmann-Linde/Strippe 2018, Breidbach 2010). Auch muss sich der Unterricht an den in den Lehrplänen formulierten Kompetenzen orientieren. Zielsprachliche Besonderheiten, die durch Scaffolding-maßnahmen gestützt werden, sollen ebenfalls im BU Chemie Berücksichtigung finden. Bonnet bezieht diese auf sachfachliche und sprachliche Bereiche und ergänzt den letzteren explizit um denjenigen der Interaktion (2012:213).

Bezüglich der beobachteten Unterrichtsrealität stellt Smit allgemein fest, dass CLIL in durchaus unterschiedlichen Formen existiert: „[It comes in all] shapes and sizes“ (2007:3). Für die Situation des BU in Deutschland wird Gleiches konstatiert, wie z.B. Dalton-Puffer (2017) unter Verweis auf Wicke/Haataja (2015) darstellt. Sie unterscheidet vor dem Hintergrund beobachteter Realisationsformen zwischen den Extrema Hard CLIL und Soft CLIL. Ersterer Typus fokussiert den Sachfachunterricht, letzterer hingegen zielt auf die verwendete Fremdsprache als Hauptziel ab. Neben der Ausdrucksfähigkeit in der Fremdsprache, L2, soll auch die Muttersprache, L1, ausgebildet werden, so dass eine Partizipation am jeweiligen wissenschaftlichen Diskurs in der jeweiligen Sprache möglich ist. Dies schreiben die KMK-Vorgaben eindeutig vor (vgl. u.a. Bohrmann-Linde 2016, Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016a sowie Ausführungen zur doppelten Sachfachliteralität in Kap. 4.1). Die Praxis zeigt laut Umfragen, auf die z.B. Laupenmühlen (2012:167f, vgl. auch Diehr 2012, 2016, Botz 2016) rekurriert, dass die L1 trotz dieser Maßgabe wenig systematisch verwendet wird, da von einem impliziten Mitaufbau der L1 ausgegangen wird. Zum wissenschaftlichen Umgang und zum sprachlichen Verweis auf unterschiedlich durch L1 und L2 geprägte Lehr-Lern-Situationen hat Diehr eine Typologie entwickelt (vgl. 2012, vgl. S. 1). Zum Umgang mit der L1 im Zuge von BU, insb. im Sinne von funktionellen Sprachwechseln, vgl. Kap. 3.

Methodisch-didaktisch solle sich der BU am Sachfach orientieren, wie Mentz für das Bundesland NRW herausstellt. Er fasst zusammen:

Insgesamt wird immer wieder deutlich gemacht, dass die Vorgaben der jeweiligen Sachfachlehrpläne zur Obligatorik im Bereich der Aufgaben und Ziele der Fächer, der Lernbereiche, der Konstruktionsprinzipien, Lerninhalte und Grundsätze der Unterrichtsgestaltung und der Leistungsbewertung auch im Bilingualen Unterricht gültig sind. (Mentz 2013:90)

Indes formulieren nicht alle Bundesländer gleiche Anforderungen. Bohrmann-Linde schlägt folglich einen „Schulterschluss“ (2012:196f) zwischen sachfachlicher und fremdsprachlicher Methodik vor, um BU Chemie erfolgreich zu gestalten.

Ein konkretes Planungsraster für den BU Chemie gibt es nicht, doch hat Meyer (2010) vor dem Hintergrund des 4C-Rahmenkonzeptes eine CLIL-Pyramide entworfen, mit der bilinguale Unterrichtssequenzen konzipiert werden können (vgl. Biederstädt 2013:10, vgl. Meyer 2010). Im Kern wird hier ein auf inhaltlicher und sprachlicher Progression basierendes Instrument vorgestellt, das mehrfache Situationen von Scaffolding anvisiert (d.h. für den rezeptiven wie produktiven Sprachgebrauch und auch hinsichtlich der Lernmethodik) und an die Lernaufgabe nach Leisen (vgl. z.B. 2013, 2015b) oder die Komplexe Kompetenzaufgabe nach Hallet (vgl. z.B. 2012) erinnert. Hierfür formuliert Meyer sechs Leitgedanken („quality principles“) für die Unterrichtsplanung, die, ausgehend von „rich input“ (267), Aspekte wie das „learning scaffolding“ (269), kulturelle Perspektivwechsel, bedeutungsvolle fremdsprachliche Aushandlungsprozesse, die Outputorientierung und das „higher order thinking“ beinhalten (vgl. hierzu die höher angesiedelten Prozesse in der Bloomschen Taxonomie wie Analyse, Synthese oder Bewertung z.B. in Barke/Harsch 2001:57; die Hierarchie wird auch auf die Punkte Reproduktion, Reorganisation, Transfer und Problemlösen reduziert – auch hier gehören die letztgenannten Punkte zum higher order thinking, vgl. Barke/Harsch/Kröger et al. 2018:91). Überdies beinhaltet die CLIL Pyramide den Gedanken einer Planung von BICS nach CALP (vgl. Meyer 2010:266ff), wohingegen z.B. Ting das von BICS ausgehende Pendeln zwischen diesen Registern als sinnvoll erachtet (vgl. Ting 2015).

Teil II – Vorarbeiten

8 Empirische Voruntersuchungen und weitere Vorbereitungsschritte

Gemäß dem Anliegen, Lehr-Lern-Materialien mit Lehrkräften für den bilingualen Unterricht zu erproben und zu optimieren, richten sich die Voruntersuchungen zunächst auf den Sektor Schule. Unter den dort in den Fächern Chemie oder Biologie bilingual unterrichtenden Lehrkräften wird erkundet, zu welchen inhaltlichen Themen Bedarf vorherrscht. Eine ausführliche Darstellung für diesen Teil und entsprechende Ergebnisse finden sich in Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde (2020, vgl. Anhang A8). Im ersten Teil werden zentrale Aspekte der Vorarbeiten vorgestellt, die anteilig auch Ergänzungen zum o.g. Artikel umfassen. Im zweiten Teil werden die Erträge der Literaturrecherche vorgestellt, die mit dem ersten Teil korrespondieren. Im dritten Teil erfolgen Einblicke in die ersten Schritte der Materialentwicklung, bevor zusammenfassende Worte das Kapitel beschließen. Innerhalb dieses Teils wird somit die erste Forschungsfrage adressiert.

8.1 Bedarfsanalyse unter bilingual Unterrichtenden in Deutschland

Auf Basis amtlicher Schuldaten⁴⁴ wird 2017 zunächst eine Übersicht (vgl. Tab. 1 in Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde 2020) über diejenigen weiterführenden Schulen (Gesamtschulen, Gymnasien, Realschulen und Sekundarschulen) in Deutschland erstellt, an denen deutsch-englischer BU angeboten wird. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Erkundung von deutschlandweiten Angeboten im Bereich BU Chemie. Zudem wird das allgemeine Angebot an BU in Nordrhein-Westfalen (NRW) untersucht. Im ersten Schritt erfolgt sowohl durch Kontaktaufnahme mit den zuständigen Ministerien der jeweiligen Bundesländer als auch durch Abfragen einschlägiger Schul-Suchmaschinen das Erstellen einer ersten Übersichtsliste. Diese wird durch weitere Einträge angereichert, die aus der Kontaktaufnahme mit bilingualen Arbeitsgruppen resultieren. Im zweiten Schritt werden alle schulischen BU Chemie-Beauftragten persönlich kontaktiert – und auch diejenigen in NRW mit BU Biologie. Im Austausch mit den zuständigen Personen für BU an den jeweiligen Schulen stellt sich heraus, dass

⁴⁴ Für NRW wird das Portal „Schule suchen“ genutzt (URL bis 2019 <https://www.schulministerium.nrw.de/docs/bp/Ministerium/Service/SchuleSuchen/index.html>; danach: <https://www.schulministerium.nrw.de/BiPo/SchuleSuchen/>; Stand Dezember 2021). Weitere Schuldaten werden auf Anfrage von den im Text genannten amtlichen Stellen zur Verfügung gestellt.

manche Angebote eingestellt wurden. Die Ursachen liegen auf der Ebene der Anzahl der zur Verfügung stehenden Lehrpersonen oder auf derjenigen der Schulentwicklung: Für den Fall, dass Lehrkräfte aus persönlichen Gründen die Angebote aufgeben müssen (z.B. Krankheit, Abordnung, Schulwechsel, Sabbatjahr), steht niemand als Vertretung zur Verfügung. In anderen Fällen verändert sich der Schwerpunkt des Schulentwicklungsprozesses: Anstelle von bilingualen Unterfangen tritt die digitale Transformation. Insgesamt gibt es 7 NRW-Schulen mit BU Chemie (deutschlandweit 30). Die Kontakt-abfrage wird auf den Bereich BU Biologie in NRW ausgeweitet, da die infrage stehenden Themen teils auch interdisziplinären Charakter haben und nicht ausschließlich für BU Chemie genutzt werden können. Nach diesem vielschrittigen Vorgehen liegt Ende 2017 ein Netzwerk an individuell aufgebauten Kontakten in das schulische Feld BU Chemie bzw. BU Biologie vor.

Die BU-Ansprechpersonen an den Schulen werden im Zuge einer needs analysis mit einem Fragebogen⁴⁵ kontaktiert, der aus einem offenen und einem geschlossenen Teil besteht. Im offenen Teil wird der allgemeine Bedarf an Lehr-Lern-Material für den BU Chemie bzw. Biologie erfragt. Im geschlossenen Teil werden ausgewählte Angebote aus dem Fundus der Wuppertaler Chemiedidaktik abgefragt. Die Arbeitskreise Tausch bzw. Bohrman-Linde haben mehrere unterschiedliche fachwissenschaftliche Themenbereiche erschlossen, die als Basis der konzeptionell-experimentellen Forschung und Entwicklung von unterrichtlich einsetzbaren Lehr-Lern-Materialien dienen (vgl. Didaktik der Chemie Wuppertal). Das Material wird so konzipiert, dass eine Anschlussfähigkeit an curricular verankerte Themen möglich ist. Vor diesem Hintergrund müssen Auswahlentscheidungen für die Entwicklung von Material für den BU Chemie getroffen werden. Aus dem Fundus wird nach Absprache im Arbeitskreis eine Auswahl an Experimenten und Materialien getroffen, die sich für den BU Chemie eignen. Darunter sind auch Inhalte, die dem Bereich der Photochemie angehören

Die Kontaktaufnahme erfolgt in zwei Durchläufen im ersten Halbjahr des Schuljahres 2017/18: Da üblicherweise im Spätherbst und Winter das Arbeitsaufkommen an Schulen besonders hoch ist, kann davon ausgegangen werden, dass manche Schulen nicht im ersten Anlauf reagieren können. Gemäß dieser Erkenntnis wird im ersten Anlauf, d.h. am 2. November 2017, ein Anschreiben mit Fragebogen und frankiertem sowie adressierten Rückumschlag an die im o.g. Prozess identifizierten Lehrkräfte versendet. In einem zweiten Durchlauf, d.h. am 14. Dezember 2017, erfolgt eine zweite Kontaktaufnahme. Final liegen Anfang 2018 schriftliche Antworten von 17 Chemie- und 24 Biologie-Kontaktpersonen vor. Die Auswertung der offenen und geschlossenen Fragebogenanteile ergibt, dass „Photosynthese/Zellatmung“ besonders häufig angefragt wird, und dies sowohl in Bezug auf die Sek. I (10 von 17 BU Chemie anbietenden Schulen und 12 von 24 BU Bio anbietenden Schulen) und die Sek II (5 BU Chemie-Schulen, 12 BU Biologie-Schulen). Auf einigen zurückerhaltenen Fragebögen finden sich handschriftliche Vermerke der Kontaktpersonen. Immer wieder werden Dank und Freude darüber ausgedrückt, dass der Bereich der Materialentwicklung für den BU Chemie von Universitätsseite aufgegriffen wird.

8.2 Literaturrecherche

Neben der Bedarfsanalyse sprechen auch die Ergebnisse einer Literaturrecherche zum Themenbereich Photosynthese/Zellatmung dafür, experimentbasiertes Material zu entwickeln, so dass die SuS adäquate Vorstellungen vom Thema Photosynthese/Zellatmung entwickeln können. In einer Meta-Studie analysiert Steigert (2011, 2012) 18 einschlägige Artikel aus den Jahren 1982 bis 2008 zu Lernenden-Vorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel, wobei die Studien jeweils monolingualen Unterricht betrachten. Es wird deutlich, dass besonders Schwierigkeiten im Bereich „Nahrung von Pflanzen“ und „Atmung von Pflanzen“, aber auch in den Bereichen „Fotosynthese, (Sonnen)energie, Blatt und Chlorophyll“ konstatiert werden (2011:31f). Steigert differenziert diese Schwierigkeiten weiter auf. So bleiben „die Voraussetzungen für den Vorgang der Fotosynthese“ (ibid.:35) aber auch der Prozess und die Ergebnisse unklar – auch für Studierende. Ferner können die Versuchspersonen Energieumwandlungsprozesse sowie den Zusammenhang zwischen Photosynthese und Zellatmung

⁴⁵ Der Fragebogen ist auf Anfrage beim Autor erhältlich.

oftmals nicht ausreichend verstehen. Im Bereich der (Sonnen-) Energie fehlt die Vorstellung vom Vorkommen der Energie in unterschiedlichen Energieformen. Bezüglich der Funktion des Chlorophylls gehen Versuchspersonen oft davon aus, dass es lediglich für die Grünfärbung zuständig sei, Kohlenstoffdioxid absorbiere, bei der Photosynthese produziert werde oder dort gar keine Rolle spiele. Insgesamt wird von Steigert festgehalten, dass fast alle Studien belegen, dass die Veränderung von vorliegenden Präkonzepten als schweres Unterfangen im schulischen Kontext gilt (vgl. *ibid.*:35-39).

Ähnliches findet sich auch in von Steigert nicht abgebildeter, d.h. teils neuerer Literatur: Skribe Dimec/Strgar (2017) untersuchen 427 11- bis 14-jährige Versuchspersonen der Stufen sechs bis neun in der Slowakei. Sie sehen kaum Unterschiede in den nach Alter unterteilten Kohorten. Die Forschenden sind mit dem bis Ende der Klasse 9 aufgebauten Wissen zur Photosynthese wenig zufrieden (vgl. 63ff). Einige SuS nehmen an, dass die Hauptfunktion der Photosynthese in der Sauerstoffsynthese besteht. Überdies treten nichtwissenschaftliche Vorstellungen bzgl. der Energieumwandlungsprozesse auf. Auch konstatieren Skribe Dimec/Strgar unter Verweis auf ähnliche Ergebnisse, dass die photosynthetischen Vorgänge nicht als chemische Reaktion im wissenschaftlichen Sinne aufgefasst werden. Dabei scheint besonders die Funktion des Lichtes unklar: „[F]or the most part [the students] correctly answered that light energy is necessary for photosynthesis, but were confused about the transformation of this energy. They are not aware of the energy transformation because they answered that light energy enters and exits the reaction.“ (*ibid.*:64). Es wird unter Verweis auf Rode/Skribe Dimec (2012) ferner festgestellt, dass auch Lehrende „many misconceptions about photosynthesis“ (Skribe Dimec/Strgar 2017:65) haben. Auch stellen die Autorinnen heraus, dass das Thema an sich herausfordernd (vgl. auch Näs 2012:73ff, 86, die auf weitere Forschungsliteratur zur Schwierigkeit des Themas Photosynthese verweist) und wenig interessant für Lernende ist („photosynthesis is challenging and pupils do not find it interesting“ Skribe Dimec/Strgar 2017:65). Lin/Hu (2003) beforschen eine Kohorte von 106 13- bis 14-jährigen SuS in Taiwan. Sie identifizieren große Schwierigkeiten zu „various concepts related to energy flow and matter cycling“ (2003:1541). Sie tangieren die Funktion des Chlorophylls in ihren Erhebungen nicht (vgl. das Bewertungsraster zu den entwickelten Lernenden-Concept Maps bei *ibid.*:1534f).

Steigert erprobt mit SuS der sechsten Klasse (279 Teilnehmende aufgeteilt auf zwei Untersuchungsgruppen und eine Kontrollgruppe) im monolingual deutschen Biologieunterricht experimentarmes und experimentreiches Lehr-Lern-Material, um sieben Zieldimensionen zu wissenschaftlichen Vorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel zu adressieren, die auf Basis der oben skizzierten Problemfelder erstellt worden sind. Dazu gehören „Lebewesen benötigen Nährstoffe“, „Pflanzen stellen ihre eigene Nahrung her“ oder „Die Fotosynthese läuft im grünen Blatt der Pflanze ab. Das Chlorophyll in den Blättern absorbiert dabei das Licht“ (2011:19). Allerdings werden mit dem Material weder die Notwendigkeit der Absorption von Licht geeigneter Wellenlänge noch photokatalytische Vorgänge thematisiert (vgl. *ibid.*, Anhang B „Unterricht“). Das Experimentiermaterial ist so angelegt, dass die Lernenden selbst Forschungsfragen aufstellen und nicht nur eine Versuchsdurchschrift imitieren (vgl. *ibid.*:69ff, 107ff). Allgemein erarbeiten die Versuchspersonen mit dem Material „adäquate Vorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel“ (*ibid.*:224), wobei Vorteile für die experimentierreiche Lernumgebung gesehen werden („die experimentierreiche Lernumgebung [wirkt] sich erfolgreicher auf den Aufbau adäquater Schülervorstellungen [...] [und auf] das längerfristige Behalten [aus]“ (*ibid.*:228). Auch Näs/Ottander stellen den Wert von Experimenten, hier Pflanzenexperimenten, in den Vordergrund. Die 68 Zehn- bis Zwölfjährigen gingen Forscherfragen nach und entwickelten „an interest in knowing and understanding more about plants and photosynthesis“ (2008:187). Näs weist auf Basis von Interviewstudien mit schwedischen Achtklässlern darauf hin, dass auch die Untersuchung einer schülerorientierten Situierung des Themas interessesteigerndes Potential aufweist: „A chemical formula of photosynthesis or respiration interested a few students, but the complex explanation about how a carrot, potato or an apple 'comes out of' photosynthesis made all 23 teenagers [, who are aged between 14 and 15 years,] more interested in the difficult processes“ (2012:87). Die Bedeutung von Schüler- und Kontextorientierung wird u.a. auch von Broman/Simon (2015) herausgestellt.

8.3 Materialentwicklung

Parallel zu den vorgenommenen Erkundungen des schulischen Feldes werden Materialien entwickelt. Hierbei wird auf das von Gökkuş née Yurdanur konzipierte Photo-LIKE-Material (vgl. 2020:161ff, 342ff, vgl. Gökkuş/Tausch 2021) rekurriert. Das Kunstwort Photo-LIKE meint in abkürzender Weise „lehrplankonforme, interdisziplinäre, kohärente und experimentbasierte Arbeitsmaterialien für den Chemieunterricht zur Photochemie“ (ibid.:163). Es handelt sich um mehrteilige Lehr-Lern-Materialien zu den übergreifenden Themenbereichen Farbigkeit und Lichtenergie sowie Energiekonversion und -speicherung. Die sieben, sich an curricularen Vorgaben orientierenden Lehr-Lern-Situationen können knapp benannt werden als Farbe durch Lichtabsorption, Photo-Blue-Bottle–Modellexperiment für Stoff- und Energieumsätze, Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur, Energieumwandlung und -speicherung, Solvatochromie, und Photolumineszenz (vgl. ibid.:183ff). Zunächst wird das Material ins Englische übertragen, so dass eine breite Grundlage für die Weiterentwicklung für konkrete bilinguale deutsch-englische Unterrichtsszenarien vorliegt. Dabei wird das Format der Vorlagen beibehalten. Wie bei Gökkuş née Yurdanur (2020:257f, 342ff) beschrieben, wird zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls eine Aufteilung der inhaltlich dichten Arbeitsblätter in Einzelarbeitsblätter vorgenommen. Das Material steht auf der Seite „Chemie mit Licht“ allen Interessierten zur Verfügung.⁴⁶ Nach der abgeschlossenen Themenfindung wird dann auf dieses Material zurückgegriffen, um das bilinguale Lehr-Lern-Material für den ersten Erprobungszyklus (vgl. Kap. 10) zu konzipieren.

8.4 Zusammenfassung

Aus den skizzierten Voruntersuchen ergibt sich die Entscheidung für ein Thema des zu konzipierenden und zu erprobenden bilingualen Chemiemoduls. Die Begründung des Themas Photosynthese/Zellatmung fußt auf dem im schulischen Feld ermittelten Bedarf und auf aktueller nationaler wie internationaler fachdidaktischer Forschungsliteratur. Festzuhalten ist ferner, dass die ersten Phasen der Materialentwicklung frühzeitig absolviert werden und ein Teil der in diesem Kontext entwickelten englischsprachigen Produkte als Grundlage für die weiteren Schritte der vorliegenden Studie dienen.

Teil III – Empirische Untersuchung

9 Methodik der empirischen Untersuchung

9.1 Untersuchungsfragen

Die Untersuchungsfragen sind bereits in der Einleitung aufgeworfen und kontextualisiert worden, werden in Abb. 35 noch einmal aufgegriffen, da sie hier farblich codiert sind und in Korrespondenz mit den Darstellungen in Abb. 36 stehen.

Die **erste Forschungsfrage** wurde bereits im Zuge der Voruntersuchungen (vgl. Kap. 8) adressiert und kann nun auch hier beantwortet werden: Die Bedarfsanalyse ergibt, dass besonders das Thema Photosynthese/Zellatmung, also der natürliche Kohlenstoffkreislauf in der Natur, von Interesse von Lehrer*innen ist. Dies gilt für den Chemie- aber auch den Biologieunterricht in beiden Sekundarstufen. Die Literaturrecherche verdeutlicht, dass dieses Thema als schwierig für die Lernenden eingeschätzt wird, dass es aber mithilfe von Experimenten und motivierenden, schülerorientierten Fragestellungen möglich ist, das Interesse auf Seiten der Schülerschaft zu wecken. Die Themen Licht und Chlorophyll werden in den Artikeln wenig adressiert. Die konkrete Beantwortung der ersten Forschungsfrage dient als Grundlage für die Thematik, die innerhalb des Moduls adressiert wird und Niederschlag in **Forschungsfrage zwei** findet. Die nächsten beiden Forschungsfragen ergeben sich aus der aktuellen Diskussion um die doppelt ausprägende Fachliteratur im BU, die u.a. in den Artikeln von Diehr (2016, 2018, vgl. auch die Beiträge in Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016a sowie Diehr/Rumlich 2021,

⁴⁶ Direktlink zum englischsprachigen Material (vgl. auch Anhang A9.1): <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/experimental-kits/photo-like.html>

Heine 2014) diskutiert wird. Hierzu gehört die Theoriebildung zum bilingualen mentalen Lexikon bilingual unterrichteter SuS mithilfe des IDM. Aus diesen Zusammenhängen erwachsen mehrere Forschungsdesiderata (vgl. Diehr 2016:62ff, 75ff, Bohrmann-Linde 2016:179), von denen Anteile in diesen beiden Forschungsfragen, **drei und vier**, konkretisiert werden. **Forschungsfrage fünf** geht dem Inhaltslernen im Sinne eines kumulativen Lernens nach, das auf Basis der eingeräumten Lerngelegenheiten stattfindet (vgl. KMK 2005, vgl. ibid. 2020:4ff).

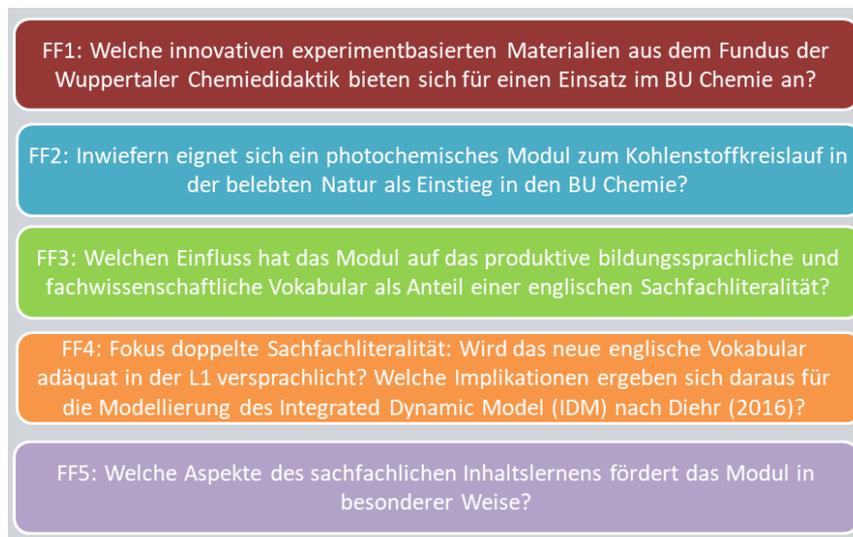


Abb. 35: Forschungsfragen FF1 bis FF5 (farblich codiert); vgl. auch Abb. 36

9.2 Untersuchungsdesign

Die Studie hat explorativen Charakter, da ein bislang unerforschtes Feld, photochemische Inhalte in deutsch-englischem BU Chemie, beschränkt wird, so dass auch eine gewisse Flexibilität hinsichtlich des Vorgehens, der Fragestellungen und der eingesetzten Untersuchungsinstrumente vorherrscht (vgl. Döring/Bortz 2016:184ff, 192ff, Lamnek/Krell 2016:38, 187ff). Die Studie dient der Erkundung dieses Terrains anhand von Forschungsfragen. In diesem Zusammenhang soll ein Beitrag zur Theoriegenerierung bzw. -prüfung geleistet werden, hier insb. im Sinne des IDM. Da die Erforschungen auch Optimierungsschritte aufweisen und Sprachwechsellmethoden untersucht werden, sind Anteile der Evaluationsforschung vorhanden (vgl. Döring/Bortz 2016:184ff, 977). Es handelt sich um eine qualitative Untersuchung, die zur besseren Darstellung auch Visualisierungsinstrumente der quantitativen Forschung im Sinne einer exploratory data analysis, EDA (ibid.:621), einbindet. In der empirischen Untersuchung werden Daten selbst erhoben und anschließend analysiert, so dass die Untersuchung im Bereich der Originalstudien und Primäranalysen einzuordnen ist (vgl. ibid.:186ff, 191). Ferner handelt es sich um eine Feldstudie, da der Untersuchungsort die weiterführende Schule ist. Hier werden Lehr-Lern-Prozesse im „natürliche[n] Lebensumfeld“ (ibid.:207) erkundet. Es handelt sich um eine Vollerhebung, da „sämtliche Populationsmitglieder“ (ibid.:215), also alle SuS in einem Kurs oder einer Klasse, untersucht werden, sofern ihre Zustimmung vorliegt. Die Beforschung erfolgt mit Messwiederholungen (d.h. Prä-Post-Messungen) (ibid.:109ff, 214). Abschließend ist die Forschungsstilistik im Bereich der Aktionsforschung zu verorten (vgl. Lamnek/Krell 2016:596ff).

Die Datenerhebung findet mit Instrumenten der qualitativen Forschung statt. So werden Leitfadenterviews (vgl. ibid.:336ff, Vogt/Werner 2014), Fragebögen mit offenen (und ggf. geschlossenen Fragen) (vgl. Porst 2011), Concept Maps (vgl. Koch 2005) sowie das Definieren (vgl. Gablasova 2014, 2015) verwendet. Während der Datenaufbereitung werden die geschriebenen Texte transkribiert und mit MAXQDA 2020 (VERBI 2020) im Sinne der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) ausgewertet und zur Datenanalyse Forschungsberichte erstellt, die auch auf Visualisierungsmethoden im Sinne der exploratory data analysis zurückgreifen. Hierfür

wird das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2013 genutzt. Die Concept Maps werden ähnlich des Vorgehens von Koch (2005) ausgewertet und zur Auswertung ebenfalls Excel 2013 genutzt.

In den Zyklen der Hauptuntersuchung (vgl. Kap. 10-12) wird genauer auf die jeweilige Stichprobe, das jeweils verwendete Untersuchungsinstrumentarium sowie die damit einhergehenden Schritte der Datenaufarbeitung und –analyse eingegangen. In der folgenden Visualisierung, Abb. 36, wird eine Übersicht des Forschungsdesigns angeboten. Hier wird zunächst die Gliederung in Vor- und Hauptuntersuchung deutlich. Während in der Voruntersuchung eine Bedarfsanalyse durch das Anschreiben von Bili-Schulen (Chemie bzw. Biologie; 7 Schulen in NRW mit Chemie-Angebot, aber 30 in ganz Deutschland, deshalb Ausweitung auf ganz Deutschland; jedoch allein 62 Schulen mit Bio-Angebot in NRW) erfolgt und somit das mögliche Thema eingegrenzt (und durch eine Literaturrecherche abgesichert) wird (s.o.), gliedert sich die Hauptuntersuchung in drei Erprobungszyklen. Diese basieren auf der iterativen Vorgehensweise der fachdidaktischen Aktionsforschung (s.u.). In der Box für den jeweiligen Erprobungszyklus sind die Anzahl der Untersuchungsgruppen mit Teilnehmenden-Zahlen vermerkt. Die Abkürzungen Unt, Eur, F-A, Hie, Coc und Ona wurden vom Autor gewählt, um auf die jeweiligen Unterrichtsgruppen (Einführungsphase in die Oberstufe) zu verweisen. Alle Gruppen, bis auf die Gruppe Coc, wurden vom Autor selbst unterrichtet. Die Zahlen hinter den Gruppen geben die Proband*innen-Anzahlen je Gruppe an. Die Zahl in Klammern steht für die jeweils auswertbare Anzahl an Teilnehmenden, d.h. diese haben den jeweiligen Erprobungszyklus komplett durchlaufen und haben zudem entsprechende Vor- und Nachtests abgegeben (vgl. dazu auch Anhang AX).

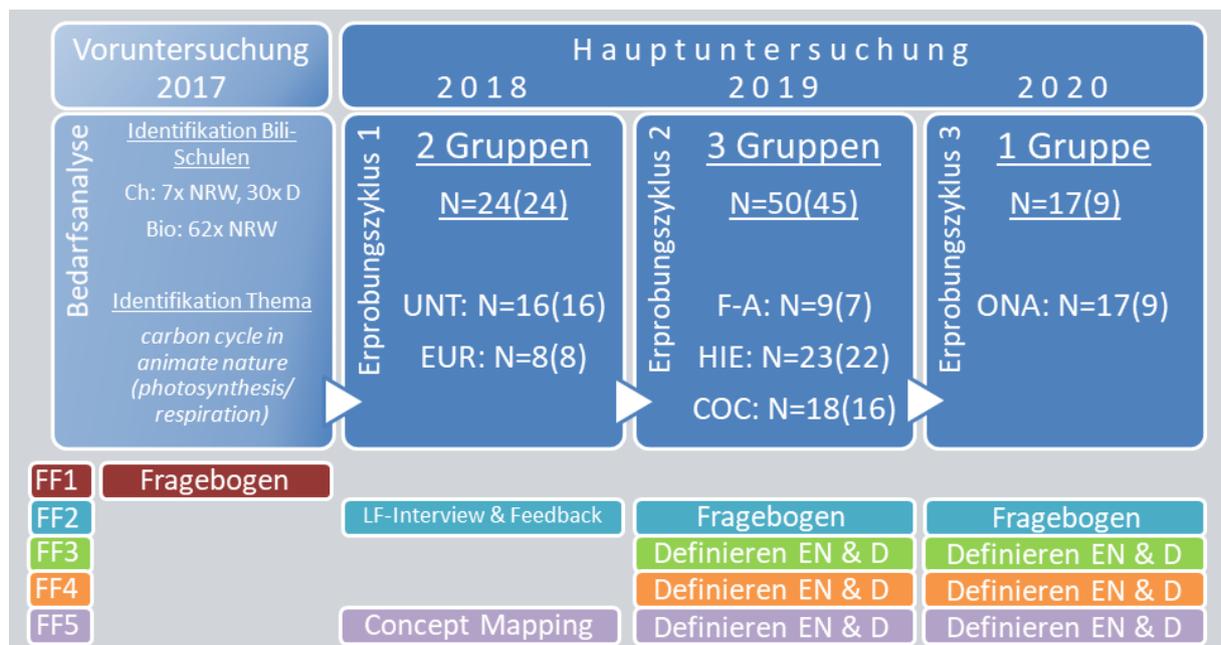


Abb. 36: Überblick über Untersuchungsdesign und –instrumente (Voruntersuchung 2017; Hauptuntersuchung 2018-2020); Forschungsfragen und zugehörige Erhebungsinstrumente sind farblich codiert (vgl. auch Abb. 35)

Unterhalb der Untersuchungsanteile, die die Jahre 2017 bis 2020 umfassen, findet sich das jeweils eingesetzte Untersuchungsinstrumentarium. Dieses ist farblich codiert und korrespondiert mit den Forschungsfragen 1 bis 5, die als FF 1 bis 5 abekürzt sind (vgl. Abb. 35).

9.3 Forschungskontext: Curriculare Innovationsforschung

In den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife legt die KMK in einem aktuellen Papier fest, welche Inhalte und Basiskonzepte das Fach Chemie umfasst. Damit ist ein spezifischer Zweck verbunden: Die Lernenden sollen mithilfe dieser Disziplin nicht nur ein Verständnis für die Welt, wie sie sich bis zum heutigen Zeitpunkt entwickelt hat, aufbauen, sondern sie umfasst auch eine progressive, in die Zukunft gerichtete Dimension. Mit der Chemie verbindet sich weiterhin das Ziel, SuS

in die Lage zu versetzen, sich kritisch an denjenigen Diskursen beteiligen, zu denen das Fach Chemie den Zugang öffnet. In den Worten der KMK:

[Das Fach Chemie] liefert den Lernenden einen fachlichen Zugang für die Beurteilung von historischen, aktuellen und zukünftigen Umwelt-, Verbraucher-, Ressourcen- oder Alltagsfragen, von kulturellen und technischen Entwicklungen. Darüber hinaus ist die Chemie für die ökologische und ökonomische Entwicklung unserer Gesellschaft und als Grundlage vieler Berufe von besonderer Bedeutung. (KMK 2020:11)

Zu den ökonomischen und ökologischen Aspekten der Chemie zählt die KMK beispielsweise „alternative Energieträger“ und „Energiespeicherung“ (KMK 2020:23). Diese Bildungsstandards bauen auf denjenigen für den mittleren Schulabschluss auf und führen sie weiter. Auch hier wird deutlich herausgestellt, dass „[d]as Wechselspiel zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und technischer Anwendung [...] Fortschritte auf vielen Gebieten [bewirkt]“ (ibid.:6). Diese wirken zurück auf die Gesellschaft und verändern die Lebensrealitäten. Hier werden beispielsweise Bio- und Gentechnologie sowie Energie- und Nanotechnologie genannt, wobei neben den Potentialen auch die möglichen Risiken der Neuerungen nicht unerwähnt bleiben. Sie müssen mithilfe von Wissen aus den naturwissenschaftlichen Fächern „erkannt, bewertet und beherrscht werden“ (ibid.). Das Fach Chemie vermittelt den Lernenden, wie Stoffe aufgebaut sind und wie sie sich im Zuge von chemischen Reaktionen verändern, so dass gezielt ausgewählte Produkte hergestellt werden können. Es stehen somit Stoff- als auch Energieumwandlungen im Mittelpunkt, da diese immer konzertiert ablaufen. Die Erkenntnisse aus dem chemischen Bereich sollen einen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung liefern, die den Lernenden „eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche Forschung [ermöglicht] und ist deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung“ (ibid.).

Diese Exzerpte beinhalten Zielrichtungen, die einerseits die Teilhabe der Lernenden an naturwissenschaftlich und gesellschaftswissenschaftlich relevanten Thematiken herausheben (z.B. „fachliche[r] Zugang für die Beurteilung von [gesellschaftlich bedeutsamen Fragen]“; „aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung“). Andererseits konzentrieren sie sich auf den Aspekt der Aktualität des wissenschaftlichen Diskurses („zukünftige Umwelt- [...] und Alltagsfragen“; „kulturelle[] und technische[] Entwicklungen“; „ökologische und ökonomische Entwicklung“; „technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche[] Forschung“), in denen sich die Lernenden auf Basis der unterrichtlichen Erkenntnisse einschreiben können sollen. Es wird deutlich: Erst, wenn der Unterricht zeitgemäß ist (d.h. eine stete und zudem gut begründete, z.B. durch Trends in Forschung und Entwicklung, inhaltliche Aktualisierung erfährt), kann er die dargelegten Anforderungen erfüllen.

Damit dieses gelingt, müssen Themen und Materialien ausgewählt und didaktisch aufbereitet werden, die den Kriterien der Aktualität bzw. Zeitgemäßheit und dem der Zukunftsorientierung entsprechen. Mamlok-Naaman führt verschiedene Einflussfaktoren auf die Entwicklung von Lehr-Lern-Material für den Chemieunterricht auf. Hinsichtlich der Notwendigkeit der Orientierung an Entwicklungen in Forschung und Technik als eine der bedeutenden formativen Kräfte für die Weiterentwicklung von Chemieunterricht fasst sie zusammen:

Changes and cutting-edge developments in science and technology, namely, contemporary scientific and technological knowledge, [...] [have] constantly influence[d] changes in the science curriculum in general, and in the high-school science curriculum in particular. The Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) curriculum needs to be constantly realigned with the innovations in science, e.g., interdisciplinary topics or molecular biology. (2017:201)

Im nächsten Schritt sind es dann Lehrpersonen, die mit dem Material Chemieunterricht durchführen. Diese müssen sich also im Zuge von Eigenstudium und/oder Lehrerfortbildungen die Neuerungen aneignen, damit sie ausgestattet mit aktuellem Wissen und aktuellen didaktischen Maßnahmen für einen qualitativ wertvollen Unterricht sorgen können. Idealerweise finden dann Aktionsforschungsprojekte statt, die den Lernerfolg auf Schüler*innenseite untersuchen und die didaktische

Umsetzung beleuchten und weiterentwickeln, so dass aus der Praxis Vorschläge für die Praxis erwachsen (ibid.:203-205).

Einen Beitrag zur Aktualisierung der Lehrpläne leistet die curriculare Innovationsforschung, die dem chemiedidaktischen Bereich der experimentell-konzeptionellen Forschung zugeordnet wird. In den Worten von Tausch:

Curriculare Innovation in der Fachdidaktik bedeutet sowohl Erneuerung dessen, was gelehrt wird, als auch der Art und Weise, wie und womit das geschieht. Es geht also um den innovativen Wandel von Inhalten, Konzepten, Methoden und Materialien des Chemieunterrichts und der Lehre an Hochschulen. Diese Kategorien müssen permanent an den aktuellen Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse, industrieller Anwendungen, zukunftsrelevanter Herausforderungen und gesellschaftlicher Lebensformen in unserer technischen Zivilisation angepasst werden. (Tausch 2019:42)

Die in der Chemiedidaktik Forschenden haben zudem erkannt, dass eine Materialentwicklung und Informationsweitergabe an Chemielehrkräfte außerhalb von Lehrplänen und Schulbüchern stattfinden muss, damit ganz unterschiedliche Themenschwerpunkte in ihrer Aktualität auch in der Schule bei den Chemielernenden ankommen. Die beiden Zitate stehen exemplarisch für diese Erkenntnisse:

An ausgewählten Beispielen [...] sollte aber ein Blick in die aktuellen Entwicklungen gewagt werden, insbesondere dort, wo anhand dieser Beispiele technische Innovationen, ökologische Zusammenhänge oder neue theoretische Erkenntnisse vermittelt werden können. Dabei kann der Rahmen des tradierten Schulbuchwissens (und auch der [...] Kerncurricula) durchaus gesprengt werden. (Tausch 2009:36).

Schulbücher sind allein aufgrund ihrer Entwicklungsvorgaben und –prozesse kaum in der Lage, zeitnah auf aktuelle Entwicklungen zu reagieren, zumal ihre Kernaufgabe ist, die Erarbeitung von Kernthemen des Chemieunterrichts zu unterstützen. Viele engagierte Lehrkräfte selbst bringen natürlich immer wieder aktuelle Themen in den Unterricht ein, hier ist es aber eben stark von den individuellen Gegebenheiten abhängig, welche Einblicke Lernende erhalten. Ziel und Aufgabe vieler fachdidaktischer Arbeitsgruppen und der damit verbundenen Lehreraus- und -fortbildung ist es, diesen Prozess zu unterstützen und Modelle aufzuzeigen, wie aktuelle Forschung und Entwicklung sowohl aus der Chemie als auch aus der Lehr-Lern-Forschung bezogen auf den Chemieunterricht systematisch und kontinuierlich in Unterrichtsentwicklung einfließen können. (Parchmann/Schwarzer/Wilke et al. 2017:161)

Diese Auswahl verdeutlicht zudem, dass ein systematisches Einbringen zeitgemäßer Inhalte von Seiten der Lehrerschaft gewünscht ist. Sie hat die Notwendigkeit der Eigeninitiative erkannt, wenn eine gewisse Aktualität im Unterricht vorherrschen soll. Der Hinweis auf Lehrkräfte, die neue Themen eigeninitiativ in den Unterricht integrieren, unterstreicht, dass von Seiten der Schulministerien zeitliche Freiräume in den Curricula gelassen werden, die die Chemielehrkräfte nach eigenem Ermessen vor dem Hintergrund des Spannungsraumes aus pädagogischer Freiheit und Verantwortung (vgl. z.B. ADO §3 in MSW 2012) füllen können. Auf diese Weise ist es möglich, dass stets neue Inhalte – basierend auf SuS-Vorwissen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Interessenlage – aus der chemiedidaktischen Forschung eingepasst werden. Dabei können die Lehrenden darauf bauen, dass aus der experimentell-konzeptionellen chemiedidaktischen Forschung „eine breite Themenvielfalt“ erarbeitet wird und in diesem Sinne „zahlreiche Impulse für einen attraktiven Chemieunterricht [angeboten werden]“, so Wilke/Engelmann (2020:12), die die deutsche chemiedidaktische Forschungslandschaft anhand von aktuellen Publikationen in den Blick nehmen. Oft werden dabei etablierte Basiskonzepte aus dem Curriculum als Anknüpfungspunkte genutzt, um dann eine Brücke in „cutting-edge developments“, wie Mamlok-Naaman (2017:201) sie nennt, zu schlagen:

Wenn man historisch Gewachsenes und Bewährtes in den Lehrgängen als curriculare Konstanten zusammenfasst und weitgehend unberührt lässt, kann man die curriculare Innovationsforschung als didaktische Erschließung aktueller und zukunftssträchtiger Themen aus Wissenschaft, Technik, Umwelt und Leben für die Lehre einengen. Didaktisch erschließen bedeutet die Kombination der folgenden 5 Arbeitspakete:

1. Erforschung neuer experimenteller Zugänge;
2. Einbindung in etablierte und neue didaktische Konzepte;
3. Ausstattung mit neuen Print- und Elektronikmedien;
4. Entwicklung von Unterrichtsdesign für Lehr-/Lernbausteine;
5. Test, Evaluation, Reflexion und Optimierung der Ergebnisse aus 1. bis 4. (Tausch 2019:43)

Auf diese Weise gelingt aus dem Bekannten heraus eine Extrapolierung des Themas: Neues Wissen wird anhand des innovativen Inhalts aufgebaut, das den Lernenden als gute Grundlage dabei helfen soll, selbst neugierig für Weiterentwicklungen zu werden und diese idealerweise in einem Studium weiter auszuführen. Zudem wirkt die curriculare Innovationsforschung konkret in die Gestaltung von Lehrplänen zurück: Anhand der Tatsache, dass z.B. das Thema Silicone fest im bayerischen Lehrplan verankert wurde, oder auch das Energiestufenmodell in Nordrhein-Westfalen als Erklärungsmodell für Farbigkeit verbindlich Einzug gehalten hat (vgl. *ibid.*:44), wird der aktivierende und vorantreibende Charakter der Innovationsforschung deutlich und bestätigt die Ausführungen Mamlok-Naamans (s.o.).

Als Ansatz der Verbindung von Fachdidaktik und unterrichtlicher Praxis schlägt Tausch die partizipative fachdidaktische Aktionsforschung nach Eilks/Ralle (2002) vor, da hier die Kooperation zwischen Universität und Schulen planvoll umgesetzt wird. Beispielsweis hierdurch wird also der finale Punkt der „5 Arbeitspakete“ (Tausch 2019:43) ausgestaltet.

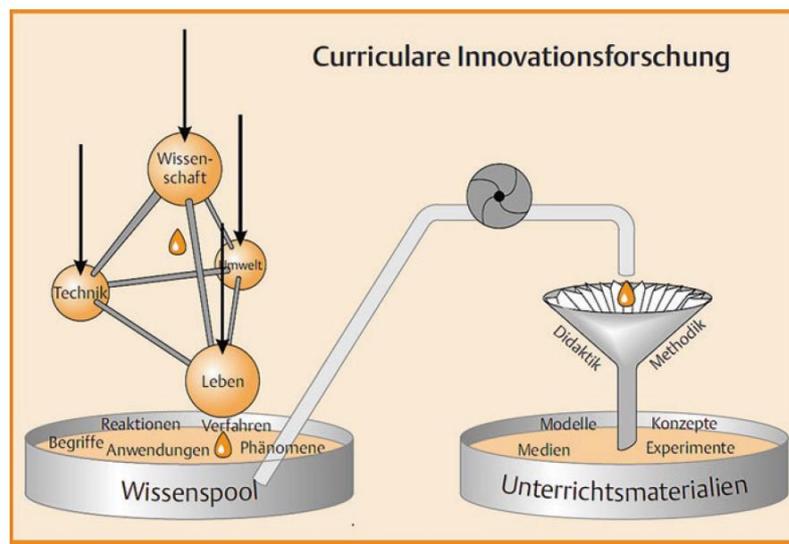


Abb. 37: Modell für die curriculare Innovationsforschung (Tausch 2019:43)

Das Ablaufschema in Abb. 37 für die curriculare Innovationsforschung versinnbildlicht insbesondere die ersten vier Schritte. Der fünfte Schritt ist hier jedoch stets mitgedacht, denn die Unterrichtsmaterialien werden innerhalb des schulischen Kontexts erprobt, evaluiert und weiterentwickelt. Dafür sind iterative Entwicklungszyklen unter Einbindung von Lehrkräften und Lernenden unabdingbar (vgl. Eilks/Ralle 2002:17), denn diese sind die Experten für Unterricht, und zwar von unterschiedlichen Perspektiven aus gesehen.

9.4 Forschungsmethode: Aktionsforschung

9.4.1 Allgemeines

In der allgemeinen Literatur zur Aktionsforschung werden zwei Ziele genannt, die im schulischen Zusammenhang von Relevanz sind: Erforschung und Veränderung der unterrichtlichen Praxis. Dabei steht die Lehrperson im Mittelpunkt, die die Forschung selbst durchführt und nach den grundlegenden Prinzipien des Aktionsforschungsmodells vorgeht, um die Praxis zu verbessern. Dieses wird als „Erkenntnis (als Ergebnis von Reflexion) und Entwicklung (als Ergebnis von Aktion)“ benannt, wobei die Zielrichtung nicht nur die konkrete Praxis ist, denn die Aktionsforschung umfasst laut Altrichter/Posch/Spann (2018) auch die Weiterentwicklung des „praktische[n] und wissenschaftliche[n] Wissen[s] über diese Praxis“ (18). Zu berücksichtigen ist stets ein Handeln, das mit den pädagogischen Zielen des schulischen Umfeldes und ethischen Grundsätzen vereinbar ist (vgl. *ibid.*:108).

Um mögliche Konflikte, die sich aus dem „Spannungsverhältnis“ (Bergfelder-Boos 2011) zwischen Aktion und Forschung und der Zentralität der durchführenden Lehrkraft ergeben, sind Kreisläufe von Reflexion und Aktion zentraler Bestandteil. Aus der praktischen Erprobung erwachsen Informationen in Form von Daten und Feedback, die ausgewertet und im Sinne einer praktischen Theorie interpretiert werden. Daraufhin folgen Konsequenzen, die sich in einer wiederum veränderten Aktion niederschlagen. Es sind somit kleine Entwicklungszyklen, die in ähnlicher Form beispielsweise auch im Lehreralltag bekannt sind, wenn hier Unterrichtsszenarien erprobt und weiterentwickelt werden (vgl. Altrichter/Posch/Spann 2018:14f, 88).

Die grob skizzierten Ziele von Erkenntnis und Entwicklung fächern zuvor genannte Autoren vierfach auf. Diese Zielbereiche bestehen aus den folgenden Merkmalen:

- die Weiterentwicklung der untersuchten Situation (Praxis) im Sinne aller von ihr Betroffenen,
- die Weiterentwicklung des Wissens der am Forschungsprozess Beteiligten über die untersuchte Situation,
- die Weiterentwicklung des professionellen Wissens der Lehrerschaft und
- die Weiterentwicklung der erziehungswissenschaftlichen und (fach)didaktischen Forschung (Altrichter/Posch/Spann 2018:103)

Als Gütekriterien führen sie „erkenntnistheoretische Kriterien“ (d.h. Einbinden unterschiedlicher Perspektiven, insb. a) Perspektiven von anderen Personen, b) Perspektiven durch alternative, d.h. zusätzlich verwendete Forschungsmethoden, oder c) die Untersuchung ähnlicher Situationen), „pragmatische Kriterien“ (d.h. der Unterricht soll nicht gestört und die eingebundenen Praktiker sollen nur in einem vertretbaren Maße zeitlich und bzgl. ihrer inhaltlichen Mitarbeit belastet werden) und „ethische Kriterien“ (d.h. hier geht es um ein vertrauensvolles Forschen, das die Datenrechte der Einbezogenen respektiert und Daten schützt, das die Mitarbeit der Involvierten erbittet und das die Kontrolle des Geschehens bei den primär Betroffenen lässt) (vgl. *ibid.*:110).

9.4.2 Aktionsforschung im Kontext Chemieunterricht

Die partizipative fachdidaktische Aktionsforschung (participatory action research, PAR) nach Eilks/Ralle (2002) adaptiert die Grundannahmen der Aktionsforschung für den Bereich der Chemiedidaktik. PAR zielt darauf ab, Fragen der Unterrichtsentwicklung mit Fragen der Unterrichtsforschung zu verbinden, um in diesem aus der Praxis entwachsenden Prozess auch idealerweise Lehrkräfte fortzubilden und Lehrpläne zu innovieren. Altrichter/Posch/Spann benennen die Pole der Aktionsforschung als Entwicklung und Forschung (2018:88f), eine Spanne, die die partizipative Aktionsforschung zu integrieren versucht, indem Forschung und Praxis eng kooperieren. Das jeweilige Vorhaben orientiert sich dabei an aktuellen Ergebnissen der Lehr- und Lernforschung (Eilks/Ralle 2002:14ff). Das Forschungsmodell der partizipativen fachdidaktischen Aktionsforschung in Abb. 38 verdeutlicht die grundlegenden Zyklen aus Aktion und Reflexion, die um die beiden Kernziele – eines in die Unterrichtspraxis, das andere auf die Metaebene der Forschung gerichtet – zirkulieren.

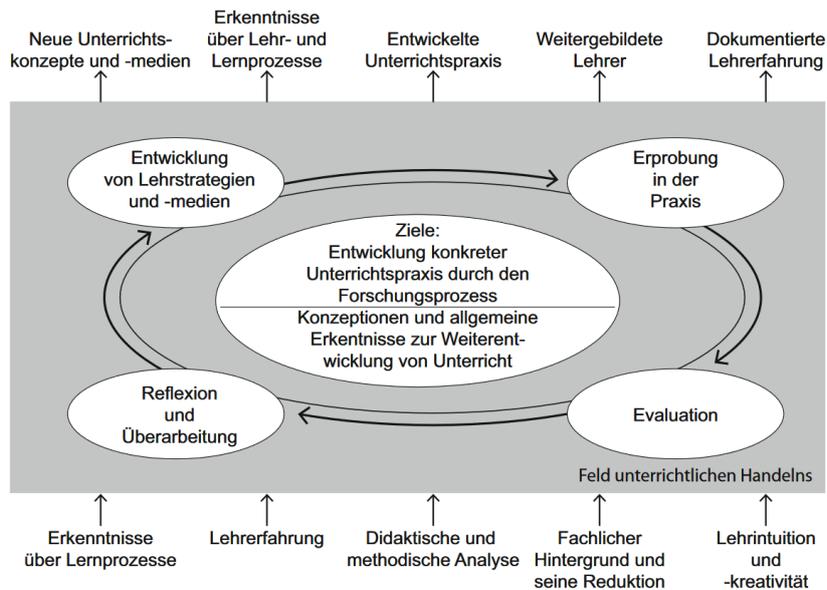


Abb. 38: Das Forschungsmodell der PAR (aus Ralle/Di Fuccia 2014:47, nach Eilks/Ralle 2002:15)

Aus den Aktion-Reflexion-Zyklen, die im Feld des unterrichtlichen Handelns wirken, resultiert eine Vielzahl an Unterzielen, die den beiden zentralen Kernanliegen zu- und untergeordnet werden können und je nach Aktionsforschungsschwerpunkt unterschiedlich stark ins Relief treten. Sie sind an den nach außen gerichteten Pfeilen zu erkennen, die sich über dem zentralen grauen Kasten befinden. Eindeutlich wird in der Modellierung dargestellt, dass Aspekte aus Unterrichtspraxis und Forschung auf die Entscheidungen im Feld unterrichtlichen Handelns einwirken. Dieses wird durch Pfeile in den grauen Kasten verdeutlicht. Da die Forschung in einem sozialen Feld situiert ist, müssen sich agierenden Forschenden ihrer Verantwortung gegenüber allen dort Beteiligten und den dort übergreifend geltenden pädagogischen und inhaltlichen Zielen bewusst sein und entsprechend handeln (vgl. Eilks/Ralle 2002:17).

Tatsächlich gibt es unterschiedliche Realisationen von PAR. Im Idealfall wird eine Aktionsforschungsgruppe aus Lehrpersonen und Forschenden gegründet oder auf bereits bestehende Strukturen zurückgegriffen. Jedoch sind auch eher lehrerzentrierte Varianten möglich, wie im Fall von Laudonia/Eilks (2016:129), bei denen jedoch grundlegende Aspekte der PAR berücksichtigt werden. Hier hat sich keine regionale Aktionsforschungsgruppe finden können und auch die fachdidaktische Beratung war lediglich aus der Distanz möglich. Der Austausch mit einer bereits bestehenden Aktionsforschungsgruppe aus Nordrhein-Westfalen, die sich im Umfeld der Universität Dortmund gebildet hatte, war allerdings gegeben. Einen Überblick über unterschiedliche PAR-Projekte in naturwissenschaftlichen Kontexten bieten Laudonia/Mamlok-Naaman/Abels et al. (2017).

PAR hat sich erfolgreich für die Entwicklung von Unterricht in den Naturwissenschaften bewährt. Es sind dabei einige nützliche Lehr-Lern-Materialien entstanden, Impulse für die Unterrichtsinnovation davon ausgegangen und Lehrpersonen wurden fortgebildet (vgl. Krause/Eilks 2019:16, Tolsdorf/Markic 2018:94, vgl. auch Laudonia/Mamlok-Naaman/Abels et al. 2017). Eilks/Ralle weisen darauf hin, dass die Auswertung sich primär an qualitativen Herangehensweisen orientieren sollte, „[die] sich deutlich von denen einer klassisch quantitativ ausgerichteten empirischen Forschung [unterscheiden]“ (2002:16). Die Qualitätssicherung des Forschungs- und Entwicklungsansatzes wird dabei für die (partizipative) Aktionsforschung mit Gütekriterien aus der qualitativen Sozialforschung gewährleistet. Ralle/Di Fuccia arbeiten sieben zentrale Kriterien heraus, die oben bereits tangiert wurden: 1. Intersubjektive Nachvollziehbarkeit, 2. Indikation des Forschungsprozesses (Angemessenheit der Forschungsmethode und der gewählten -instrumente), 3. Empirische Verankerung, 4. Limitation (Untersuchungsbedingungen und -schwerpunkte sowie -auslassungen), 5. Kohärenz, 6. Relevanz (Bedeutsamkeit der Fragestellung; klarer Zusammenhang mit Kriterium 2 liegt vor), 7. Reflektierte Subjektivität (Ralle/Di Fuccia 2014:49f, u.a. unter Rückgriff auf Steinke 1999).

9.4.3 Aktionsforschung im Kontext Fremdsprachenunterricht

Die Ausführungen von Schart/Schocker (2013), die den Hintergrund der Aktionsforschung aufarbeiten und ihren Nutzen für die Fremdsprachenforschung darlegen, nehmen ähnliche Stoßrichtungen (vgl. auch Caspari 2016:72ff). Sie heben zudem noch deutlicher hervor, „dass Menschen im Prozess der Bewältigung alltäglicher Lebenspraxis Erkenntnisse von wissenschaftlicher Bedeutung hervorbringen“ (Schart/Schocker 2013:47). So wird das Erfahrungswissen von Lehrkräften aus der tagtäglichen Arbeit im komplexen Umfeld Schule anerkannt, das positiv auf die Weiterentwicklung von Unterricht einwirken kann, wenn Lehrende und Forschende auf Augenhöhe kooperieren und die jeweiligen Expertisen anerkennend in die Arbeit einbeziehen. Das Bild der „defizitären Lehrperson“ (ibid.:51) wird auf diese Weise abgelöst. So können auch Neuerungen Einzug in die praktische Arbeit halten. Zunächst stellen diese neuen Ansätze zunächst lediglich „eine Hypothese über die Natur von Wissen und das Wesen von Lehr- und Lernprozessen“ (ibid.:44) dar und bedürfen der unterrichtlichen Überprüfung. So basieren die schrittweisen Erarbeitungen auf Daten, die per Aktion und Reflektion im Sinne von Altrichter/Posch/Spann (2018) gewonnen werden, d.h. „einer planmäßigen Untersuchung entstammen“, die von kritischer „Distanz zur eigenen Wahrnehmung“ geprägt ist um final eine Unterrichtsentwicklung zu erzeugen, die „für die Beteiligten unmittelbar spürbar praxiswirksam wird“ (Schart/Schocker 2013:49, 55). Bedeutsam ist auch immer das Einhalten eines ethischen Codes. Die Mittel, mit denen diese Distanz erzeugt wird, entsprechen den oben Genannten und basieren im Kern auf Austausch mit Mitarbeitenden sowie Forschenden. Auf diese Weise gelingt das stete Hinterfragen der eigenen Perspektive und der damit einhergehenden analytischen Richtung.

Schart/Schocker (2013) stellen eine Vielzahl unterschiedlicher Anlässe dar, die Aktionsforschungsprojekte initiieren können. Dabei fächern sie die Stoßrichtungen von Altrichter/Posch/Spann (2018) und Eilks/Ralle (2002) etwas weiter aus und integrieren so auch die Aspekte Experimentinteresse („Ergebnisse aus der akademischen Forschung oder aus anderen Aktionsforschungsprojekten werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Verbesserung des eigenen Arbeitsumfeldes geprüft“ (Schart/Schocker 2013:49)), Kooperationsinteresse, Implementationsnotwendigkeit, oder Kompetenzentwicklung. Überdies stellen sie deutlich heraus, dass nicht nur die Meinungen von anderen Lehrkräften oder Forschenden bedeutsam seien, sondern auch die Meinungen von Lernenden sollen ernst genommen werden (ibid.:48ff, 52).

Hinsichtlich möglicher Gütekriterien, die an Aktionsforschung herangetragen werden, stellen Schart/Schocker heraus, dass „die traditionellen Gütekriterien empirischer Sozialforschung [in der Community der Aktionsforschenden] auf breite Ablehnung [treffen]“ (ibid.:54). Sie konkretisieren deshalb die folgenden „alternativen Qualitätsmerkmale“ als Leitlinien: „Die Nachvollziehbarkeit und Glaubwürdigkeit der Darstellung, die Vertrauenswürdigkeit der Erkenntnisse oder die umfassende Transparenz im Hinblick auf den gesamten Forschungsprozess“ (ibid.). Hierdurch sollen andere Forschende aus anderen Kontexten erkennen können, inwiefern der Ertrag der dargestellten Aktionsforschungsstudie für sie bedeutungsvoll ist.

Vergleicht man die von Ralle/Di Fuccia (2014) als grundlegend herausgestellten Merkmale mit den hier genannten, so gibt es große Überschneidungen, da diejenigen von Ralle/Di Fuccia auch die Bereiche Nachvollziehbarkeit und Transparenz beinhalten – wozu auch der Punkt Kohärenz gehört. Aspekte der Relevanz bilden Schart/Schocker an anderer Stelle im Text ab (vgl. 2013:50f), wie auch diejenigen der reflektierten Subjektivität (siehe obige Ausführungen, Stichwort kritische Distanz) und der Indiktion des Forschungsprozesses (vgl. z.B. ibid.:50f, 52f). Wenn bei den einen von empirischer Verankerung (mit Anteilen von Kohärenz und Indikation des Forschungsprozesses) gesprochen wird, drücken die anderen es so aus: „Entscheidend für die Qualität eines Aktionsforschungsprojekts ist letztlich nicht die Anzahl der eingesetzten Methoden, sondern eine nachvollziehbare Erklärung des jeweils gewählten Vorgehens, also weshalb die Auswahl gerade auf dieses Instrument beschränkt wurde“ (ibid.:52). Sie nennen dann typische Instrumente der qualitativen Forschung und weisen anschließend in ausgewählter Weise auf den Wert quantitativer Instrumente hin. Auffällig ist jedoch, dass bei allen Forschenden Aspekte wie Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit als besonders bedeutsam herausgestellt werden, wie auch das reflektierte Vorgehen aller Beteiligten bei Orientierung an einem ethischen Verhaltenskodex (vgl. Eilks/Ralle 2002, Ralle/Di Fuccia 2014, Schart/Schocker 2013, Aguado 2013:20).

Die Aktionsforschung im Bereich der Fremdsprachenforschung findet besonders in den letzten Jahren Anklang. Wenn Aguado im Jahr 2013 den Ansatz noch als „hochrelevant, aber insgesamt nach wie vor zu wenig durchgeführt[.]“ (14) ansieht, deutet die Anzahl aktueller Arbeiten eine tendenzielle Veränderung an. Die Publikationen aus dem Bereich der Beforschung und Entwicklung von Unterricht – wie diejenigen von Bazant-Kimmel (2017) zu Chinesisch als Fremdsprache, von Bergfelder-Boos (2018) zur Mündlichkeit im Französischunterricht, von Heppinar (2019) zum wissenschaftlichen Schreiben von Deutschlehrenden in der Türkei, von Müller (2018) zum bilingualen Geschichtsunterricht, oder die von Schart herausgegebenen Sammelbände zur Erforschung von Deutsch als Zweitsprache an japanischen Universitäten (2019, sowie 2013 zusammen mit Hoshii und Raindl) – untermauern dies. Manche der o.g. Publikationen sind Bände in der Reihe Gießener Beiträge zur Fremdsprachendidaktik. Hier sind weitere Monographien mit aktionsforschender Forschungsstilistik vertreten.

Man kann also abschließend feststellen, dass die Blicke der jeweiligen fachdidaktischen Disziplin, die hier mit einer Auswahl an grundlegender Literatur zum Thema erarbeitet wurden, auf die Aktionsforschung große Ähnlichkeiten aufweisen, auch wenn sie teils unterschiedlichen Strömungen der Aktionsforschung entspringen.⁴⁷ Der große Nutzen des Beitrags von Eilks/Ralle (2002) wird darin gesehen, dass sie die Aktionsforschung im chemiedidaktischen Bereich einbetten und konkrete adaptierbare Leitlinien zur Verfügung stellen, die dabei genügend Gestaltungsspielraum für eigene Schwerpunktsetzungen bieten. Das zeigt sich z.B. an den Umsetzungen, die Laudonia/Eilks (2016) skizzieren. Ein besonderer Bezug zur Absicht dieser Arbeit liegt darin, dass die PAR explizit auch als Werkzeug für die Entwicklung von Lehr-Lern-Materialien gedacht ist und dahingehend als *tried and tested* angesehen wird. Deshalb wird die Forschungsmethode als tragfähig und zielführend für das Grundanliegen der vorliegenden Arbeit betrachtet.

9.5 Gütekriterien

Bei der Vorstellung von Aktionsforschung und PAR wurden oben bereits unterschiedliche Sets an Gütekriterien identifiziert. Dabei wird deutlich, dass im Gegensatz zur quantitativen Forschung keine allgemein konsensfähigen, einheitlichen Entscheidungen für qualitative Forschungsvorhaben vorliegen (vgl. Döring/Bortz 2016:184, 106ff, Schart/Schocker 2013:54). Aus diesem Grund raten Döring/Bortz, eine eigene, begründete Auswahlentscheidungen zu treffen (2016:108). Im vorliegenden Fall werden die von Ralle/Di Fuccia (2014) aufgestellten Qualitätsmerkmale verwendet. Diese orientieren sich eindeutig an Maßgaben aus der qualitativen Sozialforschung (vgl. Döring/Bortz 2016:111ff, vgl. Steinke 1999) und werden von Ralle/Di Fuccia für den Zielbereich der (partizipativen) Aktionsforschung konkretisiert. Ferner finden sie großteils Anwendung in der ebenfalls explorativ ausgerichteten Studie von Witzigmann (2011), in der bilingual deutsch-französischer Kunstunterricht untersucht wird. Da die vorliegende aktionsforschende Studie von explorativem Charakter gekennzeichnet und im Bereich des bilingualen Unterrichts Chemie verortet ist, bietet sich dieser Kriteriensatz an.

9.5.1 Intersubjektive Nachvollziehbarkeit

Steinke bezeichnet dieses Gütekriterium als „Voraussetzung zur Prüfung anderer Kriterien“ (1999:209) und hebt darauf ab, dass in der qualitativen Forschung „prinzipiell nicht der Anspruch auf intersubjektive Überprüfbarkeit erhoben werden [kann]“ (Ralle/Di Fuccia 2014:48). Das Kriterium dient also dazu, „eine (kritische) Verständigung über eine empirische Studie zwischen Forschern bzw. zwischen Forscher (der die Studie durchführt) und Leser (der Studie) zu ermöglichen“ (Steinke 1999:207). Folglich ist es die Aufgabe der Forschenden, den Forschungsprozess umfassend zu dokumentieren.

Die vorliegende Studie wird aufgrund ihres explorativen Charakters und der Situierung im natürlichen Umfeld Schule nicht identisch reproduzierbar sein, so dass der Forschungsprozess gemäß

⁴⁷ Auf genaue Erläuterungen wird an dieser Stelle verzichtet. Die Texte der genannten Forschenden bieten Einblicke in Vordenker und die Genese unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen innerhalb der Aktionsforschung.

den Vorgaben dokumentiert wird. Hierzu gehören auch Darstellungen von ausgewählten Lernprodukten, Transkripte von Gruppeninterviews oder Fragebögen sowie Auswertungsprozesse durch den Forschenden. Hier werden die Grundsätze des Datenschutzes beachtet. Auf diese Weise sollen Leser*innen und Forscher*innen die Studie nachvollziehen können.

Zur Nachvollziehbarkeit des Forschungsprozesses gehören für den Autor auch die nahe Arbeit an der jeweiligen Forschungsliteratur und die dazu gehörige Dokumentation von Fundstellen. Auch bemüht sich der Autor darum, im Sinne von Arbeitsdefinitionen (working definitions) zentrale Termini zu definieren, so dass bei der Lektüre stets deutlich wird, was mit dem jeweils im Zentrum stehenden Begriff gemeint ist.

9.5.2 Indikation des Forschungsprozesses

Ralle/Di Fuccia führen an, dass mit diesem Kriterium „die Angemessenheit der Forschungsmethode und der Instrumente gemeint [ist]“ (2014:49). Steinke erwähnt die Notwendigkeit, dass den Versuchspersonen in ihren Handlungsweisen genügend „Spielraum“ gegeben werden muss, um sie nicht einzuschränken (vgl. 1999:216).

In der vorliegenden Studie wird dieser Anforderung an vielen Stellen genüge getan. So wird das Einverständnis von Schülerschaft und Erziehungsberechtigten für die Teilnahme eingeholt und für die Pre- und Posttests genügend Bearbeitungszeit eingeplant. Ferner sind die Leitfadeninterviews so konzipiert, dass die Antwortmöglichkeiten hinreichend offen sind.

Aufgrund des explorativen Charakters ist eine gewisse Flexibilität und Offenheit im Forschungsprozess stets vorhanden, so dass auch die eingesetzten Untersuchungsinstrumente variieren. So wird das zunächst eingesetzte Verfahren der Concept Maps nach dem ersten Zyklus durch das Formulieren von Definitionen ersetzt (vgl. Kap. 11.2), da es u.a. mehr Handlungsspielraum für die Versuchspersonen bei der Darstellung ihres (sprachlichen wie sachfachlich-inhaltlichen) Könnens einräumt.

9.5.3 Empirische Verankerung

Ein Kennzeichen des explorativen Forschungsansatzes ist die Generierung und Prüfung von Theorien (vgl. Döring/Bortz 2016:149ff, 192ff, Ralle/Di Fuccia 2014:49), die „dicht an den empirischen Daten [erfolgt]“ (Steinke 1999:221).

In der vorliegenden Studie werden Daten aus dem schulischen Feld auf Basis von qualitativen Instrumenten, d.h. z.B. Leitfadeninterviews und offenen (Prä-/Post-) Fragebögen, erhoben und ausgewertet. Die Darstellung von Ergebnissen bindet anonymisierte Auszüge aus den jeweiligen Transkripten mit ein, so dass die Darstellungen im Sinne des „Hauptkriterium[s]“ (Steinke 1999:209) der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit erfolgt (vgl. z.B. Kap. 14 zur Sprachanalyse und hier die Tabellen mit den englischen und deutschen Begriffen). Bei der Darstellung von Lernenden-Perspektiven auf das erprobte Modul wird die Breite der Rückmeldungen abgebildet und dabei darauf geachtet, die jeweilige Häufigkeit darzustellen (vgl. Kap. 13)

Die Ergebnisse und eingesetzten Instrumente werden im Zuge von Vorträgen im Arbeitskreis Chemiedidaktik an der Bergischen Universität Wuppertal vor Akteuren aus primärem, sekundären und tertiären Bildungssektor präsentiert und diskutiert.

9.5.4 Limitation

Dieses Kriterium wird wie folgt konkretisiert: „Aus der Dokumentation muss hervorgehen, unter welchen Bedingungen die Ergebnisse erzielt werden und welche Punkte zum Beispiel unberücksichtigt bleiben mussten oder die Übertragbarkeit der Ergebnisse einschränken“ (Ralle/Di Fuccia 2014:49, vgl. Steinke 1999:227). Vor diesem Hintergrund können auch explorative Studien verallgemeinernden Charakter haben, wenn der Geltungsbereich klar abgesteckt wird. In der vorliegenden Studie wird in von den Ergebnisdarstellungen abgesetzten Unterkapiteln jeweils eine Diskussion vorgenommen, die dieses Kriterium berücksichtigt.

9.5.5 Kohärenz

Als Leitfrage hierzu formulieren Döring/Bortz: „Wie stimmig und widerspruchsfrei ist die Theorie bzw. sind die Interpretationen auf Basis der Daten?“ (2016:113). Hier wird erwartet, dass ungeklärte Fragen angesprochen und Widersprüche offengelegt werden (vgl. Ralle/Di Fuccia 2014:49, Steinke 1999: 239f). In der vorliegenden Studie wird diesem Kriterium in Diskussions- (vgl. z.B. Kap. 10.7.2, 10.10, 13.12, 14.12 oder 15.5) und Reflexionskapiteln (vgl. z.B. Kap. 10.7.2, 10.10, 11.7 oder 16) genüge getan. Auch die beim Gütekriterium Empirische Verankerung genannten Vorträge im Arbeitskreis sind der Widmung dieses Gütekriteriums dienlich.

9.5.6 Relevanz

Laut Ralle/Di Fuccia adressiert dieses Gütekriterium „die Bedeutsamkeit der behandelten Fragestellung[en]“ (2014:49). Hierzu gehört, den Wert der Ergebnisse zu reflektieren und die Bedeutung der entwickelten bzw. überprüften Theorie für das Praxisfeld einzuschätzen (vgl. Steinke 1999:241ff).

Ein Anliegen dieser Studie ist es, einen Beitrag zur Theorieentwicklung des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteteter zu leisten. Dieses wurde der aktuellen Forschungsliteratur entnommen, die entsprechende Desiderata aufwerfen (vgl. Diehr 2016, Heine 2014, Bohrmann-Linde 2016). Ein anderes Anliegen kreist um die Frage der Eignung eines photochemischen Themas für bilinguale Kontexte. Hier wird der Notwendigkeit der Materialentwicklung für bilinguale Kontexte (vgl. Bohrmann-Linde 2013, Bohrmann-Linde/Strippel 2018, vgl. auch die durchgeführte Bedarfsanalyse in Kap. 8) und der Modernisierung des Chemieunterrichts im Sinne der Anpassung an gesellschaftlich-technologische Entwicklungslinien (vgl. z.B. Tausch 1998, 2004, 2019; vgl. auch Kap. 1) nachgegangen. Auch aus den Grundsätzen der Aktionsforschung an sich ergibt sich die Relevanz, z.B. hinsichtlich der Weiterentwicklung der unterrichtlichen Praxis (vgl. Ralle/Di Fuccia 2014, Eilks/Ralle 2002). Die Reflexion der Ergebnisse geschieht in bereits in den Unterkapiteln Kohärenz oder Limitation erwähnter Weise.

9.5.7 Reflektierte Subjektivität

Döring/Bortz erfassen dieses Gütekriterium in folgender Frage: „Wie umfassend und überzeugend reflektieren die Forschenden ihre eigenen subjektiven Positionen und Rollen [...] im Verhältnis zum untersuchten Phänomen und zu den untersuchten Personen(gruppen)?“ (2016:113). Hier wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die forschende Person Teil des Forschungsprozesses ist (vgl. Steinke 1999:231ff).

Im vorliegenden Fall ist der Autor sowohl Lehrer als auch Forscher, weshalb die Studie aktionsforschend begleitet wird. Der Forschungsprozess wird gemäß des Kriteriums der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit dokumentiert und dargestellt.

Das eigentätige Unterrichten ist zunächst eng mit einer „Nähe-Distanz-Problematik“ (Lamnek/Krell 2016:50) bzw. dem „Dilemma von Identifikation und Distanz“ (ibid.:600) verbunden: „Die Exploration erfordert vom Wissenschaftler das Bemühen um ein vorurteilsfreies und sensibles Sich-Einlassen sowie die Bereitschaft, eigene Konzeptionen zu überprüfen und ggf. abzuändern“ (ibid.:50). Dieser Situation wird in der vorliegenden Studie dadurch begegnet, dass die Untersuchungsinstrumente schriftlich und anonymisiert durchgeführt werden (vgl. zudem die forschungsethischen Prinzipien unten). Zur Bewertung der Definitionen werden Erwartungshorizonte mit Punktesystemen aufgestellt und verwendet. Besondere Entscheidungen bei der Bewertung werden dokumentiert. Das LF wird vorgabengemäß und systematisch zusammengestellt und im Anschluss transkribiert, so dass bei der finalen Auswertung keine Personenzuordnungen mehr möglich sind (vgl. z.B. Kap. 10.4 bzw. 10.9 und Anhang A10.4).

Weiterhin kann eine Nähe zum Untersuchungsfeld Schule bewirken, „dass das Autoritätsgefälle zwischen Lehrern und Schülern auch auf die Erhebungssituation übertragen wird“ (Lamnek/Krell 2016:674). Das Problem des Autoritätsgefälles kann nicht gelöst, jedoch kann ihm begegnet werden. In der vorliegenden Untersuchung finden die unterrichtlichen Erprobungen am Ende eines Schuljahres statt. Das bedeutet, dass die Lernenden unabhängig von Notendruck agieren können. Auch herrscht

ein Vertrauensverhältnis zwischen Lehrer und Schülerschaft, das aus den gemeinsamen unterrichtlichen Erfahrungen der Vorjahre resultiert.

In Situationen von leitfadengestützten Gruppeninterviews wird für eine angenehme und vertrauensvolle Gesprächssituation gesorgt, indem u.a. Gestaltungselemente für Gesprächsimpulse vorbereitet werden und die Leitfadeninterviews, deren Aufbau das Erzeugen einer angenehmen sowie vertrauensvollen Gesprächsatmosphäre inhärent ist, systematisch und schüler*innenorientiert aufgebaut sind (vgl. Kap. 10.4, vgl. auch Lamnek/Krell 2016:675f). Hier wird Raum für kritisches Reflektieren auch dadurch geboten, dass den Schüler*innen vermittelt wird, dass sie ein bedeutsamer Teil eines ständigen Weiterentwicklungsprozesses des von ihnen erprobten Materials sind. Deshalb werden die Teilnehmenden gebeten, ehrlich zu antworten, um dem Forschungsprojekt bestmöglich zu helfen (vgl. Döring/Bortz 2016:440). Zzgl. zu den Interviews werden auch schriftliche Feedbackmethoden verwendet, um im Sinne einer Daten-Triangulation (vgl. *ibid.*:72f) verschiedene, sich ergänzende Quellen zu nutzen. Es ist zu erwarten, dass manche SuS sich eher sozial erwünscht verhalten, wenn sie im konkreten Austausch mit dem Forschenden sind (vgl. z.B. *ibid.*:437ff) – im Zuge der schriftlichen, anonymisierten Feedbackmethode wird vor diesem Hintergrund ein Schutzraum eröffnet, in dem die Personen die Möglichkeit haben, ihre Meinung noch offener, weil anonymisiert, zu kommunizieren. Insgesamt werden forschungsethische Prinzipien einbezogen, zu denen die Zusage der Teilnahme freiwilligkeit, von Anonymität, oder die Transkription von Versprechungen (und eben nicht die Weitergabe von Audio-Dateien) sowie die Verschwiegenheit des Forschers gegenüber Außenstehenden gehören. Viele Gespräche des Autors mit vielen involvierten SuS bestätigen, dass dem Autoritätsgefälle erfolgreich begegnet werden konnte.

Die Identität des Forschers wird u.a. dadurch gewahrt, dass die Studie über mehrere Jahre angelegt ist – dies liegt u.a. an der Tatsache, dass der Autor neben der Studie noch als Lehrkraft an der Schule und als Dozent an der Universität arbeitet. Bei der Reflexion der Erprobungen werden in einem ersten Schritt zentrale Erkenntnisse reflektiert, doch eine finale, feingliedrige Bestandsaufnahme und –auswertung erfolgt erst zum Ende des Gesamtprozesses der Untersuchung. Vor dem Hintergrund der zeitlichen Dimension ist das intensive Auseinandersetzen mit der Forschungsliteratur zu verschiedenen inhaltlichen Gebieten, z.B. dem des BU, forschungsbegleitend möglich. Auch schafft die zeitliche Rahmung eine kritische Distanz zu Forschungsobjekt, Versuchspersonen – und nicht zuletzt zum Forschungsobjekt. Der Autor selbst wird während seiner Forschung begleitet und beraten. Die ihn begleitenden Menschen fordern den Autor zur kritischen Auseinandersetzung mit den für den Forschungs- und Entwicklungsprozess relevanten Aspekten (z.B. verwendetes Lehr-Lern-Material, Optimierungsentscheidungen, Auseinandersetzung mit der einschlägigen Literatur, kritische Selbstreflexion, kritische Methodenreflexion) auf und initiieren regelmäßig Situationen des Austausches, in denen die jeweiligen Positionen ausgehandelt werden. Dabei herrscht eine produktive, kritisch-konstruktive Arbeitsatmosphäre, so dass das Formulieren auch von divergierender Perspektiven des Forschenden eingefordert und respektiert wird. Sie sind ein wichtiger Teil der Aushandlungsprozesse. Beispielsweise findet dies in Betreuungsgesprächen, im Zuge diverser Vorträge oder Gespräche (s.u.) oder durch die Ermutigung, Forschungsinhalte in unterschiedlichen Kontexten zu kommunizieren und sich den Perspektiven der Forschungsgemeinschaft zu stellen, statt.

Weiterhin sorgen o.g. Vorträge im eigenen Arbeitskreis, in fremdsprachlichen Kolloquien, im bilingualen Arbeitskreis, bei bilingualen Tagungen oder im Zuge von Workshops sowie Zwischenbesprechungen der Ergebnisse mit den bilingual Unterrichtenden im Arbeitskreis oder gezielter Austausch mit ausgewählten Kollegiumsangehörigen an der Schule des Autors für viele Gelegenheiten der kritischen Distanz zum Forschungsobjekt. Dieses sorgt immer wieder auch auf Forscherseite für den notwendigen Spielraum, in dem kritische Reflexionen stattfinden. Nicht zuletzt sind in der Anlage der Aktionsforschung Phasen der Aktion und Phasen der Reflexion vorgesehen, die auch gezielt in o.g. sozialen Settings stattfinden. Die Erkenntnisse der Reflexion wirken bspw. auf die Wahl der Untersuchungsinstrumente oder die Optimierung des Lehr-Lern-Materials zurück. Zudem wird dadurch der Blick auf die Forschungsergebnisse modifiziert und die eigenen Vorstellungen von gelungenem (bilinguaem) Unterricht ausgehandelt.

9.6 Zusammenfassung

Im vorherigen Kapitel werden die fünf Forschungsfragen aufgegriffen und die erste auf Basis der Voruntersuchungen beantwortet. Anschließend wird das Design der im Kern qualitativen, explorativen Studie vorgestellt. Dieses orientiert sich an den Maßgaben von Döring/Bortz (vgl. 2016:181ff). Der übergreifende Forschungskontext, die curriculare Innovationsforschung, wird mit dem gewählten forschungsmethodischen Ansatz, Aktionsforschung, verknüpft. Hier werden zzgl. zum allgemeinen Ansatz fachspezifische Weiterentwicklungen bzw. Ausgestaltungen aus den Didaktiken der Chemie und der Fremdsprachen vorgestellt. Es werden zunächst Entscheidungen für einen Satz an geeigneten Gütekriterien zur Qualitätssicherung der vorliegenden Arbeit getroffen und abschließend konkret kommentiert.

10 Hauptuntersuchung: Zyklus 1, Sommer 2018

Das Hauptanliegen des ersten Erprobungsdurchlaufes ist das Erkunden des zuvor konzipierten Lehr-Lern-Materials. Hier steht die zweite Forschungsfrage im Vordergrund, wobei die Perspektiven von Lernenden im Sinne der PAR (vgl. Kap. 9.4) und den Ausschärfungen von Scharf/Schocker (2013, vgl. Kap. 9.4) einbezogen werden. Daneben rückt das sachfachliche Inhaltslernen in den Vordergrund (vgl. Forschungsfrage fünf). Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen der Aktion dargestellt, das Untersuchungsdesign in Anbindung an das obige Kapitel konkretisiert und die Ergebnisse der Untersuchungen präsentiert. Anschließend werden Diskussionen bzw. Reflexionen vorgenommen.

10.1 Rahmenbedingungen: Materialvorstellung und Planungsentscheidungen

Vor dem Hintergrund der in den Vorarbeiten gewonnenen Erfahrungen und den adaptierten Photo-LIKE-Materialien (vgl. Gökkuş née Yurdanur 2020, Gökkuş/Tausch 2021) zur ersten Entwicklung von bilingual deutsch-englischem Lehr-Lern-Material wird das Modul konzipiert. Es soll in der Einführungsphase in die Oberstufe erprobt werden, da er hier ein Stoffkreislauf in der Natur curricular verankert ist. Konkret handelt es sich um den „Kohlenstoffdioxid-Carbonat-Kreislauf“ (MSW 2014a:27, ibid.:23ff). Das vorliegende Thema The Carbon Cycle in Animate Nature: Photosynthesis/Respiration soll diesen nicht ersetzen, sondern in Ergänzung dazu erfolgen. Neben dieser sachfachlichen Legitimierung sind auch Überlegungen hinsichtlich der Sprachkompetenz auf Lernendenseite in die Entscheidungsfindung mit eingeflossen. Es muss berücksichtigt werden, dass die Lernenden über die notwendige sprachliche Schwellenkompetenz verfügen sollen (vgl. Kap. 4.2), um den Inhalten zu begegnen. Vor dem Hintergrund, dass 1. die Lernenden am Ende der Einführungsphase, EF, eine Sprachniveau-Stufe von „B1 des GeR [dem Gemeinsamen europäischen Referenzrahmen für Sprachen,] mit Anteilen an der Niveaustufe B2“ (MSW 2014b:13) erreicht haben sollen und 2. dass das BU Chemie-Modul am Ende der EF stattfindet, kann von der notwendigen Schwellenkompetenz ausgegangen werden. Ferner weist die Fachsprache Chemie in Deutsch und Englisch „viele Ähnlichkeiten“ auf (z.B. Bohrmann-Linde 2012:183, vgl. Kap. 4.2 und 14.5.1), wodurch eine sprachliche Orientierung vereinfacht wird (vgl. z.B.

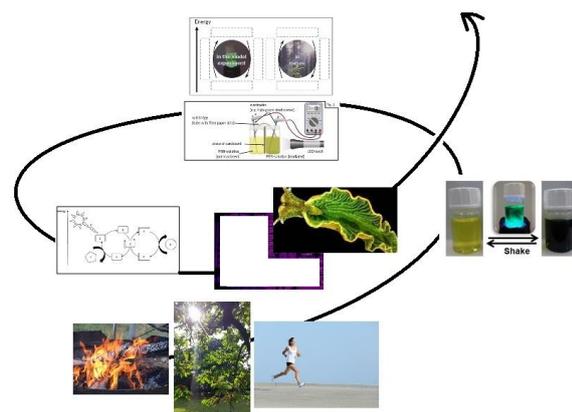


Abb. 39: Konstruktivistische Lernschleife des im Sommer 2018 erprobten Moduls (Erprobungszyklus 1, Skizze); von unten nach oben bauen sich die Phasen der Erkundung, des Erforschens, der Anpassung und der Anwendung systematisch auf (Hinweis: für das Photo „Vertical Pinkhouse“ unter der E. Chlorotica liegen keine Abdruckrechte vor, deshalb unkenntlich gemacht, vgl. dazu auch S. 266)

Baker/Wright 2017:314f). Darüber hinaus wird aufgrund planerischer Entscheidungen für eine Kontexteinbettung gesorgt (s.u.) sowie durch das Anknüpfen an Alltagswissen auch für einen Ausgangspunkt im Bereich BICS gesorgt (vgl. dazu Ting 2015, Baker/Wright 2017:161ff).

Das Modul wurde auf Basis des „Drehbuch[s] einer **Lernschleife**“ (Tausch/Heffen 2016:7, vgl. auch Tausch 2016) konzipiert. Tausch/Heffen (2016) erläutern einen didaktisch-methodischen Gang zur Thematisierung des Kreislaufs Photosynthese und Zellatmung für den monolingual deutschen Chemieunterricht. Diese Herangehensweise wird aufgegriffen und im Sinne des Hard CLIL (vgl. Dalton-Puffer 2017) für ein BU Chemie-Unterfangen weiterentwickelt, das im Bereich Typ A nach Diehr verortet werden kann, wobei Anteile von B enthalten sind: Sprachliche Scaffolding-Angebote wie Annotationen und Glossar umfassen auch deutsche Äquivalente, zudem liegen bi- und monolinguale Wörterbücher aus.

Die Planung nach der konstruktivistischen Lernschleife gewährleistet eine inhaltliche wie sprachliche Progression. Das Vorwissen wird mit Bildimpulsen aktiviert (Erkunden, vgl. Abb. 39, unterer Teil) und aufbauend darauf neue Erkenntnisse aus der Experimentierphase gewonnen (Erforschen). Die Anpassen-Phase knüpft an die Erforschen-Phase inhaltlich an und bietet tiefer gehende Lerngelegenheiten. Hier wird u.a. auf weitere Experimente und einen Lehrfilm, „Ein Fall für 2 – Teil 1“, zurückgegriffen. Abschließend findet in reflektierender Weise eine Aushandlung des Erlernten im Kontext weiterer Phänomene in Natur und Technik statt (Anwenden).

Die Modulübersicht (Tab. 4) konkretisiert die visuelle Übersicht in Abb. 39 insofern, als sie Einblicke in Inhalte, verwendete Lehr-Lern-Materialien und Sozialformen gibt. Das Material ist im Anhang (vgl. Anhang A10.1) zu finden, wobei „ws“ eine Abkürzung für „worksheet“ (Arbeitsblatt) ist. Der Übersicht sind weitere Materialien, die im Sinne eines Scaffoldings verwendet werden, nicht zu entnehmen. Hierzu wird im Folgenden Stellung bezogen.

Tab. 4: The carbon cycle in animate nature: photosynthesis/respiration through the PBB-experiment (Modulübersicht der ersten Erprobung im Sommer 2018)

Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
Erkunden	Einstieg, Auseinandersetzung mit Vorwissen zum vorliegenden Thema (Bildimpulse Läuferin, Blattwerk/Sonne, Lagerfeuer)	3 Bilder, 2018_ws0, DIN A3-Blätter	1. EA, 2. GA, 3. Plenum
Erforschen	Experimentelles Entdecken der Abläufe; PBB-Modellexperiment wird von Schülern durchgeführt; Erarbeitung zentraler Aussagen aus dem Experiment; Prüfen weiterer Hypothesen, um Hin- und Rückreaktion zu thematisieren (chemische Gründe klären); Beginn, Zusammenhänge Experiment-Natur aufzudecken	Experimentiermaterial: 'Interaktionsbox', PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben, Glasperlen, Heizplatte, 2018_ws1	PA/GA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen I incl. integrierter Sicherung	Übertragung der experimentellen Ergebnisse in eine graphische Übersicht Erarbeiten: Gegenüberstellung Modellexperiment -- Natur; beim Ausfüllen sollen die Schüler die Möglichkeit haben, mit dem PBB-Experiment die Vorgänge noch einmal zu visualisieren Erarbeiten: Zu Grunde liegende Reaktionsgleichung Kohlenstoffdioxid + Wasser --Licht/Chl.--> Glucose + Sauerstoff, auch mit Formelgleichung Modellkritik anbahnen	2018_ws2, PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben, ggf. 2018_ws3 (Vertiefung mit Lückentext)	EA, PA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen II incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Blauer Stoff enthält gespeicherte Energie; Konzentrationskette/Photogalvanisches Element (Lehrer-Demonstration oder Schülerexperiment)	2018_ws 4, Experimentiermaterial (vgl. 2018_ws 4)	GA/PA und Schülerexperiment
Anpassen III incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Photokatalyse in Modellexperiment (Proflavin) und in der Natur (Chlorophylle) in Verbindung mit gekoppelten zyklischen Reaktionen - Rekonstruktion der Prozesse	2018_ws 5, "Photosynthese - Ein Fall für Zwei, Teil 1"	EA, PA, Plenum
Anwenden	Transfer des Erarbeiteten auf ein Naturphänomen, die Seeschnecke Elysia Chlorotica bzw. die Technologie (Vertical Gardening) -> Anwendung Photosynthese bei E. Chlorotica; Modellkritik bei V. Gardening: Benötigtes Licht für Photosynthese in Natur vs im Modellexperiment	Bildimpulse: Elysia Chlorotica, Vertical Gardening	EA, Plenum

Die Progression des Moduls schlägt sich auch in den Operatoren nieder und spiegelt somit die zentrale Anforderung des „Make it H.O.T.“ wider (vgl. higher order-thinking, Kap. 7.9), dem Einplanen von

Aufgaben, die die Lernenden kognitiv in angemessener Weise herausfordern. Ausgehend von den Anforderungsbereichen I-II werden die Inhalte entwickelt und schließlich erläutert. Im Erkunden-Schritt werden Bildimpulse beschrieben (AFB I, vgl. MSW (o.J.)) und begründete Vermutungen aufgestellt (AFB I-II), wie die Bildinhalte mit dem Themenbereich Photosynthese und Zellatmung zusammenhängen. Hier wird anknüpfungsfähiges Vorwissen aktiviert. Im Erforschen-Schritt werden experimentelle Erkundungen vorgenommen und dokumentiert (untersuchen II-III, dokumentieren I-II). Es schließt sich eine Aufgabe an, in der Aussagen zum Modellexperiment beurteilt werden (AFB II-III). Der Anpassen I-Schritt beginnt mit Zuordnungsaufgaben (AFB I-II), dann werden zentrale Aspekte erläutert (AFB II-III), um schließlich in einer Modellkritik Bild und Abbild zu vergleichen (AFB I-III). Nach einer Plateauphase, in der entweder ein Lückentext gefüllt (zuordnen, AFB I-II) oder ein entsprechender zusammenfassender Text auf Basis von prompts selbst geschrieben wird (skizzieren, AFB I-II bzw. erklären, AFB II-III), wird in Schritt Anpassen II wiederum ein Experiment untersucht: Dies geschieht diesmal anhand einer Skizze. Das Experiment, der „Solarakku“, wird aufgebaut, durchgeführt (AFB I), Beobachtungen dokumentiert (AFB I-II) und finale Analysen vorgenommen (AFB II-III). Im dritten Schritt, der Anpassen-Phase (Anpassen III), werden zentrale Informationen aus einem Lehrfilm entnommen und dokumentiert (AFB I-II) und Zuordnungen von Fachbegriffen und Definitionen sowie die Rekonstruktion eines Ablaufschemas vorgenommen (zuordnen, AFB I-II). Abschließend werden mit Kreislaufschemas die bedeutenden photokatalytischen Vorgänge erläutert (AFB II-III). Die Bildimpulse im Anwenden-Schritt werden zunächst beschrieben (AFB I) und dann mit den Erkenntnissen aus der Unterrichtseinheit verknüpft (übertragen, AFB II-III; vergleichen, AFB I-III). In zwischengeschalteten Plenumsphasen werden die Inhalte zusammengetragen und analysierend (AFB II-III) diskutiert.

Konzentriert mit der Progression wird ein entsprechender Sprachgebrauch geplant, der ausgehend von BICS in den Bereich CALP mithilfe von Scaffoldingmaßnahmen (vgl. Thürmann 2013a-b) entwickelt wird. Das notwendige Spezial-Vokabular findet sich in einem Glossar (Dt.-Engl. und Engl.-Dt.), beschrifteten Übersichten zum Labormaterial („Laboratory equipment“), in eingebundenen Wortspeichern (z.B. bei ws5) sowie in Annotationen. Das Aufstellen von Vermutungen („Vocabulary: speculating and hypothesizing“), das Widerlegen oder Bestätigen von Hypothesen und Vermutungen („Vocabulary: proving and disproving“), das Vergleichen oder Kontrastieren von Befunden („Word bank: Comparing and Contrasting“) sowie das Anführen von Beispielen („Giving examples“) wird mit entsprechenden chunks und Beispielsätzen sprachlich entlastet bzw. gestützt. Das Material bietet Orientierung und die Lernenden können ihre eigene Wahl selbst treffen und ihren Ausdruck auch in Bezug auf einige Diskursfunktionen, hier also z.B. „comparing“ oder „giving examples“, bedarfsweise variieren. Überdies liegen bilinguale Wörterbücher aus.

Fachliche englischsprachige Kommunikation wird u.a. durch den Wechsel der Darstellungsformen ermöglicht (vgl. z.B. Leisen 2013, Bohrmann-Linde 2016). Zentral ist dabei das ws2. Dort werden die experimentellen Beobachtungen in einem Diagramm gesammelt. Die experimentelle Handlung (gegenständliche Darstellung) wird auf Basis von Notizen verbalsprachlich transportiert und kommunikativ ausgehandelt (sprachliche Darstellung), so dass final ein ausgefülltes, kreislaufförmig strukturiertes Diagramm vorliegt (symbolische Darstellung). Diese dient wiederum als Ausgangsform für sprachliche Aushandlungen (sprachliche Darstellung), die in einer symbolischen Darstellung der natürlichen Prozesse resultiert. Zzgl. werden hier Fachbegriffe konkretisiert und in chemische Formeln umgemünzt (Abstraktion der Fachsprache in Form von mathematischen Darstellungen). Visuelle Impulse werden also nicht nur zum Initiieren von Sprachanlässen (z.B. in der Erkunden-Phase) oder Reflektieren (z.B. in der Anwenden-Phase) verwendet.

Als Element der eigenständigen Sammlung von zentralen Fachtermini und dem Reflektieren bedeutender Inhalte dient das Arbeitsblatt „Was ich gelernt habe“ (vgl. Beerenwinkel/Hefti/Lindauer et al. 2015:21ff). Zunächst werden im Sinne einer Zwischenreflexion bedeutsame Fachbegriffe der Einheit in deutscher und englischer Sprache gesammelt. Danach schließen sich Aufgaben an, in denen zentrale Inhalte, Erstaunliches bzw. offene Fragen in zusammenhängenden Texten versprachlicht wer-

den sollen. Im Sinne des epistemischen Schreibens soll eine „vertiefere Auseinandersetzung mit dem Thema“ angebahnt werden, mit dem Ziel „Gedanken [zu klären], [sowie] Verstandenes und Unverstandenes [aufzudecken]“ (ibid.:18). Überdies dient es der Fixierung erworbenen (fachsprachlichen) Wissens (vgl. ibid.). Dieser kleine Schreibanlass findet als Hausaufgabe statt. Bei drei Doppelstunden gibt es diese Art der Zwischenreflexion also zweimal und sie wird auch zum Abschluss angeboten. In den Einstiegen in die jeweilige Doppelstunde werden kurz zentrale Erkenntnisse der Vorstunde angesprochen, Fachbegriffe geklärt und offene Fragen aufgegriffen.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass über verschiedenes Material rich input angeboten wird. Dieses wird von den Lernenden im Zuge von aufeinander aufbauenden Aufgaben, die einer Progression von AFB I zu AFB III folgen, erarbeitet, wobei unterschiedliche Scaffoldingmaßnahmen zur Unterstützung des Lehr-Lern-Prozesses integriert sind. Hierbei werden zentrale Inhalte im Zuge von Gruppenexperimenten oder Partnerarbeiten sowie auch in Plenumsphasen kommuniziert – es werden somit Gelegenheiten für bedeutungsvolle, genuine Aushandlungsprozesse angeboten. Viele zentrale quality principles nach Meyer (vgl. Kap. 7.9) werden somit beachtet. Die Aspekte des kulturellen Perspektivwechsels, wie von Bohrmann-Linde für die Chemie nach Hallets Bilingual Triangle aufgefächert (2012:194), oder des Lernprodukts (im Sinne von Leisens Lernaufgabe oder Hallets komplexer Kompetenzaufgabe) stehen nicht im Vordergrund. Folgende Begründungen sind in diesem Kontext zu nennen: Laut Bonnet erfahren die Lernenden bereits per Teilnahme am BU Chemie Möglichkeiten interkultureller Erfahrungen, die er auf die „Sprachgebundenheit [des] chemischen Kompetenzerwerbs“ (2012:206) zurückführt. Dieser Idee folgend ist die interkulturelle Komponente auch dem vorliegenden Modul inhärent. In Bezug auf das Lernprodukt ist zu sagen, dass im Zuge der vorliegenden Planungen kleinere Lernprodukte (z.B. Kurzpräsentationen von Ergebnissen auf Basis von Notizen, ausgefüllte Diagramme, Lückentext bzw. selbst erstellter Erklärtext, epistemisches Schreiben) erstellt werden müssen. Insofern wird durchaus der Outputorientierung gefolgt, allerdings nicht im vielleicht komplexeren Maße, wie es die Aufgaben nach Leisen oder Hallet erfordern. Hier folgt die vorliegende Unterrichtskonzeption dem Hard CLIL-Ansatz und eher klassischen Herangehensweisen.

Die Zusammenfassungen lassen erkennen, dass auch fast alle zentralen Faktoren der Unterrichtsplanung nach Bonnet (2012:2013) Berücksichtigung finden, die nun noch einmal genannt, aber nicht weiter kommentiert werden, um Redundanzen mit den Zusammenfassungen oder vorherigen Ausführungen in diesem Kapitel zu vermeiden: 1. Zielbestimmung scientific literacy (vgl. hierzu auch Bohrmann-Linde 2012:193ff zur chemiespezifischen Kompetenz), 2. Methodische Prinzipien der Chemiedidaktik (vgl. ibid.), 3. Die drei Bereiche des Scaffolding (Sprache, Sachfach, Interaktion), und 4. Ausgewählte sprachliche Besonderheiten Chemie. Lediglich der letzte Aspekt wird hier nicht tangiert. Dieser macht tiefer gehende, kritisch-inhaltliche Auseinandersetzungen mit den dort genannten Vorschlägen sowie damit einhergehende Vorarbeiten notwendig. Im Sinne eines Hard CLIL werden sie zunächst ausgeklammert.

10.2 Stichprobe

Die Erprobung findet im 2. Halbjahr des Schuljahres 2017/18 in einem Chemie-Kurs der Einführungsphase an einem Gymnasium in NRW statt, an dem der Autor als Lehrer arbeitet (**Gruppe UNT, N = 16**). Der Kurs wird seit Schuljahresbeginn vom Autor unterrichtet. Insgesamt sind 16 SuS im Kurs, wobei niemand Vorerfahrungen mit BU Chemie hat. Die Erprobung findet zum Ende des Halbjahres statt (drei Wochen vor den Sommerferien). Das Einverständnis der Erprobung wird von Seiten des Autors bei Erziehungsberechtigten und der Schulleitung eingeholt. Auch mit der Lerngruppe wird das Vorhaben im Vorhinein besprochen. Die Lernenden signalisieren ein breites Interesse an der Erprobung eines bilingualen Moduls, dessen Grundausrichtung grob als innovativ vorgestellt wurde. Eine weitere Erprobung im zweiten Chemie-Kurs der EF war aus unterrichtsorganisatorischen Gründen nicht möglich, da der Autor selbst seinen weiteren Unterrichtsverpflichtungen an Schule und

Universität nachkommen musste, so dass z.B. zeitliche Überschneidungen mit dem zweiten EF-Kurs vorlagen.

Eine weitere Erprobung findet dennoch statt, wohl aber in einem etwas anderen Rahmen: Acht interessierte Lernende aus dem Parallelkurs finden sich an einem Projekttag zusammen und nehmen am nun en bloc stattfindenden BU Chemie-Modul teil (**Gruppe EUR, N = 8**).

10.3 Datenerhebung: Sachfachliches Inhaltslernen

Das Modul umfasst drei Doppelstunden, wobei eine Doppelstunde eine Zeit von 90 Minuten einnimmt. Eine Woche vor Erprobungsbeginn und zwei Tage nach der letzten Doppelstunde finden Vor- und Nachtests statt. Es soll herausgefunden werden, in welchen Bereichen Wissensvertiefung bzw. –ausweitung stattfindet.

Hierzu kommen mehrere Instrumente infrage. Die grundlegende Herausforderung besteht darin, eine Methode zu finden, die den Versuchspersonen hilft, ihr vorhandenes Wissen offenzulegen (vgl. Kerr/Beggs/Murphy 2006:291ff) – deshalb wurden auch Erhebungsinstrumente mit einbezogen, die u.a. auf dem Skizzieren von Wissensanteilen beruhen. Mehrere infrage kommende Instrumente, die zur Untersuchung der „nur mittelbar zugänglich[en] [kognitiven Systeme]“ (Peuckert/Fischler 2000:93) dienlich sein können, werden während des Entscheidungsprozess gesichtet und der jeweilige Einsatz reflektiert. So wurde u.a. Fachliteratur zu Concept Cartoons (vgl. De Lange 2009, Keogh/Naylor 1999), Concept Maps (vgl. Fischler/Peuckert 2000, Graf 2014, Fechner 2009, Koch 2005), Retrospektiven Interviews (vgl. Groß/Gropengießer 2003), (Retrospektivem) Lautem Denken (vgl. Sandmann 2014), Kommentieren selbst angefertigter Skizzen (vgl. McHatton/Shanessy-Dedrick/Farmer et al. 2014, Mifsud/Tunncliffe 2018) oder Wortassoziationstests (vgl. Bahar/Johnstone/Suttcliffe 1999) gesichtet.

Die folgenden Gründe führen zur Entscheidung, in der ersten Untersuchung im Jahr 2018 Concept Maps zu verwenden: Wie andere Instrumente auch, liefern sie „Informationen über aktuelle mentale Repräsentationen [von Wissensstrukturen]“ (Fischler/Peuckert 2000:3). In bilingualen Forschungsunterfangen zum Fach Chemie wurde diese Methode der Wissenserfassung bereits eingesetzt. Damit einhergehend erstellten die Forschenden Modalnetze zur Auswertung: „[F]ür eine gemeinsame qualitative Betrachtung der Lernerfolge einer Untersuchungsgruppe kann [...] eine Art Durchschnittsnetz jeweils für die Prä- und Posttests erstellt werden“ (Koch 2005:69). Um die Analyse der „Lernerfolge“ kreist auch das Erkenntnisinteresse der vorliegenden Studie zum BU Chemie-Modul, so dass methodisch an dieser Studie angeknüpft wird. Zudem werden die einzelnen Concept Maps auf Basis von Friege/Lind (2000, vgl. Koch 2005) ausgewertet und bedarfsweise mit in die vorliegenden Darstellungen einbezogen. Ein weiterer Grund, Concept Maps zu nutzen, liegt darin begründet, dass einschlägiges Material zum Einüben dieser Methode auch für den chemiedidaktischen Bereich vorliegt (s.u.). Nicht zuletzt ist es auch eine Methode, die einige SuS schon aus unterrichtlichen Zusammenhängen kennen und die u.a. zur Strukturierung von Wissen geeignet ist (vgl. Sumfleth/Neuroth/Leutner 2010:66f). Somit eignen sich die Lernenden eine relevante Lehr-Lern-Methode an bzw. der Umgang damit wird ausgeschärft.

Vor diesem Hintergrund erstellen die Versuchspersonen der vorliegenden Studie also Concept Maps, die sich um die Begriffe photosynthesis und respiration aufbauen. Hierzu wird jeweils eine Doppelstunde aus dem Stundenplan geblockt.

Das Erstellen von Concept Maps wird im Unterrichtsverlauf mit den SuS geübt, wobei das Material von Neuroth (o.J.) genutzt wurde (vgl. auch Sumfleth/Neuroth/Leutner 2010). Die Lernenden erhalten dazu im Vor- und im Nachtest eine Liste mit allen englischen Begriffen sowie Vorschläge für Relationen. Diese Begriffe wurden zuvor auf Basis von Heffen (2017) im Arbeitskreis ausgewählt und zu einer Concept Map vereint. Zu den Begriffen, die den SuS unbekannt sind, holen sie sich jeweils einen Textschnipsel mit der deutschen Übersetzung. Wenn der Begriff nun bekannt ist, wird er verwendet, ansonsten wird er für die Concept Map-Konstruktion ignoriert. Die SuS schreiben die Begriffe als

Knoten auf Klebezettel und verbinden diese mit Pfeilen, die dann mit Relationen beschriftet werden. Die Entscheidungen für die Vorgaben von Begriffen und Relationen begründen sich mit der daraus resultierenden, leichteren Vergleichbarkeit der Concept Maps untereinander (vgl. Fischler/Peuckert 2000:12). Es wird dabei notwendigerweise akzeptiert, dass die Versuchspersonen beim Erstellen der Produkte etwas eingeschränkter agieren müssen (vgl. *ibid.*:9), wobei die Möglichkeit der eigenständigen Erweiterung kommuniziert wurde. Das Erstellen erfolgt konzentriert, mit viel Ruhe und Sorgfalt.

Anschließend haben die Lernenden die Möglichkeit, ihre Concept Maps noch einmal verbalsprachlich zu kommentieren. Hierzu verlassen sie den Raum, gehen in weitere gebuchte Räume oder in andere Bereiche des Schulgeländes und sprechen ihre Gedanken dazu in je ein Diktiergerät. Das Anhören des Materials ergibt, dass die SuS die jeweilige Concept Map nur oberflächlich vorstellen, jedoch ein vertieftes Kommentieren ausbleibt. Dieser Teil der Datenerhebung wurde deshalb nicht mehr aufgegriffen.

10.4 Datenerhebung: Perspektiven der Versuchspersonen

Nach Art einer Daten-Triangulation in Bezug auf die Lernendenperspektive auf das Modul werden die entsprechenden Einstellungen nicht nur mit einem LF (s.u.) erhoben, sondern dazu ein den Lernenden bekanntes Feedback-Verfahren angewendet: Im Sinne der start-stop-continue-Feedbackmethode formuliert jede Versuchsperson in schriftlicher Form aus ihrer Sicht, welche Dinge des Moduls beibehalten (continue), verändert (stop) bzw. ergänzt (start) werden sollten.

Um die SuS-Einstellungen zum Modul zu erfassen, wird ein Leitfadenterview, LF (vgl. Niebert/Gropengießer 2014, Vogt/Werner 2014), nach der Erprobung durchgeführt. Hierzu kommen immer drei bis vier Lernende in einer Gruppe zusammen und werden vom Autor befragt. Das Gespräch wird aufgezeichnet. In einem Elternsprechzimmer wird eine kreisförmige Gesprächsrunde vorbereitet: Das verwendete Material der Stunden wird ausgelegt und dient während des LFs als Reflexionsmaterial. So wurden fünf LF aufgezeichnet, die zwischen 21 min und 44 min lang sind (vgl. Anhang A10.4). Das nach Vogt/Werner (2014), die u.a. auf Helfferich (2010) rekurrieren, und Herwig-Lempp (2001) geplante LF wird tabellarisch über Erzählimpulse, konkrete weitere Impulse und Aufrechterhaltungsfragen strukturiert. Im Memo-Feld werden die jeweils zentralen Zieldimensionen der Erzählimpulse bzw. Leitfragen abgebildet (vgl. Anhang A10.4).

Die obigen Erhebungen betreffen alle Teilnehmenden der Gruppe UNT. Die Lernenden der Gruppe EUR fertigen in derselben Weise Concept Maps an, jedoch wird die Einstellung nur per o.g. Feedbackmethode, aus organisatorischen Gründen also nicht per LF, erkundet.

10.5 Datenaufbereitung und -analyse

Die Auswertung der Concept Maps erfolgt nach dem in Koch (2005) beschriebenen Verfahren nach Peuckert/Fischler (2000) bzw. Frieger/Lind (2000). Dieses wird im ersten Teil vorgestellt. Danach wird der Blick auf die Leitfadenterviews gerichtet.

Mithilfe von Modalnetzen soll ein Überblick über die Individualdaten geschaffen werden. Sie bilden die am häufigsten vorkommenden Zusammenhänge in einer Concept Map, können also als durchschnittliche Concept Map einer Lerngruppe verstanden werden (vgl. Peuckert/Fischler 2000:106ff). Hierfür werden aus einzelnen Concept Maps Datenmatrizen mit Excel 2013 angefertigt, in denen die korrekten Propositionen zwischen zwei Begriffen eingetragen werden. Für Proband*in unt05 ergeben sich folgende Matrizen für die Concept Maps vor der Unterrichtseinheit (Vortest, VT_unt05) und für diejenige danach (NT_unt05), vgl. Abb. 40:

VT_unt05	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
air																										
animals		1																								
C ₆ H ₁₂ O ₆																										
carbon cycle																										
carbon dioxide																										
catalysts																										
chlorophyll																										
energy conversion																										
energy supply																										
enzymes																										
green																										
high-energy compound																										
low-energy compound																										
main product																										
matter conversion																										
oxidation																										
oxygen																										
photosynthesis																										
plants																										
redox reaction																										
reduction																										
respiration																										
sugar																										
sun																										
visible light																										
water																										

NT_unt05	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
air																										
animals																										
C ₆ H ₁₂ O ₆																										
carbon cycle																										
carbon dioxide																										
catalysts																										
chlorophyll																										
energy conversion																										
energy supply																										
enzymes																										
green																										
high-energy compound																										
low-energy compound																										
main product																										
matter conversion																										
oxidation																										
oxygen																										
photosynthesis																										
plants																										
redox reaction																										
reduction																										
respiration																										
sugar																										
sun																										
visible light																										
water																										

Abb. 40: Datenmatrizen für die Concept Maps der Probandin unt05. Basis: Vor- und Nachtests (eigene Anfertigung; Screenshots aus der mit Excel verarbeiteten Datengrundlage)

Die Matrize spannt die 26 Begriffe in einer 26x26-Tabelle auf. Links in den Zeilen sind die Begriffe, von denen die Relation ausgeht auf einen zweiten Begriff, dem in den Spalten, potentiell ausgeführt werden kann. Wenn diese Relation korrekt ist, wird die Zahl 1 eingetragen. Falsche Relationen werden nicht gezählt. In der vorliegenden Herangehensweise wurden diese falschen Zuordnungen rot eingefärbt, was jedoch von Peuckert/Fischler (2000) so nicht vorgesehen ist. In der Datenmatrize VT_unt05 ist die Verbindung zwischen Zeile 3, C₆H₁₂O₆, und Spalte 12, high-energy compound, inhaltlich-gedanklich sogar korrekt, jedoch wurde eine Relation verwendet, die dann die sprachlich gestaltete Verbindung zwischen diesen beiden Begriffen, is accompanied by, inhaltlich falsch ausfallen ließ.

Insofern bleiben immer auch alle sprachlich inkorrekten Propositionen unberücksichtigt, wie auch unbeschriftete Pfeile.

Alle VT-Matrizen werden zu einer Summenmatrix aufaddiert, wie auch alle NT-Matrizen. Die Anzahl an Propositionen für die Modal Map ergibt sich aus der Anzahl der genannten Propositionen geteilt durch die Anzahl der vorliegenden Concept Maps. Eine Übersicht der mit Excel 2013 durchgeführten Erfassungen und Auswertungsarbeiten findet sich in Anhang A10.5.

10.6 Inhaltslernen: Modalnetze Gruppe UNT (VT und NT)

Bei den Vortests der Gruppe UNT liegen 16 Concept Maps vor. Die 304 Propositionen verteilen sich auf zweimal 92 unterschiedliche Möglichkeiten – das liegt daran, dass die Proposition in beide Richtungen funktionieren kann, z.B. ausgedrückt durch eine Aktiv- oder Passivkonstruktion (z.B. photosynthesis / needs / visible light vs. visible light / is needed by / photosynthesis) oder einen korrekten Gedanken (z.B. photosynthesis / is a part of / carbon cycle vs. carbon cycle / consists of / photosynthesis). Aus diesem Grund werden die korrekten Aussagen im Summennetz noch einmal pro Begriffspaar aufaddiert. Zum Beispiel wird der Begriff green zweimal in Richtung des Begriffs chlorophyll aufgespannt, jedoch elfmal in die entgegengesetzte Richtung. Für dieses Begriffspaar ergibt sich somit eine Summe von 13 Nennungen. Für manche Begriffspaare ergeben sich somit relativ hohe Summen, die ansonsten nicht zu Tage getreten wären: die korrekte Verbindung main product - sugar wird beispielsweise auf diese Weise fünfmal genannt und somit in das resultierende Modalnetz aufgenommen. Bei der vorherigen Auftrennung, die die Richtung beachtet, wären Nennungen von 4 bzw. 1 aufgetreten und dieses korrekt verbundene Begriffspaar durch das Raster gefallen.

Der Quotient aus 304 und 16 ergibt 19, d.h. im Durchschnitt sind 19 Propositionen pro teilnehmender Person genannt worden. Das daraus resultierende Modalnetz für den Vortest soll 19 Propositionen beinhalten, dementsprechend ist ein Cut Point festzusetzen (vgl. zur Vorgehensweise Peuckert/Fischler 2000:108ff). Der Cut Point gibt an, mit welcher Häufigkeit die entsprechende Proposition genannt wird. Hier wird der Wert auf 5 getriggert, so dass 22 unterschiedliche Propositionen resultieren (bei Cut Point 4 gibt es 25 Propositionen und bei Cut Point 6 sind es 17 – einmal also deutlich mehr, einmal weniger als die Zielmarke). Die nun vorliegende Summenmatrix wird folglich verwendet und bildet die Basis für das Modalnetz des Vortests (vgl. Abb. 41), wobei alle Werte unterhalb des gewählten Cut Points unberücksichtigt bleiben:

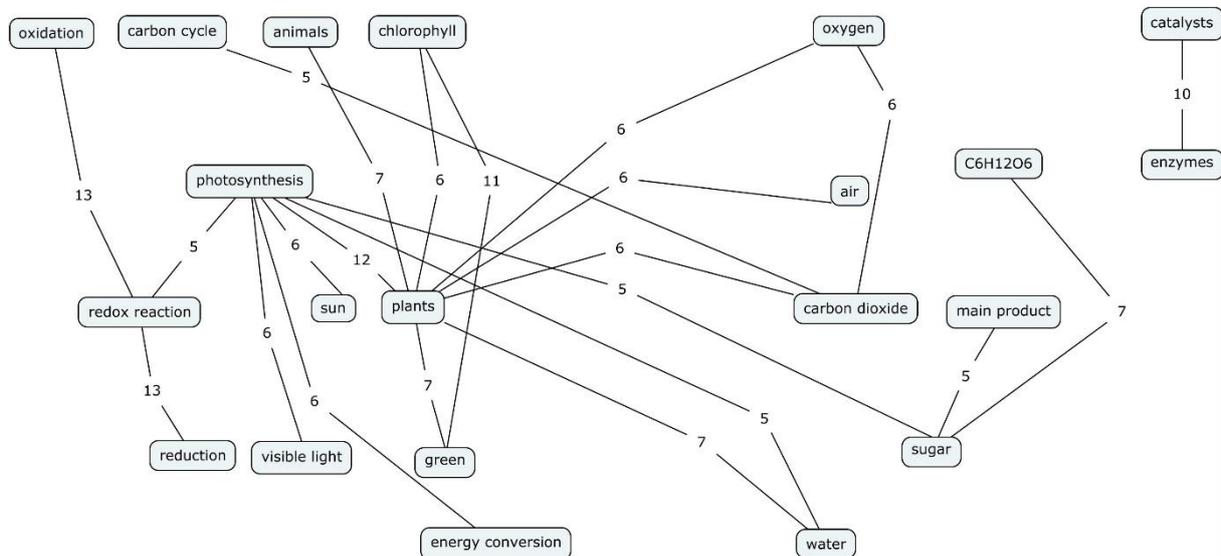


Abb. 41: Vortest-Modalnetz für Gruppe „2018 unt (N = 16)“ mit Cut Point 5 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04). Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.

Bei den Nachtests liegen ebenfalls 16 Concept Maps vor. Die 409 Propositionen verteilen sich auf ebenso viele unterschiedliche Möglichkeiten wie oben. Der Quotient aus 409 und 16 ergibt 25,6, d.h. im Mittel sind in der Matrix etwa 26 Propositionen pro teilnehmender Person genannt worden. Daraus folgt, dass ein entsprechendes Modalnetz für den Nachtest 26 Propositionen beinhalten sollte. Dem entsprechend wird der Cut Point auf 5 festgelegt, eine passende Triggerschwelle, denn 29 Propositionen resultieren (die Cut Points 4 und 6 liefern 41 bzw. 23 Propositionen). In Bezug auf die Zielmarke 26 ist der Wert für den Nachtest also um etwa das 1,12-fache erhöht, beim Vortest bei einer Basis von 19 und 22 tatsächlich verwendeten Propositionen um das 1,16-fache. Beide Werte liegen also im etwa vergleichbaren Maße erhöht vor. In Abb. 42 findet sich das resultierende Modalnetz für den Nachtest:

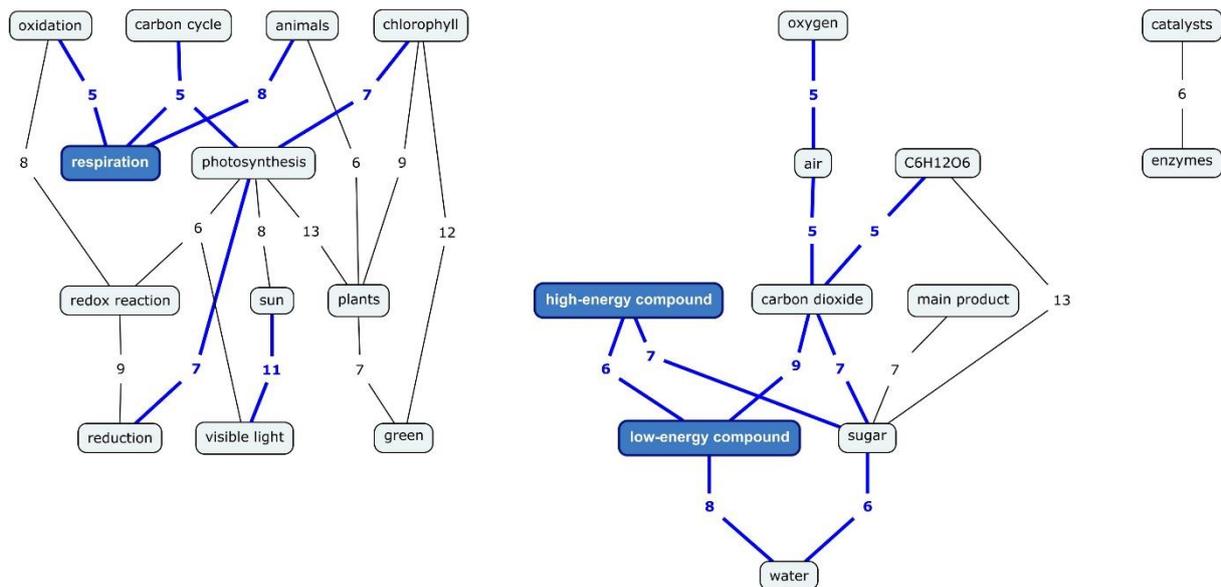


Abb. 42: Nachtest-Modalnetz für Gruppe „2018 unt (N = 16)“ mit Cut Point 5 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04); neu hinzugekommene Begriffe und Propositionen sind dunkelblau hervorgehoben, weggefallene nicht mehr aufgeführt. Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.

10.7 Inhaltslernen: Modalnetze Gruppe EUR (VT und NT)

Wie oben beschrieben werden auch die Concept Maps der Teilnehmenden an der zweiten Erprobung ausgewertet. Die Gruppengröße liegt bei 8. Im Vortest liegt der Propositionen-Zielwert bei rund 25 (198 Propositionen-Nennungen geteilt durch 8 Concept Maps). Der Cut Point wird auf 3 festgesetzt, so dass mit 23 ein Wert nahe des Zielwerts resultiert (zum Vergleich: Cut Point 2 liefert mehr als 40 Propositionen), das resultierende Modalnetz findet sich in Abb. 43.

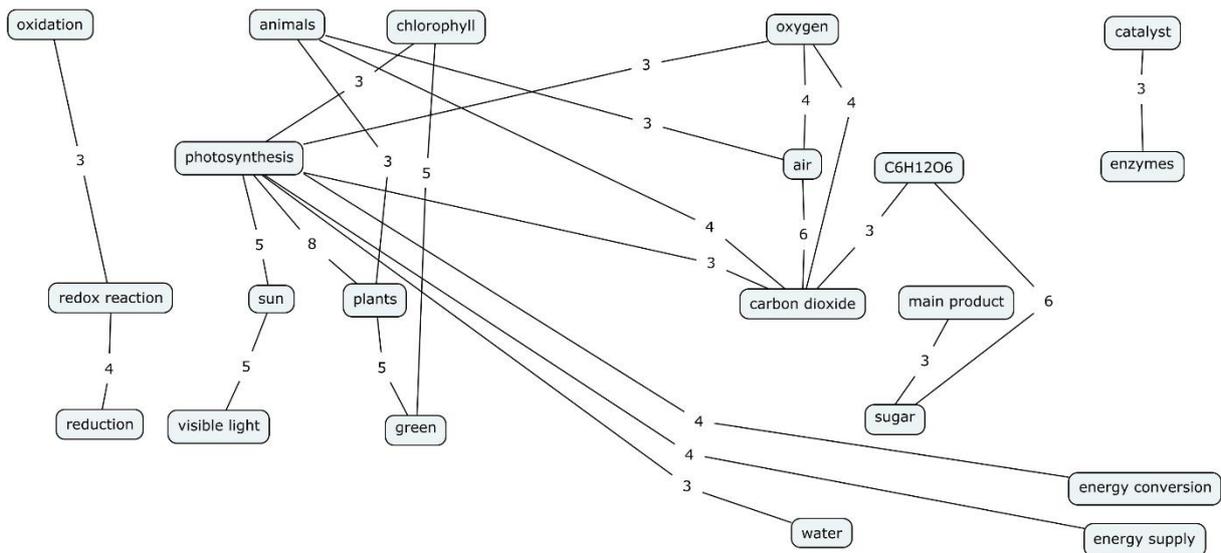


Abb. 43: Vortest-Modalnetz für Gruppe „2018 eur (N = 8)“ mit Cut Point 3 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04). Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.

Im Nachtest ist der Zielwert bei rund 21, da die 8 Concept Maps insgesamt 169 Propositionen liefern, d.h. 29 weniger als im Vortest. Dies hat mehrere Ursachen: Z.B. hat Proband*in Angael beim Vortest doppelt so viele Verknüpfungen vorgenommen wie beim Nachtest. Zudem nutzen einige Lernende Skizzen. Ferner fällt auf, dass viele Pfeile im Nachtest nicht beschriftet sind. Beim Triggern bei einem Cut Point von 3 resultiert ein Wert von 25, bei Cut Point 4 ein Wert von 11. Die Wahl fällt auf Cut Point 3. Die Ergebnisse sind im folgenden Modalnetz in Abb. 44 dargestellt.

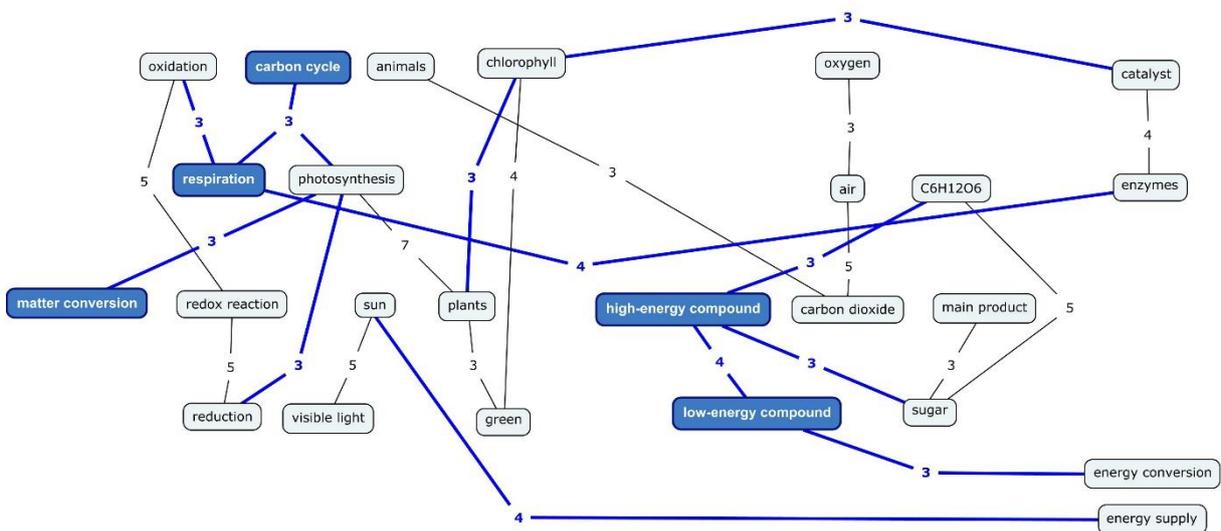


Abb. 44: Nachtest-Modalnetz für Gruppe „2018 eur (N = 8)“ mit Cut Point 3 (eigene Anfertigung mit CmapTools 6.04); neu hinzugekommene Begriffe und Propositionen sind dunkelblau hervorgehoben, weggefallene nicht mehr aufgeführt. Die Anzahl der Verknüpfungen zwischen zwei Begriffen wird mit der jeweiligen Zahl angegeben.

10.7.1 Ergebnisse Inhaltslernen Gruppen UNT und EUR

Die Vortests der beiden Untersuchungsgruppen weisen einige Gemeinsamkeiten, aber auch deutliche Unterschiede auf. Auf der Ebene der Begriffe fällt auf, dass viele in beiden Gruppen-Modalnetzen zu finden sind (z.B. photosynthesis, sun, plants, green, chlorophyll, carbon dioxide, oxygen, sugar, main product oder water). Nur in UNT tritt carbon cycle auf, und nur energy supply findet sich in EUR. Die

Begriffe sind allerdings je Gruppe unterschiedlich verbunden. Bei beiden fällt zwar auf, dass vom Wort photosynthesis aus viele Verbindungen geknüpft werden, doch lediglich die Begriffe sun und plant sind bei beiden damit verknüpft. Während bei EUR viele Begriffe direkt an photosynthesis angebunden sind, geschieht dies bei UNT in oft ähnlicher Weise vom Begriff plants aus. Nicht zuletzt fällt als Gemeinsamkeit die Unangebundenheit von catalyst und enzymes auf. Sie bilden einen eigenen Komponenten. Insgesamt lässt sich feststellen, dass durchaus schon differenziertes Vorwissen zur Photosynthese vorliegt, jedoch Aspekte der Katalyse, der Energetik oder der Zellatmung fehlen.

In den Nachtests werden von beiden Gruppen neue Begriffe eingewoben. Beide verwenden nun high-energy und low-energy compound sowie respiration. Bei EUR taucht zudem carbon cycle und matter conversion auf. Während matter conversion wenig angebunden ist, sind die anderen Begriffe jeweils mit mehr Begriffen verknüpft. Im Modalnetz UNT gibt es mehrere wünschenswerte Aspekte. Der im Vortest scheinbar wahllos mit carbon dioxide verbundene Begriff carbon cycle wird nun in Verbindung mit respiration und photosynthesis gebracht. Ferner wird der Begriff respiration mit animals und oxidativen Prozessen verknüpft. Nun ist auch chlorophyll stark mit photosynthesis verknüpft. Die Begriffe low-energy compound und high-energy compound werden nicht nur mit den korrekten Substanzen (water, carbon dioxide; sugar) verbunden, sondern auch als miteinander in Beziehung stehend erachtet. Erwähnenswert ist weiterhin die Erhöhung der Verbindungshäufigkeit von sugar mit der Strukturformel $C_6H_{12}O_6$ (von 7 auf 13) oder, wenn auch weniger stark, die Erkenntnis, dass Zucker als Hauptprodukt angesehen werden kann (von 5 auf 7). Allerdings fällt auf, dass zuvor existierende Verknüpfungen nicht mehr auftreten. Nun liegen drei kleinere Komponenten vor, wobei jener der Katalyse immer noch unangebunden ist. Waren jedoch die Edukte und Produkte zuvor mit der Photosynthese bzw. mit der Pflanze verknüpft, so fehlen diese Verknüpfungen. Eine wünschenswerte höhere Verknüpfung von visible light liegt vor - es wird nun sowohl mit sun als auch mit photosynthesis verbunden, weitere differenzierte Betrachtungen finden sich nicht. Eine Verknüpfung zwischen catalyst und chlorophyll fehlt weiterhin. Im Modalnetz EUR gibt es ebenfalls mehrere wünschenswerte Merkmale. Ähnlich wie bei UNT wird auch hier der Begriff Zellatmung sinnvoll verbunden und auch carbon cycle wird zielführend mit photosynthesis und respiration verknüpft. Zellatmung wird sogar mit enzymes verbunden, die, wie nun auch chlorophyll, in der Funktion als catalyst gesehen werden. Ebenfalls tragfähig ist das neue Netzwerk um high-energy compound, wobei low-energy compound zwar neu, aber wenig zielführend verbunden ist. Hier fehlt die Verbindung zu water und carbon dioxide. Sinnvoll ist die Verbindung von matter conversion mit photosynthesis, jedoch bleibt der Begriff insgesamt zu wenig vernetzt. Wie oben gehen auch hier die neuen Netzwerke mit dem Verlust alter Verbindungen (z.B. sun-photosynthesis) einher. Auch hier gibt es eine Trennung zwischen dem linken und dem mittleren Komponenten, was allerdings von mancher Querverbindung (animals-carbon dioxide, respiration-enzymes) überlagert wird. Zudem liegt eine weitere abgetrennte Komponente vor, die aus visible light, sun und energy supply besteht. Jedoch ist abschließend hervorzuheben, dass die zuvor für sich stehenden Netzwerke um catalyst bzw. redox reaction nun zielführend integriert worden sind. Auch hier fehlt allerdings eine differenziertere Betrachtung der Begrifflichkeiten zum Themenbereich Licht. Ferner ist die fehlende Linie zwischen photosynthesis und sun auffällig.

10.7.2 Diskussion und Reflexion

Das jeweils unterschiedliche Vorwissen der Gruppen zeigt sich anhand der Modalnetze. Beiden Gruppen kann ein differenziertes Vorwissen attestiert werden. Die vernetzende Einbindung neuer Begriffe aus dem Bereich der Energetik, des Kreislaufcharakters, der Zellatmung und der Katalyse verdeutlicht das durch die unterrichtliche Erfahrung veränderte Konzept. Es werden viele sinnvolle Verknüpfungen getätigt, allerdings treten einige Verknüpfungen im Nachtest gar nicht mehr auf. Es scheint so zu sein, dass manche Verknüpfungen als gegeben und nicht mehr erwähnenswert erscheinen und dass die Konstrukteure sich nun auf die neu hinzugekommenen Elemente konzentrieren. Manche Netzwerkanteile bleiben unverknüpft, so dass offen bleibt, ob diese Verknüpfungen offensichtlich sind und deshalb ignoriert wurden, ob der Grund im cognitive load zu finden ist, oder ob die Konzeptanteile in der Tat unverknüpft nebeneinander stehen und kein Gesamtkonzept erstellt

werden konnte. Ferner kann es auch in den Grenzen von Concept Maps begründet sein (vgl. Peuckert/Fischler 2000:110ff). Auffällig bleibt die wertniedrige (EUR) oder nicht vorhandene (UNT) Verknüpfung zwischen Chlorophyll und der Funktion als Katalysator. Ähnliches gilt für das Netzwerk um den Kohlenstoffkreislauf oder die high- bzw. low-energy compounds. Die erworbenen Konzepte zum Bereich Licht bleiben hier auf der Ebene des Allgemeinen. Die Ursache kann hier auch im Erhebungsinstrument gefunden werden, da dieses trotz der möglichen Erweiterbarkeit um neue Begriffe recht starre Verbindungen verlangt und keine modifizierenden Aussagemöglichkeiten erlaubt.

Insgesamt verdeutlichen die Modalnetze zwar das Lernpotential des Moduls im Sinne eines Konzeptwachstums, wobei bedeutende Elemente integriert werden, die in den in Kap. 8.1 genannten Untersuchungen oft nicht betrachtet wurden (z.B. Rolle des Chlorophylls, Lichtarten/Lichtqualität, Katalyse). Hier zeigen sich also durchaus Zuwächse des mehrheitlichen Wissens. Indes wird anhand der meist relativ niedrigen Verknüpfungswerte offenkundig, dass oft nur ein Teil der SuS, zwar aber mindestens immer (knapp) die Hälfte, partizipiert. Dies spricht für ein noch nicht zufriedenstellendes Maß an Festigung.

10.8 Zusammenfassung Inhaltslernen

Die Modalnetze erlauben Einblicke in gewachsene und veränderte Konzepte. Neue Anteile aus dem Bereich der Energetik, der Katalyse, des Kohlenstoffkreislaufs und der Zellatmung werden im Zuge des Moduls angeeignet und in die mentalen Netzwerke integriert. Zwar treten Querverbindungen auch zwischen Katalyse, Chlorophyll und Photosynthese auf, jedoch ist trotz des attestierenden Lernerfolgs das Potential noch nicht voll entwickelt. Ähnliches gilt für weitere neue Begriffe, einige aus dem Bereich des erwartbaren Vorwissens. Die Modalnetze machen das Lernen sichtbar, begrenzen aber das Untersuchen von manchen Zuwächsen, die z.B. im Bereich Licht erwartbar wären. Das Untersuchungsinstrumente Concept Maps scheint hier zu wenig differenziert zu sein.

10.9 Lernenden-Perspektive: Leitfadeninterviews (Datenaufbereitung und –analyse)

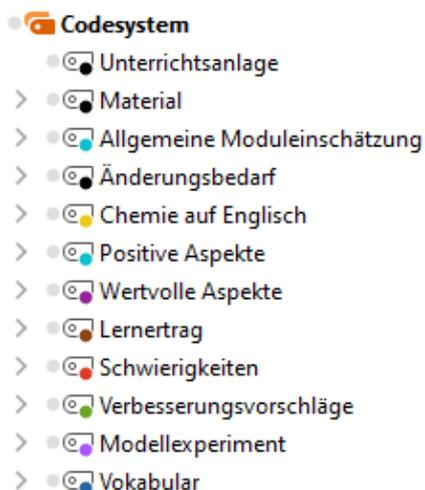


Abb. 45: Codebaum für die inhaltsanalytische Aufarbeitung der Leitfadeninterviews (Hauptkategorien; Screenshot aus MAXQDA 2020)

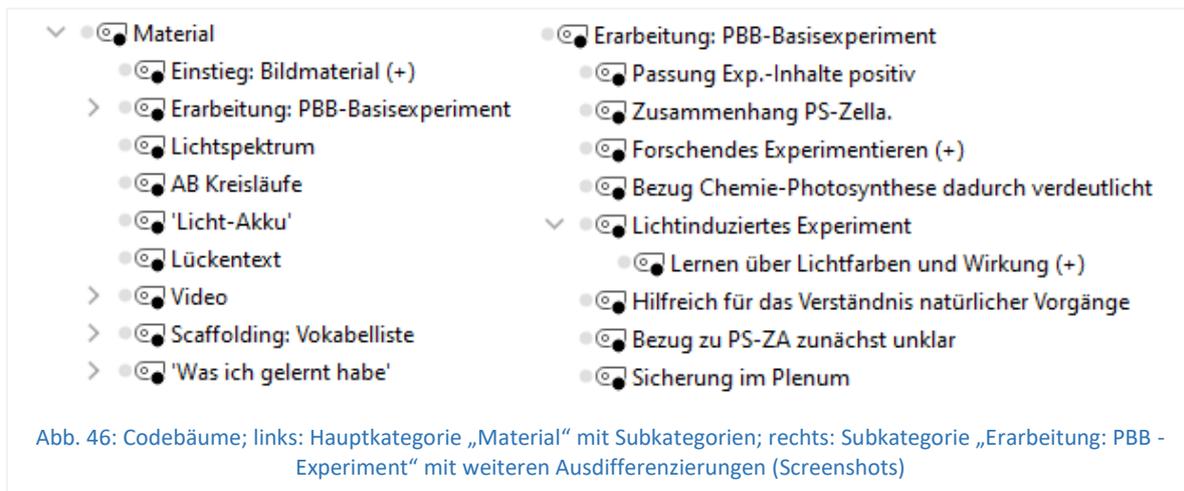
Die LF mit Versuchspersonen der UNT-Gruppe (die EUR-Gruppe konnte aus organisatorischen Gründen nicht interviewt werden) werden transkribiert, wobei die Transkriptionsregeln von Peetz (2019:138ff) Anwendung finden, die er aus Werken der Sozialforschung und Interviewführung für chemiedidaktische Erforschungen adaptiert hat. Die Transkripte finden sich im Anhang (vgl. Anhang A10.4). In Orientierung an der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Kuckartz 2016, Schreier 2014, vgl. dazu auch die Anwendung in chemiedidaktischen Zusammenhängen, z.B. Belova/Eilks 2015, Belova/Heckenthaler/Zowada 2020:303f, Bögge/Lühken 2021:199, Burmeister/Eilks 2012:99) wird das Material mithilfe von MAXQDA mehrfach durchgearbeitet. Die sich am LF orientierenden, zuvor aufgestellten Kategorien (z.B. Material, Lernertrag, Chemie auf Englisch, wertvolle Aspekte, Schwierigkeiten, Verbesserungsvorschläge) werden durch weitere induktiv ergänzt (z.B. Modellexperiment: Aussagen zum PBB-(Basis-) Experiment;

Vokabular: Textstellen mit Code-Switching Deutsch → Englisch). Die Hauptkategorien werden durch Unterkategorien konkretisiert. Ein Forschungsbericht zur Darstellung der Ergebnisse wird angefertigt. Hier werden in der Chronologie des Codesystems, vgl. Abb. 45, allgemeine Trends herausgearbeitet. Dabei werden Gewichtungen vorgenommen und auch genannte Schwierigkeiten bzw. Probleme

eingebunden. Auf die für die Darstellungen relevanten Quellen (Textstellen in LF und entsprechend darauf verweisende Codes) wird indirekt durch Verweise, aber auch direkt durch eingeflochtene Zitate hingewiesen. Die LF und der entsprechende Codebaum finden sich in der MAXQDA-Datei Leitfadeninterviews.mx20 (vgl. Anhang A10.4; dort sind auch die noch nicht codierten LF abgedruckt). An manchen Stellen wird auf das Feedback im Sinne eines start-stop-continue hingewiesen. Diese finden sich transkribiert und mit einem entsprechenden Codebaum versehen in der MAXADA-Datei ausw_sus-feedback_fragebogen.mx20 (vgl. Anhang A10.4 und A10.9).

10.10 Forschungsbericht zur Lernenden-Perspektive (Basis: Leitfaden-Interviews)

Im ersten Schritt wird von der SuS-Perspektive auf das Material berichtet und eine Zwischenzusammenfassung formuliert. Daran gliedern sich die Aspekte Chemiemodul in englischer Sprache, wertvolle Aspekte, Lernertrag, Schwierigkeiten, Verbesserungsvorschläge sowie Aussagen in Bezug auf das Modellexperiment und Sprachliche Auffälligkeiten: Code-Switching Deutsch → Englisch an (vgl. Codebäume in Abb. 45 bis Abb. 47).



10.10.1 Fokus: Lehr-Lern-Material

10.10.1.1 Fokus: Bildmaterial zum Moduleinstieg

Das **Material zum Einstieg in das Modul** (vgl. Codes: Material/Einstieg: Bildmaterial; Positive Aspekte/Bilder-Einstieg hilft Inhalte zu verknüpfen; Schwierigkeiten/Zusammenhang Bilder) aktiviert aus Lernendensicht bereits vorhandenes themenspezifisches Vorwissen und während die Zusammenhänge zunächst unklar sind, sorgt die Gruppenarbeit für ein erstes Vernetzen der Bilder. Der Einstieg wird als gelungen angesehen, da er die Unterrichtsanlage, die vom Allgemeinen zum Spezifischen verläuft, stützt (vgl. Codes: Wertvolle Aspekte, Unterrichtsanlage; vgl. LF1, LF3, LF4). Es wird zudem genannt, dass die Bilder in Gedanken bleiben und als Ausgangspunkt dabei helfen, Neues zu systematisieren:

Man versucht auch die Begriffe im Kopf logisch zu verknüpfen und versucht, einen Rückblick auf die Bilder zu haben. Also was bedeutet zum Beispiel Sauerstoff in Bezug auf die Bilder - der Läufer braucht das zum Atmen, das Feuer braucht das um angehen zu können. Dadurch wird das dann deutlich klarer, was man vorher vielleicht noch nicht wusste. (LF4, Pos. 59)

Als Kritikpunkt wird einmal geäußert, dass diese Phase zu lange gedauert hat, da aus dem Material keine tiefen inhaltlichen Erkenntnisse abgeleitet werden können, sondern lediglich einzelne „Denk-anstöße“ (LF3, Pos. 107) resultieren.

10.10.1.2 Fokus: Experimentieren mit dem PBB-Basisexperiment

Das **forschende Experimentieren** als Anteil des PBB-Basisexperiments (vgl. Codes: Material/Erarbeitung: PBB-Basisexperiment; Verbesserungsvorschläge/PBB-Basisexperiment) wird von vier der fünf interviewten SuS-Gruppen hervorgehoben und als sehr positiv aufgefasst – die fünfte Gruppe in LF5 kommentiert dieses nicht. In den codierten Segmenten wird deutlich, dass das Ausprobieren und das Finden des eigenen Weges als reizvoll angesehen wird, wobei der Variantenreichtum des Experimentes wichtig ist:

B2: Ich fand das sehr interessant, weil wir erst herausfinden mussten, wie man das Ergebnis erzielt. Wir hatten jetzt keinen Versuchsaufbau, wo wir Schritte befolgen mussten, sondern konnten einfach mal ausprobieren, wie man zu dem Ergebnis kommt. [...] B3: Ich schließe mich da an, dass wir eben nicht nur auf das Endresultat hin experimentiert haben, sondern auch selbst den Weg dorthin herausfinden mussten. (LF1, Pos. 24, 27)

B3: Ich fand das relativ gut, dass wir am Anfang relativ viele Möglichkeiten haben und wir dann aber [[B2: das austesten konnten]] ganz schnell gesehen haben, dass das ja nur mit Licht funktioniert. Dann konnte man damit nochmal rumexperimentieren und hat gesehen, dass das grüne und rote Licht z.B. nicht funktioniert.

B1: Ich fand auch gut, dass man verschiedene Versuche damit machen konnte [[B2: Ja, genau]]. Also mit Sauerstoff die Hypothesen dann belegen.“ (LF2, Pos. 21f)

Hierbei äußern SuS auch Selbstkritik an ihrem eigenen Vorgehen, da sie im Nachhinein ein planungsvolleres Experimentieren ihrerseits als sinnvoller ansehen. Das gemeinsame Zusammentragen und Strukturieren der Ergebnisse hat diesen SuS dann geholfen, einen Überblick zu erhalten:

B2: Wir hatten ja die verschiedenen Möglichkeiten die Farbe zu verändern, von gelb zu blau. Wir hatten Hitze und Licht und auch die kinetische Energie, also das Schütteln. Ich glaube wir haben erst einfach darauf los experimentiert, ohne darauf zu achten. Ich glaube, wir brauchten auch eine Zeit, um Ordnung zu finden. Wir haben erst das und dann das probiert - Vielleicht war das nicht so vorteilhaft. Vielleicht hätte man da strukturierter vorgehen sollen und erst die einzelnen Lichtarten probieren sollen. [...]

B1: Also ich fand das am Anfang sehr gut, dass man erst mal alles ausprobieren konnte. Nur ohne Ordnung und ohne genau zu wissen, wie das so abläuft, war das schon ein bisschen schwer, das in den Zusammenhang zu stellen [[I: Mhm (zustimmend)]]. Nachher wurde das ja alles geordnet und wir hatten unterschiedliche Sachen ausprobiert - Manche hatten was mit der Heizplatte, manche mit dem Licht gemacht. Das haben wir nachher alles zusammengetragen und da wurde es deutlich, was wir überhaupt ausprobiert haben. Die unterschiedlichen Energieformen - Was funktioniert, was funktioniert nicht und was lässt die Farbe verändern. Dann wurde das etwas klarer. (LF4, Pos. 25, 27)

Das vertiefende Experimentieren mit weiteren, zur Verfügung gestellten Hypothesen wird ebenfalls begrüßt (vgl. LF3, Pos. 22, LF2, Pos. 22).

Das Experiment ist aus Lernenden-Sicht hilfreich für das Verständnis natürlicher Vorgänge (Codes: s.o.). Anfangs war der Bezug des Experimentes zum Themenbereich Photosynthese und Zellatmung zunächst vereinzelt unklar, hier im Wortlaut von SuS der Gruppe 5:

B3: Am Anfang war ich voll verwirrt, was das mit dem Thema zu tun hat. "Ja, das wird halt blau", dachte ich mir (LACHEN). Im Nachhinein, als wir das ein bisschen reflektiert haben, dann habe ich gut den Zusammenhang gesehen. Deswegen fand ich das sehr gut, um das zu veranschaulichen.

B2: Ja, für mich war es am Anfang auch etwas komisch, weil ich noch nicht so ganz wusste, wie das funktioniert. Also, wenn man mit der Lampe daran leuchtet, dass sich dann halt die Farbe verändert. Das Experiment, fand ich, hat mir richtig geholfen auch für die weiteren Schritte. Dass man das auch auf die Natur und so übertragen konnte. (LF5, Pos. 34f)

Zudem gab es anfänglich Unklarheiten, wie Photosynthese und Zellatmung in Beziehung gestellt werden können (vgl. z.B. LF3, Pos. 43ff) oder dass diese Thematik „von einer chemischen Seite aus“

(LF4, Pos. 22) betrachtet werden kann. Das folgende Zitat thematisiert den Unterrichtsgang und die Übertragbarkeit des Experiments auf die natürlichen Vorgänge (vgl. auch vorheriges Zitat LF5, Pos. 34f):

B2: Erst mal haben wir ja nur das Oberthema gekannt, also nur die Überschrift mit Photosynthese und Zellatmung. Ich persönlich konnte mit Zellatmung gar nichts anfangen zu Beginn. Wir haben uns dann erst mit einigen Beispielen angenähert, wie mit dem Läufer, dem Feuer und dem Baum in der Sonne. Wir sind dann übergegangen auf das Modellexperiment. Das haben wir uns angeschaut und erst mal versucht, darin sicher zu werden und zu probieren - also zu wissen, was da vorgeht und wie das abläuft. Dann sind wir übergegangen und haben versucht, das auf die Photosynthese und die Zellatmung zu übertragen. Wir wussten halt dann genau, wie das Modellexperiment funktioniert, sodass wir das relativ einfach auf die Photosynthese und Zellatmung, also auf diesen Vorgang, übertragen können. Dann haben wir das nochmal durch die chemischen Vorgänge vertieft. (LF4, Pos. 19).

Eindrucksvoll war in diesem Zusammenhang für die Lernenden, dass das Experiment nicht nur mit künstlichem Licht, sondern auch mit dem natürlichen Sonnenlicht funktionierte, wie auch die Tatsache, dass aus dem vereinfachten Experiment Schlüsse gezogen werden, die komplexe natürliche Vorgänge zugänglich machen. In Auszügen aus verschiedenen LF wird dieses offenkundig, wie in diesen fünf ausgewählten:

B2: Ich fand es auch sehr erstaunlich, dass man einen eigentlich so komplexen Vorgang in der Natur damit so gut darstellen kann. Also mit einem Versuch, der eigentlich relativ einfach ist. (LF1, Pos. 45)

B3: Vor allen Dingen, dass man das dann nachher auch auf die Natur beziehen konnte [B1: Ja (zustimmend)] [[B2: Ja, weil es so dann einfach war]]. (LF2, Pos. 23).

„B3: Ich fand interessant, dass - Also wir haben ja erst im Modellexperimentiert, was da passiert und dann fand ich spannend, dass das genauso in der Natur umgesetzt wird. Wir haben das ja mit Sonnenlicht getestet und nicht nur mit blauem Licht. Das hat ja dann auch geklappt und in der Natur hat es ja auch mit Sonnenlicht geklappt, das hatten wir ja vorher besprochen und haben dann unsere Hypothesen nachgewiesen. (LF3, Pos. 25)

B2: Ja, für mich war es am Anfang auch etwas komisch, weil ich noch nicht so ganz wusste, wie das funktioniert. Also, wenn man mit der Lampe daran leuchtet, dass sich dann halt die Farbe verändert. Das Experiment, fand ich, hat mir richtig geholfen auch für die weiteren Schritte. Dass man das auch auf die Natur und so übertragen konnte. B3: Ja (zustimmend). B1: Ja, sehe ich eigentlich genauso. (LF5, Pos. 35-37)

Diese durch das Experiment erforschbaren und im Unterrichtsgespräch thematisierten Zusammenhänge waren final hilfreich, den Bezug von Experiment zu den natürlichen Vorgängen zu erkennen. Damit einher geht das Erschließen der Zusammenhänge zwischen Photosynthese und Zellatmung:

I: Okay. Welcher Teil hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] hat denn dafür gesorgt, dass du sagst, die Dinge hängen logisch zusammen?

B2: Ich würde sagen das Lichtexperiment. Das war für mich einleuchtend für diesen Zusammenhang.

B3: Bei mir war es genauso wie bei B2. Ich habe die Zellatmung und die Photosynthese in der ersten Mindmap auch komplett getrennt. Dann fand ich das Experiment hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch], was wir mit den Taschenlampen gemacht haben, sehr einleuchtend. Dadurch haben wir den Kreislauf ausgefüllt, haben alles besprochen und dadurch habe ich dann auch herausgefunden, dass Photosynthese und Zellatmung beide zusammenhängen und alles ein Ablauf ist, der immer wieder vorkommt.

B1: Ich fand auch, dass der Versuch mit dem Photo-Blue-Bottle geholfen hat, beide Themen zu verknüpfen. (LF3, 43ff).

Es zeigt sich den Aussagen der Schüler*innen zufolge, dass noch kein SuS chemische Experimente kennengelernt hat, die durch Licht angetrieben (vgl. Codes: s.o.) werden. Im Wortlaut der Lernenden aus Gruppe 5:

B3: Weil man strahlt einfach nur was an - Und es verändert sich. Das ist so [[B1: Einfach nur Licht, das ist]] [[B2: Das erwartet man nicht]] Ja. Man denkt, dass man da Chemikalien zusammenmischen muss und alles Mögliche [[B2: genau]]. Da strahlt man es einfach nur an und dann verändert sich die Farbe, das sieht man ja auch nicht sooft. (LF5, Pos. 45).

Dabei wird formuliert, dass Unklarheit bzw. wenig Wissen bzgl. der Korrelation zwischen Spektralfarbe und Energie herrscht, dass also die Lichtfarbe ein entscheidender Faktor für das Antreiben der Reaktion ist:

B2: Ich fand das sehr interessant, dass die unterschiedlichen Farben unterschiedliche Wirkungen auf die Substanz haben und, dass man bei dem Lichtspektrum bei den Farben unterscheidet mit der Energiehaltigkeit. (LF3, Pos. 19)

B2: [...] Mir war da auch noch nicht klar, dass die einzelnen Lichtformen, also die Spektralfarben, eine unterschiedliche Energie freisetzen können. Da habe ich nicht dran gedacht. Dann haben wir das probiert und es hat dann geklappt, aber wir hatten nur einen größeren Eindruck - Also wir hatten noch nicht das Feine, dass durch das rote und das grüne Licht – (-) Dass dadurch die Verfärbung nicht zustande kommt“ (LF4, Pos. 25)

10.10.1.3 Fokus: Lichtspektrum

Beim Erkennen des Zusammenhanges zwischen Lichtfarbe und Energie hat das zur Verfügung gestellte Lichtspektrum (vgl. Code: s.o.; Lichtspektrum) geholfen, aber auch der Weg aus dem Labor in die Natur, d.h. das Durchführen nicht nur mit dem farbigen oder weißen Licht der Taschenlampen, sondern auch mit dem weißen Sonnenlicht. Zur Illustration dienen zwei längere Exzerpte. Das erste entstammt LF1 und hebt hervor, dass das Lichtspektrum hilfreich war, um das forschende Experimentieren gedanklich zu strukturieren, da es als Gedankenanstoß dient:

I: Mhm (zustimmend). Noch eine Sache hier vorne. Ich habe ja noch das Spektrum des weißen Lichtes in farbiger Form reingegeben [verweist auf das Material].

B1: Bei unserer Gruppe hat uns das schonmal auf die Idee gebracht zu gucken, welches Taschenlampenlicht zu dem Lichtspektrum passt. Dann haben wir schonmal geguckt, welches Taschenlampenlicht eine hohe Energie und welches eine niedrige Energie hat. Dann konnte man schon mal Vermutungen für das Ergebnis aufstellen, wie es dazu kommt, dass es diesen Farbumschlag gibt.

B3: Ich denke auch, dass wir in der Gruppe so angefangen haben, dass wir geguckt haben, welche Farbe der Taschenlampe ist jetzt höher als die gelbe Energie. Wir wollten ja die Energie antreiben von dem Gelben und dann haben wir geguckt, welche Farbe die Taschenlampe hat, die höher als die gelbe Energie ist.

B2: Ich finde so konnte man auch gut ausprobieren, ob dann was passiert, wenn man Licht mit einer niedrigeren Energie benutzt, oder halt einer höheren. (LF1, Pos. 68-71)

Allerdings wird im Beitrag von B3 auch deutlich, dass das Lichtspektrum sowohl auf das Licht der Taschenlampe, wie auch den Farbeindruck der Lösung bezogen wird. Dieses wird unten an anderer Stelle wieder aufgegriffen.

Das zweite Exzerpt wurde LF3 entnommen. Hier wird die Bedeutung des Testens auch im natürlichen Umfeld, also mit dem natürlichen Licht der Sonne, deutlich:

B3: Ich fand interessant, dass - Also wir haben ja erst im Modellexperimentiert, was da passiert und dann fand ich spannend, dass das genauso in der Natur umgesetzt wird. Wir haben das ja mit Sonnenlicht getestet und nicht nur mit blauem Licht. Das hat ja dann auch geklappt und in der Natur hat es ja auch mit Sonnenlicht geklappt, das hatten wir ja vorher besprochen und haben dann unsere Hypothesen nachgewiesen.

I: Mhm (zustimmend). Wollt ihr auch etwas dazu sagen (spricht B1 u. B2 an)? Oder etwas ergänzen? (-)

B1: Ich fand auch gut, dass wir das am Ende nochmal mit dem Sonnenlicht gemacht haben. Wir haben das ja letzte Stunde auch nochmal gemacht und da hatte man nochmal den Zusammenhang. Das war auch etwas Wichtiges. (LF3, Pos. 25-27)

10.10.1.4 Fokus: Arbeitsblatt „2018_ws2“

Vielfach genannt wird die große Bedeutung des Arbeitsblattes (vgl. Code: s.o.; AB Kreisläufe, Wertvolle Aspekte; es ist im Anhang A10.1 unter dem Titel „Materialien 2018: Worksheet 2 (ws2)“ abgelegt) für das Inhaltsverständnis genannt, mithilfe dessen die Erkenntnisse aus dem Versuch zunächst bzgl. des Modellexperiments gesichert und dann auf die natürlichen Prozesse übertragen wurden. Erst dann wird aus Lernenden-Sicht eindeutig die Verbindung zwischen Modell- und Naturvorgängen hergestellt, wie auch die Verbindung Photosynthese und Zellatmung. Im ersten der drei LF-Exzerpte wird diese Parallelität thematisiert, wie auch die unterschiedlichen Verknüpfungsaspekte:

B3: Ich glaube, da haben wir auch das erste Mal wirklich Photosynthese und Zellatmung verbunden. Wir haben diesen Zyklus analysiert, wo z.B. tiefe Energie oder hohe Energie herrscht. Dann haben wir diesen Zyklus aufgebaut mit Reduktion und Oxidation.

I: Wie war das für euch, als wir damit gearbeitet haben?

B1: Ich fand dieser Vergleich war sehr aufschlussreich, weil man geguckt hat, was in diesem Experiment gleich ist und was in der Natur gleich funktioniert. Das war interessant.

(LF1, Pos. 39-41)

Im zweiten Exzerpt wird die Bedeutung des gemeinsamen Besprechens mithilfe der zyklischen Abbildungen aufgeworfen. Einerseits werden für B2 damit inhaltliche Unklarheiten geklärt, die auch mit dem Modellexperiment zu tun haben. Andererseits hebt B1 die allgemeine Bedeutung dieses Vorgehens für das inhaltliche Verständnis hervor:

B2: [...] Man hatte das gleiche Experiment und hat damit nochmal die Zellatmung getestet. Da kam es dann zu Unklarheiten für mich.

I: Wie haben sich dann die Unklarheiten geklärt?

B2: Im Endeffekt dadurch, dass man dann einfach das chemisch genau besprochen hat. Da wurde dann klar, dass man den Sauerstoff braucht um wieder den energiereichen Stoff in den energiearmen Stoff umzuwandeln.

I: Ok, also du meinst dieses Energieschema mit dem beiden Kreisläufen? [[B2: Genau]] Das hat die beiden Aspekte zusammengebracht?

B2: Ja, weil vorher wusste ich nicht, warum wir gar keinen Sauerstoff darin haben wollen und was das nachweisen soll. Mit Photosynthese war es von Anfang an klar, aber mit Zellatmung waren Unklarheiten.

I: Würdest du jetzt sagen, dass das für dich jetzt klar ist?

B2: Ja, auf jeden Fall.

I: Würdet ihr das auch sagen (spricht B1 und B3 an)?

B3: Ja (zustimmend).

B1: Dass wir nach dem Experiment nochmal auf theoretischer Weise besprochen haben und dann nochmal auf einer Abbildung, das hat alles noch einmal klarer gemacht fand ich. (LF3, Pos. 78-88)

Im dritten Exzerpt sprechen die SuS ebenfalls wie B1 aus LF1 an, dass hier Bezüge zwischen Modell und Natur hergestellt werden und dass es zu einem besseren Verständnis gereicht (vgl. auch B1 in LF3):

B2: Dieses Arbeitsblatt da vorne [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Da war halt so ein Zyklus oder so ein Kreislauf. Wir haben mit Hilfe des Experimentes, was wir mit den kleinen Glasfläschchen und der Lösung gemacht haben, konnten wir durch unsere Beobachtungen diesen Kreislauf ausfüllen. Mit ein bisschen Nachdenken konnten wir das mit ein paar anderen Begriffen auf die Natur übertragen. Das fand ich gut, dass wir das mit dem Experiment auf die Natur übertragen konnten und dass wir das so gut und so schnell verstehen konnten.

B1: Das hat es sehr anschaulich gemacht.

B2: Dadurch konnte man auch viel besser verstehen, wie das eigentlich mit dem Licht funktioniert. (LF5, Pos. 47-49)

Aus SuS-Sicht nimmt dieses Arbeitsblatt also eine zentrale Bedeutung ein, da erst mithilfe dieses Materials die genannten Verbindungen geknüpft und so ein inhaltliches Verständnis möglich wird. Es kann somit als Kristallisationspunkt für notwendige inhaltliche Verbindungen verstanden werden.

10.10.1.5 Fokus: Licht-Akku

Der Licht-Akku (vgl. Code: ‚Licht-Akku‘, Wertvolle Aspekte) bietet aus Lernenden-Sicht Einblicke in energetische Zusammenhänge, wie es z.B. hier formuliert wird:

B3: Damit haben wir ja bewiesen, dass in dem Blauen mehr Energie vorhanden ist, als in dem Gelben. Das war ja schon noch recht wichtig, weil wir ja von Anfang an davon ausgegangen sind, dass das Blaue energiereich ist.

B1: Das wiederum konnte man ja auch wieder auf die Natur übertragen, [[B2: Ja (zustimmend)]] also war das schon ganz wichtig. (LF2, Pos. 26-27)

Auch wird deutlich, dass das Einstrahlen von einem Licht bestimmter Wellenlänge, d.h. energiereiches Licht, notwendig ist, jedoch wird übersehen, dass die Spannung auch nach dem Einstrahlen nicht zusammenbricht:

B2: Also mit dem Experiment haben wir dann nochmal unsere Hypothesen bestätigt, dass wir eine Substanz vorliegen haben, die energiereich oder energiearm ist. Je nachdem, ob energiereiches Licht darauf scheint, oder nicht. (LF3, Pos. 29)

Ein tieferes Verständnis dieses Teils des Modellexperiments wurde nicht anvisiert, es verwundert deshalb nicht, dass Schüler*in B3 sagt: „Man hat es zwar ein bisschen verstanden, aber man ist jetzt nicht tiefer darauf eingegangen. Das zu sehen war aber mal ganz gut“ (LF2, Pos. 25). Die Lernenden-Aussagen zeigen neben der oben genannten Schwierigkeit außerdem, dass das Experiment möglicherweise überinterpretiert wird, also in einzelnen Fällen viel zu allgemeine interdisziplinäre Verknüpfungen angedeutet werden:

B1: Es zeigt auch nochmal, dass alle Ebenen verknüpft sind. Nicht nur die biologische, sondern auch die biologische und physikalische - mit dem Multimeter, das man da auch messen kann. Alles hängt zusammen und Photosynthese ist nicht nur ein biologisches Thema. (LF4, Pos. 47)

10.10.1.6 Fokus: Lückentext

Der Lückentext (vgl. Code: Lückentext, Wertvolle Aspekte) wird positiv aufgenommen. Anfänglich werden Schwierigkeiten mit dem Ausfüllen benannt, die jedoch schnell überwunden wurden (z.B. LF1, Pos. 47). Die Lernenden formulieren, dass diese Aufgabe hilfreich in Bezug auf eine finale inhaltliche „Zusammenfassung“ (z.B. LF4, Pos. 30, vgl. LF5 Pos 59) bzw. „richtig gut zur Wiederholung [war]“ (LF5, Pos. 59, vgl. LF1, Pos. 49). Auch wird positiv genannt, dass die Anwendung der Fachtermini in einem Textzusammenhang sinnvoll ist (vgl. LF4, Pos 30, vgl. LF1, Pos 49).

10.10.1.7 Fokus: Video

Die Aussagen zum Einsatz des Videos (vgl. Codes: Video, Schwierigkeiten) sind von einigen Schwierigkeiten mit diesem Lehr-Lern-Material gekennzeichnet. Es wird offenkundig, dass die inhaltlich-sprachliche Dichte einige SuS überfordert. Sie räumen zwar teils positiv ein, dass das „Video nochmal komplexer“ (LF1, Pos. 61) die Inhalte des Experimentes erklärt und eine gute Struktur (vgl. LF4, Pos. 52) aufweist und „sehr anschaulich“ (LF3, Pos. 35) ist. Allerdings überwiegen deutlich Aussagen, die das Video insgesamt als „am kompliziertesten“ (LF2, Pos 66) und schwierig ansehen:

B3: Man konnte es sehr schwer verstehen, weil da auch so viele Fachbegriffe dabei waren, die man auch im Film nicht unbedingt rausgehört hat. [[B1: Ja (zustimmend)]] [[B2: Ja, genau]]. (LF2, Pos. 18)

Beim ersten Mal war das Video wirklich verwirrend, weil da so viele chemische Begriffe auf einmal waren, sodass man richtig überlegen und es sich behalten musste. Deswegen haben wir das Video zweimal angeguckt, sodass wir dann auch die Aufgaben auf dem Blatt relativ gut lösen konnten. (LF5, Pos. 67)

Das dazugehörige Arbeitsblatt wurde vereinzelt angesprochen, dann auch als inhaltlich dicht (vgl. LF5, Pos.69) und aufgrund fehlenden Vokabulars auch als „schon schwieriger“ (LF6, Pos. 68). Insgesamt wird deutlich, dass es auch zeitliche Gründe waren, die für die SuS das Arbeiten mit dem Video erschwert haben, befand sich diese Aktivität ja ganz am Ende der Reihe und dort wurde die Zeit etwas knapp (vgl. z.B. LF4, Pos. 51).

10.10.1.8 Fokus: Scaffolding

Das Scaffolding-Angebot (vgl. Codes: Scaffolding: Vokabelliste; Änderungsbedarf; Wertvolle Aspekte; Verbesserungsvorschläge) in Form von Satzanfängen (chunks) und Vokabellisten wurde häufig kommentiert und als durchgehend hilfreich angesehen. Es stellt sich heraus, dass die Lernenden es als sinnvoll für das Auffinden und Verwenden von Fachvokabular (vgl. z.B. LF1, Pos. 64f, LF3, Pos. 19) und allgemeinem Vokabular (vgl. z.B. LF1, Pos. 96, LF3, Pos. 19, LF5, Pos. 61 und 113) einschätzen, wie auch bei der Aussprache (vgl. LF5, Pos. 64). Die Hilfsmittel werden von Lernenden als umfangreich genug für die zu bewältigenden Lehr-Lern-Situationen angesehen, was sie auch aktiv formulieren:

I: Ok, jemand hat die Vokabelhilfen angesprochen. Würdet ihr da auch noch etwas verändern?

B3: Nein, würde ich nicht sagen. Die waren eigentlich alle ziemlich hilfreich [[B2: Und auch ausreichend]]. Auch ausreichend, genau. Man brauchte jetzt nichts über den Horizont hinaus.

I: Da habe ich nochmal eine Nachfrage. Gab es denn Situationen, wo man noch hätte noch mehr Vokabelhilfe haben können? Wie würdet ihr euch das vorstellen, wenn das der Fall wäre? (6s)

B3: Wenn man hätte etwas gebrauchen können, hätte man die ja vielleicht an den Rand legen können, also die Vokabeln. Und man hätte dann hingehen können, um sich welche zu holen [[B2: Ja, oder einfach zu fragen]] Ja gut, das kann man natürlich auch machen. Das wäre einfacher (LACHEN). (LF2, Pos. 68-71)

Die chunks helfen dann beim englischsprachigen Austausch und der Sprachproduktion („Ja, wenn wir zum Beispiel über das gesprochen haben, was passiert ist, dann haben die Zettel mit den Sätzen sehr gut geholfen.“ (LF5, Pos. 63, vgl. auch LF4, Pos. 35 und LF1, Pos. 63 sowie LF4, Pos. 44)) und bei der Ergebnispräsentation (vgl. LF5, Pos. 65). Ähnliches formuliert Schüler*in B3 aus Gruppe 3:

B3: Zu Beginn war es neu für mich. Vor allem die chemischen Begriffe musste man lernen, aber dafür hatte man ja auch die Vokabelliste, was ich sehr gut fand. Deswegen hat das alles gut harmoniert und man konnte die Sätze plus die Begriffe anwenden und gut auf Englisch sprechen. (LF3, Pos. 55)

10.10.1.9 Fokus: Epistemisches Schreiben

Das Material zum Reflektieren der Unterrichtsstunden mit dem Titel Was ich gelernt habe (vgl. Codes: ‚Was ich gelernt habe‘; Wertvolle Aspekte; Verbesserungsvorschläge) wird nur in wenigen Fällen kommentiert. Wenn, dann sind die Aussagen dazu eher positiv, wie in diesen Fällen:

B3: Ich fand auf jeden Fall, das "Was ich gelernt habe", was wir immer bekommen haben, sehr gut. Dann konnte ich das zuhause nochmal reflektieren und meine Gedanken ordnen. Ich fand das sehr gut und es hat mir auch geholfen.

B2: Das hat mir auch gut geholfen. Ich fand es auch gut, dass wir das in einer relativ kleinen Zeitspanne - Also, dass die Stunden relativ nah aneinander lagen, weil man dann alles noch aus der letzten Stunde wiederholt hat, indem man etwas weitergegangen ist. Mit diesem Blatt hat man dann die Stunde abgeschlossen. (LF5, Pos. 101-102)

Der hilfreiche Charakter wird auch an anderen Stellen hervorgehoben, allerdings mit dem Hinweis, es eher seltener bzw. zum Abschluss eines Teilthemas einzusetzen (vgl. LF4, Pos. 34f). Dies wird mit der Motivation der Lernenden begründet, sich ausführlicher dem Arbeitsblatt zu widmen:

B2: [...] Ich denke, dass vielleicht manche auch die Lust verlieren, sowas auszuformulieren. Ich finde, sowas ist schon wichtig, so eine Zusammenfassung zu haben. Gerade, wenn man für Klausuren lernt, kann man sich das nochmal anschauen und hat einen Überblick. Das finde ich schon wichtig. Nach so einem Teilthema [[B3: Ja, weil nach jeder Stunde ist das dann zu viel]]. Ja, genau. (LF4, Pos. 34)

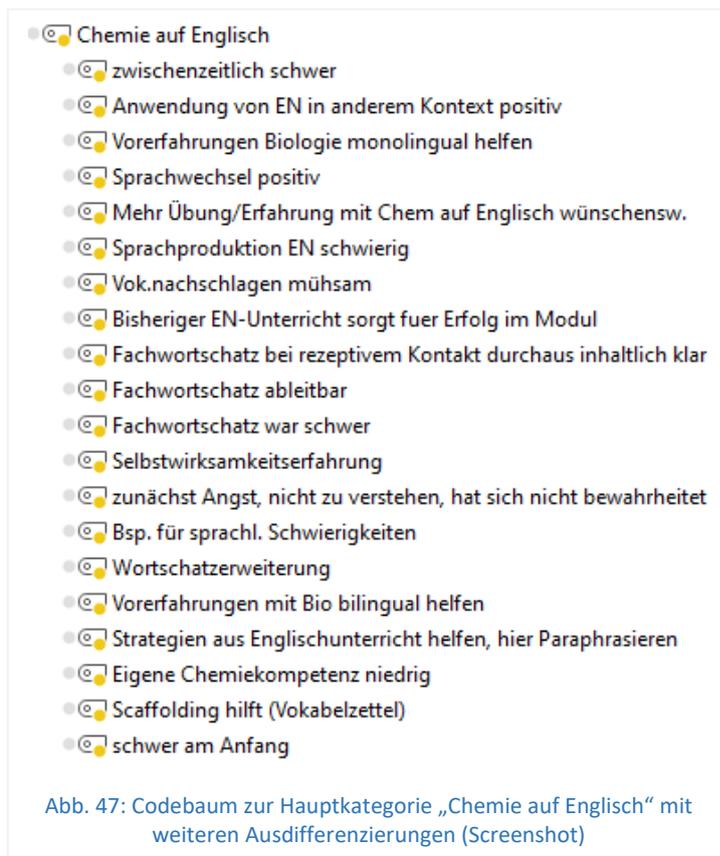
10.10.1.10 Fokus: Allgemeine Moduleinschätzung

Nicht zuletzt soll auf die Sichtweise der Lernenden auf das Gesamtmodul eingegangen werden. Es hängt eng mit der Unterrichtsanlage und dem –material zusammen und wird deshalb an dieser Stelle integriert. Viele Aussagen in den LF verdeutlichen positive oder einschränkend positive Haltungen (vgl. Codes: Allgemeine Moduleinschätzung/positiv, Allgemeine Moduleinschätzung/einschränkend positiv, Unterrichtsanlage). Dieses spiegelt sich auch in der schriftlichen start-stop-continue-Abfrage wider (vgl. Codes: positive Moduleinschätzung, negative Moduleinschätzung in Anhang A10.9). Eine deutliche Mehrheit, 13 von 16 Versuchspersonen, schätzt das Modul positiv ein. Auch die Proband*innen aus der EUR-Gruppe schätzen das Modul mehrheitlich positiv ein. Eine Darstellung findet sich in Kap. 13.1.

10.10.1.11 Zusammenfassung:

In Bezug auf die Unterrichtsanlage und Material kann zusammenfassend festgehalten werden, dass sich die Versuchspersonen dazu durchaus positiv äußern. Hervor sticht die Bedeutung des forschenden Experimentierens wie auch die Erstkontakte mit lichtinduzierten chemischen Reaktionen. Es wird deutlich, dass die SuS ob des Einflusses des Lichts überrascht sind und dass sehr wenig belastbares Wissen dazu vorliegt. Problematisch werden der Einsatz des Videos und der damit verbundene zeitliche Rahmen eingeschätzt. Auch Äußerungen, die schriftlich und anonym erfolgen, unterstützen dieses deutlich (vgl. Start-Stop-Continue-Evaluation). Das Scaffolding-Material wird als positiv angesehen, und zwar in Bezug auf rezeptiven wie produktiven Sprachgebrauch. Eine zentrale Funktion nimmt für das Verständnis des Modellexperiments das Arbeitsblatt 2018_ws2 ein. Aus dem Material (sowohl in den „öffentlichen“ LF mit dem Lehrer, wie auch in den „privaten“ schriftlichen start-stop-continue-Rückmeldungen) wird eine große positive Haltung zum Modul offenkundig. Nach dieser Zwischenzusammenfassung werden, wie oben bereits erwähnt, weitere Trends auf Basis der SuS-Antworten herausgearbeitet.

10.10.2 Fokus: Chemiemodul in englischer Sprache



Die Tatsache, dass das **Chemiemodul in englischer Sprache** (vgl. Code: Chemie auf Englisch) erteilt wurde, sorgte bei einigen SuS zunächst für Vorbehalte. So wird vereinzelt „Angst“ vor sprachlichen Hürden formuliert, die dafür sorgen könnte, dass die SuS Inhalte nicht verstehen und deshalb nicht am Unterrichtsgeschehen teilhaben können (vgl. LF2, Pos. 29, LF4, Pos. 80). Diese Angst legte sich jedoch, wie diese Aussagen der entsprechenden SuS dokumentieren:

B1: [...] Eigentlich war aber alles recht klar und ja, mir hat es wirklich gut gefallen. Das war eine neue Erfahrung. (LF2, Pos. 53)

B1: [...] Es wurde auch verständlich erklärt und man hatte verständliche Begriffe. Es hat auch eigentlich jeder Partner verstanden, mit dem man geredet hat, weil alle ungefähr auf der gleichen Ebene waren mit der englischen Sprache und es verständlich war. (LF4, Pos. 80)

Bei der Bewältigung des Unterrichts wird häufig auf das teils direkt als „hilfreich“ (LF2, Pos. 69) bezeichnete Scaffolding-Material verwiesen (vgl. auch z.B. LF3, Pos. 57), wobei das Nachschlagen auch als mühsam eingeschätzt wird (vgl. z.B. LF3, Pos. 60). Auch helfen sich die Lernenden untereinander (vgl. z.B. LF2, Pos. 72). Vorerfahrungen aus dem Englischunterricht und den dort vermittelten Strategien wie das Paraphrasieren sind dienlich (vgl. z.B. LF1, Pos. 91, LF45, Pos. 112), ebenso wie Erkenntnisse aus dem bilingualen Biologieunterricht (vgl. z.B. LF2, Pos. 55, LF3, Pos. 58).

Deutlich positiv wird vereinzelt die Tatsache bewertet, die eigenen Englischkompetenzen in einem Bereich außerhalb des regulären Englischunterrichts anzuwenden (vgl. z.B. die Aussagen von B1-B3 in LF1, Pos. 89-94) und sich in diesen neuen Anwendungssituationen zu überwinden zu lernen. Dies mündet in einer positiven Selbstwirksamkeitserfahrung:

B1: Ich hatte zum Beispiel noch gar keinen bilingualen Unterricht in Biologie oder Erdkunde. Es hat trotzdem sehr viel Spaß gemacht. Ich fand es hat auch - die Überwindung dann zu überbrücken, dass man wirklich auch im Unterricht was erklären konnte, oder an der Tafel bzw. Ihnen was zu erklären. Weil man nicht wusste, "Wie formuliere ich das?", "Gibt es ein anderes Wort, das genauer wäre?", "Kann ich das so sagen?", "Geht das?". Wenn man diese Überwindung geschafft hatte, war das schon ein gutes Gefühl. (LF4, Pos. 83)

10.10.3 Fokus: Wertvolle Aspekte und Lernertrag

Als **wertvolle Aspekte** (vgl. Code: Wertvolle Aspekte, Unterrichtsanlage) werden besonders häufig die Erkenntnisse aus dem Modellexperiment über die Natur (vgl. LF1, LF2, LF4), das (forschende) Experimentieren auch in Bezug auf das PBB-Experiment (vgl. LF1, LF2, LF4, LF5) sowie das Arbeitsblatt zur Zusammenführung von Modellexperiment und natürlichen Vorgängen genannt (vgl. LF1, LF4, LF5).

Gruppe 3 stellt die Unterrichtsanlage als wertvoll heraus, wie auch das Aktualisieren und Vertiefen von einem bereits anteilig bekannten Thema (vgl. LF3, Pos. 23, 50f).

Sehr viele SuS schätzen den **Lernertrag** (vgl. Codes: Lernertrag, Unterrichtsanlage) als hoch ein (vgl. LF1-5). Dabei wird der Lernertrag neben der inhaltlichen Bedeutung auch auf das Lernen von Fachtermini bezogen (vgl. z.B. LF4, Pos. 94, 99) – insbesondere aber auf „diese Kombination aus dem Theoretischen und dem Praktischen“ (LF5, Pos. 124). Dieses wird durch folgende Aussagen illustriert:

B3: Ich fand auch der Lernertrag war ziemlich hoch für sechs Stunden. Vor allem auch, weil mir das Thema, durch die ganzen Experimente verbunden mit dem Zettel mit dem Vergleich des Experimentes und dem naturellen Vorgang, relativ leichtgefallen ist. Deswegen fand ich das ziemlich gut. (LF1, Pos. 109)

B2: Ich werde da eher sehr viel von behalten, weil das etwas komplett anderes war. Ich denke, dass es mir dadurch in Erinnerung bleibt. Vor allem noch detailreicher als andere Sachen. Ich glaube, ich kann mich da auch länger dran erinnern. Vielleicht auch dadurch, dass es auf Englisch war. Dadurch ist das anders verknüpft. Auf jeden Fall glaube ich, dass mir das besser in Erinnerung bleiben wird, wie vielleicht ein anderes Thema. (LF4, Pos. 92)

10.10.4 Fokus: Schwierigkeiten und Verbesserungsvorschläge

In Bezug auf **Schwierigkeiten** (vgl. Code: Schwierigkeiten) wird vereinzelt das Thema Zellatmung genannt, da dieser Begriff erst im Zuge des Moduls inhaltlich gefüllt werden konnte (vgl. LF1, LF4), so dass dann auch eine Verbindung zur Photosynthese (vgl. LF3, LF4) oder eine Verbindung zu den Einstiegs-Bildern (vgl. LF4) möglich war. Ebenfalls wird das Video als kompliziert angesehen (vgl. LF1, LF2) und mehr Zeit für das Bearbeiten der dazu gehörigen Aufgaben erbeten (vgl. LF5).

Als **Verbesserungsvorschlag** (vgl. Code: Verbesserungsvorschläge) wird formuliert, dass alle formulierten Hypothesen auch per unterrichtlichem Chemieexperiment überprüft werden sollten:

B1: Also, wenn man jetzt bei dem Thema Photosynthese und Zellatmung bleiben würde - Ich weiß nicht genau, was man da noch für Experimente machen könnte - Aber ich würde vielleicht noch ein ähnliches Experiment oder ein zweites Experiment dazunehmen. Ansonsten hat es mir eigentlich gefallen.

I: Kannst du sagen, was du damit meinst, ein ähnliches, oder ein zusätzliches Experiment? Ich glaube du hast da etwas im Hinterkopf, was du vielleicht noch erläutern könntest?

B1: Ich habe jetzt kein explizites Experiment, aber vielleicht wird einem an einem anderen Experiment der Zusammenhang klarer.

I: Der Zusammenhang zwischen was meinst du?

B1: Zwischen Theorie und Praxis.

I: Was meinst du mit Theorie und Praxis? Man kann da so viele Dinge mit verbinden, deswegen frage ich gerade.

B1: Die Thesen und Hypothesen, die wir zu Beginn aufgestellt haben, dass wir das dann noch einmal gründlich durch Experimente widerlegen können. (LF3, Pos. 69-75)

Weitere Verbesserungsvorschläge betreffen das Video und das damit verwendete Arbeitsblatt. Manchen Lernenden waren die verwendeten Abkürzungen, z.B. für den Photokatalysator Proflavin, unklar (vgl. LF4, LF5). Ferner wird der Wunsch geäußert, das Video zu vereinfachen, es vertiefter zu besprechen oder gar herauszunehmen (vgl. LF2, LF4). Auch wird genannt, gemeinsam Vokabelübersichten anzufertigen (vgl. LF4) und es wird kontrovers diskutiert, schriftliche Texte zum Abschreiben vorzugeben (vgl. *ibid.*).

An einer Stelle wird geäußert, dass die starke Vereinfachung des PBB-Experiments, d.h. die teilweise Abbildung von Photosynthese und Zellatmung in einem einfachen Experiment, zu „Unklarheiten“ (LF3, Pos. 79) führt. Ein weiteres Experiment könnte erdacht werden, um dem vorzubeugen:

I: Ok. Gibt es noch etwas anderes, was das Experiment sozusagen außen vor lässt? Also etwas, das man noch klären müsste?

B2: Ich fand, dass bei der Photosynthese klar war, dass Licht auf eine energiearme Substanz scheint und dadurch dann ein energiereicher Stoff entsteht. Für mich war dann die Zellatmung - Da hätte man vielleicht nochmal ein "Extra-Experiment" machen sollen, weil der Unterschied zwischen den Experimenten war nicht so klar. Man hatte das gleiche Experiment und hat damit nochmal die Zellatmung getestet. Da kam es dann zu Unklarheiten für mich.

I: Wie haben sich dann die Unklarheiten geklärt?

B2: Im Endeffekt dadurch, dass man dann einfach das chemisch genau besprochen hat. Da wurde dann klar, dass man den Sauerstoff braucht um wieder den energiereichen Stoff in den energiearmen Stoff umzuwandeln. (LF3, Pos. 78-81)

10.10.5 Fokus: Aussagen in Bezug auf das Modellexperiment

Die Lernenden treffen auch Aussagen, die Aspekte des **Modellexperimentes** (vgl. Code: Modellexperiment) anschnitten. Vereinzelt treten dahin gehend Auffälligkeiten auf. So wird die **Substratfarbe** zwar als blau angegeben, doch die Beobachtungen sind eine Färbung ins Dunkelgrüne, was stets eine Reflektion auf SuS-Seite erfordert, wie die Aussage von B1 aus Gruppe 5 unterstreicht:

Wenn man zum Beispiel UV-Licht benutzt hat, dann wurde die Farbe so - ich glaube das Endergebnis sollte blau sein - dunkelgrün, weil die Flüssigkeit ja gelb ist. Wir haben auch gemerkt, dass, wenn man das auf eine Herdplatte gestellt hat, dass es sich dann nicht verändert hat. (LF5, Pos. 29)

An wenigen Stellen tritt zu Tage, dass manche SuS im Umgang mit dem **Lichtspektrum** nicht vertraut sind. In einer Diskussion in Gruppe 1 manifestiert sich, dass sowohl aus der Farbe des aufgestrahlten Lichtes wie auch aus der wahrgenommenen Farberscheinung der vorliegenden Lösung eine Aussage über den Energiegehalt des Lichtes an sich und zusätzlich über den der Lösung getroffen werden kann (vgl. auch den Absatz zum Lichtspektrum oben):

B3: Wir haben ja auch vorher so eine Skala bekommen mit verschiedenen Einzeichnungen der Färbung und ob die hoch in der Energie sein sollten oder eben niedrig. Die Skala hat ja schon gezeigt, dass die Gelbe ziemlich mittig angeordnet war und die Blaue ziemlich hoch. Die Blaue sollte also auf jeden Fall höher in der Energie sein und das Experiment hat dies eben noch bestätigt.

B2: Ja, ich fand das auch gut. Vorher wird halt nur gesagt, dass in der blauen Flüssigkeit sozusagen mehr Energie ist. So konnte man das wirklich nochmal sehen und man wurde auch bestätigt.

[...]

B1: Bei unserer Gruppe hat uns das [zur Verfügung gestellte Lichtspektrum, RB] schonmal auf die Idee gebracht zu gucken, welches Taschenlampenlicht zu dem Lichtspektrum passt. Dann haben wir schonmal geguckt, welches Taschenlampenlicht eine hohe Energie und welches eine niedrige Energie hat. Dann konnte man schon mal Vermutungen für das Ergebnis aufstellen, wie es dazu kommt, dass es diesen Farbumschlag gibt.

B3: Ich denke auch, dass wir in der Gruppe so angefangen haben, dass wir geguckt haben, welche Farbe der Taschenlampe ist jetzt höher als die gelbe Energie. Wir wollten ja die Energie antreiben von dem Gelben und dann haben wir geguckt, welche Farbe die Taschenlampe hat, die höher als die gelbe Energie ist. (LF1, Pos. 56f, 69f)

An dieser Stelle wird in den Aussagen von B3 und B2 offenkundig, dass zwei auf Farberscheinungen basierende Phänomene miteinander in nicht tragfähiger Weise vermischt werden, wobei die Aussagen von B1 als fachlich korrekt eingeordnete werden können. Auch die Begrifflichkeiten „Skala“ (vgl. auch den Abschnitt Fachvokabular oben) deuten an, dass der Umgang mit einem Lichtspektrum ein Novum darstellt.

An einer Stelle werden **zusätzliche-Experimente** als wünschenswert angesehen, um Unklarheiten vorzubeugen, die auf starken Verkürzungen des Experiments basieren. Die Vereinfachung, ein Behältnis vorliegen zu haben, in dem sowohl Photosynthese und Zellatmung teilweise abgebildet werden, ist

für Lernende B2 aus Gruppe 3 eine Quelle der Irritation, konnte aber durch die Plenumsbesprechung ausgeräumt werden (vgl. LF3, Pos. 78ff). Aus derselben Gruppe stammt der Vorschlag, weitere Experimente anzubieten, um alle aufgestellten Hypothesen zu überprüfen (vgl. LF3, Pos. 69ff). Ein Vorschlag verweist also direkt auf das PBB-Basisexperiment, der andere zielt auf Versuche ab, die im Zusammenhang mit diesem stehen und eine Weiterführung bedeuten.

Der **Solar-Akku** sorgt für eine Art Verallgemeinerung bei Schüler*in B1 aus Gruppe 4 in Bezug auf die Interdisziplinarität der Photosynthese. Schüler*in B1 scheint, im Gegensatz zu Mitschüler*in B2, den Modellcharakter des Chemieversuches nicht zu abstrahieren:

B2: [...] Es war ja ein Modellexperiment und in der Natur gibt es ja auch Verbindungen mit mehr und weniger Energie gibt.

B1: Es zeigt auch nochmal, dass alle Ebenen verknüpft sind. Nicht nur die biologische, sondern auch die biologische und physikalische - mit dem Multimeter, das man da auch messen kann. Alles hängt zusammen und Photosynthese ist nicht nur ein biologisches Thema. (LF4, Pos. 46-47)

Aus dem Modellexperiment leitet Schüler*in B1 ab, dass das Experiment den Schluss nahe legt, dass das Thema Photosynthese auch physikalisch betrachtet werden kann. Dabei blendet B1 aus, dass das Experiment lediglich die Speicherung von Energie in einer Modellsubstanz simuliert und somit die Natur teilweise abbildet.

10.10.6 Zusammenfassung

Eine zunächst formulierte Angst vor dem Neuen, hier BU Chemie, legt sich, denn die Lernenden erkennen die Bewältigbarkeit der sprachlichen und inhaltlichen Anforderungen. Dabei spielt das als in der Regel wirksam angesehene Scaffolding eine wichtige Rolle wie auch eigene fremdsprachliche und sachfachliche Kompetenzerfahrungen. Als wertvoll angesehen werden eher sachfachliche Inhalte und das vertiefende Lernen. Der Fokus beim Lernertrag liegt auf hohem sachfachlichem Lernen und dem Lernen von Fachbegriffen. Dem Experimentieren wird für das gelungene Lernen ein großer Wert zugeschrieben. Schwierigkeiten beziehen sich zunächst auf die Zellatmung, insbesondere aber auf das Video. Zu Letzterem werden konkrete Verbesserungsvorschläge gemacht. Im Unterrichtsverlauf zeigt sich, dass eine Unvertrautheit mit dem Lichtspektrum vorherrscht. Ferner wird deutlich, dass die Substratfarbe Blau einen Anlass für unterrichtliche Reflexionen bietet. Vereinzelt werden zusätzliche Experimente gewünscht, die an die vorliegenden anknüpfen. Ferner finden es vereinzelt Versuchspersonen schwierig, dass die Prozesse der Photosynthese und Zellatmung durch Vorgänge in einem einzigen Gefäß stattfinden.

10.10.7 Diskussion und Reflexion

Die positiven Einschätzungen geben in Anzahl und Vielfältigkeit Anlass dazu, die grundsätzliche Modulkonzeption zu erhalten. Von ähnlich hohen positiven Zustimmungen zu innovativen modularen Vorhaben im monolingualen Kontext berichten z.B. Eilks (2005) oder Belova/Heckenthaler/Zowada (2020). Für die Erprobung bilingualer Module in der Sek. II konstatiert Hülten (2014), dass alle SuS es interessant fanden. Die Achtklässler*innen in der Erprobung von modularem BU Chemie durch Köhne/Bohrmann-Linde geben an, dass der BU Chemie „angenehmer und nicht deutlich anstrengender [als monolingualer Chemieunterricht ist]“ (2010:48).

Die positiven Einschätzungen in der vorliegenden Studie beziehen sich auf inhaltliche, didaktisch-methodische, sprachliche und motivationale Aspekte. Als besonders bedeutsam wird erachtet, dass die anfängliche Scheu der Versuchspersonen von einer Kompetenzerfahrung im englischsprachigen Setting abgelöst wird. Hier zeigt sich, dass die notwendigen fremdsprachlichen Voraussetzungen im Sinne einer Kompetenzschwelle (vgl. Breidbach 2010, Bohrmann-Linde 2016) von den Versuchspersonen bereits vorhanden sind. Vor diesem Hintergrund setzt das Kompetenzerleben ein, da sich die SuS nicht mehr überfordert fühlen (vgl. Abendroth-Timmer 2010:128). Auffällig sind die positiven Haltungen zum forschenden, eigentätigen Experimentieren und zur Zentralität des Arbeitsblattes 2018_ws2. Diese Erkenntnisse ordnen sich in einschlägige Untersuchungen zu Experimenten im

Chemieunterricht (vgl. Broman/Simon 2015:1270f, Merzyn 2013:37ff, Schulz 2010:39ff) bzw. die Bedeutung des roten Fadens, d.h. die Bedeutung der Inhaltsklarheit und der logischen Unterrichtsstruktur, ein (vgl. Broman/Simon 2015:1268f, Merzyn 2013:40f). Das Erforschen mit (teils zur Verfügung gestellten) Hypothesen und auch das Zusammenführen per Arbeitsblatt 2018_2 ordnet sich in den Kontext von „minds on“-Experimenten (vgl. Hammann/Mayer 2012:284) ein. Die Lernenden-Aussagen lassen darauf schließen, dass diese „instruktionale Methoden“ (ibid.) die SuS kognitiv aktivieren und dass experimentelle Entscheidungen und entsprechende Erträge „gedanklich durchdrungen werden“ (ibid.:285). Die Unvertrautheit des Umgangs mit Lichtspektren und auch die Überraschung ob der unterschiedlichen Lichtqualitäten hebt hervor, dass das vorliegende Modul nur ein Baustein im Bereich „Chemie mit Licht“ sein kann, da die entsprechenden Kompetenzen für diese Vorstellungsinhalte und Handlungsfelder durchaus noch ausbaufähig sind.

Überarbeitungen sind bzgl. des Lehrfilm-Einsatzes notwendig. Auch sind die Aufgaben dazu zu überarbeiten. Die kleineren Schwierigkeiten mit dem Modellexperiment an sich geben Anlass, die Aufgaben zur Modellkritik zu überarbeiten.

Zwar äußern die Lernenden, dass genug sprachliche Hilfen vorhanden sind, doch ist aus Sicht des Autors auch hier eine Überarbeitung notwendig. Das überarbeitete Material sollte reicher annotiert werden. Beibehalten werden soll das situative Scaffolding im Sinne von Wortspeichern.

10.10.8 Fokus: Sprachliche Auffälligkeiten (Code-Switching Deutsch → Englisch)

Im LF werden für sechs englischsprachige Begriffe aus dem Unterricht nicht die korrekten deutschen Äquivalente verwendet, wie Tab. 5 zeigt (vgl. Code: Vokabular). In den Fällen 1, 3 und 4 wird ein nicht äquivalenter Begriff verwendet, in Fall 2 eine Kombination aus ungünstiger mündlicher Formulierung und nicht äquivalentem Begriff, in Fall 5 eine Verallgemeinerung und in Fall 6 eine Paraphrase bzw. eine Verallgemeinerung.

Tab. 5: Fehlerhafter Gebrauch der deutschen Fachsprache in den fünf Leitfadeninterviews

Fall	Engl. Terminus	Dt. Terminus	Verwendeter dt. Terminus	N SuS
1	excited (excited state)	angeregt (angeregter Zustand)	*aufgeregt	1 (5_B3)
2	The energy of blue light is higher than the energy of red light. (auch: high in energy)	Blaues Licht hat eine höhere Energie als rotes Licht.	*hoch in der Energie	1 (1_B3)
3	low energy / high energy	niedrige oder hohe Energie	*tiefe oder hohe Energie	1 (1_B3)
4	natural processes	natürliche Vorgänge	*naturelle Vorgänge	1 (1_B3)
5	vial	Glasfläschchen; Schraubdeckelgläschen	*Glasteilchen	1 (1_B3)
6a)	(a diagram of) the visible light spectrum	(eine graphische Darstellung des sichtbaren Lichtspektrums	a) *eine Skala [...] mit verschiedenen Einzeichnungen der Färbung	2 (1_B3, 5_B2)
6b)			b) *diese[r] kleine[] Schnipsel[]	

Diese Fehlgriffe finden während des Gespräches über das Modul statt und in manchen Fällen stammen sie direkt aus den Beschreibungen der einzelnen Modulschritte, die mithilfe des ausgelegten Materials vorgenommen wurden. Allen gemeinsam ist, dass sie sich inhaltlich-fachlich auf das Material beziehen. Es geht um chemische Vorgänge und zugehörige Hilfsmittel (Fall 1 und 6), verwendetes Labormaterial (Fall 5) und die Beschreibung von energetischen Verhältnissen in Bezug auf Licht (Fall 2 und 6) und exergonische bzw. endergonische Prozesse, die in einem Kreislaufschema in einem Arbeitsblatt darge-

stellt wurden (Fall 3). In diesem Zusammenhang fällt auf: Das Wort *aufgeregt wird nur von einer Person verwendet, und dann vier Mal (vgl. Nr. 1-4 in Tab. LF_01).

Es ist positiv hervorzugeben, dass die drei Lernenden, denen die Fehlgriffe bzw. unidiomatischen Äußerungen unterlaufen, sich stark den englischsprachig vermittelten Unterrichtsinhalten nähern, um auch hierzu auch in deutscher Sprache Stellung zu nehmen und Potentiale sowie Schwierigkeiten des Materials bzw. mit dem Material äußern.

10.10.9 Diskussion und Reflexion

Die Fälle legen nahe, dass den Versuchspersonen die deutschen Bezeichnungen fehlen, um die im englischsprachigen BU Chemie kennengelernten Vorstellungsinhalte korrekt zu versprachlichen. Das wiederholte Falschverwenden besonders bei excited (Fall 1) lässt die Folgerung zu, dass die Versuchsperson das Konzept in der Tat fälschlicherweise als *aufgeregt abgespeichert hat, wobei „angeregt“ korrekt gewesen wäre. Für den fachwissenschaftlich deutschen Kontext ist dieses Wort also als falsch anzusehen. Das Konzept ist somit über die L2 angebunden und ein automatischer Transfer von L2-Speicher in L1-Speicher findet nicht statt. Dies bestätigt den von Diehr (2016:64, 75f) formulierten Zweifel. Die Verwendung von *aufgeregt lässt stark vermuten, dass die Versuchsperson den englischen Terminus excited kennt, allerdings liegt dafür kein zweifelsfreier Beleg vor. Die Vermutung liegt indes nahe, dass der Terminus lediglich im L2-Speicher, nicht doch im L1-Speicher korrekt vorliegt. In dem Fall würde das MHM mit statisch modellierten Sprachspeichern das vorliegende bilinguale mentale Lexikon nur unzureichend beschreiben. Im IDM hingegen wird dieser Unterschied berücksichtigt (vgl. *ibid.*:71). Bereits hier kann Diehrs Frage „Sind in der Fremdsprache unterrichtete Schülerinnen und Schüler von sich aus in der Lage, L2-Fachterminologie in die L1 und in den ersprachlichen Fachdiskurs zu übertragen?“ (*ibid.*:76) verneint werden. Für die genannten Sprecher*innen und die genannten Vokabeln kann ausgesagt werden, dass die doppelte Sachfachliteralität in Bezug auf das Deutsche, die L1, nicht erreicht wird, da sie in einer natürlichen Gesprächssituation in der L1 über das Bili-Modul berichten und die Sprache fehlerhaft, d.h. non target-like, verwenden.

Die verwendeten Kompensationsstrategien sind Rückgriffe auf Alltagsbegriffe (Fall 1, 3 und 5), Kode-Wechsel (auch mit Übernahme der grammatischen Struktur) (Fall 2), Wortneuschöpfungen/relexifications (Fall 4) und Umschreibungen. Sie fallen damit in die von Pavlenko (2009:147), Agustín Llach (2014:53) und Heine (2014:229) identifizierten Kategorien.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass an dieser Stelle bereits einige Anteile der theoretischen Modellierung des IDM bestätigt werden und zwar anhand von sprachlichen Fehlgriffen in der L1. Es werden jedoch weitere Belege benötigt, bei denen eindeutig das Vorliegen in L2- bzw. L1-Speicher nachgewiesen bzw. die Abwesenheit aufgedeckt wird.

10.11 Zwischenfazit

Vor den hier ausgeführten Hintergründen kann in Bezug auf die Einstellung der involvierten Akteure und das erfasste Inhaltslernen der Ersterprobung die **zweite Forschungsfrage (Inwiefern eignet sich ein photochemisches Modul zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur als Einstieg in den BU Chemie?)** beantwortet werden: Das Gros der SuS schätzt das Modul positiv ein und formuliert einen hohen Lernertrag. Der Modulaufbau und die Materialien werden positiv bewertet, wobei gewisse Optimierungsvorschläge formuliert werden. Als besonders bedeutsam wird das Modellexperiment (d.h. das PBB-Experiment in der Form Basisexperiment) angesehen.

Die Modalnetze weisen darauf hin, dass Zuwächse des mehrheitlichen Wissens im inhaltlichen Zielbereich, d.h. dem des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes, zu verzeichnen sind. Weitere Schwerpunkte liegen z.B. im Bereich der energetischen Zusammenhänge. Insofern werden bedeut-

same Zieldimensionen des sachfachlichen Inhaltslernens erreicht. Die Darstellungen im Bereich Licht oder Katalyse fallen eher oberflächlich aus. Auch die Vernetzungsgrade der unterschiedlichen Anteile von Photosynthese und Zellatmung weisen noch Potential auf. Hier ist es notwendig, die Unterrichts-anlage zu modifizieren und auch das Untersuchungsinstrument anzupassen, um differenziertere Aussagen zu ermöglichen. Auf diese Weise wären weitere Erprobungszyklen bewertbar. Diese Ausführungen wirken somit nicht nur auf die zweite Forschungsfrage zurück, sondern beantworten für zwei Lerngruppen im ersten Erprobungszyklus 2018 die **fünfte Forschungsfrage (Welche Aspekte des sachfachlichen Inhaltslernens fördert das Modul in besonderer Weise?)**.

Die LF beinhalten einige von den SuS verwendete Strategien, mithilfe derer nicht vorhandenes deutschsprachiges Fachvokabular, das zur Erläuterung der Inhalte notwendig wäre, kompensiert wird. Das Modul, das nach Typ A mit Anteilen von B geplant und durchgeführt wurde, bahnt in den beobachteten Fällen nicht in gewünschter Weise das L1-Ausdrucksvermögen an. Die Befunde nach dem ersten Erprobungszyklus tragen anteilig zur Theoriebildung bzw. –bestätigung bei, da Aussagen, die Diehr (2016) für die Entscheidung der IDM-Konzeption getroffen hat, empirisch bestätigt werden – allerdings lediglich auf der Basis einiger weniger Befunde: Es bedarf also konkreter Sprachwechsel-Maßnahmen zum L1-Aufbau. Ferner wird die nun stärkere Anbindung über die L2 bestätigt, d.h. der Konzeptaufbau erfolgt in einem L2-Sprachbad. Dies hat das Vorliegen asymmetrisch wachsender, dynamischer Sprachspeicher zur Folge. Folglich werden hier auch erste Antworten auf die **vierte Forschungsfrage** gegeben (**Fokus deutsche Sachfachliteralität: Wird das neue englische Vokabular adäquat in der L1 versprachlicht? Welche Implikationen ergeben sich daraus für die Modellierung des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter, dem Integrated Dynamic Model (IDM) nach Diehr (2016)?**) gegeben. Für manche der Sprecher*innen kann ausgesagt werden, dass die doppelte Sachfachliteralität in Bezug auf die L1 Deutsch nicht erreicht wird, da sie in einer natürlichen Gesprächssituation in der L1 über das Bili-Modul berichten und die Sprache in Bezug auf die in Tab. 5 genannten Wörter fehlerhaft verwenden. Eine Begründung kann unter Rückgriff auf das IDM (vgl. Abb. 3) erfolgen: Neue Konzepte werden zuerst in der L2 aufgebaut, so dass aufgrund fehlenden Kontakts mit der L1-Entsprechung der L1-Fachwortschatz-Speicher nicht automatisch mitwächst, wozu explizite funktionale Sprachwechsel dienlich sein können (vgl. Diehr 2016).

11 Hauptuntersuchung: Zyklus 2, Sommer 2019

In den obigen Reflexionen zum ersten Zyklus wird die Eignung des photochemischen Moduls offenkundig. Es ergeben sich daraus Vorschläge zur Materialoptimierung und zur Anpassung des Untersuchungsinstrumentes. Diese basieren auf den fünf LF mit Versuchspersonen der Gruppe UNT, den 24 start-stop-continue-Rückmeldebögen der Gruppe UNT und der Gruppe EUR sowie den eigenen Unterrichtsbeobachtungen.

In der Darstellung des zweiten Erprobungszyklus wird wie folgt vorgegangen: Zunächst werden aufbauend auf den obigen Ausführungen die Weiterentwicklungen und die anschließende Aktion vorgestellt, um dann auf Basis erster Erkenntnisse aus dieser Erprobung die Reflexion durchzuführen. Darauf wiederum basieren Entscheidungen für nachfolgende Modul-Modifikationen. Hier stehen somit die Forschungsfragen drei, vier und fünf im Vordergrund, wobei die präsentierten Einschätzungen von weiteren Schüler*innen (Klasse 8) und Lehrkräften der zweiten Frage zuzuordnen sind.

11.1 Rahmenbedingungen: Weiterentwicklung des Materials

Die Übersichten in tabellarischer Form (vgl. Tab. 6 und Tab. 7) und als Lernschleife(n) (vgl. Abb. 48 und Abb. 49) bieten einen raschen Überblick zum vorliegenden Modul. Der allgemeine Ablauf aus Zyklus 1 hat sich bewährt und wird beibehalten (vgl. Kap. 10.1). Allerdings wird der Modellkritik mehr Raum gegeben (vgl. Aufgabe A5 auf ws3; Material im Anhang A11.1). Auch der Einsatz des Lernfilms wird anders geplant: Wie in ws5 aufgeführt, wird nur noch ein Filmausschnitt geschaut und auf Basis dessen die grundlegenden Prozesse rekonstruiert. Diese fokussieren die Photokatalyse (vgl. Aufgaben A1 und A2 auf ws5) und dann den Kohlenstoffkreislauf (vgl. Aufgaben A3 und A4 auf ws5). Auf ws6 findet sich nun nicht nur der Lückentext, sondern auch die alternative Aufgabe, eigenständig einen Text zu produzieren. Dies wurde in Zyklus 1 nur mündlich angeboten. In der Phase der abschließenden unterrichtlichen Reflexion kommt nun ein kleiner Informationstext hinzu, der um die Meeresschnecke kreist. Er löst die Bildimpulse zum vertical gardening und zur Meeresschnecke ab.

Die Scaffolding-Angebote werden ausgeweitet. Mehr Wörter als zuvor werden annotiert. Dieses erfolgt nun nicht mehr in Form von deutschen Äquivalenten sondern durch Darbietung von englischsprachigen Paraphrasen. Überdies werden neue Wortspeicher, z.B. auf ws5 und ws6, integriert.

In Workshops in Rheinland-Pfalz (RLP) und NRW wird interessierten Kolleginnen und Kollegen das Modul vorgestellt. Ein Kollege in RLP führt mit seiner Lerngruppe, Gruppe COC, das Modul durch. Es basiert auf demselben Material, das oben vorgestellt wird. Es liegt nur eine große Schleife vor, so dass das Bildmaterial, das weiter unten (vgl. Abb. 49) genutzt wird, noch nicht zur Verfügung steht. Nach den Workshop-Arbeiten findet noch einmal eine kleine Anpassung der Modulplanung statt: Nach Diskussionen im Arbeitskreis wird die Entscheidung getroffen, die große Schleife aus Abb. 48 in drei kleine Schleifen aufzuteilen. Jede hat nun eigene Bildimpulse⁴⁸ in den Erkunden- und Anwenden-Phasen (vgl. Abb. 49). Auch gibt es Hilfekarten, die durch Rettungsringe im Material zu finden sind und den SuS bedarfsweise zur Verfügung stehen. Dies sind die einzigen Veränderungen

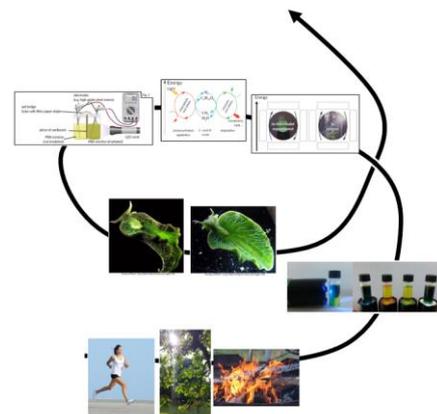


Abb. 48: Lernschleife der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Coc) (Vorskizze)

⁴⁸ Alle Bildimpulse der Phasen stammen vom Internetportal pixabay.com und sind frei nutzbar. Ausnahme: Die Fotografie zum Kirschbaum hat der Autor selbst aufgenommen. Die Fotografien zur Meeresschnecke *E. Chlorotica* stellt Patrick J. Krug, Los Angeles, dem Autor zur Verwendung für seine unterrichtlichen Vorhaben und die damit in Verbindung stehenden Erarbeitungen und Veröffentlichungen zur Verfügung (vgl. E-Mail-Austausch vom 26. Februar 2020).

gegenüber dem Material, das der Gruppe Coc in RLP vorliegt. Die entsprechende Modulübersicht in Tab. 7 und Abb. 49 geben entsprechende Einblicke.

Tab. 6: Modulübersicht der Moduldurchführung im Frñhsommer 2019 (Gruppe Coc in RLP)

Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
Erkunden	Einstieg, Vorwissen aktivieren	3 Bilder, ws 1, DIN A3-Blätter	1. EA, 2. GA, 3. Plenum
Erforschen	Experimentelles Entdecken der Abläufe PBB-Modellexperiment wird von Schülern durchgeführt Erarbeitung zentraler Aussagen aus dem Experiment Prüfen weiterer Hypothesen, um Hin- und Rückreaktion zu thematisieren (chemische Gründe klären); Schülerexperimente Beginn Zusammenhänge Experiment-Natur aufzudecken	Experimentiermaterial: 'Interaktionsbox', PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben, Glasperlen, Heizplatte, ws 2	PA/GA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen I incl. integrierter Sicherung	Übertragung der experimentellen Ergebnisse in eine graphische Übersicht Erarbeiten: Gegenüberstellung Modellexperiment -- Natur; beim Ausfüllen sollen die Schüler die Möglichkeit haben, mit dem PBB-Experiment die Vorgänge noch einmal zu visualisieren Erarbeiten: Zu Grunde liegende Reaktionsgleichung Kohlenstoffdioxid + Wasser --Licht--> Glucose + Sauerstoff, auch mit Formelgleichung Erarbeiten: Terminologie "carbon cycle" Erarbeiten: Kontrastierung und Vergleich Modellexperiment -- Natur	ws 3, PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben	EA, PA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen II incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Blauer Stoff enthält gespeicherte Energie; Konzentrationskette/Photogalvanisches Element (Lehrer-Demonstration oder Schülerexperiment)	ws 4, Experimentiermaterial (vgl. ws 4)	GA/PA und Schülerexperiment oder Lehrer-Demo
Anpassen III incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Photokatalyse in Modellexperiment (Proflavin) und in der Natur (Chlorophylle) in Verbindung mit gekoppelten zyklischen Reaktionen Erarbeiten: Redoxprozesse anhand von Oxidationsstufen-Veränderungen; Basis: Summenformeln bzw. Strukturformel(n)	ws 5, Clip-Ausschnitt 2:03-3:33 aus "Photosynthese - Ein Fall für Zwei, Teil 1"	EA, PA, Plenum
Anpassen IV incl. integrierter Sicherung	Zusammenschau der Erarbeitungsergebnisse in der Anpassungsphase innerhalb eines frei geschriebenen Textes oder eines auszufüllenden Lückentextes	ws 6 (prompts zur Textproduktion bzw. Lückentext)	EA/PA
Anwenden	Transfer des Erarbeiteten auf ein Naturphänomen, die Seeschnecke Elysia Chlorotica	ws 7	EA, Plenum

Mit dem zweiten vom Autor selbst durchgeführten Erprobungszyklus wird der Fokus auch auf die doppelte Sachfachliteralität gelegt (vgl. z.B. Bohrmann-Linde 2016, Diehr 2016, 2018). So werden funktionale Sprachwechsel (vgl. z.B. Bohrmann-Linde 2016) angedacht, wenn das Modul nach Typ C (Gruppe Hie) durchgeführt wird: Wenn mit Bildimpulsen zum Einstieg in den Unterricht gearbeitet wird, wie es in den Erkunden-Phasen der Fall ist (vgl. Tab. 7 und Abb. 49), erfolgt die Anwendung der Methode Bilingual Picture Storming (vgl. Heimes 2010). Auch die bekannten Arbeitsblätter zum epistemischen Schreiben „Was habe ich gelernt“ werden in deutscher Sprache ausformuliert. Hier finden die SuS zudem eigeninitiativ zentrale Fachbegriffe in englischer und deutscher Entsprechung. Auf diese können sie im Zuge des Bilingual Picture Storming eingehen. In den Einstiegsphasen werden zudem zentrale englische Begriffe gesammelt und deutsch versprachlicht. Also werden zwei einfach einzusetzende Sprachwechsellmethoden integriert. Bei den Moduldurchführungen nach Typ A (Gruppe F-A) erfolgen diese Durchführungen lediglich in englischer Sprache. Das verwendete Material findet sich in Anhang A11.1.

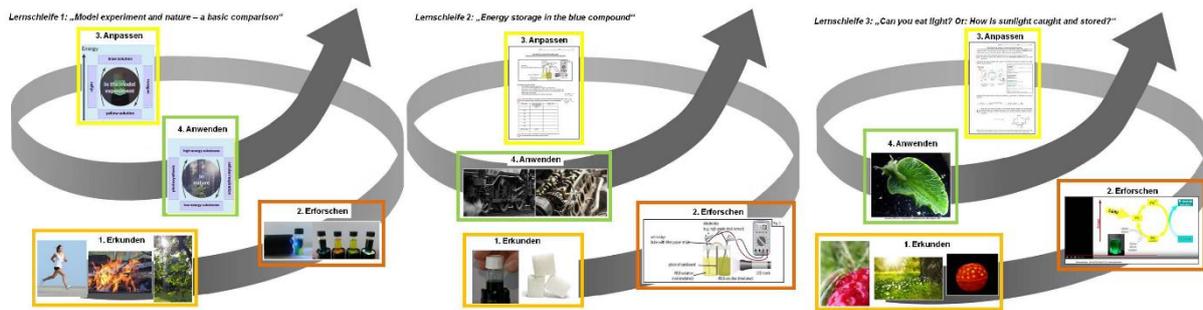


Abb. 49: Lernschleifen der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Hie bzw. F-A in NRW)

Tab. 7: Modulübersicht der Erprobung im Sommer 2019 (Gruppe Hie bzw. F-A in NRW)

	Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
Lernschleife 1	Erkunden	Einstieg, Vorwissen aktivieren	3 Bilder, ws 1, DIN A3-Blätter	1. EA, 2. GA, 3. Plenum
	Erforschen	Experimentelles Entdecken der Abläufe PBB-Modellexperiment wird von Schülern durchgeführt Erarbeitung zentraler Aussagen aus dem Experiment Prüfen weiterer Hypothesen, um Hin- und Rückreaktion zu thematisieren (chemische Gründe klären); Schülerexperimente	Experimentiermaterial, ws 2	PA/GA Plenum Schülerexperiment
	Anpassen	Abläufe innerhalb des Experiments klären	ws3	EA/PA
	Anwenden	Zusammenhänge Experiment-Natur aufzudecken Kreislauf im Zentrum; Vergleich Experiment-Natur	ws3 ws3	EA/PA, Plenum
Lernschleife 2	Erkunden	Problemaufwurf: Ist in der blauen Lösung Energie gespeichert?	Bildimpuls	Plenum
	Erforschen	Lichtgetriebene Konzentrationszelle	ws4, Experimentiermaterial	Schülerexperiment
	Anpassen	Experimentelle Ergebnisse auswerten	ws4	PA/Plenum
	Anwenden	Transfer auf andere Situationen der Energiekonversion (Verbrennungsmotor, Eisenbahn/Dampfmaschine)		Plenum
Lernschleife 3	Erkunden	Problemaufwurf: Welche Prozesse laufen ab, dass Lichtenergie als chemische Energie gespeichert werden kann?		Plenum
	Erforschen	Video-Exzerpt	Video, Smartphones/PCs	PA
	Anpassen	Photokatalyse in miteinander in Beziehung stehenden Kreisläufen erschließen; Untersuchung von Redox-Prozessen anhand der zentralen Reaktionsgleichung Wiederholung zentraler Aspekte	ws 5 ws 6	PA EA/PA
	Anwenden	Transfer auf Naturbeispiel Meeresschnecke <i>E. chlorotica</i>	ws 7	EA/PA

11.2 Entscheidungen zu den Untersuchungsinstrumenten

Anstelle des Concept Mappings tritt das Definieren bzw. Umschreiben, das z.B. von Gablasova (2014, 2015),⁴⁹ Verhallen/Schoonen (1993) oder auch Kerr/Beggs/Murphy (2006) verwendet wird. Hierüber können Aspekte des Sprach- und Inhaltslernens erfasst werden. Wie bei den Concept Maps findet sich hier auch ein Vor- und Nachtestverfahren. Zu zentralen Konzepten formulieren die SuS zunächst in englischer Sprache, dann in deutscher Sprache Erklärungen. Die englischen und deutschen Begriffe lauten: carbon cycle, chlorophyll, energy conversion, glucose, light, matter conversion, photocatalyst, photosynthesis und (cellular) respiration bzw. Kohlenstoffkreislauf, Chlorophyll, Energieumwandlung, Glucose, Licht, Stoffumwandlung, Photokatalysator, Photosynthese und (Zell-) Atmung (vgl. Anhang A.11.2). Zu den Konzepten werden im Arbeitskreis Erwartungshorizonte entwickelt, womit die jeweilige Konzeptausprägung bepunktet wird (vgl. Kap. 15). Die Konzepte überlappen anteilig. Deshalb können relevante Anteile zu einem Konzept in einem anderen Konzept genannt werden. Bei der

⁴⁹ Der Autor dankt Frau Professorin Dr. B. Diehr für den Hinweis auf diese Erhebungsmöglichkeit.

Bepunktung eines Konzeptes muss also stets der gesamte Erhebungsbogen durchgearbeitet werden, um die Vorstellungsinhalte zu den Begriffen in umfassender Weise aufzunehmen. Die Ergebnisse werden in Netzdiagrammen dargestellt (vgl. Kap. 15). Begleitet wird dieses Verfahren von einem Fragebogen, den die SuS im Anschluss ausfüllen. Hier wird mit offenen Fragen den Lernenden-Einstellungen zum Modul nachgegangen (vgl. Anhang A11.2).

11.3 Stichprobe

Die zweite Erprobung findet im 2. Halbjahr des Schuljahres 2018/19 in einem Chemie-Kurs der Einführungsphase an einem Gymnasium in Rheinland-Pfalz und in zwei Kursen der Einführungsphase an einem Gymnasium in NRW statt. Die RLP-Einheit wird von der dortigen Lehrkraft für (bilingualen) Chemie- und Biologieunterricht durchgeführt. Die Lernenden hier sind ein Jahr älter, da es sich im Gegensatz zum NRW-Gymnasium um ein G9-Gymnasium handelt. Die NRW-Einheiten werden vom Autor durchgeführt, wie auch schon in der Lerngruppe des ersten Erprobungszyklus. Keine lernende Person hatte zu diesem Zeitpunkt Vorerfahrungen mit bilingualem Chemieunterricht. Das vorbereitende Vorgehen entspricht dem bereits oben skizzierten. Die SuS signalisieren ihr großes Interesse am Ausprobieren eines BU Chemie-Moduls.

Die Lerngruppe in RLP ist die **Gruppe Coc**, die sich aus 18 Lernenden zusammensetzt. Davon können 18 Fragebögen zu den Einstellungen und je 16 englische und deutsche Vor- und Nachtests (insgesamt also 64) zu sachfachlichen Inhalten für die Auswertungsarbeiten verwendet werden.

Die beiden Lerngruppen in NRW, Hie und F-A, haben 23 bzw. 9 SuS. Aus der **Gruppe Hie** können 23 Fragebögen zur den Lernenden-Einstellungen und je 22 englische und deutsche Vor- und Nachtests zum Ergebnis des sachfachlichen Wissens (also insgesamt 88) für die Auswertungsarbeiten verwendet werden. Aus der **Gruppe F-A** können 7 Fragebögen für die Einstellungsermittlung sowie je 7 englische und deutsche Vor- und Nachtests ausgewertet werden. In der Gruppe F-A sind SuS aus dem gemeinsamen Chemie-Kurs der beiden örtlichen Gymnasien, die in der Oberstufe kooperieren. Diese SuS werden an der Kooperationsschule unterrichtet. Ein Großteil des ursprünglichen Kurses, allesamt Angehörige der Kooperationsschule, fehlt aus schulorganisatorischen Gründen (Projektteilnahme). Die nun verbliebenen SuS wurden gebeten, am Modul teilzunehmen. Hier, wie auch in der Gruppe Hie, stößt das Vorhaben auf großes Interesse. Die Erprobungen finden zum Ende des Halbjahres im Sommer 2019 statt (drei Wochen vor den Ferien). Das Einverständnis für die Erprobung wird von Seiten des Autors bei Erziehungsberechtigten und der Schulleitung eingeholt.

11.4 Datenerhebung: Sachfachliches Inhaltslernen und sprachlicher Zugewinn

Das Modul umfasst drei Doppelstunden zu je 90 Minuten. Eine Woche vor Erprobungsbeginn und zwei Tage nach der letzten Doppelstunde finden Vor- und Nachtests statt. Das Instrument des Definierens wird verwendet. Dafür erhalten die Lernenden zunächst die englischen Begriffe, die englischsprachig ohne jegliche Hilfsmittel zu definieren sind. Im Anschluss daran erfolgt für die deutschen Begriffe dasselbe in deutscher Sprache. Hierfür haben die Versuchspersonen eine Doppelstunde Zeit. Neben den Versuchspersonen wurden aus derselben Jahrgangsstufe 18 SuS gebeten, als Kontrollgruppe teilzunehmen. Die Fragebögen werden in der Variante Paper-Pencil-Fragebogen angeboten (vgl. Döring/Bortz 2016:400).

11.5 Datenerhebung: Perspektiven der Versuchspersonen

Zusätzlich zum Definieren erhalten die SuS beim Nachtest einen Paper-Pencil-Fragebogen mit offenen Fragen (vgl. Anhang A.11.2). Die genaue Auswertung dazu findet in Kap. 13 statt.

11.6 Datenerhebung: Perspektive der Lehrkraft aus RLP (Gruppe Coc)

Die Perspektive der Lehrperson in Rheinland-Pfalz wird mit einem Paper-Pencil-Fragebogen mit offenen Fragen eingeholt (vgl. Anhang A.11.2). Hier werden die zentralen Aussagen kurz versammelt: Die Lehrkraft schätzt das Modul zwar als angemessen für die Einführungsphase in die Oberstufe, Klasse

11, ein, jedoch eher für den Bereich Biologie als Chemie: „Da die Chemie für Kl. 11 zu kompliziert ist und man auf Strukturen/genauere Reaktionen verzichtet, ist der Versuch besser in Bio aufgehoben.“ Es wird genannt, dass das Material sowohl für monolingualen als auch bilingualen Biologie- und Chemie-Unterricht eingesetzt werden kann. Hervorgehoben werden die „schöne[n] Experimente“, die inhaltliche Relevanz für den Unterricht wird als „hoch“ eingestuft. Insgesamt würde die Fachkraft das Modul wieder einsetzen, jedoch „gekürzt“. Insgesamt ist das Modul bei den SuS „[g]ut angekommen“ und es wird bestätigt, dass sowohl Lehr- als auch Lernfreude aufgekommen ist. Als Vorzug wird die „Anwendung + Einübung [der lingua franca Englisch als weltweite] Wissenschaftssprache“ sowie der „Abbau von Sprechängsten“ angesehen. Allerdings nennt die Lehrperson auch kritisch, dass „zuviel Aufwand für den Inhalt“ bzw. zuviel sprachliche Arbeit und auch zu viele Arbeitsblätter vonnöten sind. Es wurde dann entschieden, weniger Spracharbeit vorzunehmen („Ich habe die Redewendungen nicht geübt, dazu war zu wenig Zeit.“), wobei angemerkt wird: „Es wird Fachsprache ‚en passant‘ gelernt, gut!“. Sprachlich werden keine Probleme gesehen, denn einige SuS hatten bereits BU Biologie, doch „[a]uch andere SuS [hatten kein] Problem“ mit der englischen Sprache. Sprachwechsel werden nicht vorgenommen, stattdessen werden „[u]nbekannte Begriffe an der Tafel geklärt“. Als Vorbedingungen ist es aus Sicht der Lehrperson notwendig, Redoxreaktion und galvanische Zelle zu wiederholen. Schwierig scheint es für SuS zu sein, dass der blaue Stoff für Glucose, also den energiereichen Stoff, steht und dass die gelbe Farbe nicht vom energiearmen Stoff kommt, sondern vom Photokatalysator. Abschließend wird eingefordert: „Der Film [, d.h. der Lehrfilm ‚Photosynthese: Ein Fall für Zwei, Teil 1 von 2‘,] sollte Englisch synchronisiert werden!“.

Bei der Durchführung lässt die Fachkraft die Arbeitsblätter ws1 und ws4, vgl. Tab. 6, weg, um den Einstieg schneller stattfinden zu lassen. Das Arbeitsblatt zum epistemischen Schreiben wird nicht eingesetzt. Der Lehrfilm ‚Photosynthese: Ein Fall für Zwei, Teil 1 von 2‘ wird mehrfach in seiner Gesamtlänge präsentiert, da die Zeiträume zwischen zwei Stunden teilweise lang waren. Schulorganisatorische Gründe machen es teilweise für Lernende unmöglich, regelmäßig an den sieben Stunden des Moduls teilzunehmen. Ferner berichtet die Lehrkraft davon, dass es motivational ungünstig sei, dass die Einheit vor den Sommerferien stattgefunden hat.

11.7 Reflexion

Eine erste Grobauswertung per Sichtung der Fragebögen zur Einstellung und zum Inhaltsverständnis zeigt: Das Modul eignet sich gut für den unterrichtlichen Einsatz. Die Lernenden haben Freude, was auch in den Phasen nach dem Unterricht in Gesprächen zurückgemeldet wird. Die neue Erhebungsweise (schriftliches Definieren) wird gut angenommen.

Inhaltliche Probleme bleiben im Bereich der Katalyse. Auch die Erwartungen an Erkenntnisse um die Qualität von Lichtfarben bleiben hinter den Erwartungen zurück. Den Lehrfilm finden die SuS schwierig. Auf diese Grobauswertung folgt eine genaue Auswertung in Kap. 13 zusammen mit den Erprobungen aus dem dritten Zyklus, um Dopplungen und Redundanzen zu vermeiden. Die Sprachwechsel-Phasen am Anfang und zum Ende der Einzelschleifen (Bilingual Picture Storming nach Heimes 2010) werden nur zögerlich angenommen. Die Lernenden bleiben vielmehr in der englischen Sprache, ziehen das Versprachliche auf Englisch vor. Wichtiges Fachvokabular wird jeweils in Englisch wie in Deutsch genannt. Die Arbeitsblätter zum epistemischen Schreiben, „Was habe ich gelernt?“/“What have I learnt?“, werden individuell sehr unterschiedlich umfassend ausgefüllt. Bei der Besprechung von zentralem Vokabular muss der Lehrer häufig auf bedeutsames Fachvokabular hinweisen und auf das Versprachliche in Deutsch hinwirken. Viele SuS vermitteln den Eindruck, dass sie dieser Hausaufgabe nur ungenügend nachkommen.

11.8 Überarbeitungen

Optimierungen werden bzgl. der Outputorientierung und des Scaffoldings vorgenommen. Schon vor den Corona-Einschränkungen hatte der Autor das Bedürfnis, ein Modul im Sinne einer Lernaufgabe (vgl. Leisen 2013, 2015a-b) bzw. komplexen Kompetenzaufgabe (vgl. Hallet 2012) zu planen. Der Vorteil wird darin gesehen, dass die Lernenden sich etwas autonomer im bilingualen Kontext bewegen

und, am besten kooperativ, an einem Lernprodukt arbeiten können. Hier kann dann, ggf. arbeitsteilig, an sich jeweils ergänzendem Material zur Vorbereitung von Konferenzbeiträgen (Poster und Vortrag) für eine inszenierte wissenschaftliche Konferenz vor internationalem, englischsprachigem Publikum gearbeitet werden. Dafür bedarf es eines entsprechenden Lernpakets auch mit einem Glossar zur Verwendung angemessenen fachsprachlichen Vokabulars.

Aus eigener Einschätzung und auch aus der Rückmeldung der RLP-Lehrperson ist es sinnvoll, den Lehrfilm in englischer Sprache anzubieten. Dies ist z.B. vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Instruktionstypen für BU angebracht. Auch bietet der Film genau dann auch authentischen rich input gemäß den Anforderungen von Meyer (2010). Dieser Film, Ein Fall für zwei – Teil 1, wie auch der Nachfolgefilm, Ein Fall für zwei – Teil 2, wird vom Autor folglich ins Englische übertragen. Die Transkripte werden von einem befreundeten englischen Chemielehrer, einem British native, gegengelesen, woraufhin eine Wuppertaler Produktionsfirma die Filme vertonte. Im Ergebnis liegen zwei Filme vor, A Case for Two – Part 1/2, sowie A Case for Two – Part 2/2, die von britische Muttersprachler*innen eingesprochen wurden. Die dafür notwendigen finanziellen Mittel hat der Autor aus selbst eingeworbenen Mitteln zur Verfügung gestellt.⁵⁰

Die Sprachwechsellernmethodik bedarf einer Veränderung. Es wurde offenkundig, dass die SuS nur ungern dem epistemischen Schreiben oder dem Sprachwechsel im Zuge des Bilingual Picture Storming (vgl. Heimes 2010) nachkommen. Vor diesem Hintergrund wird das Modul des dritten Zyklus mit einer Bilingual Poster Production (vgl. ibid., Kiesling/Brunnert/Bohrmann-Linde 2019) als zu erarbeitendes SuS-Produkt abgeschlossen.

11.9 Weitere Erprobung im Winter 2019/2020: Kurs Bio bilingual Jahrgangsstufe 8

Mit dem in Zyklus zwei erarbeiteten Material findet eine Erprobung in einem bilingualen Biologiekurs (Klasse 8, Gymnasium NRW) statt. Diese soll in den Grundzügen vorgestellt werden.

11.9.1 Moduldurchführung Winter 2019/2020

Im genannten Kurs bilingualer Biologieunterricht wird das Material im Dezember 2019 und Januar 2020 ausprobiert. Die insgesamt 24 SuS nehmen seit der fünften Klasse am bilingualen Zweig des Gymnasiums teil. In den Klassen fünf und sechs gibt es Zusatz-Englischstunden, aber Klasse 7 setzt der BU Erdkunde-, ab Klasse 8 der BU Biologie ein.

Bei der Erprobung durch die Lehrkraft mit der Fächerkombination Biologie und Englisch wird das Material verwendet, das auch den Gruppen des zweiten Zyklus aus dem Sommer 2019 vorliegt. Es wird zuvor mit dieser und einer weiteren Fachkraft mit derselben Fächerkombination besprochen und eine Erprobung noch in der Sek. I wird vorgeschlagen.

Aus schulorganisatorischen Gründen kann das Modul erst Mitte Dezember beginnen. Der Fokus wird auf die Bedeutung der Lichtfarben gelegt, d.h., dass nicht jede Lichtfarbe die Photosynthese antreibt. Zudem wird die Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufes fokussiert. Insgesamt ist hier das forschende, hypothesengeleitete Experimentieren im Zentrum. Zusätzlich wird bei der Erarbeitung des Anteils Zellatmung darauf geachtet, dass die Lernenden mithilfe von Gasproben aus Spritzen herausfinden, dass die Vermutung stimmt, dass der Luftsauerstoff die Rückreaktion blau → gelb auslöst – und keines der anderen Gase. Anteile der fünfständigen Einheit werden im Team Teaching (Lehrkraft Biologie bilingual; Autor) durchgeführt.

Es werden englische und deutsche Vor- und Nachtests durchgeführt, doch nicht ausgewertet, weil der Nachtest aus schulorganisatorischen Gründen deutlich später – und zudem nach den Weihnachtsferien – durchgeführt wurde als in den anderen Gruppen. Es war vorgesehen, die Einstellung der SuS zum Modul mit dem auch in Zyklus 2 (Sommer 2019) verwendeten Fragebogen zu

⁵⁰ Die Filme finden sich online unter <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/movies-videos/photoredox-reactions/photosynthesis-a-case-for-two-part-1-of-2.html> sowie <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/movies-videos/photoredox-reactions/photosynthesis-a-case-for-two-part-2-of-2.html> und die Transkripte sind auf Anfrage erhältlich, wobei das Transkript des ersten Films Teil des Materials des dritten Modulzyklus ist (vgl. Anhang A12.1).

erheben, doch ebenfalls aus schulorganisatorischen Gründen war dieses nicht möglich. Dasselbe gilt für den Lehrkraft-Fragebogen. Weiterhin ist anzumerken: Während des Unterrichts fehlen immer wieder vereinzelt einige Teilnehmende aus persönlichen oder schulorganisatorischen Gründen.

11.9.2 Perspektive der Achtklässler*innen (Biologie-Bilis, NRW)

Nach der Moduldurchführung unternimmt die Biologie-Lehrkraft aus organisatorischen Gründen selbst eine kleine Reflexion des Moduls mit den SuS und berichtet dem Autor anschließend auf Basis von Notizen (10. Januar 2020). Auf einer Skala von 1 bis 10, bei der 10 für den Bestwert steht, ordnen alle Lernende das Modul zwischen 7 und 10 ein. Die Unterrichtsanlage, zunächst das Experiment durchzuführen und dann die Deutung vorzunehmen „hat Sinn ergeben“. Die Arbeit mit den unterschiedlichen Lichtfarben (Taschenlampen) war anschaulich und motivierend. Die SuS haben wirklich wissen wollen, warum die Flüssigkeit so reagiert. Das war motivierend. Hilfreich war die Hilfe der Lehrkräfte bei der Durchführung von SuS-Versuchen. Gleiches gilt für den Umgang mit Sprache: Es hat sehr geholfen, dass die Lehrkräfte offen für Fragen waren und diese klärten. Man lernt „noch andere Vokabeln als im normalen Englisch-Unterricht“ und „durch das Englische beschäftigt man sich noch intensiver mit dem Stoff“. Insofern sehen die Versuchspersonen aus diesem Kurs ein bilinguales Modul mit photochemischen Anteilen als sinnvoll an.

11.9.3 Perspektive der Lehrkraft (Lehrerin der Biologie-Bilis aus der 8. Klasse, NRW)

Im Gespräch mit der Lehrkraft treten folgende Aussagen in den Vordergrund. Die SuS finden es laut Lehrperson „super“, dass sie im Biologieunterricht experimentieren konnten. Es hat allen, incl. der Lehrkraft, „Spaß“ gemacht und die Struktur des Materials ist sinnvoll. Das Arbeitsblatt ws2_2018 wird auch hier als bedeutsam angesehen. Es macht klar, dass ein Zyklus aus Photosynthese und Zellatmung im Sinne eines Kohlenstoffkreislaufes vorliegt. Die Lernenden ziehen sprachlich viel aus dem Modul. Ein besonders großer Sprachumsatz wird für die Phase nach dem hypothesengeleiteten Experimentieren ausgemacht. Dort wurden die Erkenntnisse aus dem forschenden Experimentieren im Plenum besprochen. Die zusätzlichen Experimente, mithilfe derer die SuS selbständig herausfinden können, dass nur der Luftbestandteil Sauerstoff für die Entfärbung verantwortlich ist, wird als bedeutsam herausgestellt. Die in Spritzen vorliegenden farblosen Gase Argon, Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff wurden von den Lernenden in diesem Zusammenhang getestet.

12 Hauptuntersuchung: Zyklus 3, Sommer 2020

Aus der Reflexion des zweiten Erprobungszyklus ergibt sich weiterer Optimierungsbedarf, der dort schon angesprochen wurde (vgl. Kap. 11.7). Nun werden wiederum die Materialien und der Rahmen für die Aktion vorgestellt. Im Zentrum der Erhebungen dieses Zyklus stehen wiederum die Forschungsfragen 3 bis 5.

Die Erhebungen enden mit dieser Zyklusdurchführung. Die dazugehörige Auswertung, die alle Erhebungen in den drei Zyklen umfasst, findet sich in Teil IV dieser Arbeit. Dort finden sich auch reflektierende Diskussionen, die die Ergebnisse der allgemeinen Moduleinschätzung (vgl. Kap. 13), des sprachlichen Lernens (vgl. Kap. 14) und des inhaltlichen Lernens (vgl. Kap. 15) betreffen.

12.1 Rahmenbedingungen: Weiterentwicklung des Materials

Das Modul nimmt eine Meeresschnecke in den Blick, anhand derer die Aspekte Photosynthese und Zellatmung erarbeitet werden. Deshalb nennt sich dieses Modul „Elysia Chlorotica - a sea slug with spectacular characteristics.“

Das Modul gliedert sich in drei inhaltliche Phasen, die unten in Tab. 8 zu finden sind. Dafür wurden jeweils etwa 90 min verwendet. An die dritte Phase gliedert sich die vierte an, diejenige der Anfertigung eines Lernproduktes, hier ein Poster mit einem monologischen Beitrag für eine imaginäre wissenschaftliche Konferenz vor englischsprachigem bzw. deutschsprachigem Publikum.

Tab. 8: Modulübersicht der Erprobung im Sommer 2020 (Gruppe Ona in NRW)

	Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
The sea slug	Einstieg	Besprechung der Konferenzeinladung	Konferenzeinladung, Smartboard	EA, Plenum
	Erarbeitung	Erarbeitung zu Hintergründen der Meeresschnecke anhand einer Fotografie und eines Informationstextes	ws "Background information 1" und zugehörige "Assignments", Smartboard	EA
	Sicherung	Zusammenführen der Erarbeiten, Besprechung von Schwierigkeiten, Klären von Fragen		Plenum
Chlorophyll	Einstieg	Recap, Gemeinsamer Blick auf die Weiterarbeit		EA, Plenum
	Erarbeitung 1 mit Zwischensicherung	Erarbeitung zu Hintergründen des Pigments Chlorophyll mit Experimenten und Textimpuls, Fokus 1: Role of chlorophyll, step 1 and 2; anschließende Zwischensicherung ähnlich der Sicherung oben	ws "Background information 2"; Material: Prisma, Taschenlampen mit weißem Licht, weißes Papier, ws "White light - an experiment"	EA, Schülerexperiment, Plenum
	Erarbeitung 2	Erarbeitung zu Hintergründen des Pigments Chlorophyll mit Experimenten und Textimpuls; Fokus 2: Role of chlorophyll, step 3	ws "Background information 2"; Material: Taschenlampen mit wechselbaren Lichtfarben, PBB-Lösung in Fläschchen	EA, Schülerexperiment, Plenum
	Sicherung	Zusammenführung des Erarbeiteten, Erörterung von Fragen und Schwierigkeiten, Ausblick auf die		EA, Plenum
Photocatalysis & Poster Production	Einstieg	Recap, Gemeinsamer Blick auf die Weiterarbeit		Plenum
	Erarbeitung 1 mit Zwischensicherung	Erarbeitung zur Photokatalyse, Fokus Proflavin im Modellexperiment mit einem Lehrfilm; anschließend Zwischensicherung gemäß obigen Sicherungsphasen	ws "Background information 3", iPads, Video als Download, Filmtranskript	EA, Plenum
	Erarbeitung 2 mit Zwischensicherung	Erarbeitungen zum Photokatalysator Chlorophyll auf Basis der Erkenntnisse über Proflavin; anschließend Zwischensicherung gemäß obiger Sicherungsphase	ws "Background information 3", iPads, Video als Download, Filmtranskript	EA, Plenum
	Überleitung	Besprechung zur Phase der Postererstellung		Plenum
	Poster Production	Poster- und Vortragsvorbereitung (je ein Lernprodukt je Schüler*in), Dokumentation des Lernprodukts durch Videographie	Farbiger Karton, Filzschreiber, iPad	EA/PA

Dieses Modul ist im Sinne einer komplexen Kompetenzaufgabe (vgl. Hallet 2012) aufgebaut. Die SuS werden zu einer imaginären wissenschaftlichen Konferenz eingeladen, für die sie mithilfe des Materialpakets (vgl. Anhang A12.1, vgl. dort auch die Übersicht im Sinne einer komplexen Kompetenzaufgabe) eine Poster-Präsentation erstellen sollen. Dafür gibt es im ersten Teil eine Einstiegsphase, in der der Rahmen für das Modul abgesteckt wird. Im Material gibt es Bilder, Texte und herunterladbare Lernvideos, die die Lernenden in die Lage versetzen, die Leitfragen für die Konzeption von Poster und monologischem Beitrag mit Inhalten zu füllen. Alle SuS erstellen englischsprachige Poster, manche werden jedoch im Sinne der Methode Bilingual Poster Production nach Heimes (2010, vgl. auch Kiesling/Brunnert/Bohrmann-Linde 2019) den Vortrag nicht in englischer, sondern in deutscher Sprache halten. Somit wird ein Teil der Gruppe nach Typ C unterrichtet, und zwar derjenige, der die Präsentation in deutscher Sprache hält, und der andere nach Typ A. Damit das Lernprodukt für die Lehrperson zugänglich ist, erstellen die Lernenden jeweils einen videographierten Beitrag.

Während des Moduls erstellen die Lernenden eigenständig Concept Maps als Lernhilfe (vgl. Tausch 2007:46, Stracke/Gräsel/Demuth 2004:11), in denen die versprochenen Inhalte gesammelt und vernetzt wurden. In den Sicherungsphasen wurden diese ergänzt, so dass sie als Basis für die Erstellung der finalen Lernprodukte dienen konnten. Als weitere Unterstützungsinstrumente sind monolinguale (Typ A) bzw. bilinguale Wörterbücher (Typ C) vorhanden. Sie stehen den Lernenden neben dem Materialpaket, das neben den inhaltlichen Anteilen ein Glossar, sprachliche Hilfen und methodische Hinweise zur Concept Map-Anfertigung enthält, zur Verfügung.

Aufgrund der Coronapandemie ist es notwendig, viele Einzelarbeitsphasen einzubauen, die sonst anteilig in anderen Sozialformen oder in noch deutlicherer Orientierung an der Schrittigkeit des kooperativen Unterrichts (vgl. Brüning/Saum 2008, 2009) stattfinden könnten. Um Zwischenergebnisse zu sichern, weiteren Input bereitzustellen und die Concept Maps weiterzuentwickeln, werden nach gewissen Arbeitsschritten Sicherungsphasen im Plenum eingeplant. Zeitlich werden diese in Orientierung an der Lerntempoduett-Methode geplant (vgl. *ibid.*), d.h. sobald eine Person einen zu bearbeitenden Teil fertiggestellt hat, vermerkt er dieses am Lehrerpult und arbeitet am nächsten

Schritt weiter. Ein gemeinsames Plenumsgespräch fand immer dann statt, sobald ein Großteil der SuS den jeweiligen Lernschritt absolviert hatte. Die Einteilung in Einstieg, Erarbeitung und Sicherung folgt der klassischen Phasierung von Unterricht und soll hier für eine klare Struktur als Grundlage für Inhaltsklarheit sorgen (vgl. Meyer 2004:25ff).

Im Zuge des Moduls wird eine besondere Outputorientierung vorgenommen und das Lernprodukt wird von jeder teilnehmenden Person eingefordert, und zwar in Form der videographierten Präsentation und des dazu gehörenden Posters. Der Lernprozess dorthin wird mit vielfältigen Scaffolding-Maßnahmen und Orientierung bietenden Leitgedanken für die inhaltliche Posterproduktion versehen. Die Phasen sind so gestaltet, dass die Lernenden eigenaktiv an den Inhalten arbeiten, die im variantenreich angelegten Materialpaket, in dem Texte, Experimente, visuals und ein englischsprachiger Lernfilm mit Transkript enthalten sind, angeboten werden. In Plenumsphasen werden die Inhalte vorgestellt, diskutiert, Fragen geklärt und (auch durch Lehrer-Input) ergänzt bzw. präzisiert. Auf diese Weise soll eine hohe kognitive Aktivierung der Lernenden erreicht werden, die als lernförderlich gilt (vgl. Lipowsky 2015:89ff); die zwischengeschalteten, lehrerzentrierten Plenumsphasen dienen des Feedbacks zum SuS-Verständnis des bis dato kennengelernten Lerngegenstands. Die Lernenden erarbeiten mithilfe der kuriosen Meeresbewohnerin *Elysia Chlorotica* die grundlegenden Aspekte des Kohlenstoffkreislaufes in der belebten Natur. Laut Näs (vgl. 2012:87, vgl. auch Kap. 8.2) erweist sich die Orientierung an einer interessanten Frage als lernförderlich. Diese Erkenntnis wird hier genutzt, um den SuS einen sinnstiftenden und Interesse weckenden Kontext anzubieten.

Wie in den vorherigen Modulen werden auch hier die Grundannahmen zur Planung von BU Chemie von Bohrmann-Linde (2016), Bonnet (2012) und Meyer (2010) einbezogen. Eine Progression innerhalb des Moduls kann wiederum anhand der Operatoren erkannt werden. In der Regel ist der Aufbau vom AFB I zum AFB III vorhanden. So muss bei der Erstbegegnung mit der Meeresschnecke eine Beschreibung (AFB I) vorgenommen, eine Zeichnung angefertigt (I-II) und schließlich begründet Vermutungen aufgestellt werden, wie sich das Tier ernährt (AFB I-III). Auf diese Vermutungen wird während des Moduls immer wieder reflektierend zurückgegriffen (überprüfen, AFB I-III; bewerten, AFB II-III). Dann werden einem englischen Sachtext Informationen entnommen (angeben, AFB I-II), mithilfe derer Reaktionsgleichungen formuliert werden (AFB II-III, hier eher AFB I, da die Informationen im Text vorhanden sind). Es schließt sich eine Aufgabe zum Erklären der Prozesse an (AFB II-III). Dieses Schema zieht sich durch das Modul. Alles dient dem Ziel, eine monologische Präsentation zu halten, die mit einem Poster als Visualisierungshilfe unterstützt wird (erklären, erläutern: AFB II-III; darstellen I-II).

Das Erstellen von Präsentationen ist den Lernenden am Ende der EF geläufig. Es stellt eine bekannte Textsorte dar. Auch die dafür notwendigen Redewendungen sind bekannt. Hierfür wird also kein besonderes Scaffolding angeboten. Die SuS sollen auf diejenigen Kompetenzen zurückgreifen, die bereits bis zu diesem Zeitpunkt angebahnt worden sind. Auch dürfen sie Materialien für das gelingende Ausarbeiten von Präsentationen aus dem regulären Englischunterricht mitnehmen.

Die komplexe Kompetenzaufgabe sieht vielerlei Scaffolding-Maßnahmen vor. Das Material ist vielfach in englischer Sprache annotiert. Es werden verschiedene Wortspeicher im Material angeboten, um die Bearbeitung der Aufgaben zu stützen. So werden unterschiedliche Situationen im Sinne Thürmanns (2013a) entlastet. Der englischsprachige Lehrfilm wird auszugsweise angeschaut. Er liegt als Download bereit, so dass die SuS ihn auf ihren iPads eigenständig anschauen und –hören können. Ein Transkript des Gesamtfilms liegt den SuS zudem vor. Abschließend gibt es ein Glossar mit vielen Einträgen, die paraphrasiert bzw. im Anwendungszusammenhang vorliegen. Für den Fall, dass Lernende nach Typ C unterrichtet werden, erhalten sie bilinguale Wörterbücher und ein bilinguales Glossar. Die abschließende Poster Präsentation erfolgt auf Basis der zuvor stattgefundenen unterrichtlichen Erarbeitungen. Dafür führen die SuS eine unterrichtsbegleitende Concept Map, in der Inhalte und relevantes Vokabular in individueller Weise versammelt wird. Das Concept Mapping ist den Lernenden bekannt, jedoch wird bedarfsweise eine methodische Hilfe dazu im Material angeboten.

12.2 Stichprobe

Die Erprobung erfolgt im 2. Halbjahr des Schuljahres 2019/2020 in einem Chemie-Kurs der Einführungsphase an einem Gymnasium in NRW, an dem der Autor als Lehrer arbeitet. Der Kurs wird seit Schuljahresbeginn vom Autor unterrichtet. Insgesamt sind 17 SuS im Kurs, wobei niemand Vorerfahrungen mit BU Chemie hat. Die Erprobung findet zum Ende des Halbjahres statt (drei Wochen vor den Sommerferien). Das vorbereitende Vorgehen entspricht dem oben skizzierten. Die Lernenden signalisieren ihr großes Interesse am Ausprobieren eines BU Chemie-Moduls.

Die Erprobung findet im ersten Jahr der Corona-Pandemie statt. Unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen, wie sie im Sommer 2020 auch für anderen Unterricht gelten, wird das Modul in der Schule durchgeführt. Leider sind in der Untersuchungsgruppe final nur noch 9 SuS, die das gesamte Modul absolviert haben (**Gruppe Ona, N = 9**). Von 9 Versuchspersonen können also englische und deutsche Nachtests sowie der Einstellungstest ausgewertet werden. Viele SuS konnten aus persönlichen Gründen, die in der Hauptsache aus der pandemischen Situation erwachsen, nur anteilig am Modul teilnehmen.

12.3 Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung

Die sprachliche und inhaltliche Erhebung und Auswertung erfolgt, wie auch das Erkunden der Lernenden-Einstellungen zum Modul, mit denjenigen Instrumenten, die auch in Zyklus 2 (2019) verwendet worden sind. Im Fragebogen zur Einstellung der SuS wird eine Ergänzung vorgenommen (Frage 11, siehe Kap. 11.2 und Anhang A11.2). Die auswertenden Arbeiten finden sich im nun folgenden Teil IV.

Teil IV – Datenaufarbeitung, Ergebnisdarstellung, Auswertung, Diskussion

Nach dem sprachanalytischen Exkurs werden in den folgenden Kapiteln die allgemeine Moduleinschätzung durch die Versuchspersonen sowie die sprachlichen und sachfachlichen Lernzuwächse dargestellt. Die vor Teil IV präsentierten Erhebungen der Hauptuntersuchung im Zuge von drei Entwicklungszyklen werden hier aufgegriffen und fortgeführt. Damit die Übersicht über die verschiedenen Untersuchungsgruppen, die an den Untersuchungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit teils leicht unterschiedlichen Zielsetzungen teilgenommen haben, gewahrt wird, findet sich eine tabellarische Zusammenstellung ganz am Ende der Studie in Anhang AX. Zudem wird an sich eignenden Stellen wiederholt aktualisiert, welche Untersuchungsgruppen jeweils beteiligt waren. An dieser Stelle sei noch einmal auf die Übersicht zum Untersuchungsdesign und den jeweils eingesetzten Untersuchungsinstrumenten verwiesen. Sie befindet sich auf Seite 85 (Abb. 36).

13 Einstellungen zum Modul

Hier werden die Erhebungen aus den Erprobungszyklen genutzt, um schwerpunktmäßig Antworten auf die Forschungsfrage zwei zu finden. Die Darstellungen in Kap. 13.9 zum Sprachwechsel korrespondieren überdies mit Forschungsfrage vier.

13.1 Allgemeine Einschätzung des Moduls

Die Darstellungen in diesem Kapitel beziehen sich auf die Gruppen Unt, Eur, Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. Übersicht in Anhang AX).

13.1.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die ersten zwei Gruppen der 2018er-Erprobung (Unt, Eur) gaben Rückmeldungen über ein einfaches, schriftlich erfasstes **Start-Stop-Continue-Evaluationsverfahren**. Die übrigen vier Gruppen aus den Erprobungszyklen der Jahre 2019 (Coc, Hie, F-A) und 2020 (Ona) erhielten zur Evaluation einen **Fragebogen** mit mehreren offenen Fragen (vgl. Anhang A10.9 und A11.2; hier sind zunächst die Antworten auf die **Fragen 1, sowie 2, 4 und 12 relevant**; siehe unten Kap. 13.1.2). Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt in Orientierung an der strukturierten qualitativen Inhaltsanalyse mithilfe von MAXQDA Analytics Pro 2020 (VERBI 2020). Die Darstellungen in Kap. 13.1 und 13.2 basieren also auf den Rückmeldungen der Gruppen Unt, Eur, Coc, Hie, F-A und Ona.

13.1.2 Ergebnisse

Die schriftlichen Stellungnahmen zur Frage 1 „Was berichtest du deinen Freunden, wenn sie dich nach dem Modul fragen?“ bieten die Grundlage für die Analyse einer allgemeinen Moduleinschätzung für die Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona. Für den Fall, dass diese offen gestaltete Auftaktfrage keine Rückschlüsse auf eine positive oder negative SuS-Einschätzung zuließ, wurde(n) in wenigen Fällen zudem die Frage(n) 2 (8x), 4 (3x) und 12 (5x) hinzugezogen, da sie ebenfalls eine klare Einordnung ermöglichten (2: Berichte, wie es für dich war, Chemie in englischer Sprache zu lernen; 4: Ist dir der Chemieunterricht schwerer oder leichter gefallen als im Vergleich zu den vorherigen Themen?; 12: Raum für weitere Anmerkungen und Anregungen sowie Fragen).

Bei fünf der sechs Lerngruppen schätzt eine deutliche Mehrheit das Modul positiv ein (über 60 % bis knapp unter 90 %), in einem weiteren Fall sind es 44 % (vgl. Abb. EE1; hinter den Balken jeweils die totalen Proband*innen-Zahlen). Der Mittelwert der Gruppen liegt bei 69 %. Zum Beispiel formulieren teilnehmende Lernende aus den sechs Lerngruppen ihre positiven Haltungen wie folgt – aus jeder Lerngruppe wird jeweils ein Beispiel ausgewählt:

Ich fand den Exkurs in eine bilinguale Chemie-Unterrichtsreihe spannend, da man die Experimente auf eine neue Art und Weise angeht. Außerdem lernt man wichtige englische Fachbegriffe aus dem Bereich der Chemie und Biologie dazu. Es hat sehr viel Spaß gemacht, die Experimente durchzuführen, vor allem das Experiment mit der Taschenlampe und der Lösung, welche sich bei unterschiedlichen Lichtfarben und Typen unterschiedlich schnell verändert. Man hätte während dieser Unterrichtsreihe zwar ein oder zwei weitere Experimente machen können, aber die Experimente, die wir gemacht haben, waren sehr spannend. (2018, Proband*in unt15)

Also ich habe das gestern das erste Mal bei einem bilingualen Chemiekurs mitgemacht und es hat mir generell sehr gut gefallen. (2018, Proband*in eur05)

Es ist eine gute Chance, auch mal außerhalb des Englischunterrichts andere Fächer auf Englisch zu erfahren. Das erweitert meiner Meinung nach auch den Wortschatz. (2019; coc07)

.Es war eine interessante Abwechslung und ich würde den Bili-Zweig insgesamt im Nachhinein ausprobieren wollen. (2019; Proband*in f-a29).

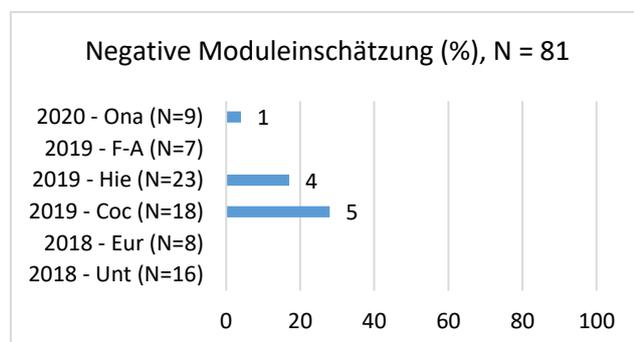
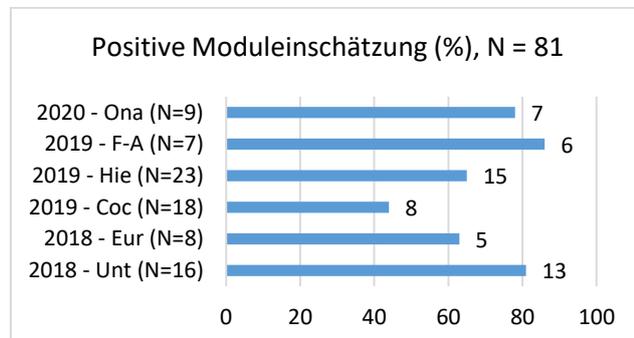


Abb. 50: Moduleinschätzungen aus SuS-Sicht auf Basis des offenen Fragebogens; jeder Balken steht für eine der sechs Lerngruppen, alle aus der Einführungsphase in die Oberstufe.

Dass wir eine interessante Unterrichtsreihe über Photosynthese und Zellatmung auf Englisch begleiten durften. (2019; Proband*in hie22)

Ich würde meinen Freunden erzählen, dass es spannend und interessant war sich auch mal auf Englisch mit so etwas zu befassen. Und auch das Thema des Moduls gut gewählt war da es nicht zu schwierig war aber dennoch interessant. (2020; Proband*in ona04)

Nur wenige SuS formulieren eine negative Einschätzung; im Schnitt liegt diese bei 9 %, wobei sich diese aus lediglich drei Gruppen rekrutieren (vgl. Abb. 50). Auch hier wird wieder je ein Beispiel der schriftlichen Lernenden-Antworten aus jeder Lerngruppe angeführt:

Unnötig, da es viel aufwendiger war und ich letztendlich die deutschen Begriffe brauche und nicht die Englischen. (2019; Proband*in coc13)

Mir persönlich hat es nicht gefallen, weshalb, wenn man mich fragen würde, ich auch nur negativ antworten würde. (2019; Proband*in hie07)

Gute Abwechslung v. normalen Unterricht. Etwas zu viel Textarbeit. Neues, sinnvolles Wissen. Bili hätte nicht sein müssen. (2020; Proband*in ona01)

Die Lektüre der ausgewählten Lernenden-Kommentare gibt bereits Einblicke in die vielseitigen Gründe, auf Basis derer eine positive oder negative Positionierung vorgenommen wurde. Diesem wird im Folgenden nachgegangen.

13.2 Gründe für Moduleinschätzungen

Die Darstellungen in diesem Kapitel beziehen sich auf die Gruppen Unt, Eur, Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. Übersicht in Anhang AX).

13.2.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die vorgenommene obige Codierung nach positiver und negativer Bewertung wurde in MAXQDA in einer Übersicht zusammengefasst und dann induktiv neu codiert, so dass die zu Grunde liegenden Argumente identifiziert und gruppiert dargestellt werden können. Inhaltlich zusammengehörige Codes wurden dabei thematisch gebündelt und fusioniert

Die folgenden Ausführungen sollen als Beispiel dafür dienen, welche Zwischenergebnisse vorlagen und wie eine Bündelung vorgenommen wurde. Die hier diskutierten acht Proband*innen nannten unterschiedliche Gründe, die unter den Code bzw. Sammelbegriff „sprachliche Gründe“ gefasst wurden. So geben drei der acht Lernenden an, dass das Modul das „Vokabular verbessert“ habe, wobei sie diese Aussage unterschiedlich realisierten (neben dem genannten Zitat: „erweitert [...] den Wortschatz“; „wichtige englische Fachbegriffe aus dem Bereich der Chemie [werden gelernt]“) (vgl. Nr. 4, 5 und 6 in der Tabelle). Sie schätzen den Unterricht in Englisch, da es „cool“ bzw. eine „schöne Sprache“ ist, wie zwei SuS ausführen (vgl. Nr. 2 und 8). Das Sich-Ausprobieren in einer anderen Sprache wird ebenfalls zweimal genannt („die chemischen Prozesse mal auf Englisch [kennenzulernen]“; „Es war mal gut um bilingualen Unterricht auszuprobieren“, Nr. 3 und 7) und einmal wird der Unterricht als „anders“ wahrgenommen, da die „Kommunikation auf Englisch“ läuft (Nr. 1) - im Zusammenhang des Fragebogens eine positive Aussage. Diese vier thematisch gruppierten Äußerungsrichtungen wurden also nicht eigenständig aufgeführt, sondern zusammengefasst. Das Zusammenfassen wird in Tab. 9 anhand des Codes deutlich, denn das aufgeführte „(+“ hinter der Bezeichnung „Sprachliche Gründe“ zeigt die Fusionierung zusammengehöriger Codes an (vgl. Anhang A13.2).

Tab. 9: Liste der codierten Segmente: MAXQDA-Export in Excel-Tabelle zur Codierung „positive Moduleinschätzung“, Unterkategorie „Sprachliche Gründe (+)“

Nr.	Code	Anfang	Ende	Segment
1	f-a25 Sprachliche Gründe (+)	12	12	anderer Unterricht aufgrund der Kommunikation auf Englisch, war aber dennoch sehr informativ.
2	hie17 Sprachliche Gründe (+)	33	33	Englisch zu sprechen, da es eine schöne Sprache ist und es Spaß macht, sie zu sprechen.
3	hie48 Sprachliche Gründe (+)	66	66	sehr interessant ist, die chemischen Prozesse mal auf Englisch
4	hie50 Sprachliche Gründe (+)	69	69	mein Vokabular verbessert.
5	unt15 Sprachliche Gründe (+)	108	108	wichtige englische Fachbegriffe aus dem Bereich der Chemie und Biologie
6	coc7 Sprachliche Gründe (+)	138	138	erweitert meiner Meinung nach auch den Wortschatz.
7	coc14 Sprachliche Gründe (+)	144	144	Es war gut um mal bilingualen Unterricht auszuprobieren
8	coc16 Sprachliche Gründe (+)	150	150	Englisch ist cool

Die in Tab. 9 zusammengestellten Segmente sind die jeweils während der Codierung markierten Textstellen der SuS-Kommentare. Oftmals sind also nur Kommentarausschnitte in der Segment-Liste aufgeführt (vgl. Anhang A13.2). Für die Nr. 3, 4 und 5 finden sich zum besseren Nachvollziehen der Ausführungen die dazugehörigen vollständigen Kommentare in den folgenden Abbildungen (Abb. 51-50). Darin wird auch deutlich, dass die in den Spalten „Anfang“ und „Ende“ (vgl. Tab. 11) vermerkten Zahlen die von der Software automatisch vergebenen Zeilennummerierungen sind.

Sprachliche Gründe (-) 	66	Dass es sehr interessant ist, die chemischen Prozesse mal auf Englisch zu besprechen. Neues Vokabular...
	67 68	Code: • positive Moduleinschätzung Gewicht: 0 2019 - Hie > hie48, Pos. 2
Spaß (+) (+) (+)  Sprachliche Gründe (+)	69	Hat mir wirklich Spaß gemacht und hat mein Vokabular verbessert.
	70	Code: • positive Moduleinschätzung Gewicht: 0
	71	2019 - Hie > hie50, Pos. 4

Abb. 51: Screenshot aus dem Dokument-Browser für Nr. 3 und 4

Spannend (+)  Experimente (+) (+)  Sprachliche Gründe  Experimente (+) (+) 	108	Ich fand den Exkurs in eine bilinguale Chemie BINDESTRICH Unterrichtsreihe spannend, da man die Experimente auf eine neue Art und Weise angeht. Außerdem lernt man wichtige englische Fachbegriffe aus dem Bereich der Chemie und Biologie dazu. Es hat sehr viel Spaß gemacht, die Experimente durchzuführen, vor allem das Experiment mit der Taschenlampe und der Lösung, welche sich bei unterschiedlichen Lichtfarben und Typen unterschiedlich schnell verändert. Man hätte während dieser Unterrichtsreihe zwar ein oder zwei weitere Experimente machen können, aber die Experimente, die wir gemacht haben, waren sehr spannend.
	109 110	Code: • positive Moduleinschätzung Gewicht: 0 2018 - Unterricht > unt15, Pos. 1

Abb. 52: Screenshot aus dem Dokument-Browser für Nr. 5

In der linken Spalte der Abb. 51 und Abb. 50 finden sich die jeweiligen Codierungen in unterschiedlichen Farben. Für den betrachteten Fall sind die lilafarbenen Codierungen „Sprachliche Gründe (+)“

bedeutsam. Die übrigen Codes geben weitere Gründe an, warum das Modul als positiv wahrgenommen wurde. Hier werden Experimente (gelb), Spaß (blau) und spannend (blau) als Begründungen angeführt.

Die Aussage, dass das Modul als „sinnvoll gerade in Zeiten der internationalen Vernetzung“ (Proband*in coc15) angesehen wird, hätte auch unter „Sprachliche Gründe“ subsumiert werden können. Im Vordergrund wurde hier jedoch die Tatsache des internationalen Zusammenwachsens und der in diesem Kontext dienlichen lingua franca Englisch gesehen und dann als Code „Internationalisierung / lingua franca“ aufgeführt. Insofern sind in vereinzelt Fällen die Grenzen zwischen Kategorien als fließend zu betrachten, doch dieses verändert die zentralen Aussagen lediglich marginal und kann somit ausgeklammert werden.

13.2.2 Ergebnisse: Positive Moduleinschätzungen

Dieses wiederholt und sorgfältig durchgeführte Aufarbeiten der Daten führt auf Basis von insgesamt 54 positiven Einschätzungen zu 69 Segmenten, die Begründungen liefern. Es ist also hieran, und auch an den Mehrfachcodierungen in Abb. 51 und Abb. 52, abzulesen, dass die Proband*innen teilweise mehrere Gründe anführten. In wenigen Fällen gab es keine Begründung.

Aus den Markierungen ergeben sich 11 Code-Kategorien, wie das Balkendiagramm in Abb. 53 aufzeigt. Hervor stechen mit 12 Nennungen (gut 17 %) die Begründungen, dass das bilinguale Modul interessant sei und Abwechslung zum üblichen deutschsprachigen Unterricht biete. Vielfach (je 8x; knapp 11 %) genannt wird auch der Einsatz von Experimenten, das Erleben von Spaß und die Tatsache, dass die englische Sprache verwendet wird. Am dritthäufigsten wird der Lernzuwachs und die Themenwahl genannt (7x bzw. 6x, d.h. gut 10 % bzw. knapp 9 %) – jedoch im Verhältnis zu den Erstnennungen lediglich etwa halb so häufig.

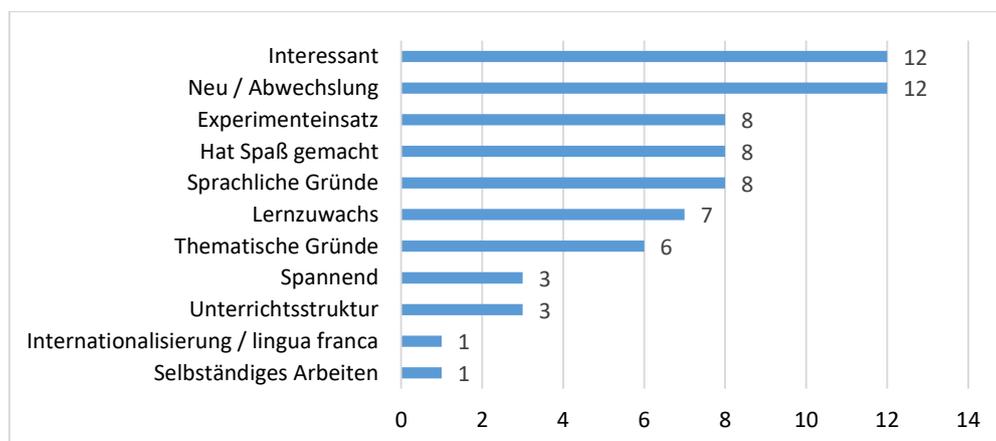


Abb. 53: SuS-Begründungen für die positive Moduleinschätzung

13.2.3 Ergebnisse: Negative Moduleinschätzungen

Nach dem gleichen Auswerteverfahren wurden die vorliegenden Daten in Bezug auf die ablehnenden Positionierungen durchgeführt, die sich auf zehn Proband*innen verteilen. Auch hier wurden teilweise einfache, teilweise mehrfache Gründe identifiziert, aber auch in wenigen Fällen keine bzw. keine eindeutigen Begründungen. Beispielsweise wird einmal angeführt: „Eine neue Erfahrung, welche ich nicht wiederholen würde“ (2019 coc09).

Insgesamt finden sich zehn Begründungen, die sich auf sechs Kategorien verteilen lassen (vgl. Abb. 54). Es bleibt jedoch unklar, worin die Ablehnung gegenüber bilinguaem Unterricht besteht. Die Äußerungen „Chemie auf Deutsch ist besser“ (2019 hie20) oder „Bili hätte nicht sein müssen“ (2020 ona01) erhellen die Gründe der Ablehnung nicht.

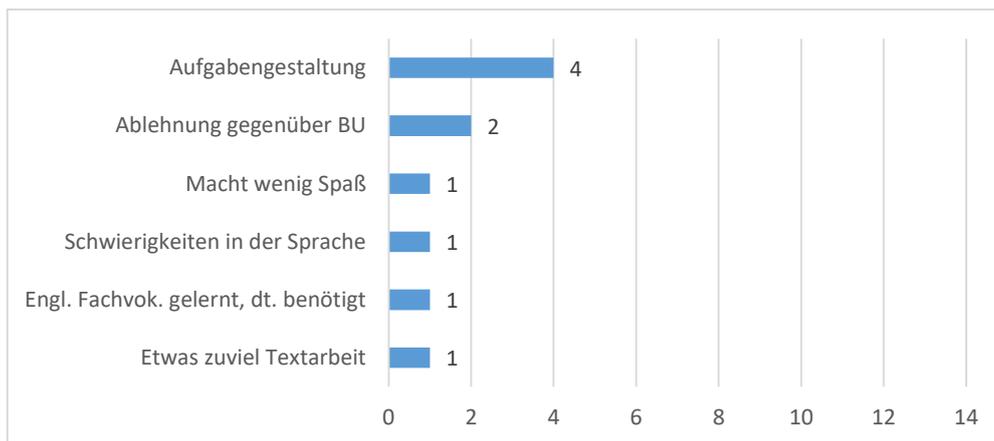


Abb. 54: SuS-Begründungen für die negative Moduleinschätzung

Vier der zehn Nennungen fallen auf die Aufgabengestaltung. Mit „Ablehnung gegenüber BU“, „Schwierigkeiten in der Sprache“ und der Kritik daran, dass lediglich englisches Fachvokabular vermittelt wird, wobei doch deutsches benötigt werde, fallen vier Aspekte in den Bereich sprachliche Gründe. Auf ein Zusammenlegen wurde verzichtet, weil aufgrund der wenigen negativen Rückmeldungen recht viel Raum für die einzelnen Betrachtungen bleibt. Hier kann also den unterschiedlichen Ausprägungen der sprachlichen Gründe nachgegangen werden. Neben den zwei unklaren Motivationen wird es nun einmal klar, dass aus Sicht der Schüler*in im Bili-Unterricht keine doppelte Sachfachliteralität ausgebildet wird. Ferner wird einmal deutlich, dass die eigene Fremdsprachenkompetenz die Ursache für die ablehnende Haltung zum Modul ist.

Oben wurde die Fremdsprache als Grund für eine bejahende oder ablehnende Moduleinschätzung aufgeführt. Da bilingualer Chemieunterricht bedeutet, dass die Fremdsprache Englisch gegenüber der Muttersprache in den Vordergrund tritt, wurde explizit dieser Aspekt in den Fragen 2 und 3 aufgegriffen: „Berichte, wie es für dich war, Chemie in englischer Sprache zu lernen.“ bzw. „Beurteile, wie gut du die Inhalte in Englisch verstanden hast. Was hättest du gebraucht, um noch erfolgreicher zu lernen?“. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt.

13.3 Einschätzungen zu Chemieunterricht in englischer Sprache

Die Darstellungen in diesem Kapitel beziehen sich auf die Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. Übersicht in Anhang AX).

13.3.1 Methodik der Datenerhebung

Die Lernenden haben zum ersten Mal während ihrer Schulzeit die Gelegenheit, an einer Sequenz bilingualen Chemieunterrichts teilzunehmen. Grundsätzlich ähnelt er üblichem Chemieunterricht, beispielsweise dahingehend, dass SuS-Experimente zentraler Bestandteil sind. Eine bedeutende Änderung ist der Wechsel der Unterrichtssprache. Diese neue Bedingung steht im Vordergrund der in diesem Kapitel dargelegten Untersuchungen.

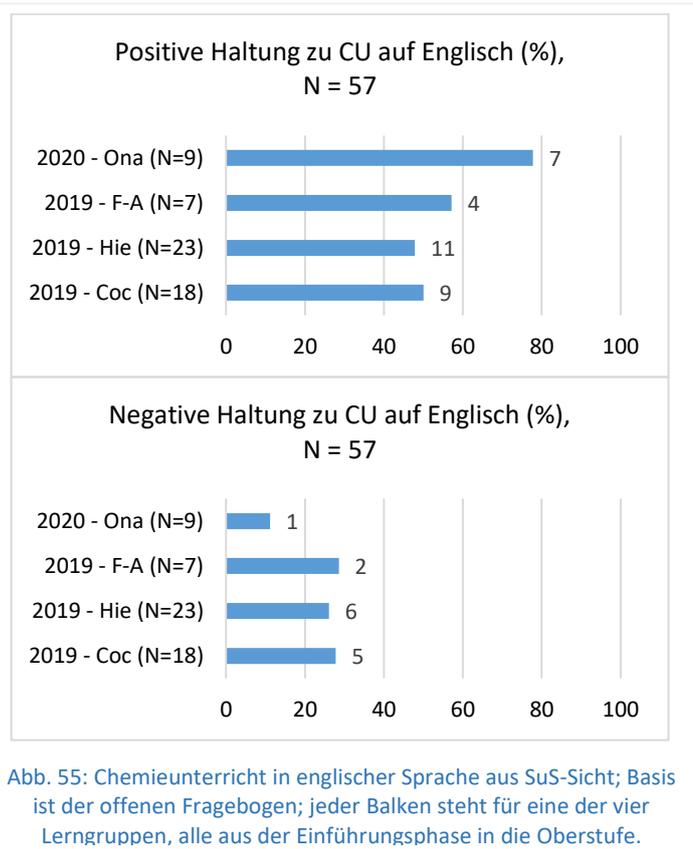
Ab hier sind die Erfahrungen von vier Lerngruppen (Coc, Hie, F-A und Ona) aus den Jahren 2019 und 2020 Grundlage der Darstellungen. Die Gruppen aus dem Jahr 2018 (Unt, Eur) konnten an dieser Stelle nicht einbezogen werden, da in den Evaluationen eher eine allgemeine Rückmeldung abgefragt wurde, also nicht explizit nach der Unterrichtssprache Englisch gefragt wurde, auch wenn hier und da auf diese vereinzelt Bezug genommen wird. Es sei aber in diesem Zusammenhang auf die oben aufgeführte Auswertung der LF mit Teilnehmenden aus der Lerngruppe 2018-Unt verwiesen, in denen sehr wohl eine Rückmeldung zur Arbeit in englischer Sprache gegeben wurde (vgl. Kap. 10.10.2).

Methodisch folgt die Auswertung der oben skizzierten Herangehensweise. Die Ergebnisse werden wieder zunächst in Übersichten dargestellt, um dann eine Aufarbeitung der Begründungen vorzu-

nehmen. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 2 bilden die Grundlage** für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Fragebogen in Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.3.2 Ergebnisse

Bei zwei der vier Lerngruppen hat mit knapp 80 % bzw. 60 % eine Mehrheit der SuS eine positive Haltung zu englischsprachig geführtem Chemieunterricht. In den anderen beiden Gruppen antwortet die Hälfte bzw. knapp die Hälfte positiv (vgl. Abb. 55; hinter dem Balken die totale Proband*innen-Anzahl). Der Mittelwert der Gruppen liegt bei 58 %; insgesamt wurden die Äußerungen von 31 der 57 SuS als positiv codiert. Zum Beispiel formulieren teilnehmende Lernende aus den vier Lerngruppen ihre positiven Haltungen wie folgt – aus jeder Lerngruppe wird jeweils ein Beispiel ausgewählt:



Einfacher als erwartet, da Fachbegriffe sich im Englischen vom deutschen meist nur wenig unterscheiden. (2019; Proband*in coc03)

Es war zunächst etwas schwieriger, chemische Prozesse zu verstehen und selbst zu erläutern, jedoch auch irgendwie interessanter. [...] Ich habe sprachlich keine Probleme gehabt. (2019; Proband*in f-a29)

Teilweise fehlten mir die Worte, aber trotzdem war es kein Problem, weil wir auf den Zetteln Vokabellisten hatten. (2019; Proband*in hie49)

Ich hatte aber den Eindruck als ob ich durch das Englische viel besser auch um das Thema herum Bescheid wusste. Ich glaube das lag daran, dass ich mich viel mehr mit den Fachbegriffen befassen musste. (2020; Proband*in ona04)

Deutlich weniger Teilnehmende formulieren eine negative Einschätzung (d.h. gut ein Zehntel in einem Fall und dreimal knapp ein Drittel: die Prozentzahlen liegen zwischen 11 % und 29 %); im Schnitt liegt der Prozentsatz bei 23 % (vgl. Abb. 55). Insgesamt wurden die Äußerungen von 14 der 57 SuS als negativ codiert. Auch hier wird wieder je ein Beispiel der schriftlichen SuS-Antworten aus jeder Lerngruppe angeführt:

Schwieriger als sowieso schon. Deshalb auf jeden Fall freiwillig anbieten für diejenigen, die so mehr Spaß daran haben oder so mehr lernen wollen. (2019; Proband*in coc05)

Es war sehr schwierig, da man sich an die Umstellung gewöhnen musste. Und manche Begriffe waren sehr komisch und ergaben für mich keinen Sinn. (2019; Proband*in f-a23)

Es war anfangs relativ schwierig, da man die Vokabeln noch nicht wusste und es daher nicht so leicht was zu verstehen. (2019; Proband*in hie05)

Weniger gut, da schon auf Deutsch schwer ist. Musste Fachwörter immer nachschlagen.
Verwirrende Umstellung. (2020; Proband*in ona01)

Im Vergleich mit der allgemeinen Moduleinschätzung sind es weniger positive Haltungen (knapp 60 % im Vergleich zu knapp 70 %) und mehr negative Haltungen (23 % zu 14 %). Die Lektüre der ausgewählten SuS-Kommentare gibt bereits Einblicke in die vielseitigen Gründe, die aus SuS-Sicht das Lernen in englischer Sprache beeinflussen. Diesem wird im Folgenden nachgegangen.

13.4 Gründe für Haltungen zu Chemie auf Englisch

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. Anhang AX).

13.4.1 Methodik der Datenaufbereitung

Zur Auswertung wurden die codierten Segmente, die eine positive oder negative Haltung offenbaren, in MAXQDA zusammengestellt und die gesamten Aussagen erneut gelesen und inhaltlich neu codiert (vereinzelt, wie bei 2020-ona03 gab es mehrerer Gründe und deshalb auch mehrere Codes, hier zwei, jedoch gab es keine Dopplungen bei „L2 nachvollziehbar“ und „Eigene L2-Kompetenz“; vgl. Anhang A13.2). Nun wurden diese Codes in Excel importiert und dort zu übergreifenden Kategorien geclustert. Es wurden Daten aus allen vier Lerngruppen berücksichtigt und dabei auch die als ambivalent oder neutral zu verstehenden SuS-Niederschriften mit einbezogen, da dort ebenfalls Begründungen zu finden sein können. Dieses stellte sich in wenigen Fällen als zutreffend heraus. Als ambivalent oder neutral sind diejenigen SuS zu verstehen, die nicht eindeutig zu positiv oder negativ zugeordnet werden konnten und deshalb in Abb. 55 nicht aufgeführt sind. Das ist mit insgesamt 12 der 57 Lernenden etwas mehr als ein Fünftel.

In Tab. 10 sind in alphabetischer Reihenfolge Beispiele für die entstandenen Neucodierungen zusammengestellt. Bei den laufenden Nummern 6 und 9 „Eigene L2-Kompetenz“ bzw. „L2 nachvollziehbar“ gibt es nicht immer so klare Selbstpositionierungen, wie es Nr. 6 ausdrückt, so dass es zu wenig Trennschärfe für zwei unterschiedliche Kategorien gab. Vor diesem Hintergrund wurde die Entscheidung getroffen, diese Kategorien zu fusionieren.

Tab. 10: Beispiele für die Kategorisierung der Gründe anhand von Neucodierungen

Nr.	Segment	Neucodierung
1	etwas Neues	Abwechslung von unterrichtl. Alltag
2	sehr sinnvoll gerade in Zeiten der internationalen Vernetzung.	Agieren als Weltbürger
3	wie im Deutschen nur einfacher.	Ähneln üblichem Chemieunterricht
4	Nicht viel schwerer als es im Englischunterricht ist	Ähneln üblichem Englischunterricht
5	Viele Begriffe sind gleich wie im Deutschen.	Ähnlichkeiten Termini Dt.-En.
6	weil ich die englische Sprache beherrsche.	Eigene L2-Kompetenz
7	spannend	Emotionen angesprochen ("Spaß(ig)"; "spannend")
8	im Endeffekt interessanter	Intellekt angesprochen ("sehr interessant(er)")
9	Es war leicht, alles zu verstehen, was uns erklärt wurde	L2 nachvollziehbar
10	Teilweise fehlten mir die Worte, aber trotzdem war es kein Problem, weil wir auf den Zetteln Vokabellisten hatten.	Nützliche Vokabellisten (Scaffolding)
11	Ich hatte aber den Eindruck als ob ich durch das Englische viel besser auch um das Thema herum Bescheid wusste. Ich glaube das lag daran, dass ich mich viel mehr mit den Fachbegriffen befassen musste.	Vertieftes inhaltliches Lernen
12	Da ich schon so Bio in Englisch mache war es nicht so ganz etwas Neues. War für mich einfach nur Chemie bloß in einer anderen Sprache nicht so schwer.	Vorerfahrungen mit BU
13	Ok, viele neue Wörter gelernt.	Wortschatzerweiterung

Im Vergleich zur Tab. 9 wurden in Tab. 10 aus Darstellungsgründen die Spalten mit den Proband*innen-Codes, die Zeilennummern zum Anfang und Ende des SuS-Beispiels sowie die beim ersten Codieren erzeugten Codes nicht mit aufgeführt.

13.4.2 Ergebnisse: Gründe für positive Haltung

Diese Gründe entstammen allen Segmenten, die als Gründe für die positive Haltung identifiziert wurden. Dieses umfasst dann teilweise auch SuS, die nicht in die Kategorie „positive Haltung“ fallen, wie z.B. Proband*in hie11: „Es war *leicht alles zu verstehen, was uns erklärt wurde*, jedoch hatte ich Probleme, solches auf Englisch und in eigenen Worten selbst zu formulieren.“ Hier gibt es einen als positiv codierten Grund (Kursivierung) der von einem als negativ codierten Grund (Unterstreichen) gefolgt wird. Aufgrund der allgemeinen Aussage und aufgrund des Nennens positiver wie negativer Aspekte wurde dieser Proband*in weder in die Kategorie „positive Haltung“ noch in die Kategorie „negative Haltung“ eingruppiert. Folglich wurden bei 32 Lernenden die insgesamt 41 Segmente mit positiven Aspekten identifiziert, was eine mehrfache Codierung bei wenigen SuS bedeutet (5x zwei Aspekte; 1x drei Aspekte).

In der folgenden Tabelle, Tab. 11, finden sich die Gründe in einer Übersicht. Ein knappes Drittel fällt auf die Kategorie „Eigene L2-Kompetenz / L2 nachvollziehbar“ (12 von 41 Nennungen), gefolgt von „Abwechslung von unterrichtlichem Alltag“, „Vorerfahrungen mit bilinguaem Unterricht“ und „den Intellekt angesprochen („(sehr) interessant(er)“)“ auf die jeweils etwa 10 % fallen (d.h. fünf bzw. vier Nennungen).

Tab. 11: Übersicht über die Gründe für eine positive Haltung zu Chemieunterricht auf Englisch

Nr.	Kategorisierte Gründe	Nennungen				Nutzenorientierung
			Fremdsprachliche Aspekte	Positives (emotionales) Erleben	Vorerfahrungen	
1	Eigene L2-Kompetenz / L2 nachvollziehbar	12	12			
2	Abwechslung von unterrichtlichem Alltag	5		5		
3	Vorerfahrungen mit BU	4	4		4	
4	Intellekt angesprochen ("(sehr) interessant(er)")	4		4		
5	Emotionen angesprochen ("Spaß(ig)"; "spannend")	3		3		
6	Nützliche Vokabellisten (Scaffolding)	3	3			
7	Wortschatzerweiterung	3	3			3
8	Ähnlichkeiten Termini Dt.-En.	2	2		2	
9	Ähneln üblichem Chemieunterricht	2			2	
10	Ähneln üblichem Englischunterricht	1	1		1	
11	Vertieftes inhaltliches Lernen	1	1			1
12	Agieren als Weltbürger	1	1			1
	Summen	41	27	12	9	5

Bei der Zusammenstellung fällt auf, dass die Gründe unterschiedlichen Motivierungen zugeordnet werden können. Die affirmative Haltung zur Bili-Unterrichtserfahrung geht auf fremdsprachige Aspekte zurück, aber auch auf ein positives Erleben des Moduls sowie Vorerfahrungen mit unterrichtlich

oder inhaltlich Ähnlichem. Abschließend hat auch der Ertrag, den Lernende aus dem Modul für sich ziehen, eine eigene Bedeutung.

13.4.3 Ergebnisse: Gründe für negative Haltung

Die Auswertung entspricht der oben skizzierten Weise. Die nun herausgearbeiteten Gründe entstammen ebenfalls den negativ codierten Segmenten, die sich auf 27 Teilnehmende verteilen (7x zwei Aspekte, 1x drei). Oft werden Aspekte genannt, die der Frage etwas ausweichen und eine Zuordnung nicht ermöglichen, wie z.B. im Fall von 2019-hie43: „Ähnlich [wie üblicher Chemieunterricht], aber mehr neue Vokabeln.“ Teilweise gab es ambivalente Aussagen (vgl. Zitat von Proband*in 2019-hie11 oben). Es lassen sich 36 Begründungen extrahieren, von denen nur zwei, nicht dem Bereich „sprachliche Gründe“ zuzuordnen sind: Die Codierungen „Ablehnung von Chemieunterricht“ und „Chemieunterricht schon in L1 schwer“ wurden jeweils einmal genannt.

Die folgende Übersicht in Tab. 12 gibt Einblick in die unterschiedlichen sprachlichen Gründe – oben genannte außersprachliche Gründe sind hier nicht dargestellt. Eine weitere Eingruppierung erschien bei wiederholten Durchgehen analog der Vorgehensweise von Kuckartz als sinnvoll. So wurde der sprachliche Ursprung identifiziert, der für eine negative Haltung sorgte. Hierzu gehören die drei Bereiche allgemeine L2-Kompetenz, Beherrschen des allgemeinen bzw. fachspezifischen L2-Wortschatzes. Überdies wurde die jeweilige Sprachfertigkeit identifiziert (Rezeption und Produktion; vgl. Grimm/Meyer/Volkman 2015:122ff), die in den kategorisierten Gründen zutage treten. Diese Einsortierungen sind also Ergebnisse der strukturierenden Inhaltsanalyse. Die Vielzahl der (numerisch teils sehr gering vertretenen) kategorisierten Gründe werden so besser verarbeitet und verstanden.

Tab. 12: Übersicht über die sprachlichen Gründe für eine negative Haltung zu Chemie auf Englisch; die beiden außersprachlichen Gründe sind hier nicht aufgeführt, vgl. Fließtext

Nr.	Kategorisierte Gründe	Nennungen ges.				Sprachrezeption	Sprachproduktion
			L2 allgemein	L2-Vokabular allgemein	L2-Vokabular fachspez.		
1	L2 allgemein erschwert Inhaltsverständnis	5	5			5	
2	Eigene mangelnde Fremdsprachenkompetenz erschwert Unterricht	4	4			4	4
3	Fachbegriff unbekannt	4			4	4	4
4	Fehlendes Vokabular erschwert Unterricht	4		4		4	4
5	L2 allgemein erschwert Unterricht	4	4			4	4
6	Umstellung auf L2	3	3			3	3
7	Vokabular allgemein fehlt	2		2		2	2
8	Fehlendes Fachvokabular erschwert fachliche Textproduktion	1			1		1
9	Fehlendes Vokabular erschwert Inhaltsverständnis	1		1		1	
10	L2 allgemein erschwert fachliche Textproduktion	1	1				1
11	L2 macht Unterricht aufwendiger	1	1			1	1
12	Nur engl. Fachvokabular gelernt, die dt. benötigt	1			1	1	1
13	Viel Nachschlagen in Vokabelhilfen	1		0,5	0,5	1	1
14	Vielzahl an neuen Vokabeln	1		0,5	0,5	1	1
15	Vokabular allgemein nicht erschließbar	1		0,5	0,5	1	
	Summen	34	18	8,5	7,5	32	27

Um eine klare Aussage bezüglich der Aufteilungen auf die Kategorien allgemeines Vokabular, fachspezifisches Vokabular oder L2 allgemein vorzunehmen, wurde hier jeweils eine klare Entscheidung für das Einsortieren angestrebt. In drei Fällen war das nicht möglich, vgl. Nr. 13 bis 15, denn hier können jeweils beide Vokabelkategorien gemeint sein. Insofern wurde die Gesamtanzahl geteilt, hier sogar mit halben Nennungen. Das linke Kuchendiagramm in Abb. 56 führt vor Augen, dass vor allem fehlender allgemeiner und fachspezifischer Wortschatz als Gründe genannt werden. Sie machen ein Viertel bzw. ein gutes Fünftel aller Nennungen aus. Der Bereich L2 allgemein bleibt unklar, denn hier können neben den erstgenannten Bereichen auch Aspekte der Grammatik oder der Aussprache – jeweils potentiell auf Lernenden- wie auch auf Lehrenden- bzw. Materialebene – dazu gehören.

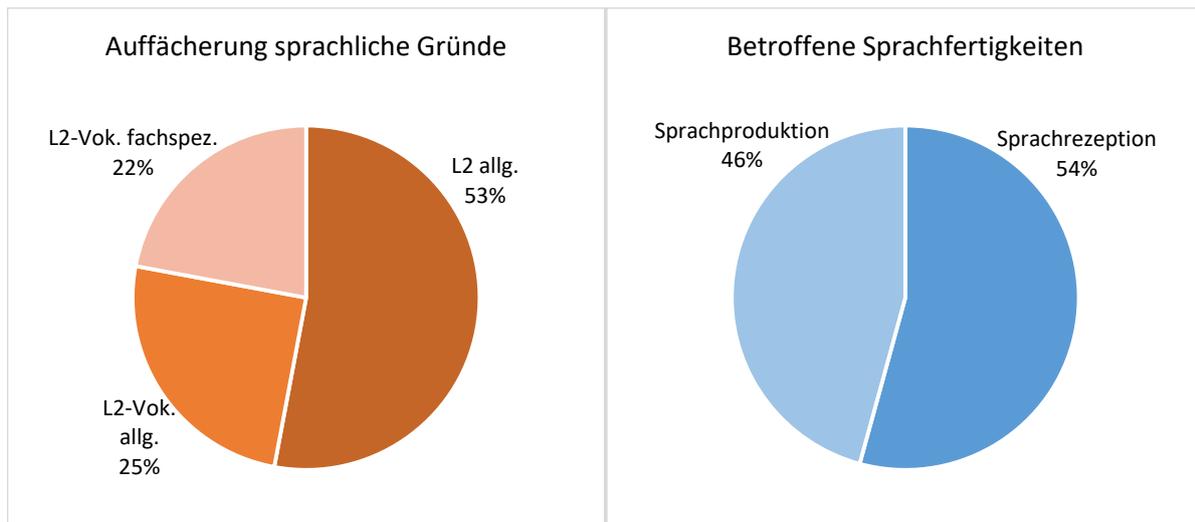


Abb. 56: Clustern der sprachlichen Gründe für die negative Haltung in drei übergreifende Kategorien (links) sowie Zusammenhang mit Sprachrezeption und –produktion (rechts)

Für den Bereich der rezeptiven bzw. produktiven Sprachverwendung gibt es deshalb viele Überschneidungen, weil sprachliche Mittel für beiderlei genutzt werden können. Allerdings gab es Aussagen, die sich eindeutig nur einem Bereich zuordnen ließen, d.h. Nr. 1, 8 bis 10 und 15. Die sprachlichen Gründe umfassen also zu vergleichbaren Anteilen beide skills, mit leichtem Übergewicht auf Seiten der Sprachrezeption gegenüber der Sprachproduktion (knapp 54 % vs. gut 46 %, vgl. rechtes Kuchendiagramm in Abb. 56).

13.5 Einschätzungen zum eigenen Inhaltsverständnis

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

13.5.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die Herangehensweise ist identisch der oben beschriebenen. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 3 bilden die Grundlage** für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.5.2 Ergebnisse

Große Mehrheiten der Teilnehmer*innen aus allen Lerngruppen führen ein gutes Verständnis an (67 % bis 89 %; Schnitt: 82 %), wobei nur vereinzelt schlechtes Inhaltsverständnis aus den Antworten ersichtlich wurde (0 % bis 17 %; im Schnitt gut 6 %; vgl. dazu Abb. 57; hinter den Balken jeweils die totalen Proband*innen-Zahlen).

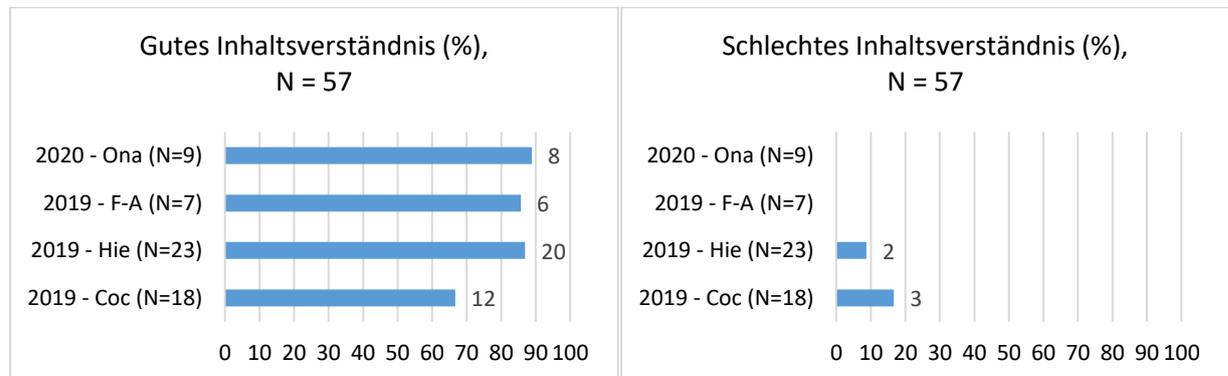


Abb. 57: SuS-Einschätzung des Verstehens der dargebotenen Inhalte; Basis ist der offenen Fragebogen; jeder Balken steht für eine der vier Lerngruppen, alle aus der Einführungsphase in die Oberstufe.

Zum Beispiel formulieren teilnehmende Lernende aus den vier Lerngruppen ihr gutes Inhaltsverständnis wie folgt – aus jeder Lerngruppe wird jeweils ein Beispiel ausgewählt (ein teilweise vorhandener Nachsatz ergibt sich daraus, dass die SuS auch gebeten wurden, darauf einzugehen, was ihnen zu einem noch besseren Inhaltsverständnis verholfen hätte. Diese hauptsächlich genannten Gründe werden weiter unten aufgeführt):

Ich habe die meisten Inhalte verstanden. Bei Unverständnis konnte ich meinen Lehrer fragen. Erläuterungen von Fremdwörtern wären hilfreich. (2019; Proband*in coc08)

Ich habe die Inhalte gut auf Englisch verstanden, da wir auch zu Beginn eine Vokabelliste bekommen haben. (2019; Proband*in f-a12)

Ich habe die Inhalte in Englisch gut verstanden. Mehr Deutsch hätte mir geholfen (2019; Proband*in hie42)

Die Inhalte konnte ich sehr gut auf Englisch verstehen, da alles deutlich erklärt war und unbekannte Wörter im Anhang erklärt wurden. (2020; Proband*in ona07)

Nur wenige Lernende formulieren ein schlechtes Inhaltsverständnis. Hier wird wie zuvor auch ein Beispiel aus jeder Lerngruppe angeführt:

Nicht wirklich gut, jedoch liegt dies daran, dass Englisch generell nicht mein bestes Fach ist. Daher sollte man dies freiwillig für die anbieten, die gut Englisch können. (2019; Proband*in coc05)

Nicht gut, viele Wörter kennt man nicht. (2019; Proband*in hie20)

13.5.3 Gründe für das Gut- und Schlechtverstehen

Die Aussagen werden teilweise begründet (14x). Das Gutverstehen wird relativ häufig mit hilfreichen Scaffolding (5x) oder der positiven Vorbedingung der eigenen L2-Kompetenz (2x) begründet. Letztere wird auch als Grund für das Schlechtverstehen genannt (3x) – hier gibt es keinen weiteren Grund. Weitere je einmal genannte Gründe der Gutverstehender waren der Einsatz von Experimenten und Sprachwechsel.

In knapp 20 Fällen werden Vorschläge von SuS-Seite gemacht, die das eigene Inhaltsverstehen noch verbessert hätten. Die Gutversteher regen relativ häufig weitere Vokabelhilfen an oder Sprachwechsel (je 4x). Das Bereitstellen von Wörterbüchern wird in zwei Fällen genannt (vgl. Gutversteher; nicht als Gut- oder Schlechtversteher Kategorisierte). Auch der Wunsch nach mehr Unterrichtszeit für das Modul wird in zwei Fällen aus denselben Kategorien geäußert. Ein Schlechtversteher regt eine lediglich freiwillige Teilnahme am bilingualen Modul an. Weitere je einmal genannte Gründe der Gutversteher waren der Wunsch nach einem Vor- bzw. Crashkurs zu themen- bzw. chemiespezifischem Vokabular sowie das eigenständige Anfertigen eines bilingualen Glossars.

13.6 Schwerer oder leichter als üblicher Chemieunterricht?

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

13.6.1 Methodik der Datenaufbereitung

Diese entspricht den oben formulierten Herangehensweisen. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 4** bilden die Grundlage für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Fragebogen in Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.6.2 Ergebnisse

Mithilfe von Frage 4 wird erkundet, wie schwer oder leicht die SuS das Modul im Vergleich mit üblichem Chemieunterricht einschätzen. Bei 51 von 57 Teilnehmenden konnten entsprechende Segmente codiert werden. Sie sind im Balkendiagramm in Abb. 58 in einer Dreiteilung („leichter“, „wie immer“, „schwerer“) nebst der Kategorie „ohne Antwort“ dargestellt.

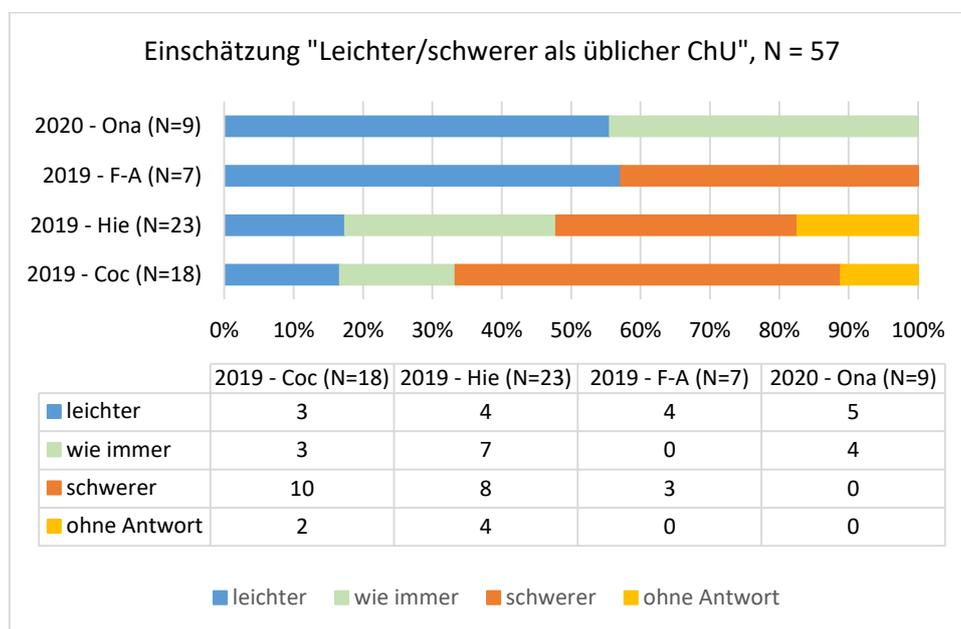


Abb. 58: Codierte SuS-Antworten zur Einschätzung, wie schwer sie das Modul einordnen

In zwei der Lerngruppen überwiegt die Einschätzung, dass das Modul leichter gewesen sei (2020-Ona und 2019-F-A, je zu ca. 55 %). Zusammen mit der Wahrnehmung „wie immer“ macht dieses bei den anderen beiden Lerngruppen nur etwa ein Drittel (33 %, 2019–Coc) bzw. knapp die Hälfte (48 %, 2019–Hie) aus. Hier überwiegt die Codierung „schwerer“: Die deutliche Mehrheit der SuS-Einschätzungen aus der Lerngruppe 2019-Coc (56 %) und etwas mehr als ein Drittel der SuS-Einschätzungen aus der Lerngruppe 2019-Hie (35 %) versammeln sich darauf.

Diese Auswahl an Äußerungen geben Einblicke in die Wahrnehmung der Chemie-Lernenden. Zunächst finden sich Zitate derjenigen Teilnehmenden, deren Äußerungen der Einschätzung „Das Chemiemodul war leichter als üblicher Chemieunterricht“ zugeordnet wurde:

Leichter, da in den AB's kleinschrittiger vorgegangen wurde. (2019; Proband*in coc15)

Der Chemieunterricht ist mir insgesamt leichter gefallen, da es auf Englisch viele vorgefertigte Formulierungen gab, mit der sich die chemischen Prozesse präziser erklären ließen als auf Deutsch. (2019; Proband*in f-a29)

Ich fand es leichter, da das Thema einfacher war. (2019; Proband*in hie08)

Mir ist der Unterricht schon etwas leichter gefallen da mir das Thema nicht unbekannt war. Außerdem ist die Biologie etwas mehr meine Stärke als die Chemie. (2020; Proband*in ona08)

Nun folgen Wortlaute derjenigen SuS, deren Äußerungen der Einschätzung „Das Chemiemodul war ähnlich schwer wie der übliche Chemieunterricht“ zugeordnet wurde:

So wie immer. (2019; Proband*in coc17)

Zu Beginn ist es mir sehr schwer gefallen. Dies lag daran, dass ich Probleme hatte, mich auf Englisch mit chemischen Fachbegriffen auszudrücken. Dennoch habe ich mich schnell anpassen können (glaube ich zumindest). (2019; Proband*in hie11)

Ich persönlich würde es auf gleiche Ebene stellen wie die vorherigen Themen. Es kamen keine Schwierigkeiten auf. (2020; Proband*in ona07)

Abschließend Wortlaute von SuS, deren Aussagen verdeutlichen, dass sie das Modul „schwerer“ als den üblichen Chemieunterricht einschätzen:

Schwerer, aber immer noch sehr gut verständlich. (2019; Proband*in coc14)

Mir ist der Unterricht schwerer gefallen, da ich im Englischen unsicher bin. (2019; Proband*in f-a12)

Der Chemieunterricht ist mir [ein] bisschen schwerer gefallen, da ich nun auch auf Englisch denken musste. Ich habe mich aber schnell damit verstanden. (2019; Proband*in hie30)

Die Zitate deuten wiederum verschiedenartige Motive an, die der Einschätzung der Schwierigkeit zu Grunde liegt, warum das Modul als „leichter“ oder „schwerer“ gilt. Diese Aspekte werden aus den SuS-Äußerungen per bekannter Codier-Vorgehensweise extrahiert und unten dargestellt.

13.6.3 Gründe für die Einschätzung als „schwerer“ oder „leichter“

Bei 12 von 16 Lernenden, die dem Bereich „leichter“ zugeordnet werden konnten, werden 15 Segmente mit Begründungen identifiziert (3 SuS nennen je zwei Aspekte; 4 SuS ohne Begründung). Knapp die Hälfte verweisen auf das Thema, das als leichter eingeordnet wird. Zudem wird von einer Person genannt, dass zu diesem bereits Vorwissen vorhanden sei. Wenn dieses eingerechnet wird, sind es genau 8 der 16 Proband*innen, die das Thema nennen. Dieses ist somit der Hauptgrund. Danach werden Aspekte wie die „Aufgabenstellung“ (2x) und, je einmal genannt: „auf jeden eingegangen“, „interessanter“, „hilfreiches Scaffolding“, „Zeitrahmen“ oder „Bio-Fachkompetenz“.

Von 11 der 21 SuS, die dem Bereich „schwerer“ zugeordnet werden konnten, werden 11 Segmente mit Begründungen identifiziert (keine Doppelnennungen; 10 SuS ohne Begründung). Der Hauptgrund liegt im Gegensatz zur Gruppe „leichter“ im fremdsprachlichen Bereich: 9 der 11 Nennungen fallen darauf. Ein weiterer lautet „Umstellung“. Der finale, „Bio-Fachkompetenz“, ist der einzige, der auch in der anderen Gruppe genannt wurde.

Bei den 14 Proband*innen, die dem Bereich „wie immer“ zugeordnet werden konnten, wird in fünf Fällen ebenfalls über die Sprache bzw. das Thema argumentiert. Zweimal sind Thema und Sprache verbunden. Laut Proband*innen ona01 und ona02 nivelliert das als einfacher wahrgenommene Thema die als schwerer wahrgenommene zielsprachliche Erarbeitung. Hier die Äußerung einer Proband*in: „Die Schwierigkeit hat sich ungefähr ausgeglichen. Während im normalen Unterricht die Themen etwas schwieriger sind, war es hier das Englische“ (ona02).

Es bleibt festzuhalten, dass hauptsächlich der Aspekt Fremdsprache im Zusammenhang mit der Einschätzung „schwerer“ fällt, wohingegen hauptsächlich der Aspekt der Thematik im Zusammenhang mit der Einschätzung „leichter“ fällt.

13.7 Einschätzungen zu Aspekten, die Freude gemacht haben

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

13.7.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die Herangehensweise ist identisch der oben beschriebenen. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 5 bilden die Grundlage** für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Fragebogen in Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.7.2 Ergebnisse

Nun wird dargestellt, was den Teilnehmenden im Modul Freude gemacht hat. Hierzu wurden die Antworten zu Frage 5 mehrfach gelesen, die 67 Fundstellen per MAXQDA 2020 codiert und anschließend gruppiert. 52 der 57 SuS haben mindestens eine Einschätzung abgegeben (d.h. fünf ohne Antwort); von den 52 haben 11 je zwei und zwei je drei Aspekte genannt, der Rest einen. Es werden 17 verschiedene Aspekte identifiziert, wobei die Codierungen „Abwechslung zu üblichem Unterricht“ und „Bilingualen Chemieunterricht ausprobieren“ fusioniert wurden. Nur vier Aspekte wurden mehr als zweimal genannt: „Experimentieren“ (31), „abwechslungsreiche Unterrichtsanlage“ (6; nicht zu verwechseln mit „Abwechslung zu üblichem Unterricht“), „Abwechslung zu üblichem Unterricht“ (6) und „Verwendung der L2“ (5). Die anderen 13 Aspekte – u.a. „Erläutern chemischer Prozesse in der L2“, „Anfertigen von Concept Maps“, oder „Lehrer ist sympathisch“ – wurden folglich nur je einmal oder je zweimal benannt und in Abb. 59 im hellblauen Teilstück Sonstiges versammelt.

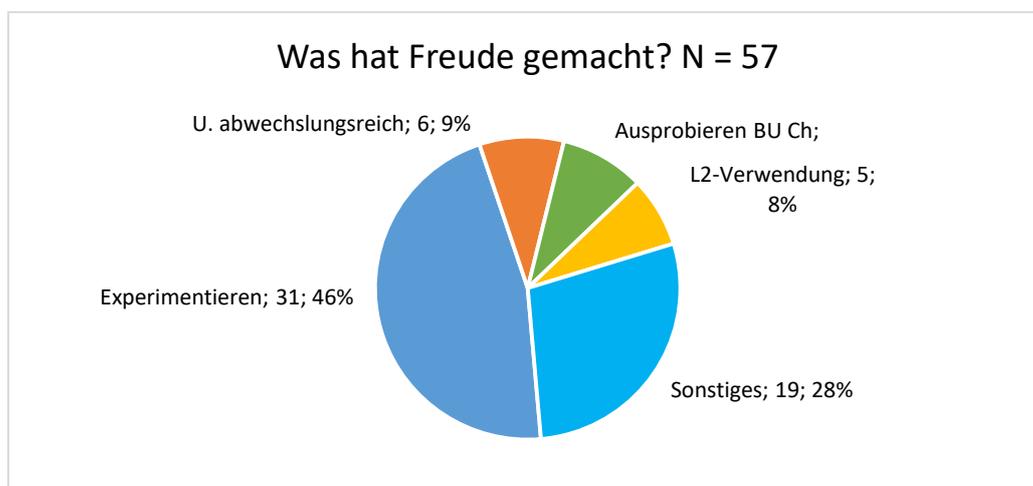


Abb. 59: Darstellung der Aspekte, die den beteiligten SuS innerhalb des Moduls zum bilingualen Chemieunterricht Freude gemacht hat.

In den folgenden Kuchendiagrammen sind ausgehend von der Lerngruppe die genannten Aspekte aufgeschlüsselt. Von Abb. 59 bis Abb. 63 stehen gleiche Farben für gleiche Aspekte, d.h. zum Beispiel werden alle Abschnitte, die die Nennungen für die L2-Verwendung graphisch darstellen, in der Farbe Gelborange eingefärbt.

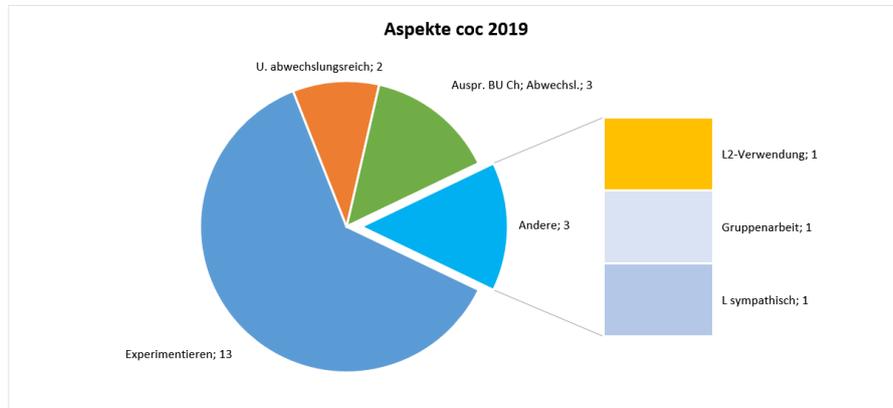


Abb. 60: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – coc, N = 18

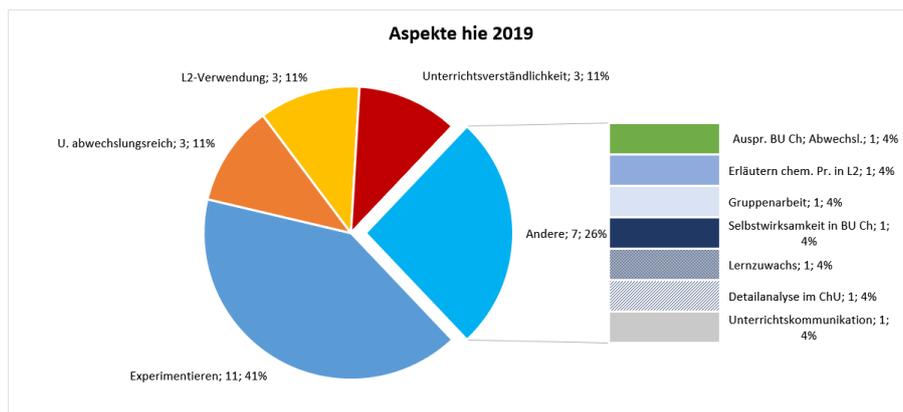


Abb. 61: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – hie, N = 23

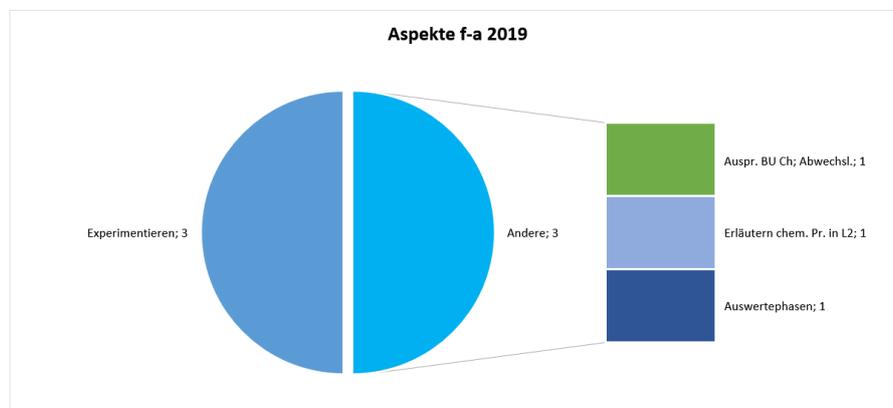


Abb. 62: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2019 – f-a, N = 7

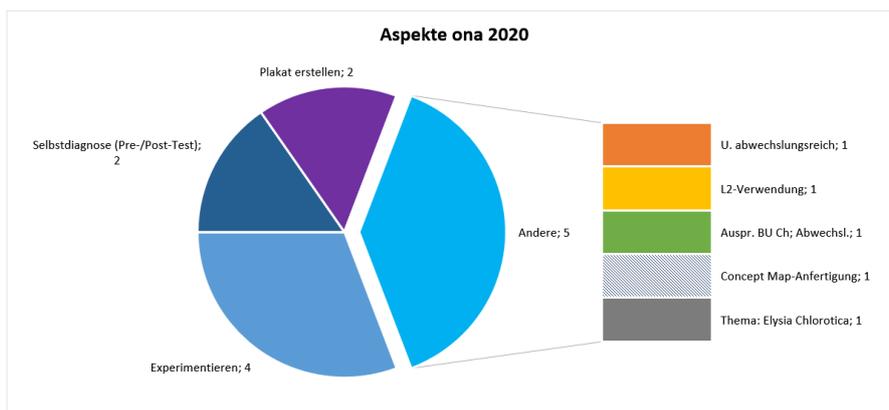


Abb. 63: Aspekte, die Freude gemacht haben; Lerngruppe 2020 – ona, N = 9

In den nach Lerngruppen aufgeschlüsselten Aspekten wird deutlich, dass das jeweils größte Segment auf das Experimentieren fällt. Konkret liegen die Zahlen bei 62 % (coc 2019), 41 % (hie 2019), 50 % (f-a 2019) und 31 % (ona 2020), so dass der ermittelte Schnitt mit 46 % bei knapp der Hälfte aller Nennungen liegt (vgl. auch Abb. 59).

Die in den Kuchendiagrammen erwähnten Gründe werden hier noch einmal in Tab. 13 aufgenommen und in vier Hauptkategorien, Chemie, L2-Verwendung, Methodik & Didaktik sowie Sonstiges aufgenommen. So treten nicht wie in Abb. 59 die jeweiligen Einzelgründe ins Profil, sondern man bekommt abschließend in Abb. 64 einen Überblick darüber, dass die Freude sich insbesondere aus chemiespezifischen Aspekten speist.

Tab. 13: Übersicht über die von Hie, F-A, Ona und Coc (N = 57) genannte Gründe und Aufteilung in vier Hauptdimensionen

Nr.	Kategorie	Nennung gesamt.	Chemie	L2	M&D	Sonstiges
1	Experimentieren	31	31			
2	U. abwechslungsreich	6			6	
3	L2-Verwendung	5		5		
4	Ausp. BU Ch; Abwechslung	4		4		4
5	Unterrichtsverständlichkeit	3	3	3	3	
6	Erläutern chem. Prozesse in L2	2	2	2		
7	Gruppenarbeitsphasen	2			2	
8	Plakat erstellen	2			2	
9	Selbstdiagnose (Pre-/Post-Test)	2				2
10	Auswertephasen	1	1		1	
11	Concept Map-Anfertigung	1			1	
12	Detailanalyse im ChU	1	1		1	
13	Lehrkraft sympathisch	1				1
14	Lernzuwachs	1	1	1		
15	Selbstwirksamkeit in BU Ch	1	1			1
16	Thema: Elysia Chlorotica	1				1
17	Unterrichtskommunikation	1		1		1
	Summen	65	40	16	16	10

Sicher kann die Zuordnung der Kategorien vereinzelt ausgeweitet werden, z.B. könnte Nr. 16, das Thema Elysia Chlorotica, auch noch in den Bereich Chemie mit einbezogen werden, da ja auch hier die

chemiespezifischen Inhalte an einem lebensweltlichen Beispiel Anwendung finden. Für den Autor stach hier jedoch das Fach Biologie hervor, so dass die zuerst genannte Einordnung nicht vorgenommen wurde. Dennoch bleibt die im Kuchendiagramm visualisierte Tendenz erhalten.

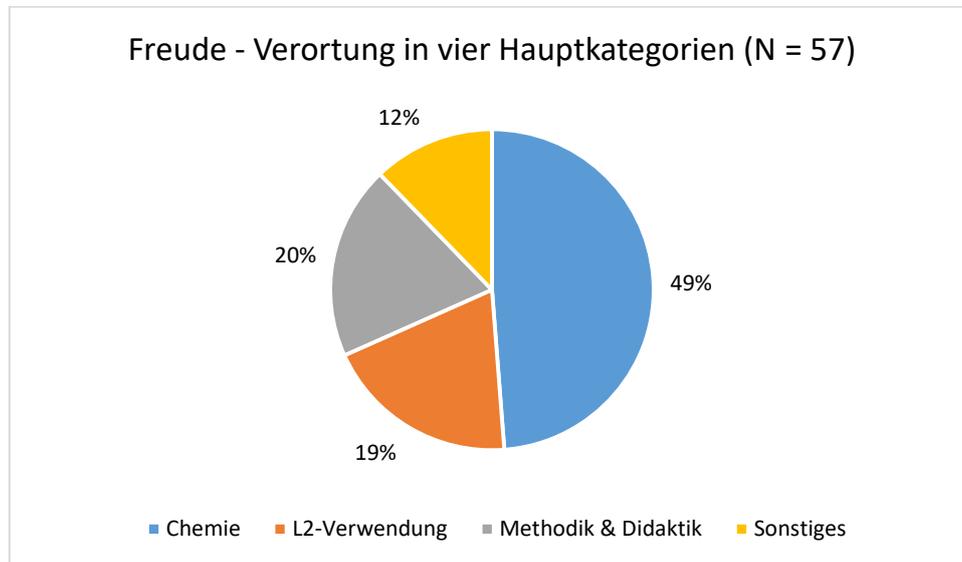


Abb. 64: Darstellung der vier Hauptdimensionen (prozentuale Anteile); Untersuchungsgruppen: Hie, F-A, Ona, Coc (N = 57)

13.8 Änderungswünsche

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

13.8.1 Methodik der Datenaufbereitung

Diese entspricht den oben formulierten Herangehensweisen. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 6 bilden die Grundlage** für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Fragebogen in Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.8.2 Ergebnisse

Insgesamt konnten 86 Segmente aus 54 der 81 Teilnehmenden-Fragebögen codiert werden – 18 Proband*innen geben mehrere Änderungsvorschläge an. Insgesamt fällt auf, wie konstruktiv-kritisch und vielfältig die Anregungen von SuS-Seite ausfallen, weshalb auch keine klaren Aussagen herausgearbeitet werden können. Es fällt auf, dass sich die Aussagen teilweise widersprechen. Die codierten Segmente (vgl. die beispielhaften Codierungen in Anhang A13.8.2) werden in einer detaillierten Übersicht (vgl. Anhang A13.8.2_A1) und dann in Oberkategorien geclustert dargestellt (vgl. Anhang A13.8.2_A2). In letzterer Darstellung wird deutlich: Im Trend gibt es im Laufe der Jahre, d.h. von links nach rechts, weniger Verbesserungsvorschläge in fast allen Kategorien, oder sie bewegen sich auf sehr niedrigem Niveau. Insbesondere die Trends der Kategorien Einsatz von Lehr-Lern-Material und inhaltlich-didaktische Anregungen sind hier auffällig.

13.9 Sprachwechsel

Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Coc, Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

13.9.1 Methodik der Datenaufbereitung

Sie entspricht der oben formulierten Herangehensweise. Die schriftlichen **Stellungnahmen zu Frage 7 und 8 bilden die Grundlage** für die vorliegende Aufarbeitung (vgl. Fragebogen in Anhang A10.9 bzw. A11.2).

13.9.2 Ergebnisse

Mit Fragen 7 und 8 wird untersucht, wann die Lernenden die L2 zu Gunsten der L1 wechseln und aus welchen Gründen heraus dieses geschieht. Das Aufarbeiten der Antworten liefert folgendes Ergebnis: 49 von 57 SuS geben einen Kodewechsel an, acht verweisen auf die durchgängige Verwendung der L2.

Die identifizierten Segmente zum Sprachwechsel werden nach **Phasen des Sprachwechsels** und nach **Gründen** codiert. Es treten dabei eigenständige, d.h. nicht didaktisch geplante sondern auf eigener Initiative basierende, und aufgabengemäße Sprachwechsel auf. Manche SuS verwenden beide, andere keine (vgl. das Kuchendiagramm in Abb. 65 und Tab. 14). Von 57 Lernenden nehmen also laut eigener Aussage 42 SuS im Laufe des Unterrichts einen eigenständigen Sprachwechsel vor, d.h. gut drei Viertel (74 %; hierfür wurden „nur eigenständige“ und „eigenständige & funktionale“ Kodewechsel addiert). 12 SuS sprechen von funktionalen, d.h. aufgabengemäßen Sprachwechseln, d.h. ein gutes Fünftel (Summe „nur aufgabengemäße“ und „eigenständige & funktionale“ Sprachwechsel; d.h. knapp 18 %). Insgesamt sind es 49 von 57 SuS, d.h. 86 %, die einen Sprachwechsel angeben (vgl. Tab. 14).

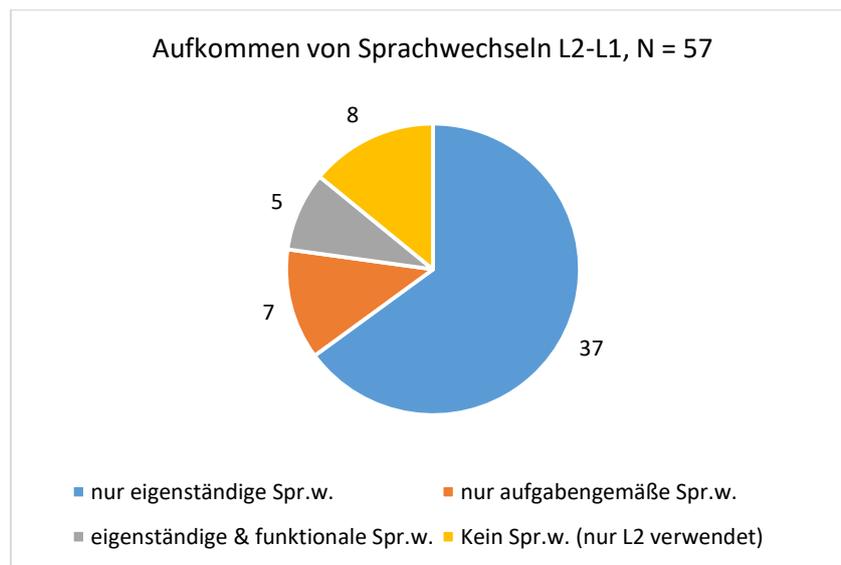


Abb. 65: Sprachwechsel in allen vier Lerngruppen; totale Zahlen hinter der Kreissegmentbezeichnung

Wie in Tab. 14 ablesbar ist, erwähnen große Anteile der Proband*innen einen Sprachwechsel. Prozentual sind es zwischen 71 % und 96 % bei einem Schnitt von 86 %. Es fällt auf, dass die SuS nicht immer die Phasen des Sprachwechsels identifizieren (21 %, 40 %, 64 % und 88 %, von links nach rechts; jeweils bezogen auf die Anzahl der SuS, die Sprachwechsel einräumen). Bei der Anzahl der codierten Segmente zu „Phasen“ treten Mehrfachnennungen auf, so dass mehr codierte Segmente als SuS aufgeführt werden. Insgesamt sind es 34 codierte Segmente.

Im Vergleich dazu führt jede Proband*in mindestens einen Grund an – auf die 49 SuS kommen 84 codierte Segmente mit Sprachwechsel-Gründen, das sind im Schnitt 1,7 Gründe pro Proband*in. Von den 84 codierten Segmenten fallen 12 auf geplante, funktionale Sprachwechsel. Sie treten nur bei den Gruppen 2019-Hie und 2020-Ona auf, denn hier wurde im Unterricht von Lehrerseiten mit geplanten Kodewechseln operiert. Sie machen jeweils knapp bzw. gut 23 % der codierten Sprachwechsel-Gründe in den beiden Lerngruppen aus.

Tab. 14: Anzahl SuS, die Sprachwechsel einräumen sowie Nennung von Phase bzw. Grund des Sprachwechsels

	Coc	F-A	Hie	Ona	Summe
Anzahl SuS, die Sprachwechsel einräumen	14	5	22	8	49
Anzahl SuS, die die Phase benennen	3	2	14	7	26
Anzahl codierter Segmente "Phasen"	4	2	16	12	34
Anzahl SuS, die Gründe nennen	14	5	22	8	49
Anzahl codierter Segmente "Gründe"	24	8	35	17	84
davon funktionelle Sprachwechsel			8	4	12

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass keine Proband*in explizit den Sprachwechsel in der Hausaufgabe im Zuge der „Was habe ich gelernt?“-Aufgabenzettel anspricht.

In 34 Segmenten der SuS-Antworten im Fragebogen werden Phasen benannt (vgl. Abb. 66) und in 84 Segmenten werden Begründungen aufgefunden. Die Letzteren werden nach der Systematik von Frisch (2016:93, vgl. auch Kap. 3.2 und hier Tab. 1) aufgeschlüsselt (vgl. Abb. 67). Die meisten Sprachwechsel fallen auf unterrichtlich begründete Anlässe (etwas mehr als ein Drittel), gefolgt vom Verbleiben in der L2 (knapp ein Viertel). Die dann genannten Phasen sind alle im Bereich des peer-to-peer-Austausches zu sehen und drei fallen auf Sozialformen, in denen Sprecher*innen eher geschützt untereinander kommunizieren und sich weder im Plenum äußern noch in Kontakt mit der Lehrkraft stehen. Zusammengefasst machen diese Sprachwechsel-Phasen – d.h. Arbeit mit Partnern, Gruppen oder während des Experimentierens – insgesamt 11 der 34 Nennungen aus, d.h. ein knappes Drittel.

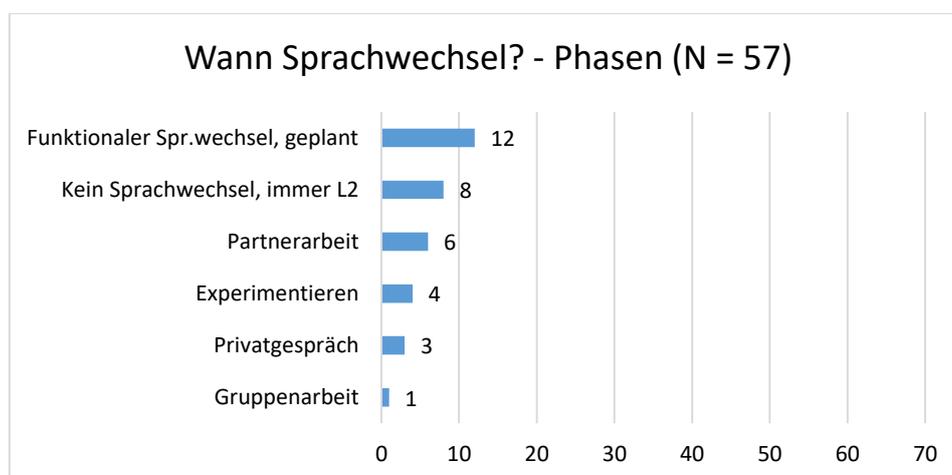


Abb. 66: Übersicht über Sprachwechsel-Phasen; totale Zahlen hinter den Balken; Basis: SuS-Fragebogen (2019-Coc, 2019-Hie, 2019-F-A, 2020-Ona)

Laut Frisch (2016:92f) haben unterrichtliche Sprachwechsel unterschiedliche Funktionen, die in fünf Kategorien eingeteilt werden können. Neben diesen wurde eine weitere geöffnet: Sonstiges. Es zeigt sich, dass die weitaus größte Anzahl der codierten Segmente auf die kommunikative Funktion fällt – hierzu gehören 68 der 84 Segmente (92 %) – knapp sieben Mal mehr als diejenigen, die dem Bereich „Kognitive Funktion“ zugeordnet werden können (10 codierte Segmente, d.h. gut 14 %; vgl. Abb. 67). Alle anderen Funktionen sind nur je einmal vertreten – die pädagogische Funktion keinmal. Auf sonstige Gründe, wozu z.B. die Umstellung von üblichem Chemieunterricht auf ein bilinguales Modul gehört, versammeln sich vier codierte Segmente.

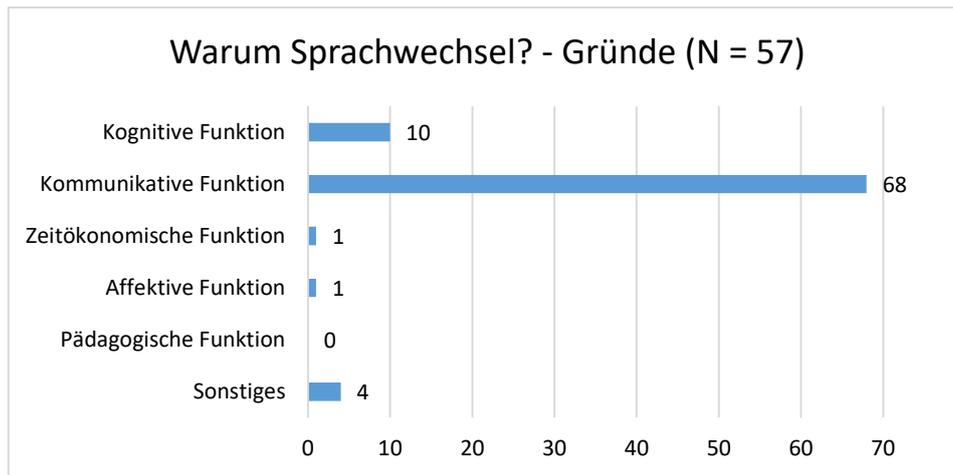


Abb. 67: Nach Frisch (2016:93) kategorisierte Gründe für den Sprachwechsel; totale Zahlen hinter den Balken; Basis: SuS-Fragebogen (2019-Coc, 2019-Hie, 2019-F-A, 2020-Ona)

Frisch (2016:93) nennt unterschiedliche Formen von Sprachwechseln, die zu den unterschiedlichen Funktionen gehören. Die folgende Übersicht, Abb. 68, versammelt in detailliert aufgeschlüsselter Weise die unterschiedlichen Gründe:

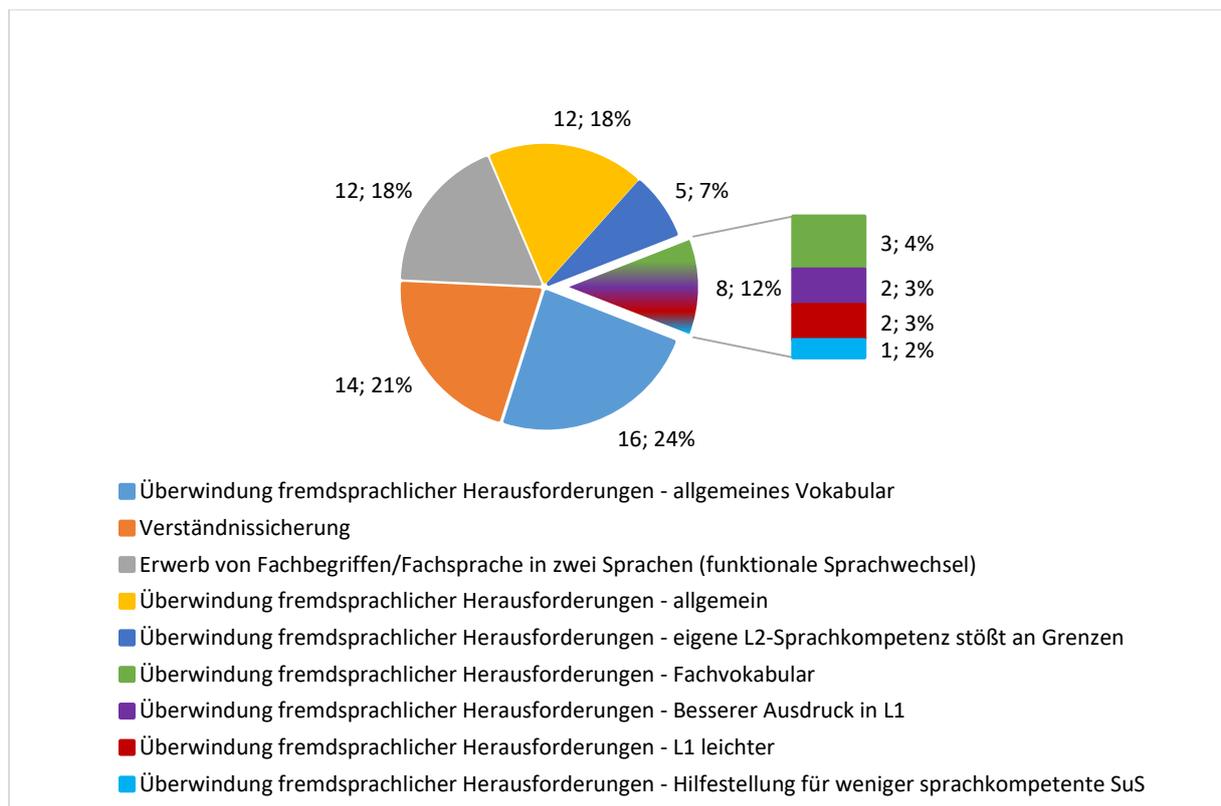


Abb. 68: Auffächerung der Erscheinungsform „Kommunikative Funktion“; hinter den eingefärbten Diagrammsegmenten finden sich totale Zahlen, gefolgt von prozentualen Angaben (Untersuchungsgruppen Hie, F-A, Ona, Coc; N = 57)

13.10 Ergänzende Auswertungen zu Gruppe Ona

Im Vergleich mit den Fragebögen für die Gruppen Coc, Hie und F-A enthält derjenige für Ona eine Veränderung – hinzu kommt ein geschlossener Fragebogen in Fragebogenteil 11. Mithilfe von 25 Items sollen überblicksartige Einblicke in die Einstellungen bzw. Einschätzungen der SuS (N = 9, ein Bogen blieb unausgefüllt) zu fünf Bereichen gewonnen werden: Allgemeine Grundhaltung zum Modul, Experimente, Lernzuwachs, Video-Clip-Einsatz, weiteres Lehr-Lern-Material (Video-Clip-Transkript, Glossar, Aufgaben). Die Items wurden entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu einem der fünf Bereiche gruppiert, um eine themenorientierte Fragenblockierung zu erreichen (vgl. Porst 2014:146f). Im Fragebogen wurde jeweils mit Aussagen gearbeitet, die indirekten geschlossenen Fragen gleichen. Zur Beantwortung wurde eine vierstufige verbalisierte Likert-Skala verwendet, die mit stimme voll zu, stimme eher zu, stimme eher nicht zu, stimme nicht zu überschrieben wurde. Die Skalenrichtung wurde stets gleich gehalten (vgl. *ibid.*:55f, 79ff, 95).

Die vierstufige verbalisierte Likert-Skala stuft Porst einerseits als eine der „gängigsten Skalen zur Messung von Einstellungen in sozialwissenschaftlichen Untersuchungen“ (*ibid.*:95) ein, andererseits kritisiert er dessen Breite, indem er anmerkt: „Weniger als fünf Skalenpunkte lassen den Befragungspersonen zu geringen Spielraum für ein wertendes Urteil und bestehen praktisch ohnehin nur aus extremen Skalenpositionen“ (*ibid.*:94). Diese Verknappung ist in der vorliegenden Einstellungsbefragung beabsichtigt: Es handelt sich um eine geradzahlige Anzahl von Skalenpunkten, um in der Tat eine klare SuS-Positionierung zu den Items zu erhalten. Damit dieses Ziel erreicht wird, wurde gleichzeitig bewusst der darin innewohnende Nachteil akzeptiert, dass eine Meinungslosigkeit nicht ausgedrückt werden kann. Positiv ausgedrückt wurde auf diese Weise ein Ausweichen in die Meinungslosigkeit unterbunden. Diese unvermeidbar vorliegende „Freiheitseinengung“ (*ibid.*:84) führte im vorliegenden Fall nicht zu einer item-nonresponse, also dem Nichtbearbeiten von Items, wie es in solchen Fällen vorkommen kann – bewusstes Ankreuzen von etwas Falschem oder Zufälligem kann hingegen nicht ausgeschlossen werden (vgl. *ibid.*:55f, 83ff). Eine Ausweichkategorie wurde nicht hinzugefügt, da die SuS die Unterrichtssequenz durchlaufen haben und es erwartet werden kann, dass sie in der Lage sind, sich bzgl. der Items ein Urteil zu bilden und diesem entsprechend eine Wahl zu treffen (vgl. Häder 2019:230).

13.10.1 Ergebnisdarstellung und -diskussion

Die Ergebnisse werden als gestapelte Balken in einem Balkendiagramm dargestellt (vgl. Abb. 69). Die Abstufungen sind in Dunkelgrün (stimme voll zu), Hellgrün (stimme eher zu), Gelb (stimme eher nicht zu) und Orange (stimme nicht zu) dargestellt. Diese Darstellung lässt das anteilige Antwortverhalten auf die Gesamtproband*innen-Zahl nachvollziehen. Im Folgenden werden die Ergebnisse zunächst Kategorie für Kategorie beschrieben und im direkten Anschluss daran diskutiert.



Abb. 69: Auswertung des ergänzenden, geschlossenen Fragebogenteils bei Gruppe Ona: Allgemeine Grundhaltung, Experimente, Lernzuwachs, Einsatz Lehrfilm, weiteres Lehr-Lern-Material (N = 9; ein Fragebogen nicht ausgefüllt)

13.10.2 Allgemeine Grundhaltung

Ergebnisse

Hinsichtlich der ersten Kategorie, Allgemeine Grundhaltung, zeigen sich folgende Ergebnisse: Zunächst ist augenfällig, dass bezüglich aller Aspekte eine große Zustimmung vorliegt. Im Einzelnen bedeutet dieses, dass den Teilnehmenden das Modul gefällt. Sie halten es für sinnvoll (drei volle und fünf anteilige Zustimmungen) und würden es anderen empfehlen (jeweils vier volle und anteilige Zustimmungen). Dieses Bild ändert sich in Hinblick auf die vierte Aussage ein wenig: Zwar stimmt noch der überwiegende Proband*innen-Anteil der Aussage zu, dass Chemie auf Englisch Freude bereitet habe (6 Zustimmungen, davon 2 voll), jedoch nehmen zwei Teilnehmende eine andere Position ein und stimmen eher nicht zu.

Diskussion

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die SuS die bilinguale Einheit positiv aufgenommen haben, was sich an den großen Zustimmungszahlen zeigt. Darin ist wiederum leicht hervorzuheben, dass die größten Zustimmungen im Bereich der Empfehlung für andere SuS bestehen. Die Teilnahmeempfehlung wird von allen Lernenden formuliert, obwohl zwei darunter sind, die eher keine Freude dabei verspüren, an BU Chemie teilzunehmen. Es bleibt an dieser Stelle offen, warum vor diesem Hintergrund von allen SuS eine Empfehlung an andere ausgesprochen wird. Dieses könnte mit der Tatsache des durchgehend als sinnvoll angesehenen und positiv aufgenommenen Moduls begründet werden.

13.10.3 Experimente

Ergebnisse

Es wurden zwei verschiedene Experimente verwendet, das Prisma-Experiment und das PBB-Experiment. Ersteres sollte allen Teilnehmenden bereits aus dem Physikunterricht bekannt sein, denn es handelt sich um ein typisches Sekundarstufe I-Experiment zur Zerlegung des weißen Lichts in seine Spektralfarben, inspiriert von Newtons Versuchen zu den Farben (vgl. z.B. Leifiphysik 2020). Hier zeigt sich ein gemischtes Antwortbild: Für zwei Teilnehmende war das Experiment neu, für sechs hingegen nicht, wobei die Hälfte von ihnen lediglich eher nicht zustimmt. Das PBB-Experiment hingegen war für alle neu, doch eine Proband*in schwächt dieses leicht ab (stimme eher zu). Alle bestätigen Spaß beim Experimentieren, allerdings fünf nur anteilig. Der letzten Aussage, dass das Modul auch ohne Experimente gleichwertig gut funktioniert hätte, wird keinmal voll zugestimmt, allerdings auch nur einmal voll widersprochen, wobei insgesamt 6 Teilnehmende nicht bzw. eher nicht zustimmen. Lediglich zwei Stimmen fallen auf eine anteilige Zustimmung.

Diskussion

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass das Experimentieren für die Teilnehmenden bedeutsam ist. Zunächst hat das Ausführen von Versuchen für das Erleben von Spaß im Zuge des Moduls gesorgt. Zwar hatte das Prisma-Experiment eher wiederholenden Charakter, doch war es dahingehend sinnvoll, dass es drei von acht Teilnehmenden die Möglichkeit gegeben hat, ihr Wissen bzgl. der Spektralfarben aufzufrischen. Darüber hinaus konnten gar zwei SuS es gänzlich neu eigenartig erfahren. Es mag zunächst überraschen, dass das PBB-Experiment nicht ausschließlich neu war. Ein Grund kann darin liegen, dass der Autor an derselben Schule das Modul bereits zweimal in vorherigen Entwicklungsstufen ausprobiert hat und dass über Geschwisterkinder, Freundinnen und Freunde oder Mitschüler*innen in einem Fall ein Austausch stattgefunden hat. Vor diesem Hintergrund ist es als positiv zu bewerten, dass lediglich eine teilnehmende Person ein wenig Vertrautheit mit dem Experiment einräumt. Der Experimentierspaß kann auch für einige dahingehend geschmälert worden sein, dass das Prisma-Experiment bereits bekannt war und daher einer reinen Wiederholung gleich und keine neuen Einblicke vermittelte. Auch das positive Beantworten der letzten Aussage kann hiermit anteilig begründet werden. Darüber hinaus ist es auch damit zu begründen, dass zu einem späteren Zeitpunkt in der Unterrichtssequenz ein Video eingesetzt wurde, in dem das PBB-Experiment noch einmal rasch vorge-

stellt wurde, der Schwerpunkt hingegen auf den submikroskopischen Vorgängen innerhalb des Experiments liegt. Die letzte Aussage lässt im Kontext der anderen Aspekte auch vermuten, dass das Modul ohne Experimente eben nicht „genauso gut“ funktioniert hätte, weil dann der Experimentier-spaß zu kurz gekommen wäre.

13.10.4 Lernzuwachs

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind als Selbsteinschätzung der SuS zu ihrem Lernzuwachs bezüglich verschiedener Inhaltsaspekte des Moduls gedacht. Sie zeigen, dass alle SuS zustimmen, etwas Neues bzgl. des Lichts (3 voll, 5 anteilig), der Chemie und Biologie (je 2 voll, je 6 anteilig) gelernt zu haben – auch in dieser Reihenfolge. Daran schließen sich drei Bereiche an, in die auch Stimmen von Teilnehmenden fallen, die eher nichts Neues gelernt haben: Photosynthese (1 voll, 6 anteilig, 1 anteilig nicht), Englisch (2 voll, 3 anteilig, 3 anteilig nicht) und Physik (5 anteilig, 2 anteilig nicht, 2 voll nicht).

Diskussion

Alle Teilnehmenden haben laut eigener Aussage Lernzuwächse im Bereich Licht, Chemie und Biologie, jedoch sind die Aussagen gemischerter bezüglich der Bereiche Photosynthese, Englisch und Physik. Es wäre zu vermuten gewesen, dass das Lernen über Licht auch direkt etwas mit dem Lernen über Physik und auch mit der Photosynthese zu tun hat, was sich in gleichen Nennungen niederschlagen sollte. Allerdings trifft das hier nicht bzw. nicht vollumfänglich zu. Es kann auch damit zu tun haben, dass der Prisma-Versuch mit Physikunterricht und somit auch mit Physik in Zusammenhang gebracht wird, und dieser war vielen Teilnehmenden bereits (anteilig) bekannt. Auch das Erkennen von der Interdisziplinarität des Inhalts Licht findet hier scheinbar nur anteilig statt, beispielsweise hinsichtlich der Photokatalyse. Allerdings ist es erfreulich, dass die Intention der Vermittlung neuer Inhalte im Bereich Licht, Chemie und Biologie auch von Schüler*innenseite so aufgefasst wurde und sie ein inhaltlichen Zuwachs bestätigen. Es überrascht, dass drei von acht SuS eher nicht zustimmen, etwas in Englisch gelernt zu haben. Die Überraschung liegt darin, dass in der Reihe chemie- und biologisches Fachvokabular verwendet wurde, das so nicht im bilingualen Unterricht Verwendung findet, man denke z.B. an den Bereich der Photokatalyse. Diese Thematik wurde in einem von Muttersprachlern vertonten Video-Clip präsentiert und per Videotranskript auch zur Verfügung gestellt. Die Aussagen der SuS sind allerdings nur anteilig nicht zustimmend, insofern kann vermutet werden, dass die betreffenden SuS bereits über eine hohe sprachliche Kompetenz und dazu ausgeprägte sprachliche Mittel und hier auch sachfachlich angemessenes Fachvokabular verfügen. Vor diesem Hintergrund hätten sie für einen sprachlichen Lernzuwachs weiteren oder anderen Input benötigt, zumal das Thema Photosynthese curricular in Klasse 8 verankert ist und eben auch von den bilingualen Lernenden erarbeitet wurde. Zusammenfassend sei aber hervorgehoben, dass in jedem Fall mindestens eine Zustimmung in 5 von 8 Fällen vorliegt, also aus Schüler*innensicht einige Lerngelegenheiten innerhalb des Moduls vorlagen.

13.10.5 Video-Clip-Einsatz

Ergebnisse

In vorherigen Begegnungen mit dem Video-Clip äußerten einige Lernende Kritik am Video (vgl. LF oben). Nun wurde mehr Zeit für die Arbeit mit dem Material eingeräumt und auch die didaktische Einbettung in den Unterrichtsverlauf verändert. Außerdem liegt das Video in einer muttersprachlichen Vertonung vor. Vor diesem Hintergrund ist es besonders von Interesse, wie die Teilnehmenden das Video inhaltlich und sprachlich einschätzen, wie oft sie es geschaut haben und wie sie die Arbeit damit bewerten.

Ein erster Blick auf die sieben gruppierten Balken zeugt von gemischten SuS-Erfahrungen mit diesem Lehr-Lern-Material. Die knappe Mehrheit verspürt Spaß beim Anschauen (5 Zustimmungen, alle anteilig) und sieht die Arbeit damit als sinnvoll an (5 Zustimmungen, davon 1 voll). Das Gleiche gilt für die allgemeine Verständlichkeit des Videos (5 Zustimmungen, 2 davon voll), was sich auch darin wie-

derfindet, dass die Sprache nicht (1 Nennung) bzw. eher nicht (4 Nennungen) als kompliziert wahrgenommen wird. Auch die Inhalte werden nicht (2) bzw. eher nicht (3) als kompliziert eingestuft. In beiden Fällen sind es allerdings aber auch jeweils drei Teilnehmende, die die Sprache und den Inhalt kompliziert finden, und dieser Aussage eher zustimmen. Dieses gemischte Bild findet sich abschließend sowohl in der Rezeption des Films, der von weniger als der Hälfte der Lernenden mehrfach geschaut wurde (1 volle Zustimmung, zwei anteilige Zustimmungen, wobei drei Teilnehmende nicht zustimmen) als auch in der Einschätzung, dass die Inhalte auch tragfähig ohne den Video-Clip hätten transportiert werden können: Dieser Aussage stimmen 3 von 8 voll zu, 1 anteilig – und die verbleibende Hälfte stimmt eher nicht zu. Auffällig ist hier, dass es zwar voll zustimmende Nennungen gibt, aber keine, die diese Aussage voll ablehnt. Im Kontext aller Balken weist diese Schar die meisten unterschiedlichen Einstellungen auf.

Diskussion

Die Ergebnisse vermitteln stark den Eindruck, dass einige SuS inhaltliche und sprachliche Schwierigkeiten mit dem Material hatten, und wiederum andere nicht. Der jeweils unterschiedliche Zugang scheint in gemischten Einschätzungen bezüglich der Verwendungshäufigkeit, der Sinnhaftigkeit und dem Spaß beim Anschauen zu resultieren. Es bleibt an dieser Stelle offen, ob das häufige Anschauen eine Funktion des Verstehens oder Nichtverstehens des Materials ist, also der als einfach oder komplex wahrgenommenen Inhalte. Weil der Inhalt und auch die rasch gesprochene (damals deutsche) Sprache in der Vergangenheit als irritierend weil schwierig wahrgenommen wurde, musste nun eine besondere Maßnahme getroffen werden, um einerseits das Video mit seinen bedeutsamen Animationen und Darstellungen weiterhin zu integrieren, und andererseits das Verständnis auf Seiten der SuS zu erleichtern. Sie bestand darin, ein Videotranskript anzufertigen und es den SuS zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise steht das Video auch über einen anderen Wahrnehmungskanal, dem des Lesens, zur Verfügung, jedoch sind im Transkript natürlicherweise keine bildlichen Darstellungen einbezogen. Auch liefern die anderen Lehr-Lern-Materialien nicht die notwendigen inhaltlichen Aspekte, um das Thema der Photokatalyse zu erarbeiten. Vor diesem Hintergrund ist das abschließende Resultat einzuordnen, dass einige Lernende der Meinung sind, dass der Video-Clip nicht zwingend notwendig sei. Manche Lernende würden also laut eigener Einschätzung auch anhand der Transkript-Lektüre die relevanten Inhalte erarbeiten können. Somit kann gefolgert werden, dass die deutlich uneinheitlichen Rückmeldungen in diesem Bereich darin begründet liegen, dass einerseits unterschiedliche Verständnisgrade für die präsentierte Sprache bzw. den präsentierten Inhalt, und dass andererseits ein als inhaltlich tragfähig eingestuftes Alternativangebot vorliegt. Im Vergleich mit den LF aus dem ersten Erprobungszyklus (vgl. Kap. 10) wird das Material also positiver aufgenommen, wobei auch hier immer noch Vorbehalte auftreten.

13.10.6 Weiteres Lehr-Lernmaterial

Ergebnisse

Diese letzte Schar befasst sich mit den Einschätzungen zum Video-Transkript, zum bereitgestellten Glossar mit Fachtermini und den Aufgabenapparaten. Der Transkript-Einsatz wird bei 5 vollen und 3 anteiligen Zustimmungen von allen als sinnvoll angesehen, obwohl nicht alle, aber eine Mehrheit, mit dem Skript gearbeitet haben, wie die 6 Zustimmungen offenbaren. Das Glossar wird von einer Mehrheit als nützlich angesehen (2 volle Zustimmungen, 4 anteilige) und final werden die Aufgaben von allen als interessant und abwechslungsreich eingeschätzt, wobei lediglich 2 Teilnehmende voll zustimmen. Insgesamt finden die Aussagen dieser Schar eine große Zustimmung.

Diskussion

In der großen Zustimmung zu den vier Aussagen wird deutlich, dass die Lernenden die Modulanlage, die Bereitstellung des Transkripts und des Glossars sowie die Aufgabenkonzeption als begrüßenswert einstufen. Die starke affirmative Annahme des Transkripts wird in den Abstimmungen offenkundig und unterstreicht, warum sich manche Teilnehmende auch ohne Video-Clip die Inhalte hätten erarbeiten können. Es könnte auch als Erklärung für die teilweise zurückhaltende Video-Clip-Rezeption gereichen.

Gleichzeitig manifestiert sich in diesen Nennungen im Zusammenhang mit denjenigen zum Video-Clip ebenfalls, dass manche Lernende den Video-Clip als alleinige Ressource genutzt haben und ohne das Angebot des Transkripts zurechtgekommen sind. Die positive Aufnahme des bilingualen Glossars ist begrüßenswert, wie auch die umfassend positive Rückmeldung zur Aufgabengestaltung. Dieser kommt eine besondere Bedeutung zu, da bislang keine Erfahrungen mit der Methode der Bilingual Poster Production vorliegen. Insgesamt fallen die Einschätzungen der Modul-Teilnehmenden also positiv aus und bekräftigen die allgemeine Anlage des Moduls.

13.10.7 Fazit

Diese erweiterte Befragung der Teilnehmenden lässt differenzierte Einblicke in die Haltungen zu zentralen Aspekten des Moduls zu. Auffällig ist die sehr positive Aufnahme des Moduls. Die Teilnehmenden finden ferner experimentelle Phasen bedeutsam, sehen viele Lerngelegenheiten im Bereich der Thematik Licht und der Disziplinen Chemie und Physik, und schätzen das Bereitstellen unterschiedlicher Lehr-Lern-Materialien und Scaffolding-Angebote. Die Aufgaben, die das Modul grundlegend steuern, werden ebenfalls als sehr positiv eingeschätzt. In vielen Bereichen ist das Modul also als gewinnbringend anzusehen.

In Zukunft ist zu überdenken, ob eine didaktisch reduziertere Version des Video-Clips erstellt werden kann, das inhaltlich weniger dicht und sprachlich, auch bzgl. der vielen Abkürzungen, weniger komplex ist. So könnte eine größere Akzeptanz und weniger Irritation hervorgerufen werden. Gerade hier handelt es sich auch um eine sprachliche Lerngelegenheit. Den SuS könnte der Englischlernertrag im Modul auf diese Weise näher gebracht werden, aber auch durch zielgerichtete sprachliche Übungen, die sprachliche Besonderheiten im Sinne einer language awareness (vgl. z.B. Fehling 2008), sprachtypische Kollokationen oder auch ein Umwälzen zentraler sprachlicher Mittel umfassen können, beispielsweise durch wiederholende und anwendende Vokabelübungen. Sprachliche Mittel wie deutsch-englisches Fachvokabular könnten gezielt in thematischen word webs gesammelt werden, um den Lernenden den jeweiligen Lernertrag zu visualisieren. Sprachliche Mittel wie zentrale bilinguale chunks (d.h. Wortphrasen im Sinne von formelhaften Ausdrücke, idiomatischen Ausdrücken, Kollokationen/feste bzw. häufig auftretende Wortverbindungen oder Satzmustern, vgl. Kloetzke/Kirst 2020, Bußmann 2008) sollten zudem weiterhin in Wortspeichern angeboten und zukünftig eine verpflichtende Verwendung in der Produktion der bilingual posters vorgeschrieben werden. In der verschriftlichten, stichpunkthaften Vorbereitung auf die Poster-Präsentation könnten die SuS dann das Neue farbig hervorheben. Hier könnte man auch das bilinguale Glossar einbinden, das zentrale Begriffe versammelt und auch Beispielsätze zur korrekten Verwendung anbietet. Hinsichtlich der Experimente ist zu konstatieren, dass das Prisma-Experiment weiterhin einbezogen werden sollte, um ggf. das Phänomen der Spektralfarben in einem einfachen Experiment (noch einmal) selbstständig zu erfahren. Da es einigen bereits bekannt ist, sollte es weiterhin als fakultatives Experiment angesehen und kommuniziert werden – obwohl es auch in der aktuellen Modulfassung als Wahlangebot vorgesehen war, haben es einige SuS als Pflichtteil angesehen. Das Experimentieren, also auch der Umgang mit dem PBB-Experiment, hat sich insofern bewährt, als dass es den SuS Spaß machte, aber auch als Sprungbrett in die tieferen Erklärungen per Video-Clip diente. Hier soll aber nicht vernachlässigt werden, dass es auch bereits ohne Video-Clip-Einsatz wertvoll ist, da es die Lichtfarbenselektivität des Chlorophylls modelliert und diese indirekt per Blaufärbung des Substrats oder ausbleibender Blaufärbung erfahrbar macht. Insgesamt ist der Moduleinsatz als erfolgreich und lohnenswert anzusehen. Er transportiert erste Erfahrungen mit bilingualem Chemieunterricht, aber auch vertiefte Einblicke in photochemische Zusammenhänge.

In zukünftigen Modulerprobungen bzw. –weiterentwicklungen ist es ratsam, weiterhin mit offenen Fragestellungen zu operieren und diese durch die erst bei Ona integrierten geschlossenen Fragen zu ergänzen. Die geschlossenen Fragestellungen lassen durch die erleichterte Art der Auswertung einen raschen Zugriff auf die Ergebnisse zu. Außerdem können zu einzelnen Aspekten klare Positionierungen der Teilnehmenden eingeholt werden. Die offenen Fragen bedürfen einer aufwändigen inhaltsanalytischen Auswertung, geben aber viele differenzierte Einblicke und lassen die von SuS formulierten Begründungen nachvollziehen.

13.11 Zusammenfassung Einstellungen zum Modul

In fünf der sechs Untersuchungsgruppen (Unt, Eur, Hie, F-A, Ona) schätzt jeweils eine deutliche Mehrheit das **Modul** positiv ein. In einem Fall, der Lerngruppe aus RLP (Coc), ist es knapp die Hälfte der Teilnehmenden. Das Modul weckt Interesse und wird als gelungene Abwechslung angesehen. Im Schwerpunkt werden ferner der Experimenteinsatz, Verwendung der englischen Sprache und der verspürte Lernertrag genannt. Negative Moduleinschätzungen finden sich lediglich in drei der sechs Untersuchungsgruppen. In diesen Fällen sind es jeweils nur wenige Teilnehmende. Hier wird als Hauptgrund die Aufgabengestaltung erwähnt. Zwar wurde dieser Grund nur einmal genannt, und zwar von einer Versuchsperson aus RLP (coc13), doch vor dem Hintergrund der vorliegenden Studie ist er erwähnenswert: Der nach Typ A aufgebaute Unterricht wird dahingehend kritisiert, dass lediglich englische, jedoch nicht deutsche Lexik aufgebaut wird. Die positive allgemeine Grundhaltung spiegelt sich auch im geschlossenen Teil des Ona-Fragebogens wider.

In allen Untersuchungsgruppen (nun sind es nur noch diejenigen ab dem Jahr 2019, also Coc, Hie, F-A und Ona, denn nur sie haben den entsprechenden Fragebogen erhalten) überwiegt deutlich die positive Haltung zum **englischsprachig geführten Chemieunterricht** im Vergleich mit negativen Einstellungen. Aus Teilnehmenden-Perspektive liegt dies in der eigenen fremdsprachlichen Kompetenz begründet, so dass der englischsprachige Unterricht verständlich ist. Manche SuS haben sogar Vorerfahrungen mit bilinguaem Unterricht in den Fächern Erdkunde und Biologie, die sich als hilfreich erweisen. Weitere Gründe sind, dass der Unterricht als Abwechslung zum üblichen Unterricht angesehen sowie als interessant eingeschätzt wird. Eine interpretative Aufarbeitung aller Einzelgründe bringt vier Hauptmotivationen für die positive Einstellung hervor: Den Schwerpunkt bilden fremdsprachliche Aspekte, gefolgt vom positiven Erleben des Moduls, hilfreichen Vorerfahrungen und den Nutzen des Moduls für das weitere Ausbilden der eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die Hauptgründe für eine negative Haltung basieren auf sprachlichen Aspekten, die meistens allgemein gehalten werden, jedoch fallen etwa ein Viertel der Fundstellen auf das allgemeine Vokabular und ein gutes Fünftel auf das Fachvokabular. Die sprachlichen Aspekte umfassen receptive und productive skills zu etwa gleichen Anteilen.

Das **Inhaltsverständnis** schätzen die Teilnehmenden aller Gruppen zu großen Mehrheiten als gut ein. In der Hauptsache wird dies mit den getroffenen Scaffolding-Maßnahmen und, mit Abstrichen, der eigenen Englischkompetenz begründet. Nur vereinzelt verstehen Teilnehmende die Inhalte schlecht, was durchweg der eigenen Englischkompetenz zugeschrieben wird.

Im Vergleich mit üblichem **monolingual deutschem Chemieunterricht** liegt ein gemischtes Ergebnis vor. Diejenigen Teilnehmenden, die das BU Chemie-Modul als leichter empfinden, nennen als Hauptgrund das Thema. Im Schwerpunkt derjenigen Teilnehmenden, die das Modul als schwerer empfinden, liegt die verwendete Sprache Englisch.

Die Frage nach dem, was **Freude** gemacht hat, bringt vier zentrale Begründungszusammenhänge hervor. Sehr häufig wird es mit dem Experimentieren begründet. Danach folgen abgeschlagen drei weitere Gründe auf etwa gleichem Niveau: Die Abwechslung von üblichem Unterricht, die abwechslungsreiche Unterrichtsgestaltung und die Verwendung der englischen Sprache. Eine nach Gruppen aufgeteilte Übersicht der Gründe für die erfahrene Freude bringt hervor, dass in jeder Gruppe der Hauptgrund das Experimentieren ist. Eine interpretative Aufarbeitung aller Einzelgründe ergibt, dass knapp die Hälfte aller Gründe chemiespezifischer Natur ist. Jeweils etwa ein Fünftel lässt sich der L2-Verwendung bzw. dem allgemeinmethodisch-didaktischen Bereich zuordnen. Die Bedeutung der Experimente findet sich auch im geschlossenen Fragebogenteil der Gruppe Ona. Hier wird deutlich, dass die SuS die Experimente als integralen Bestandteil des Moduls erachten, obwohl einige von ihnen das Prisma-Experiment schon kannten.

Durch das Explorieren von **Änderungswünschen** wird eine Vielzahl von Anregungen offenkundig, die sehr variantenreich und auch differenziert ausfallen. Der Großteil kreist um das Thema Experimente, wobei meistens mehr davon gewünscht, jedoch auch arbeitsteiliges Arbeiten oder der Einsatz spannenderer Versuche vorgeschlagen werden. Auch wird in der Hauptsache der Bereich der Sprach-

wechsel adressiert. Der Tenor liegt darauf, den Unterricht lediglich in englischer Sprache durchzuführen, also weniger oder keine Wechsel ins Deutsche vorzunehmen.

Der **Sprachwechsel** vom Englischen ins Deutsche findet relativ häufig statt und dann auch oft eigeninitiativ. Laut eigener Aussage sprechen die SuS im eher geschützten, privaten Raum Deutsch, oder wenn die Unterrichtsanlage einen funktionalen Sprachwechsel vorsieht. Niemand nennt den Wechsel während eines Gesprächs im öffentlichen Raum, d.h. während Plenumsphasen oder in der Interaktion mit dem Lehrer. Der großen Mehrheit der Sprachwechsel wird im Sinne Frischs (2016) eine kommunikative oder kognitive Funktion zugeordnet.

13.12 Diskussion

Vorab ist zu sagen, dass schwerpunktmäßig ähnlich positive Einschätzungen wie schon nach der ersten Erprobung vorliegen, die auf ähnliche Art wie dort diskutiert werden könnten. Diese Dopplungen sollen an dieser Stelle vermieden werden. Es sei auf die Diskussion und Reflexion zum LF sowie das dort formulierte Zwischenfazit verwiesen (vgl. Kap. 10.11). Die folgende Diskussion ist als Erweiterung zu den bereits zuvor erfolgten Zwischendiskussionen zu sehen.

Es zeigt sich wiederum, dass die Teilnehmenden auch den neuen Modulkonzeptionen affirmativ begegnen. Zwei bedeutende Aspekte dafür sind der im Modul erfahrene Lernertrag und die Verwendung der englischen Sprache – beides deutet ein wahrgenommenes Kompetenzerleben an, denn es spricht für die positiven Rückmeldungen zu inhaltlichen Fortschritten und zu fremdsprachlichen skills, die die SuS während des Moduls erleben. Aus lernpsychologischer Sicht ist es wichtig, dass die SuS sich als kompetente Lerner erfahren, denn dadurch steigt im Sinne der Selbstbestimmungstheorie nach Deci/Ryan (2000) die Lernbereitschaft (vgl. Willems 2018:202ff, Felten/Stern 2012:17ff). Ähnliches formuliert Abendroth-Timmer in Bezug auf die Akzeptanz von bilingualen Modulen durch SuS (vgl. 2010:127ff). Zudem stellt sie die Bedeutung des wahrgenommenen „eigenen Lernerfolgs“ (2004:2) als bedeutend für die SuS-Motivation heraus. Auch das bereits vorliegende bzw. entwickelte Interesse an den Inhalten ist lernpsychologisch bedeutsam, führt es zu einer erhöhten (intrinsischen) Motivation und zu besseren inhaltlichen Leistungen (vgl. Felten/Stern 2012:17ff, vgl. Eilks 2005:313), beides bedeutende Qualitätsmerkmale von Lernprozessen (vgl. Willems 2018:197ff). Rumlich weist allerdings darauf hin, dass „es immer noch unklar [ist], wie wichtig affektiv-motivationale Dispositionen für Lernerfolg sind“ (2015:323) und mahnt an, andere Bedingungsfaktoren nicht zu übersehen (ibid.). Hier ist auch Duskes Befund für bilinguale Biologie-Module einzuordnen: „Eine Korrelation zwischen der Höhe des Wissenszuwachses durch bilingualen Unterricht und der Motivation [...] kann nicht festgestellt werden“ (2017:14).

Wie in den Forschungen von Abendroth-Timmer zu bilingualen Modulen (2004, 2007) zeigt sich auch hier, dass das Modul als etwas Neues angesehen und dadurch positiv eingeschätzt wird. Diese Abwechslung wird oftmals begrüßt. Abendroth-Timmer stellt die darin liegende motivationale Wirkung auf die Versuchspersonen heraus, verweist aber durch Rückgriff auf die Selbstkonzeptforschung darauf, „dass eine absolute Infragestellung der Arbeit im Modul retrospektiv fast ausgeschlossen wäre“ (2004:22). Dies kann ebenfalls auf den Neuheitseffekt zurückgeführt werden, der aber in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt wurde (vgl. Fries/Souvignier 2015:405, Rumlich 2015:320). Indes formuliert Witzigmann in ihrer Explorationsstudie zu BU Kunst, dass der bilinguale Unterricht am Anfang wie am Ende der Durchführung einen „hohen Stellenwert“ (2011:331, 138, 142f) genieße und dass er weiterhin als positiv empfundene Abwechslung vom üblichen monolingualen Unterricht angesehen werde (ibid.:147ff). Dieser über ein Jahr angelegten Langzeitstudie zufolge ist die Motivation und Begeisterung der Versuchspersonen nicht nur durch eine Neuheitserfahrung begründbar, sondern auch auf die Unterrichtsform selbst zurückzuführen. Hiermit bestätigt Witzigmann eine Langzeitstudie zu BU französisch-deutschem Geschichtsunterricht von Helbig (2001) (vgl. Witzigmann 2011:142f). Die Studie von Lasagabaster/Doiz hingegen stellt für längere, d.h. zwei- bzw. dreijährige, Beobachtungszeiträume Abnahmen in der Motivation bei CLIL-Teilnehmenden fest (vgl. 2015:708, für weitere Einblicke in die teils gegenläufigen Befunde und Wirkungsbereiche vgl. Rumlich 2015 und den Forschungsüberblick in Ohlberger/Wegner 2018 bzw. Ohlberger 2019).

Die Hauptgründe für die erfahrene Freude am Modul sind chemiespezifischer Natur, wiederum angeführt von Experimenten, die aus Versuchspersonensicht auch noch mehr Raum einnehmen dürften. Dies lässt darauf schließen, dass für die SuS, ähnlich wie bei Abendroth-Timmer, „das Sachfach mit seinen inhaltlichen Zielen im Mittelpunkt steht“ (2010:126) und dass sie die „Beibehaltung der Methodik des Sachfaches“ (ibid.:131) als bedeutsam ansehen. Die Bedeutung von Experimenten wurde oben thematisiert. Indes ist es auffällig, dass in der Gruppe Ona der Aspekt des Experimentierens relativ weniger häufig als Grund für die Freude genannt wird. Dies kann damit zu tun haben, dass ein Teil der Experimente bereits bekannt ist und dass das PBB-Experiment in seiner Offenheit eingeschränkt wurde. Das Experimentieren ist eine praktische Tätigkeit und es ist interessant, dass in der Gruppe Ona eine weitere praktische Tätigkeit häufig als Freude bereitend identifiziert wurde: Das Erstellen von Postern. Zusammengenommen sind diese Anteile dann wiederum etwa ähnlich hoch wie die Experiment-Anteile der anderen Gruppen. Dieses, und der Wunsch nach weiteren praktischen Handlungen, zeigt, dass hierin ein großer motivationaler Wert liegt (vgl. Schiefele/Schaffner 2015:158), der als Basis für das Herstellen einer Lernbereitschaft genutzt werden kann (vgl. Felten/Stern 2012:42). Ähnliches berichtet Witzigmann zur praktischen Arbeit im Kunstunterricht (vgl. 2011:330).

Ein Grund für die Freude am Modul ist weiterhin die abwechslungsreiche Unterrichtsgestaltung (s.o.). Das von Gökkuş née Yurdanur eingeholte Lernenden-Feedback bzgl. des photochemischen Arbeitsmaterials, das anteilig Ähnlichkeiten mit den hier genutzten bilingualen Photo-Blue-Bottle-Materialien aufweist, bestätigt auch für monolinguale Kontexte, dass das Material positiv aufgenommen wird. Sie hält fest, dass „die Schüler [durchweg] mit Vergnügen gearbeitet haben“ (2020:235).

Abschließend treten sprachspezifische Gründe ins Relief: Abendroth-Timmer stellt heraus: „Die Lust am bilingualen Kurs [in Form eines Moduls] steht [...] zum sprachlichen Verstehen in einem engen Zusammenhang“ (2004:21, vgl. auch Witzigmann 2011:332ff, Duske 2017:156 unter Verweis auf Yas-sin/Marsh/Tek et al. 2009). Ähnliches lässt sich für das vorliegende BU Chemie-Modul formulieren, da die Sprache als bedeutender Grund für die Freude am erlebten bilingual deutsch-englischen Unterricht identifiziert wird. Umgekehrt wird die negative Haltung zum Modul eng mit der eigenen fremdsprachlichen Kompetenz verknüpft. Diese Erkenntnisse weisen darauf hin, dass nicht alle SuS die notwendige Schwellenkompetenz erreichen (vgl. Kap. 4.2, vgl. Bohrmann-Linde 1012). Auch Literatur zum BU Biologie stützt den Zusammenhang zwischen Fremdspracheneinbezug und einem positiven Erleben bilingualer Angebote (vgl. Preisfeld 2016:104). Es ist allgemein jedoch wichtig festzuhalten, dass das Modul vielen Lernenden Spaß macht (s.o.) – eine bedeutsame Voraussetzung für gelingendes Lernen (vgl. Lipowsky 2015:80, Schiefele/Schaffner 2015:163ff, 166).

Teilweise wurden in ersten Erprobungszyklen die Aufgabenstellungen kritisiert, doch dieses änderte sich im Laufe des Moduls. Es spricht dafür, dass nun anregendere Aufgaben gestellt wurden, eine weitere Voraussetzung für das Erbringen von „bessere Leistungen“ (Felten/Stern 2012:13). Auch weiteren Kritikpunkten konnte durch Maßnahmen der Optimierung erfolgreich begegnet werden.

Bzgl. des Sprachwechsels wünschen sich die SuS, dass der Unterricht lediglich in englischer Sprache geführt wird. Dies spricht dafür, dass die Versuchspersonen bislang eher Fremdsprachenunterricht bzw. bilingualen Erdkunde- oder Biologieunterricht kennengelernt haben, in dem Wechsel in die L1 unüblich sind und sich eher auf wenige Schlüsselbegriffe beziehen. Dies wird von Fehling als „funktionale[] Fremdsprachigkeit“ im Fremdsprachenunterricht (2008:23, zitiert nach ibid. 2010:191) bzw. gar als „Einsprachigkeit des Unterrichtsdiskurses“ (Albrecht/Böing 2010:59 unter Verweis auf Christ 2006) im Fremdsprachenunterricht bzw. bilingualen Unterricht bezeichnet. Dieses lässt sich auch in die Umfrage von Laupenmühlen einordnen, der zufolge der L2-Einsatz in der fremdsprachigen Unterrichtspraxis sehr wenig vertreten ist (vgl. 2012:167f). Allerdings führen die SuS immer wieder eigeninitiativ Sprachwechsel durch, die zusätzlich zu geplanten Sprachwechseln erfolgen. Sie sorgen auf diese Weise im Sinne Frischs (vgl. 2016:90ff) u.a. durch gegenseitiges Helfen für das kommunikative und kognitive Aufrechterhalten der Arbeit an der unterrichtlichen Aufgabe. Es fällt auf, dass die Kodewechsel eher im geschützten, privaten Raum unter peers stattfindet und nicht in der öffentlichen Interaktion mit der Lehrkraft. Dieses Verhalten kann mit der üblichen Einsprachigkeit bzw. funktionalen Fremdsprachigkeit zusammenhängen, die von SuS durchweg erwartet, die Inhalte zielsprachig zu formulieren. Kodewechsel werden dabei im fremdsprachlichen Unterricht als Defizite der Sprechenden

Person angesehen (vgl. Ahvenainen 2021:48), wohingegen es in genuin mehrsprachigen, außerunterrichtlichen Kontexten als Ressource und natürliches Verhalten verstanden wird (vgl. *ibid.*, Baker/Wright 2017:101ff, Wei/García 2014:22ff). Insofern wird das öffentliche Herzeigen der als eher nicht wünschenswert angesehenen und vermeintlich als ein Sprachdefizit darstellenden Kodewechsel möglicherweise vermieden, um das eigene Gesicht (*face*) vor der Lerngruppe oder auch vor der Lehrkraft zu wahren. Die Einhilfen von Lehrkräften gelten zwar oftmals in der Schülerschaft als „*face-saving rather than threatening*“ (Smit 2010:172), dennoch sind diese Korrekturen Gegenstand kontroverser Diskussionen. Manche Lernende empfinden diese durchaus als Belastung (vgl. *ibid.*:173, Ahvenainen 2021:59ff, 54ff unter Rückgriff auf Dalton-Puffer 2007). Pavón Vázquez/Ramos Ordóñez (2019:44f) sowie Zaroni (2018:322) schlagen zur Abhilfe der ungeplanten Kodewechsel Scaffolding-Maßnahmen vor, so dass in einigen Situationen der Rückgriff auf die L1 nicht mehr notwendig ist.

Abschließend kann festgestellt werden, dass sich die Module aus SuS-Sicht für den Einsatz in der Schule eignen und dass sich die Zustimmung dazu im abschließenden Modul am höchsten ist. Die Äußerungen deuten an, dass die Module Gelegenheiten dafür bieten, dass sich die SuS als kompetente Lernende im Bereich der Fremdsprache und im Bereich des Sachfaches Chemie wahrnehmen und inhaltlich wie sprachlich dazulernen. Weiterhin wird deutlich, dass die Lernenden mehrheitlich mit Freude an den Modulen teilnehmen. Diese ist in der Hauptsache sachfachlichen und, mit Abstrichen, fremdsprachlichen Ursprungs. Zur zweiten Forschungsfrage liegen somit differenzierte Antworten vor.

14 Sprachlicher Lernzuwachs

In diesem Teil der Studie werden sprachliche Aspekte in den Blick genommen. Dies geschieht anhand von Leitlinien, die als Fragen aufgestellt werden, wobei die Sprache der Lernenden schrittweise exploriert wird. Dies geschieht in logisch aufeinander folgenden Schritten: In Kap. 14.1 bis 14.6 liegt das Hauptaugenmerk auf dem in den NTs neu verwendeten Vokabular. Zunächst wird die englische Sprache analysiert, dann in Kap. 14.5 und 14.6 die deutsche Sprache. Diese beiden Kapitel behandeln somit die doppelte Sachfachliteralität. In Kap. 14.7 richtet sich der Blick auf das allgemein verwendete englische Vokabular vor dem Hintergrund der vorliegenden Thematik des Unterrichtsmoduls. Im Abschlussteil von Kap. 14 steht das im Material angebotene Vokabular und sein Niederschlag in den englischen bzw. deutschen NTs im Zentrum des Interesses. Dabei wird untersucht, welches englische bzw. deutsche Vokabular aus dem Glossar verwendet wird (vgl. Kap. 14.8 und 14.9), bevor Kap. 14.10 der Frage nachgeht, inwiefern häufig im Material angebotenes Vokabular in den NTs versprachlicht wird. Hier gehen wiederum die letzten beiden Kapitel der doppelten Sachfachliteralität nach. Auf diese Weise wird ein Weg von einem recht allgemeinen Überblick bis hin zu spezifischen Detailfragen beschritten. Hiermit wird das Ziel verfolgt, Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen drei und vier zu gewinnen.

14.1 Wie ändern sich die englischen Definitionen bzgl. Textlänge und Wortschatzqualität?

Es wird untersucht, inwiefern sich die englischen Erklärungen verändern, die die Proband*innen im Vortest bzw. Nachtest schriftlich fixieren. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.1.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die Online-Software VocabProfiler Web VP Classic v.4 (vgl. Cobb 2022) lässt eine Analyse der Kategorien des englischen Vokabulars zu (vgl. Agustín Llach 2014, Gierlinger/Wagner 2016, Kötter 2017, Olsson/Sylvén 2019). Die Kategorisierung erfolgt in vier Abstufungen: Hinter k1 verbergen sich die tausend am häufigsten verwendeten englischen Wörter, k2 deckt die nächsten tausend ab, unter der *academic word list* (AWL, vgl. Coxhead 2011 zur Zusammensetzung) verbergen sich bildungssprachliche Termini und die *off list* versammelt schließlich alle Wörter, die in den Wortdatenbanken der ersten Kategorien nicht aufzufinden sind. Hier versammeln sich u.a. außerhalb der präskriptiven Listen befindliche englische Wörter, also meist englische Fachbegriffe oder fehlerhaft

geschriebene englische Vokabeln. Überdies finden sich Einträge, die nicht zum Korpus der englischen Zielsprache gehören, z.B. Neologismen sowie während des Transkribierens der Lernertexte durch Ergänzungen markierte Wörter (z.B. „formelfuerkohlenstoffdioxid“ gibt an, dass das chemische Symbol an Stelle des Wortes Kohlenstoffdioxid verwendet wird). Aus diesem Grund ist ein aufmerksames, wiederholtes Durcharbeiten der off list notwendig: Zunächst werden Rechtschreibfehler korrigiert, so dass die dann korrekt geschriebenen Wörter durch die Software erkannt und kategorisiert werden, und die verwendete Formelsprache verarbeitet. Daraufhin findet eine Analyse der verbleibenden Einträge statt. Zunächst werden Wortfehler identifiziert. Hierzu gehören im vorliegenden Fall Neologismen (z.B. „deliverant“, f-a32), falsche Begriffe (z.B. „carbon“ an Stelle von „carbon dioxide“ bei hie13 oder „fasten“ an Stelle von „accelerate“ bei ona09), fehlerhafte Formeln (z.B. von Kohlenstoffdioxid, hie 19) oder Kodewechsel (z.B. „Sauerstoff“ bei f-a23 oder auch der komplett in Deutsch verfasste Text von ona02). Abschließend werden die englischen Fachtermini identifiziert. Es sei darauf hingewiesen, dass keine Wortdopplungen (Duplikate) herausgestrichen wurden, sondern dass die nach den Aufarbeitungsschritten vorliegenden Korpora verwendet wurden (vgl. Anhang A1_14.2.1).

14.1.2 Ergebnisse

Für die drei Gruppen Hie, F-A und Ona werden die Mediane für die Kategorien k1, k2, awl, Fachvokabular, Wortfehler und Chemische Formeln ermittelt und auf 100 normiert, so dass ein Vergleich der Gruppen untereinander möglich ist. Diese Werte, die in den gestapelten Balken aufgenommen sind, orientieren sich an der Primärachse. Ferner wurden Daten zu den Textlängen (Median) integriert, die als blauer Punkt aufgenommen sind. Diese Werte orientieren sich an der Sekundärachse. Der Wert unter dem blauen Punkt entspricht der Wortzahl (vgl. Abb. 70):

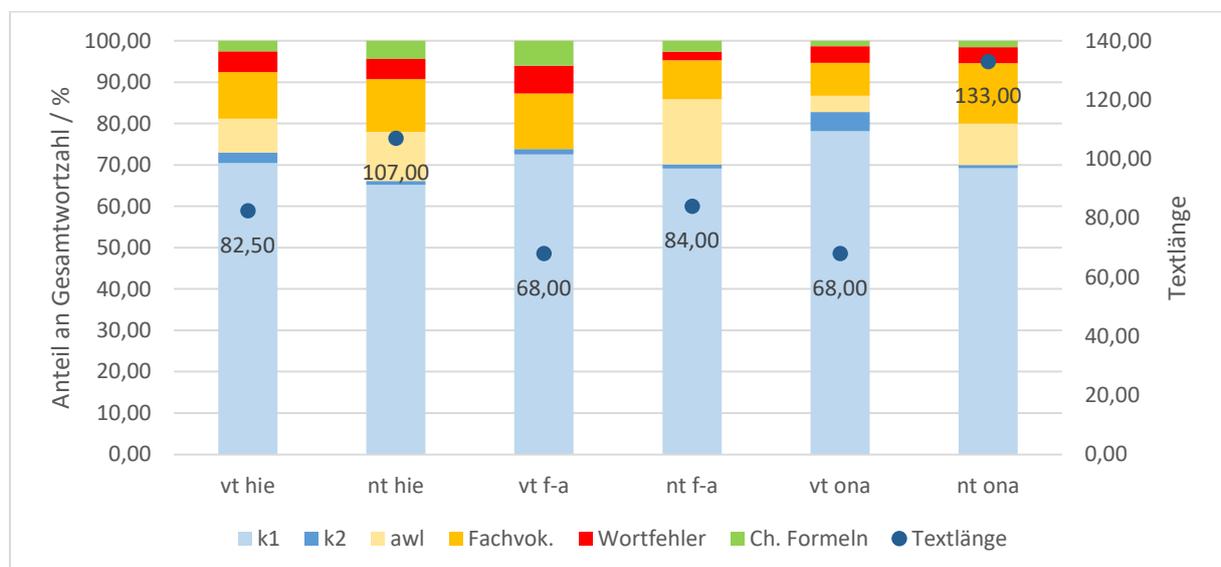


Abb. 70: Analyse der englischen Lexik vor und nach Intervention (Mediane; keine Tilgung von Duplikaten); Nebeneinanderstellung der drei Gruppen Hie, F-A und Ona

Bei steigender Wortzahl im Vergleich zwischen Vor- und Nachtest erhöht sich in allen Gruppen der Anteil an bildungs- und fachsprachlicher Lexik (gelb bzw. gelborange), wobei die jeweiligen Zunahmen unterschiedlich ausfallen. Die Ona-Texte wachsen um fast das Doppelte, während die Texte der anderen Gruppen um ein Drittel (Hie) bzw. ein Viertel (F-A) anwachsen. Am längsten sind die Texte der Gruppe Ona. Die Summe aus bildungs- und fachsprachlichem Vokabular ist für jede Nachtest-Gruppe gleich groß (Wert: 25), setzt sich aber immer etwas anders zusammen. Bei Ona ist der größte Anteil an Fachtermini zu finden (15 von 25), bei Hie sind es 13 und bei Ona 9. Die Zuwächse an Bildungssprache

sind bei F-A am größten (von 0 auf 16), gefolgt von Ona (von 4 auf 10, d.h. Zuwachs um das Anderthalbfache) und Hie (von 8 auf 12, d.h. Zuwachs um die Hälfte). Während das Fachvokabular bei Ona um mehr als 80 % wächst, sind es knapp 13 % bei Hie – und bei F-A sinkt der Wert sogar um knapp 70 %. Die obigen Veränderungen sind mit einer Abnahme an Vokabular aus dem Bereich k1 und k2 verbunden – zusammengenommen fallen diese Werte in den Nachtests geringer aus als in den Vortests. Die geringsten Werte weist die Gruppe Hie auf; sie liegt nur knapp unter den nahezu identischen Werten der anderen beiden Vergleichsgruppen. Der stärkste Rückgang in den summierten Kategorien k1 und k2 wird bei Gruppe Ona festgestellt (von knapp 83 auf 70). Die Anzahl an Wortfehlern stagniert bei den Gruppen Hie und Ona, vermindert sich dahingegen bei Gruppe F-A auf ein knappes Drittel. Chemische Formeln weisen alle Vor- und Nachtests der drei Gruppen auf. Im Vortest ist der Wert bei Gruppe F-A mit 6 am höchsten, im Nachtest liegt der höchste Wert bei Gruppe Hie (4). Bei Gruppe Ona sind die Veränderungen marginal (plus 16 %), die Werte bei F-A nehmen um mehr als die Hälfte ab und diejenigen bei Hie um etwa drei Viertel zu.

Die folgenden Abbildungen, Abb. 71 bis Abb. 73, geben die Veränderungen für jede lernende Person der jeweiligen Lerngruppe wider. In der Regel sind Zunahmen der Textlängen zu finden, nur in vier Fällen gibt es Abnahmen (dreimal in Gruppe Hie, einmal in Gruppe F-A) und dreimal bleiben die Längen nahezu gleich (zweimal Hie, einmal F-A). In fast allen Fällen vergrößert sich der Anteil der Bildungs- und Fachsprache (gelbe Farben), nur in Einzelfällen nimmt sie leicht ab (vgl. hie28, hie 35 und hie 44). Ähnliches gilt für die Summe aus k1 und k2 – hier sind die Einzelfälle bei hie34 (gleicher Wert) sowie bei hie17 und hie 28 (marginaler Rückgang) zu finden. Die Werte für Wortfehler und chemische Formeln sind individuell sehr unterschiedlich. Eine Proband*in, ona02, verwendet im Vortest nur deutsche Wörter, so dass alle Worte als Wortfehler gezählt wurden. Etwas mehr als die Hälfte der Vor- und Nachtests bei Hie weisen die Verwendung von Formeln auf (25 Fälle auf 44 Tests), bei F-A und Ona ist es deutlich unter der Hälfte (6 auf 14 bzw. 7 auf 18 Tests). Elfmal werden bei Hie mehr Formeln im NT als im VT verwendet, bei F-A und Ona ist es jeweils viermal. Dem gegenüber stehen 5 Abnahmen bei Hie, jedoch jeweils keine in den anderen beiden Gruppen.

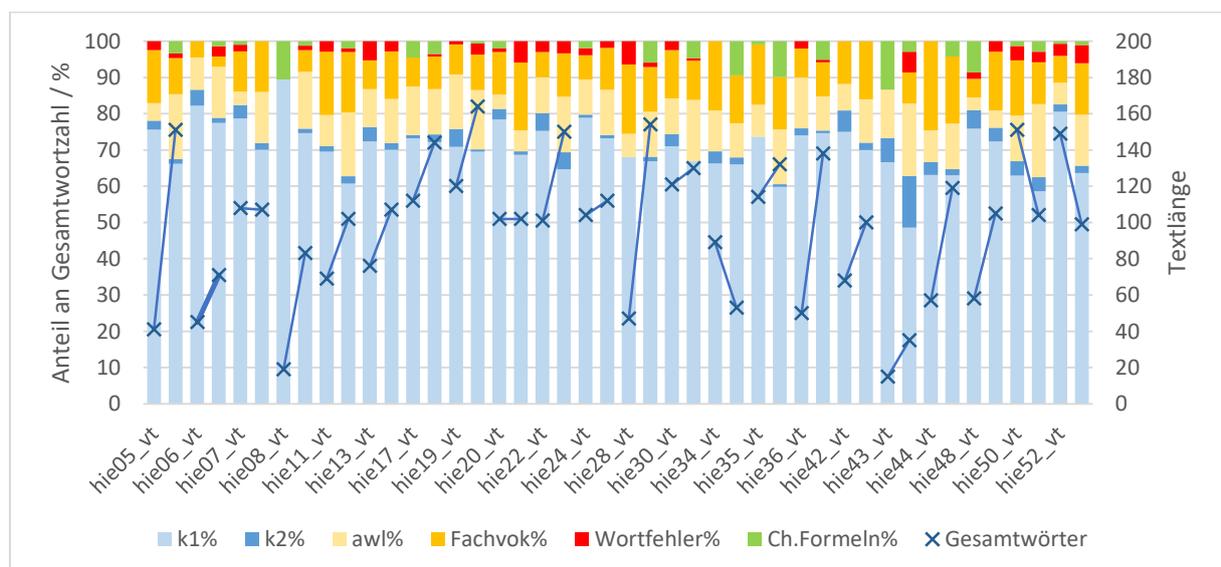


Abb. 71: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe Hie

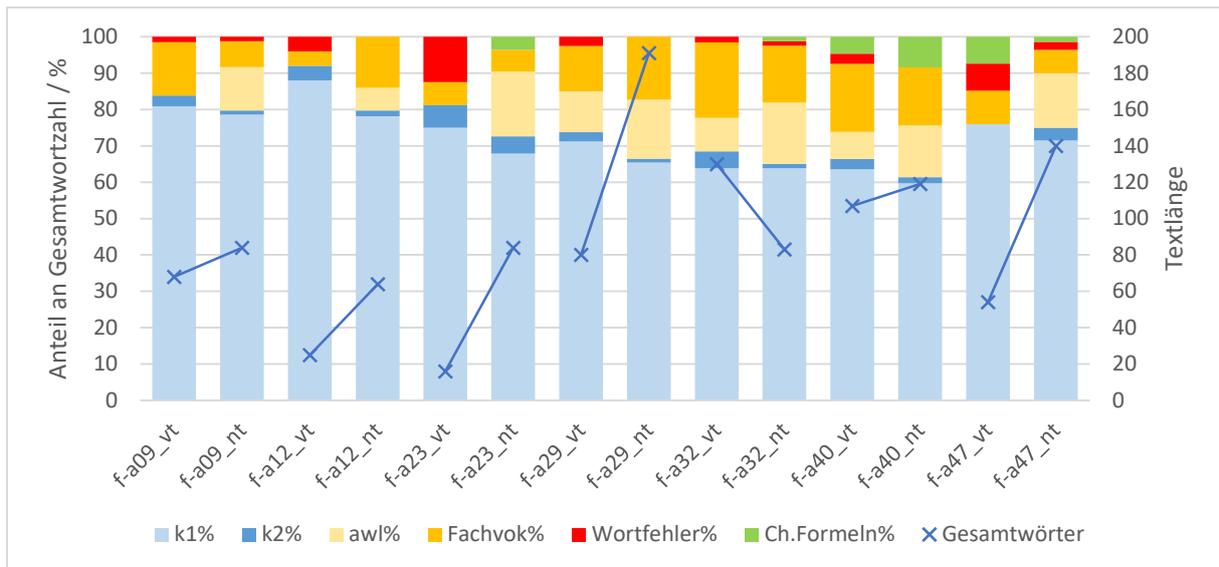


Abb. 72: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe F-A

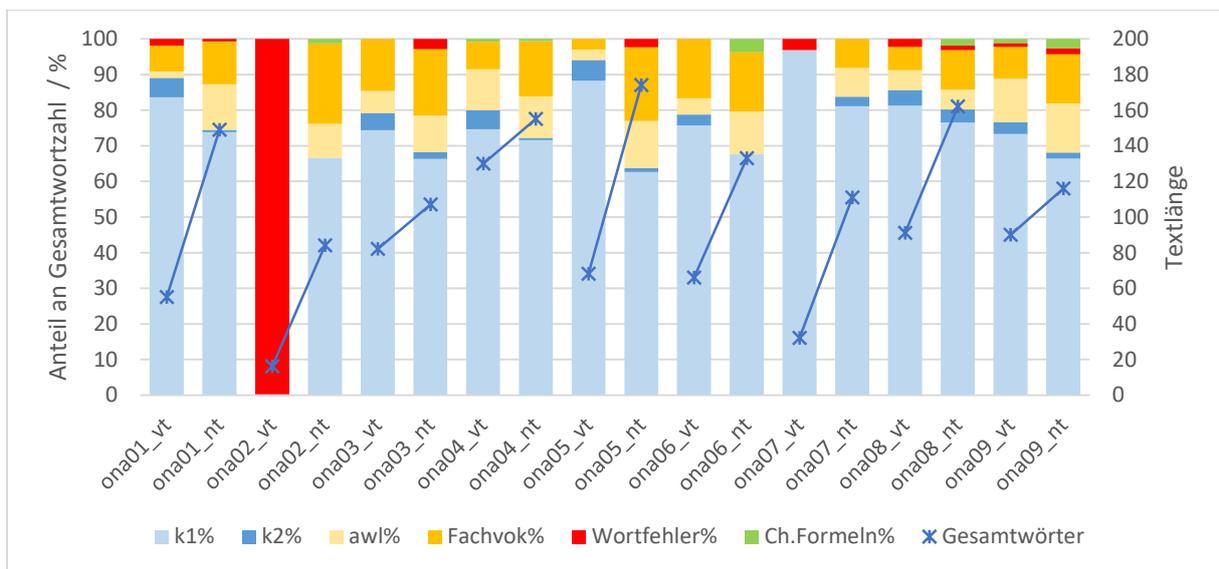


Abb. 73: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, Proband*innen Gruppe Ona

Wenn die Mediane für die unterschiedlichen Instruktionsgruppen (Typ C vs. Typ A) ermittelt werden, ergeben sich diese auf 100 Wörter normierte Werte für Vor- und Nachtest, vgl. Abb. 74 auf der Folgeseite:

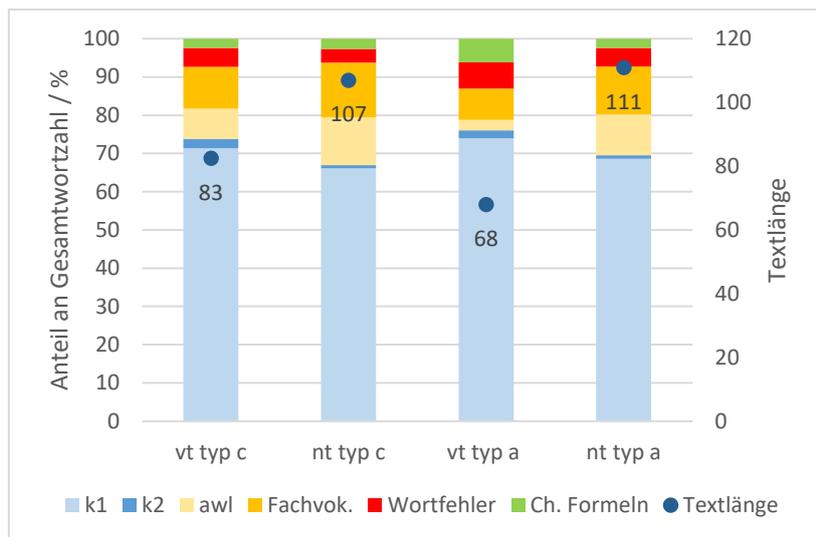


Abb. 74: Analyse englische Lexik vor und nach Intervention, gruppiert nach Instruktionstyp (Typ C vs. Typ A)

Die Nachtests der Gruppen Typ C und Typ A unterscheiden sich kaum hinsichtlich der Textlänge (knapp 110 bzw. gut 110 Wörter), allerdings ist die Ausgangsbasis von knapp 80 und gut 70 Wörtern deutlich unterschiedlich, so dass der Zuwachs für Typ A relativ und absolut größer ausfällt: Der Zuwachs an 43 Wörtern bedeutet auf die Ausgangswortzahl bezogen eine Zunahme um mehr als 60 %. Für Typ C liegen die Werte bei 25 Wörtern und gut 30 %. Bei der Gruppe Typ C finden sich im Nachtest mehr Wörter aus den Kategorien AWL und Fachwortschatz als bei der Gruppe Typ A (insgesamt 27, dabei 14 Fachbegriffe und 13 bildungssprachliche Vokabeln – bzw. insgesamt 23 auf Seiten von Gruppe Typ A, und davon 13 Fachbegriffe und 11 bildungssprachliche Ausdrücke), jedoch sind die Zuwächse auf Seiten von Typ A deutlich größer, was an geringeren Ausgangswerten liegt: Während Typ C 8 AWL-Wörter und 11 Fachtermini im Vortest aufweist, sind es bei Typ A lediglich 3 bzw. 8. Die Abnahmen in den Kategorien k1 und k2 sind vergleichbar groß. Die Wortfehlerzahl nimmt bei beiden Gruppen in vergleichbarem Maße ab, doch Typ C hat eine niedrigere Fehlerquote in Vor- und Nachtest. In beiden Gruppen werden chemische Formeln im Vor- und Nachtest verwendet. Bei beiden Gruppen werden im Nachtest fast identisch hohe Anteile verwendet (leicht niedriger bei Typ A). Im Vergleich zum Vortest hat sich der Typ A-Wert allerdings auf 40 % vermindert und derjenige von Typ C ist marginal gestiegen.

14.2 Wie setzt sich der neu verwendete englische Wortschatz zusammen?

Oben wurde in Übersichten die Zusammensetzung der englischen VT und NT bzgl. sechs Kategorien (k1, k2, awl, Fachvokabular, Wortfehler, chemische Formeln) analysiert. Dort war der Fokus die Zusammensetzung des jeweiligen Gesamttextes. Nun ist hingegen von Interesse, wie sich die **neu hinzugekommenen Anteile** zusammensetzen, und zwar, welcher der sechs Kategorien sie zugehörig sind. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. Anhang AX).

14.2.1 Methodik der Datenaufbereitung

Um eine Auslese derjenigen Wörter zu erhalten, die die Proband*innen als neue Wörter im Nachtest verwenden, wird zunächst mit MAXQDA 2020 eine Worthäufigkeiten-Liste aus allen englischen Vor- und Nachtests der Gruppen Hie, F-A und Ona erzeugt und in Excel ausgegeben. Die einzelnen Einträge in der Liste werden lemmatisiert, d.h. dieser Aufarbeitungsschritt „zielt darauf ab, den einzelnen Wortformen eine einheitliche Leitform zuzuordnen“ (Bußmann 2008:396). Auf diese Weise werden flektierte Formen auf die Grundform zurückgeführt (z.B. „absorbing“ oder „absorbs“ wird zu „absorb“)

oder Rechtschreibfehler (z.B. „*absorbig“ wird zu „absorb“) geglättet. Allerdings werden Verben, Substantive und Adjektive erhalten, d.h. neben „absorb“ existiert auch „absorption“ bzw. neben „abgeben“ auch „Abgabe“. Das bedeutet, dass die Lemmatisierung nicht ganz bis auf die Grundform durchgeführt wurde – die ausgewählte Bearbeitungsebene reicht für die anvisierten Ziele der Arbeit aus. Auch werden Einträge getilgt, die keine Inhaltswörter sind. Aus der ursprünglich etwa 2200 Einträge langen Liste entsteht eine mit etwa 1700 Einträgen mit laut VocabProfiler über 1000 unterschiedlichen Klassen, denen diese sprachlichen Äußerungen zugrunde liegen („types“, vgl. Bußmann 2008:758).⁵¹ Die VocabProfiler-Software ist zwar auf englische Termini ausgerichtet, erkennt aber in der „off list“ auch gleich geschriebene deutsche Wörter und ordnet sie auf dieser Basis einer Klasse zu. Mit Excel wird erfasst, welches Wort in der Liste von welcher Untersuchungsperson im englischen Vortest und im entsprechenden Nachtest verwendet wird. Diejenigen Wörter, die von der jeweiligen Proband*in nur im englischen Nachtest fallen, werden abschließend versammelt, der Rest mit einer eigens programmierten Excel-Tabelle herausgerechnet. Diese Wortlisten werden proband*innenweise nochmals aufgearbeitet, um Dopplungen (Duplikate) herauszunehmen. Die herausgefilterten Wörter werden wiederum mit VocabProfiler bearbeitet und analysiert, vgl. Abb. 75 (vgl. dazu auch Anhang A14.2.1_A1).

14.2.2 Ergebnisse

Die Darstellung in Abb. 75 lässt erkennen, dass bei allen Gruppen ein großer Teil aus dem Bereich Bildungs- und Fachsprache kommt. Zusammen sind es 35 (Hie), 36 (F-A) bzw. 37 Prozent (Ona). Die anderen Bereiche werden aufgrund des aktuellen Fokus an dieser Stelle nicht weiter beschrieben.

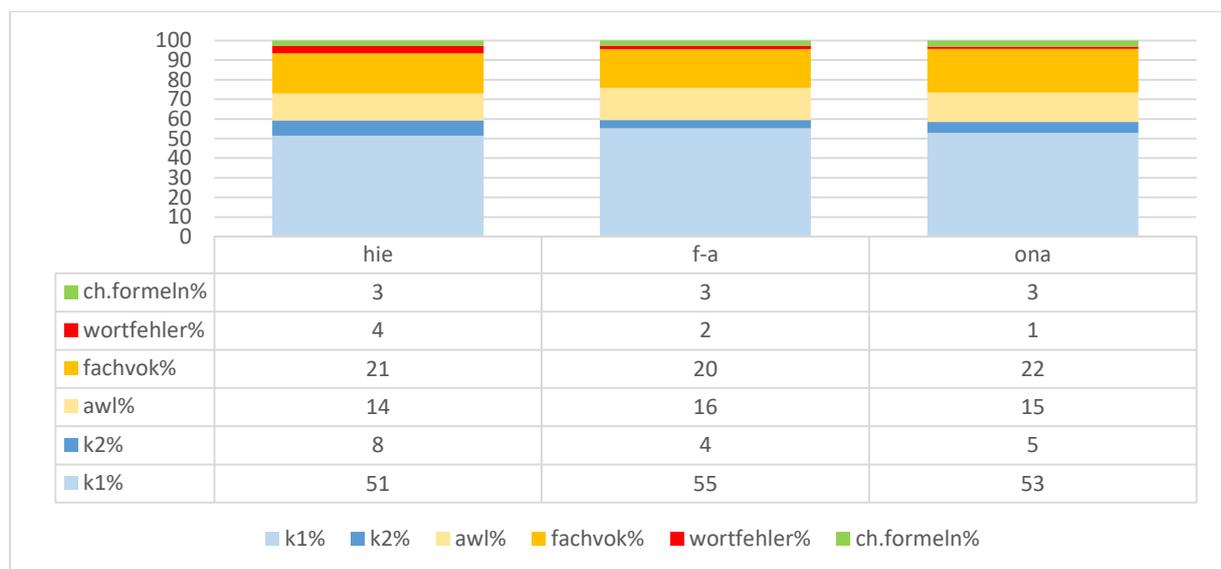


Abb. 75: Analyse der neu hinzugekommen englischen Wörter im NT, Nebeneinanderstellung der drei Gruppen Hie, F-A und Ona (die Aufarbeitungen enthalten keine Wort-Duplikate).

⁵¹ In Anhang A14.2.1 wird die bis hierher beschriebene Methodik weiter konkretisiert und kommentiert. Der dortige detaillierte Kommentar bezieht sich auf den elektronischen Anhang „alle worte d en alle dateien_0810 2021_3_anhang.xlsx“

14.3 Welche englische Lexik aus Fach- und Bildungssprache wird neu verwendet?

Die vorherigen Ausführungen haben hervorgebracht, dass die jeweils neu verwendeten Wörter sich zu jeweils etwas mehr als einem Drittel aus fach- bzw. bildungssprachlicher Lexik zusammensetzen. Nach diesen quantitativen Darstellungen wird nun ein qualitatives Ziel anvisiert: Es wird erforscht, welche konkreten englischen Lexeme in den Nachtests neu Verwendung finden. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.3.1 Methodik der Datenaufbereitung

Hier wird die oben dargestellte Herangehensweise verwendet (vgl. dazu auch Anhang A14.2.1_A1).

14.3.2 Ergebnisse

Es lassen sich 40 neu verwendete bildungssprachliche und 63 neu verwendete fachsprachliche Wörter identifizieren. Der bildungssprachliche Wortschatz findet sich in der linken Spalte der Tab. 15; der Fachwortschatz befindet sich in der mittleren und rechten Spalte.

Die Zusammensetzung der jeweils neu verwendeten Vokabeln ist für die drei Gruppen Hie, F-A und Ona jeweils sehr unterschiedlich. Während bildungssprachliche Worte wie chemical, conversion, convert, cycle, energy process, react, reaction, release, source und transform in allen Gruppen auftauchen, werden Wörter wie compound oder visible nur in jeweils einer Gruppe verwendet. Zudem werden die Wörter in unterschiedlich häufiger Weise verwendet. So wird „chemical“ von 10 (Hie), 3 (F-A) bzw. 5 (Ona) Proband*innen verwendet, „source“ nur von 3, 1 bzw. 1. Im Bereich der Fachwörter ist ähnliches zu beobachten.

Die folgende Tab. 15 gibt eine Übersicht über die neu verwendeten Vokabeln aus den Bereichen Bildungs- (AWL) und Fachsprache je Gruppe. Für die Tabelle gilt: Bei mindestens einer Person der entsprechenden Gruppe ist das Wort im englischen Nachtest im Vergleich mit dem englischen Vortest neu hinzugekommen. Es kann aber auch, wie die Beispiele zu „chemical“ und „source“ verdeutlichen, von mehr als einer Schüler*in produktiv verwendet worden sein.

Tab. 15: Neu verwendete englische Bildungs- und Fachsprache im NT gruppiert nach Hie, F-A und Ona (Angaben in %)

Bildungssprache (EN, NT)				Fachwortschatz (EN, NT)				Fortsetzung			
Wort	hie	f-a	ona	Wort	hie	f-a	ona	Wort	hie	f-a	ona
1 achieve	5			1 absorb	9			41 organism	5	29	
2 aspect		14		2 accelerate	5	14		42 oxidation	14	14	
3 chemical	45	43	56	3 activate	23		44	43 oxygen	14	29	22
4 circumstances	5			4 activator			11	44 pbb		14	
5 compound			33	5 amplitude	5			45 photocatalyst	68	43	100
6 consist	5		22	6 atmosphere			44	46 photon	5		
7 consume	5			7 atom			11	47 photosynthesis	23	57	67
8 conversion	55	29	11	8 biochemical			11	48 pigment	9		11
9 convert	23	14	22	9 biological	5	14		49 proflavine	5		
10 create	5	14		10 byproduct	5			50 rainbow			22
11 cycle	23	43	33	11 camouflage			11	51 regenerate	5		
12 define	5		11	12 capture	5			52 re-react	5		
13 detect	5			13 carbohydrate			11	53 respiration	64	43	44
14 document			11	14 carbon	23	43	56	54 spectrum	5		
15 enable	5			15 catalyse	5			55 storage	5		
16 energetic		14		16 catalyst	5	14	11	56 switch			11
17 energy	23	71	67	17 categorize	5			57 synthesize		14	
18 function	5		11	18 cell	23		56	58 thermal	9		
19 integrate			11	19 cellular	23	14	44	59 type	14		
20 invisible	14			20 chlorophyll	59	14	33	60 ultraviolett		14	
21 involve		14		21 chloroplast			22	61 usable		14	
22 obtain			11	22 counter			22	62 utmost			11
23 physical	5			23 dioxide	9	14	22	63 uv	32		11
24 procedure			11	24 duality		14					
25 process	9	43	67	25 educt			11				
26 range			11	26 electromagnetic	14						
27 react	14	29	56	27 elysia chlorotica			22				
28 reaction	9	29	100	28 endergonic			22				
29 release	5	14	22	29 endotherm	5						
30 reverse	5			30 enzymes	5						
31 shift			11	31 exergonic			22				
32 source	14	29	11	32 glucose	14	29	44				
33 specific		14	11	33 *greenery	5						
34 structure	5		11	34 infrared	5						
35 transfer		14		35 interval	5						
36 transform	14	29	22	36 kinetic	9	14					
37 transformation	14	29		37 microwaves	5						
38 transport	5			38 molecule	18		11				
39 trigger	9			39 nutrient		14					
40 visible	14			40 organic			11				

Ähnlich variabel sind auch die Korpora der Bereiche k1 und k2 (vgl. Anhang A14.2.1). Dort sind zudem vereinzelt Worte versammelt, die im aktuellen Kontext auch als Fachbegriffe gelten können, z.B. wenn „low“ aus der Kategorie k1 mit „energy“ zusammengesetzt wird zu „low-energy“, z.B. in der Kollokation „low-energy compound“. Der k2-Begriff „excited“ nimmt neben der Alltagsbedeutung „aufgeregt, begeistert, erregt, sich auf etwas freuen“ (vgl. PONS Online, „excited“) nun die Bedeutung „angeregt“ im Sinne eines elektronisch angeregten Zustands, „excited state“, an.

Im Vergleich zwischen Proband*innen der Typen A und C zeigt sich: Diejenigen der Typ A-Gruppe verwenden mehr neue Wörter als diejenigen der Gruppe Typ C (Median 29 vs. 26). Für die Gruppen Hie, F-A und Ona ergeben sich die Mediane 25,5, 24,0 und 34,0. Auch hier liegen von Proband*in zu Proband*in sehr unterschiedliche neue Wörter vor (vgl. Anhang A14.2.1). Vereinzelt treten Phänomene wie Kodewechsel (z.B. „Sauerstoff“ bei hie52) oder falsch verwendete Fachbegriffe (z.B. „greenery“ bei hie50) zu Tage.

14.4 Welche englischen Vokabeln werden am häufigsten neu verwendet?

Nachdem oben der Schwerpunkt auf englischer Bildungs- und Fachsprache lag, soll dieses Kapitel Einblicke geben, die alle Kategorien betrifft – also auch die Kategorien k1 und k2. Durch diese Beschreibungen werden die Einblicke in das neu hinzugekommen englische Vokabular vervollständigt, um einen Gesamteindruck zu erhalten, welcher Begrifflichkeiten sich die Proband*innen nun im Nachtest bedienen. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.4.1 Methodik der Datenaufarbeitung

Die oben dargestellte Herangehensweise bildet hier wieder die Grundlage, auf der weitergearbeitet wird. Im Folgenden werden jedoch nicht alle, sondern die häufigsten neuen Wörter zusammengestellt. Sie können aus den Kategorien Fachsprache, Bildungssprache, k1 oder k2 kommen. Es wird angestrebt, für jede Untersuchungsgruppe etwa 20 Wörter zu erhalten, die dann in einer Wortwolke versammelt werden. Der cut point orientiert sich also am Ergebnis (vgl. Anhang A14.4.1 für weitere Details).

14.4.2 Ergebnis

In Gruppe Hie gibt es 20 Wörter die mindestens fünfmal verwendet werden. Das Wort mit der größten Häufigkeit, 12, ist „light“. Es wurde von diesen 12 Proband*innen also noch nicht im Vortest verwendet. Ähnliches gilt für die anderen Wörter, die hier in Abb. 76 ohne weitere Differenzierung in Unterbereich angegeben werden – die Verwendung von drei chemischen Formeln, Kohlenstoffdioxid (7x), Wasser (6x) und Sauerstoff (5x) wurde getilgt, weil es hier um Worte geht, nicht um die Verwendung von Formelsprache:

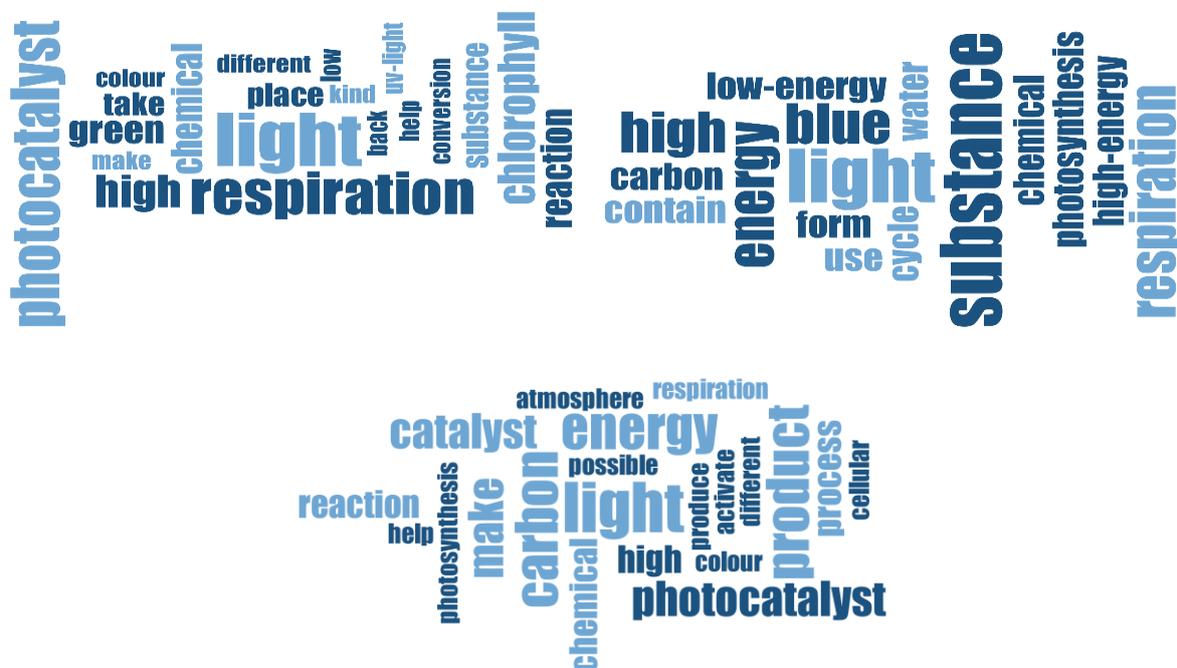


Abb. 76: Wortwolken der neuen englischen Lexik in den Gruppen Hie (links oben), F-A (rechts oben) und Ona (unten)

Bei F-A sind es 16 Vokabeln, die ab einem Häufigkeitswert von drei genannt werden, wobei „light“ und „substance“ mit jeweils 5 Neuverwendungen am häufigsten auftreten. Hier war das Herauseditieren von Formelsprache nicht notwendig. In der Gruppe Ona sind es 21 Worte, die mindestens viermal verwendet werden. Auch hier ist „light“ am häufigsten (8 Fundstellen). In den Zusammenstellungen

werden Worte wie „low-energy“, „high-energy“ oder „uv-light“ als ein Wort gezählt, sonst wäre in allen Fällen das Wort „energy“ auf Platz 1, also noch vor „light“.

Es zeigt sich, dass notwendigerweise unterschiedliche cut points gewählt wurden, um jeweils Wortwolken mit etwa 20 Wörtern zu erzeugen. Konkret liegen die cut points gemäß obiger Aussagen bei 5 (Hie), 4 (Ona) bzw. 3 (F-A).

14.5 Doppelte Sachfachliteralität: Inwiefern sind die deutschen Definitionen von fachsprachlichen Äquivalenten geprägt?

Während die vorherigen Erforschungen sich mit der englischen Sachfachliteralität befassen, soll nun der Fokus auf die doppelte Sachfachliteralität gelegt werden. In 14.3 wurden die neu hinzugekommenen englischen Vokabeln aus den Bereichen Fach- und Bildungssprache in aufwändiger Weise herausgearbeitet. Wenn diese Begriffe neu in den englischen Texten fallen, müssen sie gemäß des Ziels der doppelten Sachfachliteralität auch in den deutschen Nachtests Abbildung finden. Das heißt, es wird nun in den deutschen Texten nach deutschen Entsprechungen für diese englischen Wörter gesucht. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.5.1 Methodik der Datenaufbereitung:

Es müssen Entscheidungen getroffen werden, welche Vokabeln sich für diesen Vergleich eignen. Sie müssen dem Pool der neu verwendeten Wörter entstammen und den Charakter von Fach- oder Bildungssprache haben. Dazu sollen sie spezifisch für das Modul sein und von möglichst vielen Proband*innen neu verwendet werden, so dass eine möglichst große Vergleichsbasis vorliegt. Der Ausgangspunkt liegt daher in den Wortwolken (vgl. Kap. 14.4). Durch begründetes Ausklammern von Wörtern wird die Auswahl eingegrenzt: In den Wortwolken finden sich einige Begriffe aus den k1- bzw. k2-Kategorien, d.h. sie liegen außerhalb des Bildungs- und Fachwortschatzes, unter ihnen z.B. help, make, place oder light. Dies ist Vokabular, das den Proband*innen bereits vor dem bilingualen Modul aus dem üblichen Fremdsprachenunterricht Englisch bekannt sein muss, da es dem Niveau B1 des GER zuzuordnen ist, das als Zieldimension des Englischunterrichts bis zum Ende der Klasse 9 festgelegt wird (vgl. MSW 2007:36; vgl. auch Oxford Text Checker). Diese werden ausgeklammert. Werden die Wortwolken ausgeweitet und die gesamten Listen der k1- und k2-Wörter betrachtet, wird deutlich, dass manche Wörter unter ihnen indes den Charakter von Fach- bzw. Bildungssprache aufweisen. Diese können folglich genutzt werden (vgl. vorletzter Abschnitt in Kap. 14.3.2). In den Wortwolken finden sich weiterhin Wörter, die erst im Zuge des Moduls angeboten worden sind, z.B. photocatalyst, respiration, carbon oder conversion. Diese werden sowohl im englischen als auch deutschen VT und NT als zu definierende Wörter angeboten – in den deutschen Tests natürlich als deutschsprachige Äquivalente. Wenn nun nach dem Anbahnen des deutschen Fachwortschatzes für neue englische Begrifflichkeiten gesucht wird, können diese oben genannten Wörter somit nicht berücksichtigt werden, da sie jeweils ja schon vorgegeben sind, wenn auch als zu definierende Konzepte.

Ebenfalls werden in den Wortwolken auftauchende Kognaten für die Verwendung in der Analyse ausgeklammert. Dies sind Wörter wie photocatalyst und Photokatalysator, die in der L2 und der L1 große Ähnlichkeit aufweisen. Allgemein pointiert die einschlägige Forschung: „Learners establish equivalence relationships between L1 and [L2] words and basing on these interlingual identifications they transfer lexical items they consider common to both languages“ (Agustín Llach 2010:3). Bei Kognaten gilt diese Strategie als erfolgreich, es gelingen „positive transfer[s]“ (ibid.:5). Allerdings

bedarf es eingehender Untersuchungen, die den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würden.⁵² Vor diesem Hintergrund wird die Entscheidung getroffen, Kognaten nicht weiter zu untersuchen.

Die oben genannten Maßnahmen werden auf die Wörter in Tab. 15 übertragen, so dass weiteres, nun fach- und bildungssprachliches, Vokabular ausgeklammert werden muss. Vor diesem Hintergrund fällt die Wahl auf fünf Wörter: Es werden folglich die Worte **compound** (chemische Verbindung), **low-energy** [substance/compound] (Substanz/Verbindung geringen Energiegehalts) sowie analog **high-energy**, **excited** (angeregt), aber dann auch das möglicherweise als Kognat zu versprachlichende Wort **pigment** (grüner Blattfarbstoff, oder auch: Pigment) daraufhin untersucht, wie sie im Deutschen versprachlicht werden (vgl. vorletzter Abschnitt in Kap. 14.3.2. zu excited und low-energy bzw. high-energy; vgl. dazu auch Anhang A1_14.2.1).

In den folgenden Tabellen, Tab. 16 und Tab. 17, werden die jeweiligen Wörter mit ihren Fundstellen aufgeführt. Diese Arbeitsschritte wurden wiederum mit MAXQDA 2020 durchgeführt. Neben der Einordnung der Versuchsperson zu einem Instruktionstypus (A vs. C) wird ausgezählt, ob die deutsche Fachvokabel richtig (r) ist, fehlt (//) oder falsch (bzw. unidiomatisch) ist (f). Ein Kommentar findet sich in der letzten Spalte. Manche englische Ausführungen enthalten den entsprechenden Suchbegriff, müssen jedoch zurückgenommen werden, weil die englischen Formulierungen inhaltlich nicht zielführend sind. Dieses ist jeweils am Ende der tabellarischen Auswertungen vermerkt, jedoch sind es nur einige wenige Fälle (vgl. dazu auch Anhang A14.5.1).

14.5.2 Ergebnisse

Die betrachteten Wörter werden jeweils nicht häufig verwendet: „low-energy“ und „high-energy“ zwar 14- bzw. 15-mal, „excited“ hingegen nur einmal, wie die Datentabelle in Abb. 77 aufführt. Es fällt auf, dass „excited“ und „compound“ entweder mit einer inkorrekten deutschen Vokabel oder einer ausweichenden Formulierung bzw. einer anderen inhaltlichen Schwerpunktsetzung im Deutschen realisiert werden. Im Fall von „excited“ gibt es eine inhaltliche Auslassung: Der elektronisch angeregte Zustand wird nicht weiter thematisiert (vgl. den einzigen Eintrag zu „excited“). Diese Situationen wurden verallgemeinert als „Problem umgangen“ in den Tab. 16 und Tab. 17 kommentiert. Im Fall von „compound“ verwenden die Versuchspersonen das Wort „Stoff“ und nicht den korrekten Begriff „(chemische) Verbindung“. Auch „pigment“ wird nur in einem von fünf Fällen korrekt als „Pigment“ bezeichnet (allerdings in der Tat klein geschrieben, vgl. Eintrag ona07), jedoch niemals als „grüner Blattfarbstoff“. Stets treten Verkürzungen wie „Farbstoff“ auf.

In Abb. 77 ist die Anzahl der Fundstellen aufgeführt. In fünf Fällen gibt es jeweils zwei Fundstellen bei einer Proband*in. Dies betrifft einmal das Wort „compound“ für die Gruppe Ona (ona06), zweimal

⁵² Die Ausführungen in diesem Abschnitt implizieren, dass für Kognaten auf der Wortebene das Vorliegen einer doppelten Sachfachliteralität angenommen werden kann. Die eigenen Beobachtungen zeigen jedoch, dass einige SuS Kognaten nicht immer in zielführender Weise transferieren. Die Nähe zwischen den Sprachen wird durchaus erfasst, jedoch resultieren die Übertragungen nicht immer in tatsächlich existierenden deutschen Worten. Z.B. verwendet Proband*in hie35 das Wort „*thermal*“ an Stelle von „thermisch.“ Die Proband*innen hie19 und f-a40 schreiben „photocatalyst“ an Stelle von „Photokatalysator“ und nehmen somit Code-Switching vor. Zudem werden Wörter teils orthographisch falsch geschrieben, wie z.B. „*photo catalysatoren“ oder „*photocatalysator“ bei f-a40 bzw. ona02. Ferner treten auch vereinzelt Übertragungen ins Deutsche auf, bei denen zwar korrekte deutsche Wörter verwendet werden, doch diese entsprechen dann nicht dem korrekten fachsprachlichen Terminus. So wird von „*Welle-Teilchen-Dualität“ als deutscher Begriff vom Englischen „wave-particle-duality“ abgeleitet, aber es muss „Welle-Teilchen-Dualismus“ heißen (vgl. Proband*in f-a29). Beide Worte, Dualität und Dualismus, existieren, jedoch ist hier nur das Wort Dualismus idiomatisch. Es sei auf die Dissertation von Salhi (2018) verwiesen, in der die Komplexität des Themas Kognaten offenkundig wird. Diese hier vorgenommenen, sich der Thematik lediglich annähernden Ausführungen verdeutlichen: Die Untersuchung von Kognaten im Kontext der doppelten Sachfachliteralität würde den Rahmen der Arbeit sprengen. Auffälligkeiten werden allerdings weiter angesprochen, so in Kap. 14.7.2 und 14.8.2.

das Wort „high-energy“ für die Gruppe Hie (hie30, hie44) und zweimal das Wort „low-energy“ für die Gruppen Hie (hie30) und F-A (f-a23), vgl. Tab. 16 und Tab. 17. In allen anderen Fällen gibt es jeweils nur eine Fundstelle pro Proband*in (vgl. auch Abb. 78).

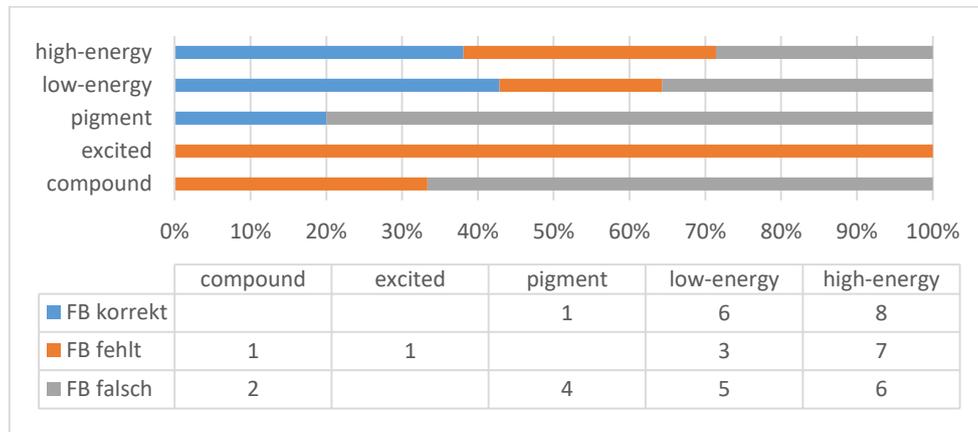


Abb. 77: Versprachlichung der Wörter „compound“, „excited“, „pigment“, „low-energy“ und „high-energy“ in den dt. NT-Definitionen: korrekte, fehlende und falsche Verwendungen; Fokus Fundstellen, d.h. compound: 3 Fundstellen bei 2 Proband*innen; excited: 1 Fundstelle; pigment: 5 Fundstellen bei 5 Proband*innen; low-energy: 14 Fundstellen bei 12 Proband*innen; high-energy: 21 Fundstellen bei 19 Proband*innen; die Abkürzung „FB“ steht für „Fachbegriff“

Tab. 16: Auswertung dt. Äquivalente von „compound“, „excited“, „pigment“ und „low-energy“

compound					
Fundstelle	Typ	Bili	Auszug EN	Auszug D	r // f Kommentar
ona04	c		4 Glucose is a high energy compound, FORMULAGLUCOSE. It is build in the process of photosynthesis and used to create energy	4 Glucose ist ein energiehaltiger Stoff, mit der Formel FORMELGLUCOSE. Er wird in dem Prozess der Photosynthese gebildet.	1 Stoff; Verwendung compound in EN unklar
ona06	c	x	3 A low energy compound Educt is formed to a high energy compound product.	3 Stoffe von geringer Energiedichte werden zu Stoffen hoher Energiedichte umgewandelt.	1 Stoff; Verwendung compound in EN unklar
ona06	c	x	4 Is a high energy compound product, which is the product out of the chemical reaction from the photosynthesis	4 Produkt der Fotosynthese mit einer hohen Energiedichte	1 Problem umgangen
excited					
Fundstelle	Typ	Bili	Auszug EN	Auszug D	r // f Kommentar
f-a32	a		7 A catalyst getting in it's excited stage by specific light.	7 Ein Katalysator, welcher auf verschiedene Lichtenergielevels reagiert.	1 Problem umgangen
pigment					
Fundstelle	Typ	Bili	Auszug EN	Auszug D	r // f Kommentar
hie11	c		2 Chlorophyll are green pigments that capture light energy (can be found in plant cells)	2 Chlorophyll ist ein grüner Farbstoff der Pflanzenzellen. Sie betreiben Photosynthese.	1 ein grüner Farbstoff
hie35	c	x	2 Chlorohyll is the green pigment in leaves, making the process of photosynthesis possible.	2 Chlorophyll ist der grüne Farbstoff in Blättern, der bei der Photosynthese hilft.	1 der grüne Farbstoff
ona04	c		2 Chlorophyll are the green pigments in plants. They are a photocatalyst for the photosynthesis. They make it possible to do photosynthesis with the sunlight.	2 Chlorophyll ist der in Pflanzen enthaltene Farbstoff. Er sorgt bei der Photosynthese für eine aktivierung des Prozesses durch das Licht.	1 der [...] Farbstoff
ona05	c		2 chlorophyll is a photocatalyst, who is activated by sunlight in the photosynthesis. Moreover it is a colour pigment, and osed for camoflaue of plants.	2 Chlorophyll ist ein grüner Farbstoff, der sich in grünen Pflanzen INKLAMMERNoder auch Elysia chlorotica finden lässt. Chlorophyll fungiert bei der Photosynthese als Photokatalysator.	1 engl. problematisch, da Dopplung: "colour pigment"; ein grüner Farbstoff
ona07	a		2 the green pigment in plants & animals that takes in light from the sun to help them grow; more specifically, it is fand as a Photocatalyst in chloroplast and is of the utmost importance in photosynthesis	2 ist das grüne pigment in Pflanzen und Tieren, es dient als Katalysator in Chloroplasten, ist ein Teil von Photosynthese.	1 pigment (klein geschrieben)
low-energy					
Fundstelle	Typ	Bili	Auszug EN	Auszug D	r // f Kommentar
hie08	c		3 Energy conversion is the conversion from one substance with for example high energy level to a substance with a low energy level.	3 Bei der Energieumwandlung werden Stoff mit beispielsweise hohen Energiegehalt in Stoff mit niedrgen umgesetzt.	1
hie19	c		8 photosynthesis is the process of a plant using the photonic energy of the sun to convert low energy Substances	8 ... beschreibt einen ablaufenden Prozess in Pflanzen, bei dem FORMELCO2 und FORMELH2O in Glucose umgewandelt werden.	1 Problem umgangen
hie30	c	x	5 Light can be catigorized into high-energy-light and low-energy-light.	5 Licht kann in energiearm und –reich unterteilt werden. Blaues Licht und UV-Licht ist reich in Energie, während rotes und infrarotes Licht arm in Energie ist.	1 1 korret; dann Anglizismus
hie35	c	x	5 There are different wavelenght of light with red light being the lowest in energy and uv-light being the highest in energy.	5 Licht kann verschiedene Wellenlängen haben. Rotes Licht ist am energieärmsten und UV-Licht am energiereichsten.	1
hie42	c		3 Energy conversion is something like in the carbon cycle, when high- and low-energy substances are produced.	3 Bei der Energieumwandlung wechseln energiereiche zu energiearmen Stoffen und andersherum.	1 ok; aber: "wechseln" falsch
hie44	c	x	8 needs light and photocatalysts to work; takes place in chlorophylls; converts low- in high- energy molecule	wandelt energiearme in energiereiche Substanze	1
f-a23	a		high to low substance	8 Während der Photosynthese findet eine reaction eine back-reaction statt also die wenig Energy Substanz wird in eine Substanz mit viel Energy umgewandelt	1 1 an Pos. 9 nicht erwähnt, da schon zuvor
f-a29	a		9 cellular respiration is a process needed by living organisms to convert high-energetic substances like glucose into usable energy and low-energy substances like carbon dioxide and water.	9 Die Zellatmung ist der lebenswichtige Prozess von Organismen bei dem energiereiche Substanzen wie Glucose in nutzbare Energie und weniger Energie enthaltene Kohlenstoffdioxid und Wasser umgewandelt wird.	1
f-a32	a		8 Conversion of low energy substances to high energy substances.	8 Der Prozess, in dem KOHLENSTOFFDIOXIDFORMEL und WASSERFORMEL zu GLUCOSEFORMEL umgewandelt wird.	1 Problem umgangen
f-a47	a		9 First low-energy substances is raised through light into high-energy substances. Then the energy is released back to low-energy and then movement and heat is made.	9 Im Kreislauf wird die Energie der Substanz mit der hohen Energie freigelassen für z.B. unsere Bewegung oder Wärme	1 Substanz mit der hohen Energie
ona03	a		3 The process of low energy components reacting to high energy components.	3 Eine Energieumwandlung findet statt wenn ein Component der wenig Energie hat zu einem Componenten mit viel Energie reagiert.	1 zu allgemeinsprachlich "der wenig Energie hat"
ona06	c	x	3 A low energy compound Educt is formed to a high energy compound product.	3 Stoffe von geringer Energiedichte werden zu Stoffen hoher Energiedichte umgewandelt.	1 aus Physik entlehnt, Verwendung compound in EN bereits unklar
hie50					inhaltlich unbrauchbar in EN
hie43					inhaltlich unbrauchbar in EN
f-a40					inhaltlich unbrauchbar in EN

Tab. 17: Auswertung deutscher Äquivalente von „high-energy“

high-energy			Auszug EN	Auszug D	r // f	Kommentar
hie06	c		5 different waves, send out by the sun, some of the are high of energy.	5 Unterschiedliche Wellen die von der Sonne ausgestrahlt werden und über eine unterschiedlich hohe Energie verfügen (blau > rot).	1	in En grammatisch falsch; Problem umgangen
hie08	c		3 Energy conversion is the conversion from one substance with for example high energy level to a substance with a low energy level.	3 Bei der Energieumwandlung werden Stoff mit beispielsweise hohen Energiegehalt in Stoff mit niedrigen umgesetzt.	1	
hie19	c		4 glucose is a monosacharide which is the high energy Substance in the process of photosynthesis.	4... ist ein Monosaccharid, der während der Photosynthese entsteht und als Energieversorgung dewr Pflanzen dient.	1	Problem umgangen
hie20	c		3 Light energy is converted into glucose a high energy substance.	3 Die Licht Energie wird bei der Photosynthese in eine Substanz mit hohen Energielevel umgewandelt.	1	hoher Energielevel; nicht ganz korrekt, eher En
hie30	c	x	5 Light can be catigorized into high-energy-light and low-energy-light. Blue and UV-light are rich in energy	5 Licht kann in energiearm und –reich unterteilt werden. Blaues Licht und UV-Licht ist reich in Energie, während rotes und infrarotes Licht arm in Energie ist.	1	einmal richtig, einmal inkorrekt
hie35	c	x	5 There are different wavelength of light with red light being the lowest in energy and UV-light being the highest in energy.	5 Licht kann verschiedene Wellenlängen haben. Rotes Licht ist am energieärmsten und UV-Licht am energiereichsten.	1	
hie42	c		3 Energy conversion is something like in the carbon cycle, when high-and low-energy substances are produced.	3 Bei der Energieumwandlung wechseln energiereiche zu energiearmen Stoffen und andersherum.	1	
hie44	c	x	4 a molecule with SECHS carbon atoms; high energy substance; FORMELGLUKOSE	4 Energiehaltige Substanz; entsteht bei Photosyn.	1	knapp verfehlt
hie44	c	x	8 needs light and photocatalysts to work; takes place in chlorophylls; converts low- in high- energy molecule	wandelt energiearme in energiereiche Substanzen	1	
hie50	c		8 The process inside plant cells that convert the low energy substance FORMELCO2 into the high energy molecule glucose	8 Der Prozess der Konversion von FORMELCO2 und Wasser zu FORMELC6H12O6 und FORMELO2.	1	Problem umgangen
f-a09	a		Unltra-violet has the highest level of energy and blue and sunlight have an high energy level as well.	5 Es gibt verschiedene Level an Energie bei verschiedenen Farben von Licht.	1	Bereits Probleme in EN; unsicher in D "level" erinnert an EN
f-a23	a		4 is sugar – an high energy substance	4 Zucker IST großer Energieträger	1	großer Energieträger
f-a29	a		4 Glucose is a high-energy substance produced during photosynthesis. It is important as a ful for cellular respiration.	4 Glucose ist ein Stoff der viel Energie enthält und bei der Photosynthese hergestellt wird.	1	
f-a32	a		8 Conversion of low energy substances to high energy substances.	8 Der Prozess, in dem KOHLENSTOFFDIOXIDFORMEL und WASSERFORMEL zu GLUCOSEFORMEL umgewandelt wird.	1	Problem umgangen
f-a40	a	x	4 glucose is an highBINDSTRICHenergy substance and a monosaccharid, sugar.	4 Glucose ist ein Monosaccharid, Zucker	1	Problem umgangen
f-a47	a		9 First low-energy substances is raised through light into high-energy substances.	9 Im Kreislauf wird die Energie der Substanz mit der hohen Energie freigelassen für z.B. unsere Bewegung oder Wärme	1	zu umgangssprachlich; "mit der hohen Energie"
ona03	a		3 The process of low energy components reacting to high energy components.	3 Eine Energieumwandlung findet statt wenn ein Component der wenig Energie hat zu einem Componenten mit viel Energie reagiert.	1	zu umgangssprachlich; "der wenig Energie hat"
ona04	c		4 Glucose is a high energy compound, FORMULAGLUCOSE. It is build in the process of photosynthesis and used to create energy.	4 Glucose ist ein energiehaltiger Stoff, mit der Formel FORMELGLUCOSE. Er wird in dem Prozess der Photosynthese gebildet.	1	nicht treffend; "energiehaltig"
ona05	c		4 Glucose is a Carbonhydrate and a produced product in the photosynthesis. Contains a high energy level	4 Glucose ist ein Kohlenhydrat, der sehr energiereich ist. Es entsteht außerdem als Produkt bei der Photosynthese.	1	
ona06	c	x	4 Is a high energy compouna product, which is the product out of the chemical reaction from the photosynthesis	4 Produkt der Fotosynthese mit einer hohen Energiedi	1	siehe oben
hie43						inhaltlich unbrauchbar in EN
hie48						inhaltlich unbrauchbar in EN
f-a12						inhaltlich unbrauchbar in EN
ona07						inhaltlich unbrauchbar in EN

Die Verwendung von Pigment fällt mancher Person, hier ona05, schwer, wie die Kombination, d.h. inhaltliche Dopplung von „colour“ und „pigment“ zu „colour pigment“ vor Augen führt, obwohl dieses laut Collins Dictionary Online sprachlich akzeptabel ist. Die Worte „high-energy“ und „low-energy“ werden in knapp bzw. gut vier von zehn Fällen korrekt auch in der deutschen Sprache angewendet (vgl. Abb. 77), wobei manche deutschsprachigen Formulierungen nur recht knapp scheiterten (vgl. z.B. „Substanz mit der hohen Energie“, f-a47; „ein Component, der wenig Energie hat“, ona03), und auch innerhalb der Texte derselben Untersuchungsperson einmal eine korrekte Entsprechung mit einer aus dem Englischen entlehnten grammatischen Formulierung konterkariert wird (vgl. hie30 bei „low-energy“: einmal wird von „energiearm“, dann von „arm in Energie“ gesprochen).

Eine Aufteilung nach Instruktionsgruppe Hie, F-A und Ona zeigt auf, dass die fünf Worte unterschiedlich häufig in den Gruppen neu verwendet werden, wobei nur high-energy und low-energy in allen drei Gruppen überhaupt auftauchen. Die meisten korrekten deutschen Versprachlichungen

liefern Proband*innen aus der Gruppe Hie. Sie fallen auf die Vokabeln high-energy und low-energy. In der Gruppe F-A ist der Anteil an fehlenden deutschen Fachbegriffen augenfällig. In der Gruppe Ona fallen viele deutsche Fehlgriffe auf (vgl. Abb. 78).

In der folgenden Abbildung, Abb. 78, ist die Anzahl der Fundstellen aufgeführt. In fünf Fällen gibt es jeweils zwei Fundstellen bei einer Versuchsperson. Dies betrifft einmal das Wort „compound“ für die Gruppe Ona (ona06), zweimal das Wort „high-energy“ für die Gruppe Hie (hie30, hie44) und zweimal das Wort „low-energy“ für die Gruppe Hie (hie30) und F-A (f-a23), vgl. Tab. 16 und Tab. 17. In allen anderen Fällen gibt es jeweils nur eine Fundstelle pro Proband*in (vgl. auch Abb. 77).

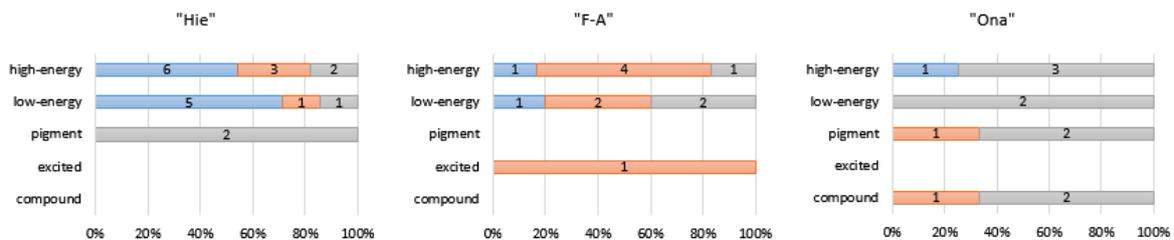


Abb. 78: Deutsche Versprachlichung in den drei Untersuchungsgruppen; blau: Fachbegriff korrekt, orange: Fachbegriff fehlt; grau: Fachbegriff falsch; die Werte beziehen sich auf die Anzahl der Fundstellen; compound: 3 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; pigment: 2 Fundstellen Hie/2 Proband*innen, 3 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; low-energy: 7 Fundstellen Hie/6 Proband*innen, 5 Fundstellen F-A/4 Proband*innen, 2 Fundstellen Ona/2 Proband*innen; high-energy: 11 Fundstellen Hie/10 Proband*innen, 6 Fundstellen F-A/6 Proband*innen, 4 Fundstellen Ona/4 Proband*innen.

Eine Aufteilung nach Instruktionstyp A oder C, vgl. Abb. 79, akzentuiert, dass die Wörter high-energy und low-energy von den Typ C-Proband*innen in jeweils deutlich mehr als der Hälfte der Fälle korrekt versprachlicht werden, wohingegen Typ A-Teilnehmende eher umschreiben bzw. falsche deutsche Termini verwenden. Der korrekte Anteil liegt hier jeweils unter 20 %. Die Wörter excited und compound können nicht verglichen werden, da sie jeweils nur von Proband*innen einer Gruppe verwendet werden, jedoch wird keines der beiden korrekt versprachlicht. Auch die wenigen Male, in denen die Typ C-Angehörigen den Terminus pigment im Deutschen versprachlichen sollen, finden in nicht korrekter Weise statt – der eine Fall bei Typ A hingegen ist korrekt, wenn die Kleinschreibung ignoriert wird.

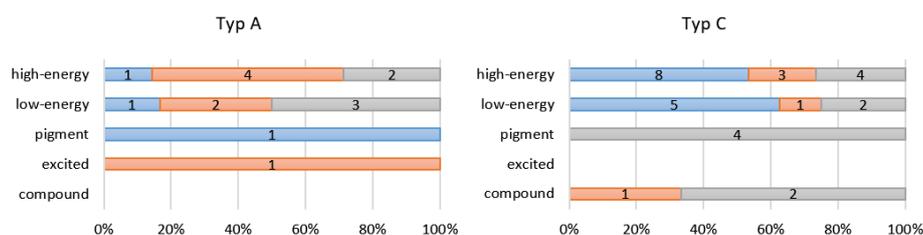


Abb. 79: Deutsche Versprachlichung nach Instruktionstyp; blau: Fachbegriff korrekt, orange: Fachbegriff fehlt; grau: Fachbegriff falsch; compound: 3 Fundstellen Typ C/2 Proband*innen; pigment: 5 Fundstellen/5 Proband*innen; low-energy: Typ A 6 Fundstellen/5 Proband*innen, Typ C 8 Fundstellen/6 Proband*innen; high-energy: 7 Fundstellen Typ A/7 Proband*innen, 15 Fundstellen Typ C/13 Proband*innen.

14.6 Doppelte Sachfachliteralität: Welche Ausweichphänomene auf der Wortebene charakterisieren die deutschen Definitionen?

Hier wird weiterhin die doppelte Sachfachliteralität untersucht. Nun wird analysiert, inwiefern Ausweichphänomene wie Code-Switching die deutschen NT-Definitionen durchdringen. Sie kennzeichnen Leerstellen im L1-Vokabular, so dass Aussagen über die Qualität der doppelten Sachfachliteralität getroffen werden können. Diese Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.6.1 Methodik der Datenaufbereitung

Die deutschen Nachtests wurden mithilfe von MAXQDA 2020 auf Kodewechsel durchgesehen und mit den vier Codes Code-Switching, Wortneuschöpfung, Transfer aus EN und Transfer aus EN: „carbon = carbon dioxide“ versehen (vgl. Anhang A14.4.1 und Anhang A14.6.1). Der Code Code-Switching wird nur verwendet, wenn ein englisches Wort unverändert für sich verwendet wird (z.B. „Energy“), oder wenn es in einem Kompositum vorliegt (z.B. „Energyumwandlung“). Wortneuschöpfungen sind auch als Neologismen oder „relexification“ (vgl. z.B. Agustín Llach 2014:53) bekannt. Hier werden Wörter erdacht, die im Deutschen so nicht existieren, z.B. „Anfangsstoff“. Hier werden Transfers wie folgt recht allgemein angesehen (vgl. *ibid.* 2010 zu den unterschiedlichen Definitionen und Ausprägungen von Transfer): Situationen des Transfers umfassen Merkmale des Englischen, die im Deutschen analog verspracht werden, wie z.B. „reich in Energie“ bzw. „arm in Energie“ vom Englischen „to be rich in sth. – The region is rich in minerals“ (vgl. Cambridge Dictionary Online „rich“), ohne dass eine deutsche Entsprechung gegeben ist. Das gilt auch für „thermale Energie“, wobei „thermische Energie“ gemeint ist, jedoch das englische Wort „thermal“ übernommen und leicht angepasst wird. Ein Sonderfall des Transfers betrifft das deutsche Wort „Kohlenstoff“, welches von manchen Proband*innen fälschlicherweise an Stelle des Wortes „Kohlenstoffdioxid“ verwendet wird. Zwar ist dieses für das englische Wort „carbon“ in nichtchemischen Kontexten akzeptabel (vgl. auch 13.6.1.9 hierzu), doch muss erstens in der chemischen Fachsprache stets von „carbon dioxide“ gesprochen werden, und zweitens ist ein Transfer in den deutschsprachigen Bereich nicht möglich. Hier existiert der Zusammenhang nicht, dass das Wort Kohlenstoff auf das Konzept Kohlenstoffdioxid verweisen könne.

14.6.2 Ergebnisse

23 der 38 Proband*innen-Texte weisen Merkmale des L2-Einflusses auf (vgl. auch Abb. 81). Oftmals finden sich mehrere unterschiedliche Phänomene in einem Text und oft in jeweils unterschiedlichen Umfängen. Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen L2-Einfluss-Phänomene auf die L1-Sprachproduktion, so nehmen die Transfers mit knapp der Hälfte (allgemeiner Transfer ca. ein Drittel, spezifischer Transfer ca. ein Siebtel, d.h. sie finden sich in 12 bzw. 5 deutschen Nachtests) den Löwenanteil ein. Auf Kodewechsel versammeln sich etwas weniger (ca. ein Drittel; 15 NT) und Wortneuschöpfungen weisen knapp ein Zehntel der NT auf (4) (vgl. Abb. 80).

In Abb. 81 liegt eine Übersicht für die bereits oben in anderen Zusammenhängen betrachteten Gruppen vor. Beim Vergleich der Gruppen Hie, F-A und Ona fällt auf, dass Code-Switching am häufigsten bei F-A vorkommt – allerdings keine Neologismen. Dort sind jedoch die anteilig meisten Lernenden-Texte von L2-Einfluss geprägt, d.h. weniger als ein Drittel aller Texte hat keinen L2-Einfluss. Dahingegen ist gut die Hälfte der Ona-Texte frei von den betrachteten L2-Einfluss-Phänomenen. Es fällt auf: Jede Gruppe ist in etwa vergleichbaren Anteilen vom spezifischen Transfer, Stichwort Kohlenstoff – Kohlenstoffdioxid, geprägt.

Beim Vergleich der Gruppen Typ A und Typ C ist das mehr als doppelt so häufig auftretende Code-Switching bei Typ A auffällig sowie die Tatsache, dass ein gewisser L2-Einfluss die anteilig meisten Typ A-Texte kennzeichnet. Hervor sticht ebenso das Ausbleiben von Neologismen bei Typ A, wie auch die Tatsache, dass die Summen der Transfer-Phänomene jeweils etwa gleich ausfallen (Typ A: 27 + 18 = 45; Typ C: 33 + 11 = 44).

Beim Vergleich der Gruppen Typ A und Typ C ist das mehr als doppelt so häufig auftretende Code-Switching bei Typ A auffällig sowie die Tatsache, dass ein gewisser L2-Einfluss die anteilig meisten Typ A-Texte kennzeichnet. Hervor sticht ebenso das Ausbleiben von Neologismen bei Typ A, wie auch die Tatsache, dass die Summen der Transfer-Phänomene jeweils etwa gleich ausfallen (Typ A: 27 + 18 = 45; Typ C: 33 + 11 = 44).

14.7 Entspricht der verwendete englische Wortschatz einem anvisierten Zielvokabular?

In den obigen Ausführungen wurde herausgestellt, dass die englischsprachigen Proband*innen-Texte im NT deutlich mehr bildungs- und fachsprachliches Vokabular aufweisen als die jeweils korrespondierenden VT-Texte. Es wurde das jeweils *neu* verwendete englische Vokabular aufgearbeitet, klassifiziert und eine Vokabelausswahl, von der ausgegangen wird, dass sie durch die Bearbeitung des bilingualen Chemiemoduls angelegt worden ist, auf die deutschen Entsprechungen hin analysiert. Ferner wurde der Einfluss der L2 auf die deutsche schriftliche Sprachproduktion untersucht.

Im vorliegenden Kapitel richtet sich der Blick auf die allgemeine produktive Sprachverwendung. Es wird also von der reinen Betrachtung des neu hinzu gekommenen Vokabulars abgekehrt. Vielmehr

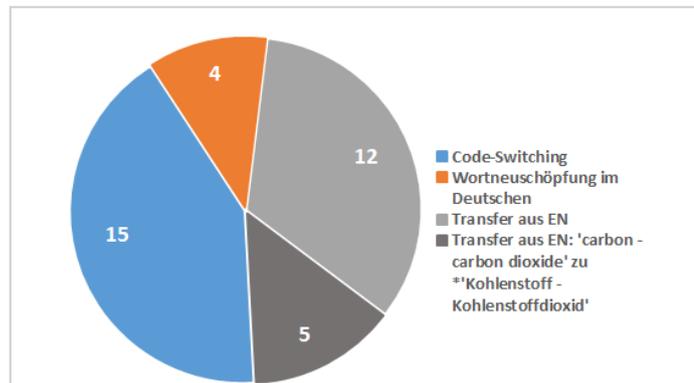


Abb. 80: Vorkommen der L2-Einfluss-Phänomene in Proband*innen-Definitionen (NT Deutsch); Gruppen: Hie, F-A, Ona (N = 38); totale Angaben an NT Deutsch mit L2-Einfluss

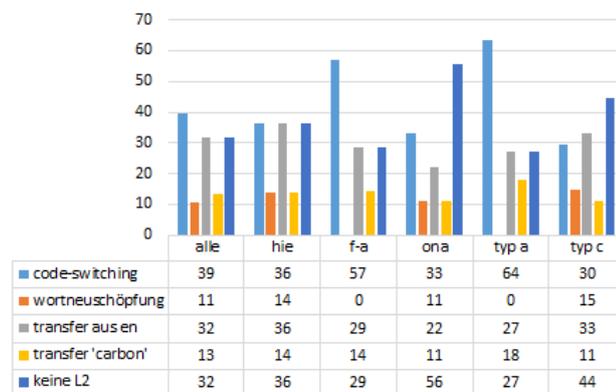


Abb. 81: Vorkommen der L2-Einfluss-Phänomene in Proband*innen-Definitionen (NT Deutsch); Aufteilung nach Gruppe und Typ (N = 38; Typ A: 27 – 22 aus Hie, 5 aus Ona; Typ C: 11; 7 aus F-A, 4 aus Ona); prozentuale Angaben

wird das englische Gesamtvokabular analysiert. Wiederum bilden die Proband*innen-Texte aus den Gruppen Hie, F-A und Ona die Grundlage (vgl. die Übersicht in Anhang AX).

14.7.1 Methodik der Datenaufbereitung

Um herauszufinden, wie sich das produktive Proband*innen-Vokabular, das mindestens in der Hälfte der Definitionen je Gruppe (Hie, F-A-, Ona) vorkommt, zusammensetzt und wie es sich verändert, wird eine Häufigkeitsanalyse mit MAXQDA 2020 durchgeführt, die Wörter lemmatisiert und gruppenweise mit Excel ausgewertet. Die Wörter, die mindestens in der Hälfte aller Vor- bzw. Nachtests der SuS einer Gruppe aufzufinden sind, sind in Tab. 18 versammelt. Bei Hie wird der cut point bei je 22 auswertbaren Dokumenten auf 11 gesetzt, bei F-A auf 4 (je 7 Dokumente), bei Ona auf 5 (je 9 Dokumente). Bei Hie müssen also bei 50 % aller Texte die Worte auftauchen, bei F-A und Ona liegt die Schwelle höher (57 % bzw. 56 %). Da die gesetzte Maßgabe bei mindestens der Hälfte aller Dokumente pro Gruppe liegt, wird davon abgesehen, den cut point für die Gruppe Hie entsprechend zu erhöhen (vgl. Anhang A14.7.1, A14.10.1).

Tab. 18: Vokabular in mindestens der Hälfte der Proband*innen-Dokumente (Gruppen Hie N = 22, F-A N = 7, Ona N = 9; VT und NT jeweils nebeneinander dargestellt)

HIE VT		HIE NT		F-A VT		F-A NT		ONA VT		ONA NT	
Wort	N (Dok.)										
plant	20	energy	22	glucose	6	energy	7	energy	11	energy	9
energy	17	light	21	green	5	high	7	it	8	light	9
glucose	17	photosynthesis	19	it	5	light	7	plant	8	photosynthesis	9
it	16	plant	19	photosynthesis	5	photosynthesis	7	light	7	glucose	8
light	16	glucose	18	plant	5	it	6	sugar	7	it	8
sugar	16	chlorophyll	17	produce	5	different	5	chlorophyll	6	photocatalyst	8
photosynthesis	15	conversion	17	sugar	5	glucose	5	glucose	6	process	8
process	14	green	17	carbon dioxide	4	low	5	photosynthesis	5	carbon	7
use	14	it	16	chlorophyll	4	substance	5	process	4	chlorophyll	7
make	13	sugar	16	different	4	sugar	5			make	7
carbon	12	carbon	15	do	4	blue	4			plant	7
sun	11	photocatalyst	15	energy	3	carbon	4			product	7
		cycle	14			chlorophyll	4			chemical	6
		different	13			cycle	4			cycle	6
		reaction	13			green	4			different	6
		respiration	13			plant	4			green	6
		convert	12			process	4			reaction	6
		make	12			respiration	4			catalyst	5
		process	12							form	5
		chemical	11							need	5
		high	11							sunlight	5
		produce	11							use	5

14.7.2 Ergebnisse

Tab. 18 zeigt, dass mehrheitlich jeweils deutlich mehr Wörter im Nachtest verwendet werden, wobei der Zuwachs bei Ona am größten ist (Hie: 22 statt zuvor 12; F-A: 18 statt 12; Ona: 22 statt 9). Getilgt wurden alle Formen von „be“, „can“ und Formelsprache. Letztere tauchte einmal unter den am häufigsten genannten Wörtern in Form der Kohlenstoffdioxid-Formel bei Hie auf.

Die Aufarbeitung des Vokabulars aus Tab. 18 mithilfe von VocabProfiler erlaubt Einsichten in die jeweilige Kategorie der verwendeten Wörter (vgl. Tab. 19):

Tab. 19: Vokabular in mindestens der Hälfte der Proband*innen-Dokumente; Auswertung mit VocabProfiler nach k1 (blau), k2 (grün), awl/Bildungssprache (gelb) und Fachsprache (rot)

HIE VT		F-A VT		ONA VT	
Current profile		Current profile		Current profile	
%	Cumul.	%	Cumul.	%	Cumul.
50.00	50.00	46.15	46.15	33.33	33.33
8.33	58.33	7.69	53.84	11.11	44.44
16.67	75.00	7.69	61.53	22.22	66.66
25.00	100.00	38.46	100.00	33.33	100.00
plant energy glucose it light sugar photosynthesis process use make carbon sun		glucose green it photosynthesis plant produce sugar carbon dioxide chlorophyll different do energy		energy it plant light sugar chlorophyll glucose photosynthesis process	
HIE NT		F-A NT		ONA NT	
Current profile		Current profile		Current profile	
%	Cumul.	%	Cumul.	%	Cumul.
36.36	36.36	50.00	50.00	50.00	50.00
4.55	40.91	5.56	55.56	0.00	50.00
31.82	72.73	16.67	72.23	22.73	72.73
27.27	100.00	27.78	100.00	27.27	100.00
energy light photosynthesis plant glucose chlorophyll conversion green it sugar carbon photocatalyst cycle different reaction respiration convert make process chemical high produce		energy high light photosynthesis it different glucose low substance sugar blue carbon chlorophyll cycle green plant process respiration		energy light photosynthesis process glucose it carbon chlorophyll make plant product chemical cycle different green photocatalyst reaction catalyst form need sunlight use	

Bis auf wenige Ausnahmen wie do, it oder make passen die Wörter klar zum Inhalt der Module. Auffällig ist die anteilig stets häufigste Verwendung von fachspezifischen bzw. bildungssprachlichen Wörtern, die den Charakter von Kognaten haben (im Fachwortschatz: chlorophyll, catalyst, glucose, photosynthesis; im AWL-Wortschatz: convert, cycle, process, reaction). Auch gehören einige den zu definierenden Wörtern an, die in den Vor- bzw. Nachtestbögen abgedruckt sind (carbon cycle, chlorophyll, glucose, photocatalyst, photosynthesis und respiration). Die k1- bzw. k2-Wörter müssen den Proband*innen bereits aus dem regulären Englischunterricht bekannt sein.

Ferner fällt bei allen Gruppen vor dem Hintergrund der Zunahme an Vokabeln in den Nachtest der hohe Anteil an Fachsprache (rot) auf. Zwar gibt es eine deutliche Abnahmen bei F-A und eine leichte bei Ona sowie eine leichte Zunahme bei Hie, doch dieses liegt auch in den wenigen Wörtern im Vortest begründet. Auffällig ist auch der hohe Anteil an Bildungssprache (gelb), der bei Hie und F-A deutlich zunimmt.

Ein Blick auf das Vokabular, das allen Gruppen im Vor- und Nachtest Verwendung findet, liefert die vier Wörter glucose, it, photosynthesis und plant. Werden die lexikalischen Gemeinsamkeiten allein im Vortest untersucht, finden sich fünf Vokabeln (neben o.g. Wörtern sind es plant und sugar), im Nachtest sind es zwölf: neben glucose, it und photosynthesis werden nun carbon, chlorophyll, cycle, different, energy, green, light, plant und process verwendet.

Betrachtet man, welche Vokabeln in den Gruppen im Vergleich mit dem Vortest neu hinzukommen bzw. herausfallen, ergibt sich ein gemischtes Bild. Bei Hie kommen neu die 12 Worte chemical, chlorophyll, conversion, convert, cycle, different, green, high, photocatalyst, produce, reaction und respiration hinzu (5 Wörter aus AWL und 3 aus Fachsprache, d.h. 42 %- bzw. 25 %-Anteil), wohingegen sun und use herausfallen. Bei F-A kommen die 10 Worte blue, carbon, cycle, energy, high, light, low, process, respiration und substance hinzu (3 Wörter aus AWL, 2 aus Fachsprache, d.h. Anteile von einem knappen Drittel und einem Fünftel), wobei die Vokabeln carbon dioxide, do und produce herausfallen. Bei Ona kommen die 15 Vokabeln carbon, catalyst, chemical, cycle, different, form, green, make, need, photocatalyst, process, product, reaction, sunlight und use hinzu (4 Wörter aus

AWL und 3 aus Fachsprache, d.h. ein guter Viertel- und ein Fünftel-Anteil). Die Vokabel *sugar* fällt heraus. Bei allen Gruppen kommt also das AWL-Wort *cycle* hinzu, jedoch fällt bei allen Gruppen kein gemeinsames Wort heraus.

In allen drei Gruppen wurde bis auf die Wörter *glucose*, *it*, *photosynthesis* und *plant* unterschiedliche Wörter beibehalten. Bei Hie sind es zehn Wörter (neben o.g. Wörtern: *carbon*, *energy*, *light*, *make*, *plant*, *process* und *sugar*), bei F-A sind es acht (o.g. Wörter und *chlorophyll*, *different*, *green*, *plant* und *sugar*) und bei den Ona-Proband*innen sind es sechs (o.g. Wörter plus *chlorophyll*, *energy*, *light* und *plant*).

In den Vokabelprofilen manifestieren sich auch lexikalische Lücken. Zum Beispiel wird in allen Nachtests das Wort *chlorophyll* verwendet, jedoch fehlt hier das dazu gehörige Fachwort *pigment*. *Light* wird überall genannt, doch *wavelength* oder *colour*, um z.B. das Wort *light colour* zu bilden, sind nicht aufzufinden. An Stelle von *compound* wird dann z.B. *substance* verwendet. Einige wünschenswerte Fachtermini fallen somit an diesen Stellen nicht.

14.8 Welches englische Vokabular aus dem Glossar gelangt in das mentale Lexikon?

Zwei der weiter oben auf ihren Gebrauch untersuchte Vokabeln sind „*compound*“ und „*low-energy*“ und ihre deutschen Gegenstücke. Neu wurden sie jeweils spärlich in den englischen Sprachproduktionen verwendet. Auch wäre es wünschenswert gewesen, diese neben anderen Vokabeln wie *pigment* oder *light colour* in den Texten der Proband*innen aufzufinden. Manche Wörter wie *compound*, *low-energy* oder *pigment* tauchen für die Gruppe Ona explizit im Glossar und auch an anderen Stellen des Materials auf. Es stellt sich daher die Frage, inwiefern das angebotene Glossarvokabular in die Texte der Ona-Probandinnen, und somit in ihre jeweiligen mentalen Lexika, integriert wird.

14.8.1 Methodik der Datenaufbereitung

Um der Frage nachzugehen, wurden die einzelnen Wörter des Glossars auf ihr Vorkommen im Material und in den Proband*innen-Texten der Gruppe Ona vor und nach der Intervention untersucht. Hierzu wurde das Diktionär von MAXQDA 2020 editiert, so dass auftretende Fälle in den Korpora auch dann erkannt werden, wenn sie in Bezug auf Rechtschreibung (z.B. „*photosyntheses*“ an Stelle von „*photosynthesis*“) oder abgeänderte grammatische Verwendung im Satz (z.B. wird „*low-energy*“ vereinzelt in einer Konstruktion mit einem Komparativ, „*lower in energy*“, oder einem Superlativ, „*being the lowest in energy*“, realisiert, vgl. Lehr-Lern-Material 2020 und dort Proband*in hie35) vom konkret angefragten Wortlaut abweichen. Mit dem Diktionär wurde sowohl das Lehr-Lern-Material als auch die Vor- und Nachtests abgefragt und mithilfe des Kategorien-Matrix-Browsers eine Übersicht erstellt (vgl. Anhang A14.8.1). Die einzelnen Abfragen wurden mithilfe des Grafikprogrammes Paint zusammengefügt (vgl. Abb. 82). Mithilfe dieser erarbeiteten Visualisierung ist eine Übersicht darüber möglich, wo die thematisch sortierten Vokabeln auftauchen. In der ersten Zeile der Tabelle in Abb. 82 sind die jeweiligen Dokumente aufgeführt, in denen nach den in der linken Spalte aufgelisteten Wörtern gesucht wird. Hier steht vt1 z.B. für die im VT verschriftlichten Definitionen der Proband*in ona01. nt1 steht folglich für die entsprechend im NT verschriftlichten Definitionen derselben Untersuchungsperson.

Wenn das gesuchte Wort im entsprechenden Text vorkommt, wird dieses mit einem *blau* gefüllten Quadrat abgebildet (z.B. „*generate*“ im vt1, d.h. im VT der Proband*in ona01 oder das gleiche Wort bei derselben Proband*in im NT, d.h. in nt1; hier taucht das Wort also sowohl im VT als im NT auf). Die mithilfe der Software Microsoft Paint *orange* eingefärbten Quadrate, die nur im NT auftauchen, stehen für diejenigen Fundstellen, die im Vergleich zum Vortest neu hinzugekommen sind. Die Fälle des Verschwindens von Fundstellen im Vergleich NT zu VT werden nicht weiter aufgeführt. In

diesen Fällen fehlen dann schlichtweg die blau gefüllten Quadrate im NT, wohingegen sie noch im VT aufzufinden sind (vgl. z.B. „breathe“ bei vt3).

In der Übersicht sind in der ersten Spalte diejenigen Worte gruppiert, die sich im Glossar finden. In den benachbarten fünf Spalten sind die Material-Korpora aufgeführt. Hier bedeutet **Glo_e** (erste Spalte), dass das Wort explizit in der Liste des Glossars genannt ist. **Glo_i** (zweite Spalte) steht für die Nennung im erläuternden Text zu den Glossareinträgen. Wenn das Wort im Material an sich vorkommt, wird dies in der dritten Spalte, **Mat**, markiert. Spalte vier gibt Aufschluss über das Vorkommen in Text-Annotationen (**Ann**), Spalte fünf über die Verwendung im Zuge von Übungen (**Übg**; hier: Lückentexte vervollständigen). Nach diesen Spalten werden die Nennungen in einer Zwischensumme aufaddiert. Die nächsten Spalten (vt1 bis vt9) verweisen auf die englischen Vortests der Ona-Proband*innen. Nach einer Zwischensumme folgen die Nachtests nt1 bis n9 derselben Person. Die Übersicht wird von einer Zeile abgeschlossen, in der die Fundstellen pro Dokument aufsummiert sind.

Kategorien	Glo_e	Glo_i	Mat	Ann	Übg	SUMME	vt1	vt2	vt3	vt4	vt5	vt6	vt7	vt8	vt9	SUMME	nt1	nt2	nt3	nt4	nt5	nt6	nt7	nt8	nt9	SUMME
Oberbegriff ATMUNG						0										0										0
respiration						3																				4
respire						1																				0
breathe						2																				0
Oberbegriff CHEM. Reaktion						0																				0
chemically bonded						4																				0
bonded						4																				0
compound						4																				0
educt						3																				3
reactant						1																				0
by-product						3																				0
Oberbegriff ENERGY						0																				0
chemical energy						3																				0
kinetic energy						1																				0
light energy						3																				0
thermal energy						2																				0
heat						3																				0
endergonic						3																				2
exergonic						3																				3
low-energy						4																				2
Oberbegriff LIGHT						0																				0
irradiation						1																				0
irradiate						3																				0
light ray						1																				0
ray of light						1																				0
light colour						3																				1
light-induced						3																				0
spectrum						4																				0
visible light						3																				0
visible light spectrum						1																				0
Oberbegriff KATALYSE						0																				0
catalyst						2																				5
photocatalyst						3																				8
Oberbegriff KOHLENSTOFFKREISLAUF						0																				0
carbon						3																				7
carbon dioxide						3																				4
Oberbegriff PHOTOSYNTHESE						0																				0
carbohydrate						3																				0
generate						2																				0
glucose						3																				8
photosynthesis						2																				9
OBERBEGRIFF Pigment						0																				0
chlorophyll						3																				7
pigment						4																				3
Oberbegriff UMWANDLUNG						0																				0
matter conversion						2																				0
energy conversion						3																				0
conversion						3																				0
transformation						2																				3
Σ SUMME						2	2	0	3	6	2	7	0	3	6		8	7	7	12	12	11	4	3	7	

Abb. 82: Fundstellen der Glossar-Einträge im Lehr-Lern-Material und in Proband*innen-Texten Gruppe Ona (zusammengefügte und teils eingefärbte Screenshots aus MAXQDA 2020-Kategorien-Matrix-Browserfenster)

14.8.2 Ergebnisse

Die Betrachtungen werden auf niedrige Zunahmen (bis ein Drittel der Proband*innen, d.h. 1-3), mittlere Zunahmen (bis zwei Drittel der Proband*innen, d.h. 4-6) und hohe Zunahmen (jenseits von zwei Drittel, d.h. 7 bis 9) aufgeteilt. Dann werden Fehlstellen identifiziert.

Bei elf Vokabeln aus sieben Themenfeldern, in der Tabelle mit Oberbegriffen benannt, gibt es niedrige Zunahmen: chemische Reaktion (compound 2, educt 2), energy (endergonic 2, exergonic 3, low-energy 2), light (light colour 1), Kohlenstoffkreislauf (carbon dioxide, 4 – davon 2 neu), photosynthesis (glucose 8 – davon 2 neu), pigment (chlorophyll, 7 – davon 1 neu; pigment 3) und Umwandlung (conversion 3 – davon 1 neu). Bei drei Vokabeln aus drei Themenfeldern sind mittlere Zunahmen zu verzeichnen: Atmung (respiration 4), Kohlenstoffkreislauf (carbon 7 –davon 5 neu) und photosynthesis (photosynthesis 9 – davon 4 neu). Lediglich im Themenfeld Katalyse gibt es bei zwei Vokabeln hohe Zunahmen (catalyst 5, photocatalyst 8 – davon 6 neu). Bis auf eine Vokabel wird keine andere aus dem Bereich light verwendet. Ähnliches gilt für den Bereich Umwandlung und photosynthesis. Deutliche Lücken finden sich bei Atmung, chemische Reaktion und energy. In den Bereichen Kohlenstoffkreislauf und Pigment werden die jeweils zwei Vokabeln verwendet.

Die insgesamt häufig (ab 5 Fundstellen) verwendeten Vokabeln catalyst, photocatalyst, carbon, carbon dioxide, glucose, photosynthesis und chlorophyll wurden in den Fällen glucose, photosynthesis und chlorophyll schon im Vortest häufig genannt. Ferner sind alle bis auf carbon und carbon dioxide zu definierende Worte (wobei das Wort carbon im zu definierenden Wort carbon cycle auftaucht) und sie haben alle den Charakter von Kognaten. Deutlich fallen die vielen Fehlstellen auf. Sogar Worte, denen die Proband*innen relativ häufig, d.h. viermal an verschiedenen Stellen, im Lehr-Lern-Material begegnen ((chemically) bonded, compound, low-energy, pigment, spectrum) werden gar nicht ((chemically) bonded, spectrum) oder nur vereinzelt (compound, low-energy, pigment) integriert.

Das verwendete Nachtest-Vokabular wird also von wenigen Lernenden in die Texte integriert. Besonders auffällig ist das im Bereich light. Somit kann festgehalten werden, dass viele Vokabeln noch nicht fest im mentalen Lexikon verankert sind.

14.9 Doppelte Sachfachliteraltät: Wie oft werden die englischen Glossareinträge im Deutschen korrekt versprachlicht?

Im vorherigen Kapitel liegt der Fokus auf der englischen Sprache. Nun wird der Blick wiederum geweitet und die deutsche Sprache mit untersucht. Dabei verbleibt weiterhin das angebotene Lehr-Lern-Material im Relief. Nun wird untersucht, welches Vokabular aus dem Glossar die deutschen NT der Gruppe Ona kennzeichnen. Dabei wird Bezug auf die englischen Ona-Texte genommen.

14.9.1 Methodik der Datenaufbereitung

Abb. 82 versammelt Fundstellen von englischen Glossareinträgen in den englischen Proband*innen-Texten (Vortest und Nachtest). Abb. 83 ist eine Weiterführung von Abb. 82: Nun werden die deutschen Entsprechungen in den deutschen VT und NT untersucht und die Ergebnisse eingetragen. Wenn die deutschen Entsprechungen des englischen Wortes in den deutschen VT bzw. NT auftauchen, wird die jeweilige Stelle rot umkreist (vgl. Anhang A14.8.1 und A14.10.1). Eine übersichtliche tabellarische Darstellung findet sich in Tab. 20, die mit Abb. 83 korrespondiert.

14.9.2 Ergebnisse

Auf alle Proband*innen bezogen werden im Median 6 von 7 Wörtern auch im Deutschen genannt und zusätzlich drei deutsche Wörter verwendet. D.h. von den 71 englischen Wörtern werden 56 auch mit einem deutschen Fachbegriff belegt (knapp 80 %). Zudem werden 25 weitere deutsche Wörter integriert. Die Worte ohne korrekte deutsche Verwendung sind compound und low-energy. Lediglich vereinzelt korrekt verwendet wurde pigment. Relativ viele zusätzliche deutsche Fachtermini treten auf bei respiration (Zellatmung), light colour,⁵³ carbon dioxide (Kohlenstoffdioxid) und energy conversion (Energieumwandlung) bzw. conversion (Umwandlung). Vereinzelt liegt dieses Phänomen bei breathe (atmen), educt (Edukt), endergonic (endergonisch), visible light (sichtbares Licht), catalyst (Katalysator), carbon (Kohlenstoff) und generate (erzeugen) vor (vgl. die ausführliche Visualisierung in Abb. 83 auf der Folgeseite).

Tab. 20: Auswertung deutsche Versprachlichung (Abb. 83), gruppiert nach Instruktionstyp A bzw. C

		Proband*in (Ona01 bis 09)									Median	Σ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Worte E gesamt		8	7	7	12	12	11	4	3	7	7,0	71
Worte E auch in D		7	6	6	10	11	4	3	3	6	6,0	56
weitere Worte D		4	3	4	1	3	2	4	1	3	3,0	25
Worte E gesamt	Aufteilung nach Gruppen											
	Typ A	8	7					4	3		5,5	
	Typ C		7		12	12	11			7	11,0	
Worte E und D	Aufteilung nach Gruppen											
	Typ A	7	6					3	3		4,5	
	Typ C		6		10	11	4			6	6,0	
Anteil E auch in D	Aufteilung nach Gruppen											
	Typ A	88	86					75	100		86,6	
	Typ C		86		83	92	36			86	85,7	
Weitere Worte in D	Aufteilung nach Gruppen											
	Typ A	4	4					4	1		4,0	
	Typ C		3		1	3	2			3	3,0	

Teilnehmende der Gruppe Typ C verwenden mehr englische Wörter im Nachtest als diejenigen aus der Vergleichsgruppe Typ A (Median: 11,0 zu 5,5) und sie verwenden auch mehr deutsche Entsprechungen dieser Wörter (Median: 6,0 zu 4,5). Allerdings ist der Anteil der vom Englischen ins Deutsche übertragenen Vokabeln bei Typ A leicht größer (Median: 86,6 % zu 85,7 %). Typ A-Proband*innen verwenden auch mehr zusätzliche deutsche Worte (Median: 4,0 zu 3,0), vgl. Tab. 20.

⁵³ Hier wird jedoch nicht konkret „Lichtfarbe“ verwendet, sondern Umschreibungen, wie im Fall von Ona 05: „Licht lässt sich spalten und es entstehen verschiedene Farben.“ Die Verwendung ist akzeptabel, da Licht und Farbe in einem klaren Zusammenhang stehen.

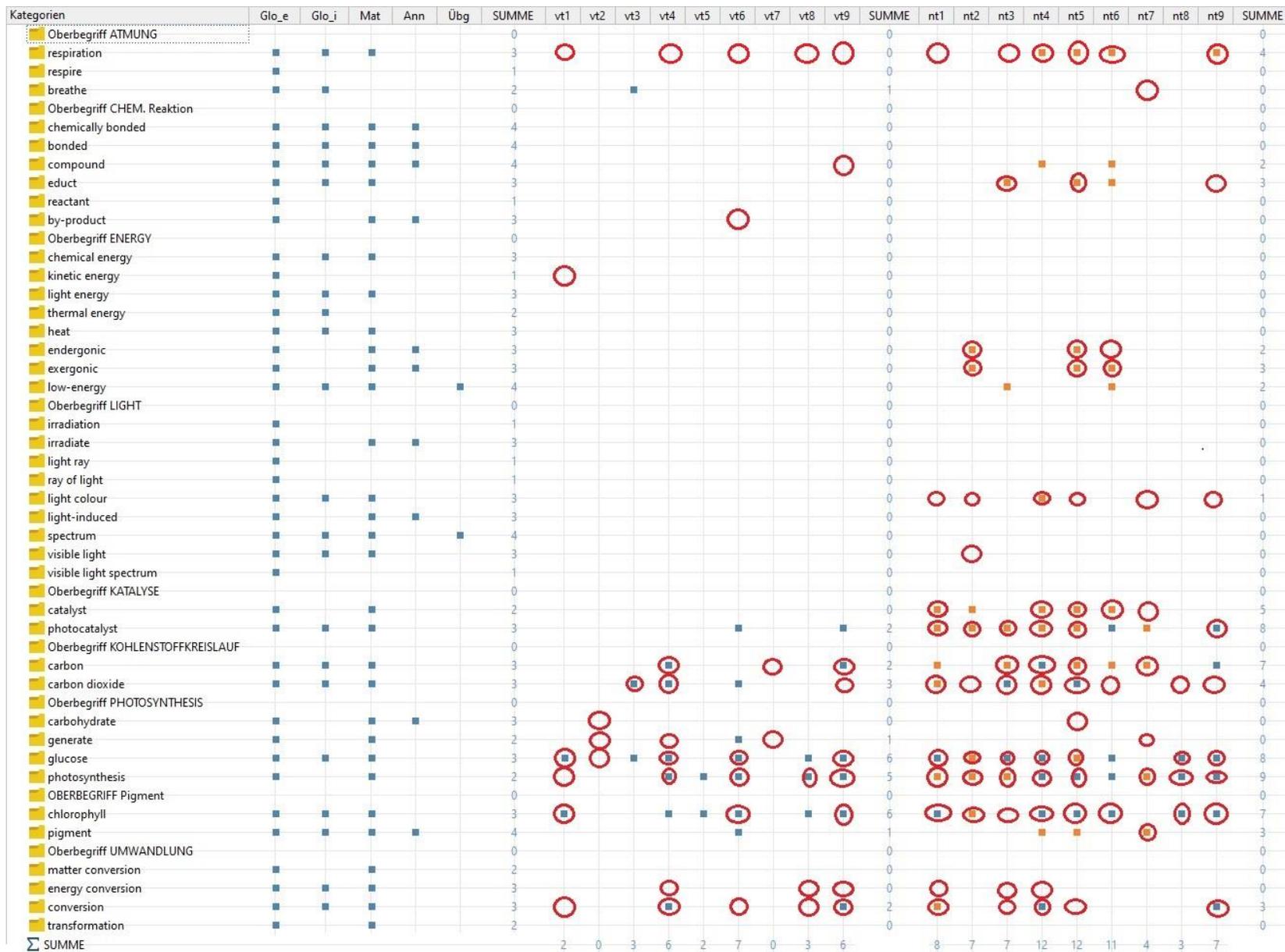


Abb. 83: Deutsche Fundstellen der Glossar-Einträge in Proband*innen-Texten Gruppe One (rote Kreise; zusammengefügte und teils eingefärbte Screenshots aus MAXQDA 2020-Kategorien-Matrix-Browserfenster)

14.10 Doppelte Sachfachliteralität: Welche häufig angebotenen Vokabeln finden in den englischen und deutschen Definitionen Anwendung?

Im vorherigen Abschnitt zeigte sich: Auch Worte, denen die Proband*innen relativ häufig im Lehr-Lern-Material begegnen, werden nur in wenigen Fällen produktiv in den englischen Nachtests verwendet. Diese relativ häufig angebotenen englischen Worte sind *bonded*, *compound*, *low-energy*, *pigment* und *spectrum*.

Es wird nun untersucht, in welcher Weise die englischen Textstellen der Proband*innen gestaltet sind, in denen die Worte eigentlich hätten verwendet werden sollen. Eine Untersuchung der korrespondierenden deutschen Textstellen erlaubt Einblicke in den Aufbau der doppelten Sachfachliteralität. Die Ausführungen beziehen sich auf die Versuchspersonen der Gruppe Ona.

14.10.1 Methodik der Datenaufbereitung

In MAXQDA 2020 werden die englischen und deutschen NT-Definitionen der Ona-Versuchspersonen durchgesehen. Dort erfolgt eine Überprüfung derjenigen Textstellen, in denen die Verwendung der Vokabeln *bonded*, *compound*, *low-energy*, *pigment* und *spectrum* notwendig wäre. Die englischen und deutschen Textstellen werden mithilfe von Excel 2013 in Tab. 21 und 22 erfasst, dort nebeneinander gestellt, analysiert und kommentiert. Es wird dabei ein Vergleich angestellt, wie häufig die jeweilige Vokabel im Englischen bzw. Deutschen korrekt verwendet wird. Für den Fall, dass keine korrekte Verwendung attestiert wird, erfolgt eine Analyse der vorliegenden Ausweichstrategie (vgl. auch Abb. 84).

14.10.2 Ergebnisse

Zu **(chemically) bonded**: Es zeigt sich, wie in Tab. 21 und 22 aufgeführt, dass nur zwei der neun Proband*innen zu versprachlichen versuchen, dass Kohlenstoff-Atome in Molekülen chemisch gebunden sind und dass während der chemischen Reaktionen neue chemische Bindungen verknüpft werden. Hier wird nicht das Fachwort verwendet, sondern auf eine inhaltlich nicht gänzlich zielführende Alltagssprache zurückgegriffen. Dabei bleibt es unklar, dass so etwas wie eine chemische Bindung existiert. Es sind eher Ortswechsel bzw. Bewegungen versprachlicht. Ein Blick ins Deutsche zeigt, dass Analoges dort aufzufinden ist (vgl. Tab. 21 und 22; hier sind nur Unterschiede zwischen Deutschem und Englischem fettiert und zusätzlich grün hervorgehoben um die englischen Exzerpte deutlich von den deutschen zu unterscheiden; die Passagen ohne Fettierung bedeuten stets, dass deutsche und englische Realisierungen gleich sind). Ansonsten herrschen inhaltliche Auslassungen vor, nämlich sieben.

Zu **compound**: Nur zwei SuS verwenden *compound* korrekt, zwei verwenden alternative Fachbegriffe (*educt*, *product*, *substance*), eine Schüler*in einen falschen Fachbegriff. Die restlichen vier Texte sind von Auslassungen gekennzeichnet. Im Deutschen verwenden die beiden SuS, die im VT EN *compound* verwendet haben, einen alternativen Fachbegriff (d.h. nicht chemische Verbindung, sondern Stoff oder Produkt). Proband*in Ona9 verwendete den Begriff „Stoff“ zur Beschreibung von Glucose, im Englischen gab es eine inhaltliche Auslassung. In den sechs anderen Fällen entspricht das Deutsche dem Englischen.

Zu **low-energy**: Zwei Versuchspersonen verwenden dieses Wort korrekt, zwei verwenden eine alternative Herangehensweise, indem sie von exergonischen und endergonischen Prozessen berichten. Fünf SuS-Texte weisen Auslassungen auf. Die deutschen Texte sind bis auf zwei analog gestaltet. In diesen wird ein alternativer, der Physik entlehnter Terminus verwendet (Ona06) bzw. ein Alltagsbegriff (Ona03), wobei der englische jeweils korrekt ist.

Zu **pigment**: Drei Proband*innen verwenden das Wort korrekt und drei inhaltliche Auslassungen liegen vor. Zweimal wird paraphrasiert, in je einem Fall wird ein Wort neu geschöpft bzw. ein alltags-sprachlicher Terminus verwendet. Dabei ist zu beachten, dass eine Paraphrase nach dem Neologismus kommt, d.h. eine Proband*in (Ona08) verwendet zwei Strategien. Im Deutschen ist die Sachlage

zweimal anders: Während im Englischen der Fachbegriff pigment genannt wird, lautet der deutsche Terminus Farbstoff und entstammt somit der Alltagssprache (Ona04, Ona05). Alle anderen Fälle sind wie die englischen gelagert, wobei bei Ona06 und Ona08 minimale Änderungen in vertretbarem Maße auftauchen, so dass auch dort von einer Analogie zwischen Englisch und Deutsch gesprochen werden kann: einmal wird Katalysator an Stelle von Photokatalysator verwendet (Ona06), einmal wird neben dem Neologismus „Zellenbestandteil“ (es gibt laut Duden „Zellbestandteil“) auch der Alltagsbegriff „Bestandteil“ verwendet, wohingegen im Englischen lediglich der Neologismus „substancepart“ auftritt.

Zu **spectrum**: Hier wird fünfmal paraphrasiert, viermal inhaltlich ausgelassen und einmal alltagssprachlich agiert, wobei einmal sowohl Paraphrase als auch Alltagssprache als Strategie genannt wird (Ona06). Die Paraphrasen sind von unterschiedlicher Wortschatzverwendung geprägt. Auch alltagssprachliche Begriffe werden einbezogen. Hierauf wird im Kommentarfeld bei Ona06 durch das Anführen des Wortes „lights“ Bezug genommen. Es fällt auf, dass drei inhaltliche Auslassungen mit anderen Schwerpunktsetzungen (jeweils Lichtfarbe im Fokus und dazu zweimal Energie und einmal Bedeutung für das Leben) einhergehen. Zwei der Paraphrasen weisen das Phänomen des Regenbogens auf (Ona01, Ona09). Die deutschen Definitionen entsprechen in sieben von neun Fällen dem Englischen. Einmal fehlt in der deutschen Paraphrase aber der Aspekt der Lichtmischung (Ona03) und einmal wird der Inhalt paraphrasiert, wohingegen im Englischen eine Leerstelle zutage tritt (Ona02).

In Abb. 84 findet sich eine **Darstellung der Versprachlichung oben genannter englischer und deutscher Zielbegriffe**. Der innere Ring verweist auf englische, der äußere auf deutsche Zieltermini (es müssten 45 Nennungen sein – die Zahl von 47 kommt dadurch zustande, dass zwei Proband*innen jeweils zwei Strategien verwenden, d.h. die Paraphrase ist einmal mit einem Neologismus, vgl. den Eintrag „pigment“ bei Ona08,



und einmal mit einem besonderen Alltagsbegriff verschränkt, vgl. den Eintrag „spectrum“ bei Ona06).

Häufig gibt es im Englischen Auslassungen, wobei diese manchmal mit anderen inhaltlichen Schwerpunktsetzungen einhergehen. Die nächstgroßen Teilstücke bilden Paraphrasen sowie korrekte Äußerungen, gefolgt von wenigen alltagssprachlichen Termini und vereinzelt falschen oder korrekten alternativen Fachtermini sowie einem Neologismus.

Im Deutschen gibt es weniger korrekte Termini – lediglich einen im Vergleich mit sieben im Englischen. Sie werden ersetzt durch Alltagsbegriffe (3x), alternative (2) bzw. falsche Fachbegriffe (1) – ansonsten bleiben die Verteilungen gleich (für Details vgl. Tab. 21 und 22; insb. die fettierten und grün markierten Unterschiede zwischen englischen und deutschen Tests; zwei Unterschiede, d.h. diejenigen bei den Versuchspersonen Ona2 und Ona3 zu „spectrum“ gleichen sich aus).

Tab. 21: Fundstellen und kategorisierte Verbalisierungsstrategien zu den Wörtern (chemically) bonded, compound und low-energy (Gruppe Ona, N = 9); fettierte und grün hervorgehobene Bereiche markieren Unterschiede zwischen englischem und deutschem Text der jeweiligen Proband*in

Proband*in	Textstellen EN und D zu 'bonded'	Kommentar	Textstellen EN und D zu 'compound'	Kommentar	Textstellen EN und D zu 'low-energy'	Kommentar
Ona01	./.	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung
Ona02	./.	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung	endergonic / exergonic; in endo-/exergonen Prozessen	Auslassung / Alternative; Beschreibung über endergonic / exergonic reaction
Ona03	the carbon changes places; wenn [...] das Kohlenstoff von einem Edukt in ein Produkt kommt und zurück	Alltagssprache ("bewegen / verschieben"); nicht treffend: Bindungsbruch und Neubindung nicht klar verbalisiert	component; ein Component der wenig Energie hat zu einem Componenten mit viel Energie	falscher Fachbegriff	low energy; wenn ein Component der wenig Energie hat zu einem Componenten mit viel Energie reagiert.	EN: korrekt; D: Alltagssprache
Ona04	./.	inhaltliche Auslassung	high energy compound; energiereicherer Stoff	EN: korrekt; D: alternativer Fachbegriff	./.	EN: Auslassung; Verwendung von "high energy compound" (glucose) und "different levels of energy" (light); D: ebenso, nur wird "energiehaltiger Stoff" für Glucose verwendet (siehe Ausführungen in vorherigen Kapiteln)
Ona05	carbon atoms are shifted from the product to the educts: werden die Kohlenstoffatome zwischen den Produkten und Edukten gewechselt	Alltagssprache ("bewegen / verschieben"); nicht treffend: Bindungsbruch und Neubindung nicht klar verbalisiert	produced product; Produkt	alternativer Fachbegriff	endergonic / exergonic; Dies hängt mit endogonischen und exergonischen Reaktionen zusammen.	Auslassung / Alternative; Beschreibung über endergonic / exergonic reaction
Ona06	./.	inhaltliche Auslassung	low energy compound; Stoff, Produkt	EN: korrekt; D: alternativer Fachbegriff	low energy compound; Stoffe von geringer Energiedichte werden zu Stoffen hoher Energiedichte	EN: korrekt; D: alternativer, nicht korrekter Fachbegriff (geringe Energiedichte)
Ona07	./.	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung
Ona08	./.	inhaltliche Auslassung	chemical substance; Stoffe / chemische Substanzen	inhaltliche Auslassung	./.	inhaltliche Auslassung
Ona09	./.	inhaltliche Auslassung	./.; Stoffe wie z.B. Glucose	EN: inhaltliche Auslassung ; D: alternativer Fachbegriff	./.	inhaltliche Auslassung

Tab. 22: Fundstellen und kategorisierte Verbalisierungsstrategien zu den Wörtern pigment und spectrum (Gruppe Ona, N = 9); fettierte und grün hervorgehobene Bereiche markieren Unterschiede zwischen englischem und deutschem Text der jeweiligen Proband* in

Proband*in	Textstellen EN und D zu 'pigment'	Kommentar	Textstellen EN und D zu 'spectrum'	Kommentar
Ona01	a catalyst [...] that gives plants [...] its green colour; 2 Chlorophyll ist ein Bio-Katalysator der notwendig für Photosynthese ist. Außerdem gibt er Pflanzen und Elysia chlorotica ihre grüne Farbe.	Paraphrase	Sunlight or white light consists of all colours of the rainbow. Every colour has different waves lengths [sic] ; Jede Farbe hat unterschiedlich lange & gewellte Wellen. Sonnen- oder weißes Licht bestehen aus allen Farben des Regenbogens.; Jede Farbe hat unterschiedlich lange & gewellte Wellen. Sonnen-d oder weißes Licht bestehen aus allen Farben des Regenbogens.	Paraphrase; "colours of the rainbow"; D: zzgl. recht alltagssprachlich
Ona02	photocatalyst [...] important in the process of photosynthesis; ein Photocatalysator, der Prozesse, hier die Photosynthese, beschleunigt.	inhaltliche Auslassung; anderer Schwerpunkt (Photokatalyse)	./; weißes Licht besteht aus verschiedenen Teilen/Farben, die durch ein Prisma sichtbar gemacht/gespalten werden.	EN: inhaltliche Auslassung; D: Paraphrase (z.T. Alltagswortschatz)
Ona03	photocatalyst [...] inside chloroplasts; Es ist ein Photokatalysator der in Chloroplasten hergestellt wird.	inhaltliche Auslassung; anderer Schwerpunkt (Photokatalyse)	There are different kinds of light. The sunlight is a mix of different lights.; Es gibt unterschiedliche Arten von Licht, manche haben mehr Energie als andere.	EN: Paraphrase; "mix"; D: Der Aspekt des Mischens fehlt
Ona04	green pigments in plants; Farbstoff	EN: korrekt; D: Alltagsbegriff	Light can be in different colours [...] but different colours have different levels of energy.; 5 Licht ist eine aus verschiedenen Farben bestehende Energieform, wobei unterschiedliche Farben unterschiedliche Energielevel haben.	inhaltliche Auslassung / anderer Schwerpunkt (Lichtfarbe)
Ona05	colour pigment; in Pflanzen enthaltene Farbstoff	EN: korrekt (Dopplung colour und pigment wirkt merkwürdig, aber möglich (vgl. 'colour pigment' bei collinsdictionary.com)); D: Alltagsbegriff	Light can be split into different colours; Licht lässt sich spalten und es entstehen dabei verschiedene Farben.	Paraphrase
Ona06	photocatalyst that can be found in green plants; ein Katalysator, der in grünen Pflanzen vorkommt und die chem. Reaktion bei der Fotosynthese ermöglicht.	inhaltliche Auslassung; anderer Schwerpunkt (Photokatalyse); D: ähnlich, jedoch Katalysator an Stelle von Photokatalysator	light can be defined as different "lights" [sic] with different wavelength[s]. For example, there is white light which consists of lights [of] all wavelength[s]; Licht besteht aus Lichtern bzw. Strahlen aller Wellenlängen.	Alltagssprache (lights) sowie Paraphrase
Ona07	green pigment in plants & animals; ist das grüne pigment in Pflanzen und Tieren	korrekt	a form of energy. For example violett and blue light has the highest energy; ist eine Form von Energy, welches für bestimmte Prozesse benötigt wird um abzulaufen. Bestimmte Farben des Lichts erzeugen mehr Energy als andere	inhaltliche Auslassung / anderer Schwerpunkt (Energie; Lichtfarben)
Ona08	a substancepart in the cells [...]. It gives the plants [...] its typical green colour.; ist ein Bestandteil der Zelle von hauptsächlich Pflanzen, jedoch gibt es Ausnahmen bei den Tieren wie zum Beispiel Elysia Chlorotica, bei der Chlorophyllebenfalls ein Zellenbestandteil ist. Chlorophyl gibt den Pflanzen und Elysia C. ihre grüne Farbe	Neologismus (substancepart), Paraphrase; D: Neologismus ("Zellenbestandteil"), Paraphrase	is what makes life possible. Especially sun light is important for creatures. The sunlight ist he source of energy for photosynthesis. Especially the blue and red ranges are needed.; ist wichtig für nahezu alle Lebewesen. Besonders das Sonnenlicht spielt eine große Rolle, da es notwendig ist für die Photosynthese. Denn diese wird erst durch die Energie des Sonnenlichts möglich. Dabei sind vorallem die blauen und roten Teile bedeutend.	inhaltliche Auslassung / anderer Schwerpunkt (Bedeutung für das Leben; Energie; Lichtfarben)
Ona09	the green colour which is in leaves or other plants; grüne Farbstoff, der auch in Blättern oder anderen Pflanzen vorhanden ist	Alltagssprache (colour)	Light consists of the colors of the rainbow. There are different types like [...] UV light; Das Licht besteht aus den Farben des Regenbogens. Es gibt verschiedene Arten des Lichts wie z.B. Sonnenlicht oder UV-Licht. Licht kann als Aktivierungsenergie dienen.	Paraphrase; "colors of the rainbow"

14.11 Zusammenfassung:

Beim **Vergleich der Lexik der englischen Definitionen** fällt für die drei Gruppen Hie, F-A und Ona auf, dass die Texte im Nachtest deutlich länger sind. Bei steigender Textlänge nimmt die Summe aus Bildungs- und Fachsprache im Nachtest jeweils ebenfalls deutlich zu. Sie umfasst mit jeweils 25 % gleich große Werte, wobei die Anteile an Bildungs- und Fachtermini jeweils leicht variieren. Die längsten Texte schreiben die Versuchspersonen der Gruppe Ona. In diesen Texten wird zudem das meiste Fachvokabular verwendet und hier ist auch der größte Rückgang an k1/k2-Vokabular zu verzeichnen. Die größten Zuwächse im Bereich Bildungssprache treten in der Gruppe F-A auf. Allerdings ist hier ein Rückgang an Fachtermini auffällig. Diese Gruppe weist weiterhin einen Rückgang an verwendeten chemischen Formeln auf.

Beim Vergleich von Typ C und Typ A fällt auf, dass Typ A deutlich größere Zuwächse bzgl. Textlängen, bildungssprachlichen Termini und Fachwörtern aufweist. Die Texte der Vergleichsgruppen sind nun nahezu identisch lang, allerdings sind die Anteile an bildungssprachlichem und fachspezifischem Wortschatz etwas stärker bei der Gruppe Typ C ausgeprägt. Die Texte der Gruppe Typ A weisen etwas mehr Wortfehler auf. Die verwendeten Anteile an chemischer Formelsprache sind in beiden Gruppen vergleichbar hoch, was auch an der deutlichen Abnahme auf Seiten von Typ A liegt.

Der **neu verwendete Wortschatz** setzt sich für alle drei Untersuchungsgruppen (Hie, F-A, Ona) zu jeweils einem guten Drittel aus Bildungs- bzw. Fachsprache zusammen, wobei die Zuwächse im Bereich Fachsprache größer sind. Die Zusammensetzung des jeweils neuen Wortschatzes ist für die drei Gruppen jeweils sehr unterschiedlich. Zu den 40 neu verwendeten bildungs- und 63 fachsprachlichen Wörtern sind weitere hinzuzuzählen, die im Bereich der ersten zweitausend Wörter zu finden sind, da manche von ihnen nicht nur eine alltags- sondern auch eine fachsprachliche Bedeutung haben. Dies ist z.B. bei *excited* oder *low*, in der Zusammensetzung *low-energy*, der Fall. Die Gruppenmitglieder verwenden jeweils unterschiedlich viele neue Wörter aus dem Bereich Bildungs- und Fachsprache. Für die Gruppen Hie, F-A und Ona liegen die Mediane bei 25,5, 24,0 und 34,0. Eine Aufteilung nach Typ A und C liefert Mediane von 29,0 und 26,0. Bei Betrachtung aller neuen Wörter, d.h. egal welchen Registers, sticht das Wort *light* als das hervor, das in allen Gruppen am häufigsten verwendet wird. Die jeweilige Mehrheit an Versuchspersonen aus den Gruppen Hie, F-A und Ona verwendet das Wort also erst im Nachtest – und nicht bereits im Vortest.

Um der Frage des **Aufbaus doppelter Sachfachliteralität in Bezug auf die neu hinzugekommenen Vokabeln nachzugehen**, werden vier Vertreter der neu hinzugekommenen englischen Bildungs- bzw. Fachsprache untersucht, die keine Kognaten sind (*compound*, *excited*, *low-energy* und *high-energy*) und einer der nicht notwendigerweise durch ein ähnlich lautendes deutsches Wort versprachlicht werden muss (*pigment*). Diese werden in den deutschen Texten der Gruppenmitglieder aus Hie, F-A und Ona maximal halb so häufig versprachlicht wie in den englischen Verschriftlichungen (*compound*: Englisch 3mal bzw. Deutsch keinmal; *excited*: 1 bzw. 0; *low-energy* 12 bzw. 6, *high-energy* 20 bzw. 8; *pigment* 5 bzw. 1). Stattdessen gibt es Auslassungen oder inkorrekte Verwendungen, die dem deutschen Äquivalent nicht im vollen Maße entsprechen. Für die nach Typ A oder C Unterrichteten kann nur ein Vergleich zu den Wörtern *high-energy*- und *low-energy* angestellt werden, da die anderen Wörter hier nicht – oder nur vereinzelt – versprachlicht werden: Ein Vergleich für *pigment* wäre ansatzweise möglich, wird aber nicht weiter ausgeführt, da er in der Gruppe nur viermal bzw. nur einmal verwendet wird. Typ C-Versuchspersonen verwenden diese Wörter (*high-energy*, *low-energy*) mehrheitlich korrekt, Typ A-Versuchspersonen hingegen mehrheitlich nicht.

Eine **Analyse des mehrheitlich vorkommenden produktiven Vokabulars** in Vor- und Nachtests, also des Vokabulars, das mindestens in der Hälfte aller Teilnehmer*innen-Texte der jeweiligen Gruppe Hie, F-A, und Ona vertreten ist, bringt zutage, dass die Anzahl der Wörter je Gruppe deutlich steigt. Dabei passt die neue Lexik bis auf wenige Ausnahmen klar zum Inhalt des Moduls, wobei sie sich von Gruppe zu Gruppe unterschiedlich zusammensetzt. Ähnlich wie in Kap. 14.2.1 thematisiert, ist auch hier der Anteil der Fachsprache hoch. Dabei haben viele Wörter den Charakter von Kognaten (im fachspezifischen Wortschatz: *chlorophyll*, *catalyst*, *glucose*, *photosynthesis*; im bildungssprachlichen Wortschatz: *convert*, *cycle*, *process*, *reaction*). Im Nachtest finden sich 12 Vokabeln, die bei allen drei Gruppen gleich sind: *carbon*, *chlorophyll*, *cycle*, *different*, *energy*, *glucose*, *green*, *light*, *photosynthesis*,

plant, process sowie das Personalpronomen it. Es ergibt sich ein gemischtes Bild, wenn die im Vergleich zum Vortest neu hinzugekommenen Vokabeln betrachtet werden. Allen Gruppen gemeinsam ist das Hinzukommen des bildungssprachlichen Wortes cycle.

In Bezug auf die Frage, inwiefern das angebotene **Glossarvokabular** Aufnahme in die Lernenden-Texte und somit in das bilinguale mentale Lexikon findet, kann festgehalten werden, dass das Vokabular von wenigen Proband*innen in die Texte integriert wird. Es fallen viele Fehlstellen auf, die auch für dasjenige Vokabular gilt, das den Lernenden sogar mehrfach in den Materialien begegnet. Die **Analyse von fünf häufig im Lehr-Lern-Material verwendeten Vokabeln** (chemically bonded, compound, low-energy, pigment, spectrum; Bezug: Gruppe Ona) lässt erkennen, dass auch dieses Vokabular von Lernenden nur vereinzelt korrekt in der Sprache **Englisch** verwendet wird. In **deutschen** SuS-Produkten tauchen die Vokabeln noch weniger häufig korrekt auf, d.h. nur einmal. Als Kompensationsstrategien finden sich im Allgemeinen die folgenden Phänomene in absteigender Häufigkeit: Auslassungen, Paraphrasen, Alltagssprachliche Vokabeln, alternative Fachbegriffe, falsche (domänenunspezifische) Fachbegriffe und Neologismen. Es gibt keinen Fall, in dem einer der fünf Begriffe nur in Deutsch, nicht aber in Englisch vorliegt. In sechs Fällen liegt der Begriff allerdings lediglich im Englischen vor. Die dann verwendeten Kompensationsstrategien sind Alltagsbegriffe sowie alternative bzw. domänenunspezifische Fachbegriffe. Die **Analyse in Bezug auf alle Glossareinträge** bringt zutage, dass jede Versuchsperson sieben Glossar-Wörter in die **englischen** Nachtests integriert (Median). Davon finden sechs auch Verwendung im **Deutschen**, wobei drei Wörter hinzukommen, die zuvor nicht im Englischen verwendet worden sind. Die englischen Wörter finden also keine konsequente Anwendung im Deutschen. Teilnehmende der Gruppe C verwenden mehr englische und deutsche Wörter im Nachtest als die Vergleichsgruppe Typ A (Mediane: Englische Wörter 11,0 zu 5,5; Deutsche Wörter 6,0 zu 4,5). Beide Gruppen übertragen etwa gleiche Anteile ins Deutsche, mit leichten Vorteilen für Typ A. Versuchspersonen aus der Typ A-Gruppe verwenden mehr Wörter nur in deutscher Sprache (Median: 4,0 zu 3,0).

Ein Großteil der deutschen Nachtest-Texte weist Merkmale von **Einflüssen aus der englischen Sprache** auf. Hauptsächlich sind es Phänomene des Transfers aus der L2 (davon etwa ein Drittel spezifischer Transfer carbon/Kohlenstoff), gefolgt von Kodewechseln und Wortneuschöpfungen. Im Vergleich der Gruppen Typ A und Typ C ist das doppelt so häufig auftretende Code-Switching bei A auffällig. Insgesamt sind im Schnitt deutlich mehr Typ A-Texte von L2-Einflüssen betroffen.

14.12 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass deutliche Zunahmen im Bereich der produktiv verwendeten, fachspezifischen und bildungssprachlichen englischen Termini vorliegen. Dies wird anhand der Korpora vor und nach der unterrichtlichen Intervention deutlich, aber auch an den von Duplikaten bereinigten Übersichten der neu hinzugekommenen englischen Wörter. Abgesehen von den angefertigten Profilen, die die Texte in K1, K2, AWL und Off List (hier: Fachvokabular) aufteilen, wird der neu verwendete fachspezifische und bildungssprachliche Wortschatz untersucht. Hier werden fast durchweg relevante Wörter verwendet, allerdings meistens nicht mehrheitlich. Im Modul eignen sich die SuS also in individuell unterschiedlicher Weise relevantes Vokabular an, das allerdings als noch deutlich ausbaufähig angesehen wird – ähnlich, wie es Cotzee-Lachmann für Untersuchungen im Bereich BU Erdkunde herausstellt (vgl. 2009:216ff, vgl. dazu auch Vollmer 2009:180: „[E]s liegen dramatische Mängel in der Verwendung von Sprache als Teil der Fachlichkeit vor, und das nicht nur bei den bilingualen Lernern.“). Diese Zunahmen im Bereich fachliche und bildungssprachliche Lexik ist im Sinne der Bildungsstandards, die eine kompetente Fachsprachenverwendung als Zieldimension aufführen (vgl. Strippel/Bohrmann-Linde 2018:240). Sie ist ein Teil der Sachfachliteralität (vgl. Kap. 4.1). Das bildungssprachliche Register wird ebenfalls als Zieldimension von Unterricht angesehen, wie z.B. von Gogolin/Lange angeführt: „Je weiter eine Bildungsbiographie fortschreitet, je weiter sich der Unterricht in Fächer bzw. Fächergruppen ausdifferenziert, umso mehr wird das Register Bildungssprache verwendet und gefordert“ (2011:111, vgl. auch die Bedeutung der auf Cummins zurückgehenden CALP, z.B. thematisiert in Baker/Wright 2017:161-164). Tajmel führt darauf aufbauend an, dass der Bildungserfolg von SuS neben der „Beherrschung der Fachsprache“ von der „Sprach-

varietät [...] Bildungssprache“ (2013:244, vgl. auch Nation 2001:197) abhängt. Indes wird diese Verlautbarung, d.h. die Abhängigkeit von einer Bildungssprache, in der einschlägigen Literatur kritisch diskutiert (vgl. Baker/Wright 2017:164-167, die u.a. Wiley/Rolstad 2014:51 zitieren: „It is simply not the case that literacy and academic language involve higher order cognition, while other domains in which we use specialized language do not.“). Allerdings ist sich die Forschung darüber einig, dass das erfolgreiche Leseverstehen und die Textproduktion vom Umfang des passiven bzw. aktiven Wortschatzes abhängt (vgl. Nation 2001:144ff, 177ff) und dass der Bildungserfolg ebenfalls mit einem „sound knowledge of the language of the instruction“ (Scheepers 2018:53) einhergeht. Scheepers erwähnt explizit die Bedeutung der Sprachproduktion in universitären Kontexten und den dafür essentiellen, großen produktiven Wortschatz (2018:53f). Usman/Abdullahi (2018:32) führen an, dass das produktiv zur Verfügung stehende Vokabular auch ein Maßstab für die zu erwartende Qualität von geschriebenen Texten ist. Ähnlich argumentiert Maamujav: „the use of academic vocabulary is an important indicator of writing quality“ (2021:10). Vor diesem Hintergrund wird das Potential des vorliegenden Moduls für die Fremdsprachenkompetenz der Lernenden deutlich. Die Zunahmen in bedeutsamen Bereichen der Lexik können als Indikator für einen gewachsenen fachspezifischen und bildungssprachlichen Wortschatz angesehen werden und damit einhergehend verweisen sie auf eine insgesamt gewachsene Fremdsprachenkompetenz. Zudem können sie so ausgedeutet werden, dass in vielen Fällen die in Kap. 4.2 erwähnte Schwellenkompetenz in anschlussfähiger Weise zum Ende der Einführungsphase in die Oberstufe, d.h. Klassenstufe 10, vorliegt. Es sind jedoch weitere Maßnahmen, insbesondere diejenigen der expliziten Wortschatzarbeit (vgl. z.B. Nation 2001:182, Diehr 2016:74; vgl. Ulrich 2013:324ff zum Anbahnen von Fachwortschatz, Pavlenko 2009:154, Piske 2015) und der Outputorientierung (vgl. z.B. Cotzee-Lachmann 226ff) notwendig, um das Potential zu heben. Es zeigt sich überdies, dass im mehrheitlich vorkommenden, produktiven Vokabular auch viele Kognaten vorkommen – sie sind ein Produkt des positiven Transfers aus der L1 (vgl. Agustín Llach 2014:62). Abgesehen von diesen Kognaten ist eine niedrige Verwendungshäufigkeit des als neu identifizierten Vokabulars festzustellen. Dies kann damit zusammenhängen, dass die neue Lexik zunächst nur rezeptiv und noch nicht produktiv vorliegt (vgl. *ibid.*). Rincke hat überdies festgestellt: Lernende, die bereits produktiv mündlich nachgewiesen haben, dass sie über die anvisierte deutsche Fachsprache verfügen, greifen trotzdem in manchen Situationen wieder auf die Alltagssprache zurück, um ein physikalisches Konzept zu versprachlichen (2010a:57ff). Die Lernenden geben also der Kommunikation des sachfachlichen Inhalts Vorrang gegenüber der fachsprachlichen Korrektheit, ein Phänomen, das auch aus der Fremdsprachendidaktik bekannt ist (*ibid.*). Rincke spricht in diesem Zusammenhang von „scientific interlanguage“ (2010b:254, *ibid.* 2011:248). In den vorliegenden englischen, schriftsprachlichen Definitionen kann ein ähnliches temporäres Zurückfallen auf die Alltagssprache vorgekommen sein, das allerdings auch mit der kognitiven Beanspruchung der Teilnehmenden (vgl. Skehan 2015:189ff) begründet werden kann, da sie in der L2 unterschiedliche „areas of knowledge“ (d.h. „language knowledge“, „topic knowledge“, „genre knowledge“, „audience knowledge“) verhandeln müssen (vgl. Weigle 2005:132ff). Das Formulieren von Definitionen in der L2 kann somit, wie auch das Produzieren mündlicher Äußerungen in der L2, als kognitiv anspruchsvoll aufgefasst werden. Dies erschwert die Auswahl von entsprechender Lexik in mündlichen (vgl. z.B. Skehan 2015:191) und schriftlichen Sprachproduktionssituationen (vgl. Bergsleithner 2010:12).

Das Untersuchungsinstrument VocabProfiler hilft dabei, die unterschiedlichen Untersuchungsgruppen hier, F-A und Ona miteinander zu vergleichen, doch weiterhin ist dieses auch dafür geeignet, in folgenden, ähnlich gelagerten Untersuchungen Anwendung zu finden. Insofern dienen die aktuellen Profile, mit Agustín Llach gesprochen, als „benchmarks for future research“ (2014:70), d.h. als Vergleichsgrößen. Die vorliegenden Profile sind aktuell nicht mit anderen aus der Literatur (vgl. z.B. die Profile in Agustín Llach 2014:60ff, Nation 2001:180, Olsson/Sylvén 2019:123ff, 127ff, Sylvén 2010:161ff) vergleichbar, da zu viele Unterschiede vorherrschen, die die Studienparameter betreffen. Dies gilt z.B. bzgl. des Proband*innen-Alters, der produzierten Textsorten, der zu versprachlichenden thematischen Inhalte oder auch des Untersuchungsinstruments (manche nutzen die AWL von Coxhead, wie auch in der vorliegenden Studie, andere rekurren auf alternative Listen). Einen Überblick über die

wenig aufeinander aufbauende Forschung zum produktiven Vokabular im Bereich des BU geben Jiménez Catalán/Agustín Llach (2017).

Die Unterschiede in der Zusammensetzung des neu hinzugekommenen Vokabulars und auch die der Vokabelprofile liegen, neben der Einflussgröße der unterschiedlichen Lernerindividualität (vgl. Sylvén 2010:197ff), wahrscheinlich mehrheitlich in der Einflussgröße der unterschiedlichen inhaltlichen Modulausgestaltung begründet. Wie die Ausführungen in Kap. 12.1 zeigen, hat sich das Modul von Zyklus zwei (Gruppen Hie und F-A) zu Zyklus drei (Gruppe Ona) noch einmal signifikant verändert. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass die Ona-Versuchspersonen ihren Lernprozess mit Concept Maps begleiteten, um final eine Präsentation zu halten. Dabei mussten alle Versuchspersonen das Thema englischsprachig durchdringen, da das Poster in englischer Sprache vorliegen musste, die monologische Präsentation hingegen entweder in Englisch oder in Deutsch stattfinden konnte. Die Untersuchungen liefern somit weitere Indizien zur Bedeutung des „pushed output“ (Meyer 2010) und stimmen mit der folgenden Aussage von Olsson/Sylvén überein, die unter Bezugnahme auf Laufer (1998), Laufer/Nation (1999) und Merikivi/Pietilä (2014) für ihre eigene Longitudinalstudie festhalten:

The results of this study indicate that CLIL students might need to be challenged in their productive L2 English use to a greater extent than seems to be the case in the schools involved in the project. It is probably only possible to expand one's productive proficiency by constantly being challenged in productive use [...]. The level of student involvement also seems to affect vocabulary learning. (Olsson/Sylvén2019:132)

Die besonders auffälligen Ergebnisse bzgl. der Textlänge, der Zusammensetzung der Texte und Variabilität des hinzugekommenen produktiven Wortschatzes in der Gruppe Ona dokumentieren die relative Effektivität und die relativen Vorteile im o.g. Sinne gegenüber der zuvor verwendeten Unterrichtsanlage. Eine vertiefte Auseinandersetzung analog zum „level of student involvement“ (ibid.) erfolgt mit den Inhalten per (bilingual) poster production und durch eine Concept Map. Ähnlich wie von Ulrich (2013:326f) vorgeschlagen, fertigen die SuS diese modulbegleitend an. Auf diese Weise entstehen stets wachsende Netzwerke, die die angebotenen Inhalte durch Versprachlichungen in jeweils individueller Weise festhalten. Die Erstellung liegt individuell in Händen der Lernenden, so dass dort nicht nur Fachwortschatz integriert wird. Dies sind Anhaltspunkte für den vergleichsweise höheren Lernerfolg im Bereich des Wortschatzserwerbs der Gruppe Ona. Allerdings wurden hier auch mehr Texte zum Lesen angeboten, die Scaffoldingmaßnahmen erweitert und u.a. durch o.g. Maßnahmen die Lernendenaktivität erhöht. Festzuhalten bleibt, dass die Modulgestaltung in Form der komplexen Kompetenzaufgabe (vgl. z.B. Hallet 2012) Vorteile in Bezug auf den produktiven Wortschatz und die Textlänge der formulierten Definitionen annehmen lässt.

Anhand einer Auswahl an fach- bzw. bildungssprachlichen Termini, die in den englischen Nachtests neu produktiv verwendet werden, wird untersucht, inwiefern diese sich auch in den deutschen Nachtests der entsprechenden Versuchspersonen niederschlagen. Die Untersuchungsergebnisse stützen Diehrs Vermutung, dass ein automatischer Aufbau der Lexik in der L1 nicht stattfindet (2016:64, vgl. auch Botz/Diehr 2016:256). Ähnliches, indes lediglich auf bildungssprachliche Termini abhebend, konstatiert Holmberg für den schwedischen Kontext: „The data suggest that total CLIL studies put the academic vocabulary of Swedish at risk, while partial CLIL seems to bring students' attention to the typical lexical choices of Swedish academic registers“ (2019:184). Er weist dabei auch darauf hin, dass die Datenlage sehr dünn sei. Eine Betrachtung der Definitionen von Versuchspersonen, die nach Typ A bzw. C unterrichtet wurden, liefert Hinweise dafür, dass durch die Spracharbeit in der L1 eher eine korrekte Übertragung der englischen Wörter high-energy und low-energy ins Deutsche gelingt als in wenn diese nicht erfolgt. Dies lässt unter Berücksichtigung der geringen Anzahl an Versuchspersonen darauf schließen, dass eine BU-Anlage nach Typ C, d.h. unter Berücksichtigung funktionaler Sprachwechsel, vorteilhaft für den Ausbau der doppelten Sachfachliteralität ist. Insofern können diese Maßnahmen als notwendig erachtet werden (vgl. Diehr 2016:73).

Diese Ergebnisse stützen auch die These der stärkeren Angebundenheit mancher der neuen, im BU Chemie erworbenen Inhalte an die englische Sprache (vgl. ibid.:71). Insofern sollten gemäß der Vorschläge von Diehr in der Tat keine unterschiedlich starken Wort-Konzept-Verknüpfungen zwischen

Sprachspeichern und Konzeptspeicher modelliert werden (ibid.), wie es im MHM von Pavlenko (vgl. 2009:147) noch vorgesehen ist. Somit bestätigt die vorliegende Studie diesen Anteil der Theorie- und Modellbildung zum bilingualen mentalen Lexikon, wie Diehr (2016) ihn im IDM vorsieht (vgl. Kap. 2.3).

Die Ergebnislage bestätigt ebenfalls die vorgenommene Weiterentwicklung der Sprachspeichermodellierung, die im Theoriegebilde des IDM als dynamisch dargestellt werden (ibid.). Während einige englische Wörter neu aufgenommen werden, jedoch nicht in der deutschen Sprache Abbildung finden, wächst also nur der L2-Speicher, der L1-Speicher hingegen nicht. Folglich kann in diesen Fällen von einem asymmetrischen Wachstum gesprochen werden kann. Insofern kommt es hier zur „Dominanz des themenspezifischen Fachvokabulars“ (ibid.:70) bzw. des bildungssprachlichen Vokabulars (vgl. auch Kap. 2.3).

An Stelle der Ausbildung von fachspezifischem Vokabular in der L1 Deutsch treten oft Ausweichphänomene, wie sie auch von Agustín Llach (2014:53), Botz/Diehr (2016:254f), Cotzee-Lachmann (2009:226ff), Heine (2014:229) oder Pavlenko (2009:147) aufgefunden werden. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass die Versuchspersonen trotz der vorhandenen Leerstellen in der L1-Sachfachliteralität versuchen, die erworbenen Vorstellungsinhalte zu kommunizieren. Sie bemühen sich also auch im Sinne des translanguaging aktiv darum, den hier nun schriftlichen Transport sachfachlicher Inhalte zu gewährleisten und ihn aufrechtzuerhalten (vgl. Nikula/Moore 2019:245). Folglich können hier auch Parallelen zu Frischs Ausführungen zur kommunikativen und kognitiven Funktion von Sprachwechseln gezogen werden, die sie allerdings für den umgekehrten Fall (Verwendung der L1 an Stelle der L2) ausführt (vgl. Frisch 2016:92ff). Die Texte der nach Typ C instruierten SuS sind weniger von L2-Einflüssen gekennzeichnet. Auf Basis dieser Ausführungen kann die Vermutung angestellt werden, dass die im Unterricht nach Typ C vorgenommenen Maßnahmen eine etwas leichtere Versprachlichung der sachfachlichen Inhalte in der L1 nach sich ziehen (vgl. Diehr 2012, 2016, Bohrmann-Linde 2016; vgl. Kap. 3).

Die Untersuchungen zur Verwendung von angebotenen Glossareinträgen, die im Zuge des Moduls 2020 mit der Gruppe Ona durchgeführt werden, bringen zutage, dass wenige Proband*innen hieraus Vokabular produktiv nutzen. Eine Übertragung der genutzten englischen Wörter in deutsche Äquivalente findet ebenfalls wenig statt – dies gilt auch für das Vokabular, das häufig im Lehr-Lern-Material angeboten wird. Insofern stützen diese Befunde die Zweifel Diehrs, dass sich „die doppelte Fachliteralität [...] durch die Verfügbarkeit bilingualer Vokabellisten einstellt“ (2016:73). Die hier wiederum auftretenden Kompensationsstrategien für nicht vorhandenes L1-Vokabular (vgl. Ausführungen oben) indizieren einmal mehr die Fehlstellen im L1-Wortschatz und stützen obige Ausführungen zur asymmetrischen Entwicklung der Wortspeicher mit Vorteilen für den L2-Speicher. Insofern wird die theoretische Modellierung des IDM wiederum in diesen Anteilen bestätigt. Ferner fällt auf: Die Typ C-Instruierten nutzen mehr Wörter aus dem Glossar als die Typ A-Instruierten. In diesem Kontext, aber auch in Bezug auf das zuvor Erwähnte ist einzuräumen: Es wird eine spezifische Textform, das Definieren bzw. Erklären eines Begriffs, von den SuS produziert. Auf den Ergebnissen hieraus basiert die vorliegende Untersuchung. Es ist kritisch anzumerken, dass auch diese Situation dazu beigetragen haben mag, dass nur ein Teil des gesamten SuS-Sprachpotentials im Bereich L2 wie L1 sichtbar wird. Hierzu würde es sich anbieten, andere (schriftsprachliche) Produktionen mithilfe anderer Textsorten anzubieten und die entsprechenden sprachlich-inhaltlichen Unterschiede zu erforschen.

Die Ausführungen zum Glossar und auch zu denjenigen Wörtern, die häufig im Material vorkommen, führen einmal mehr vor Augen, dass der individuelle Weg vom angebotenen *Input* über den *Intake* zum eigenen *Output* Zeit und auch Übung benötigt (vgl. Archila/Molina/Truscott de Mejía 2021: 789, Milton 2009:249), wobei dieser Zusammenhang auch noch nicht vollständig verstanden ist, wie die einschlägige Forschung, hier z.B. Sylvén (2010:32ff), betont. Überdies wird einmal mehr deutlich, dass weitere Faktoren neben der Kontaktanzahl mit Zielvokabular das incidental vocabulary learning, das beiläufige Vokabellernen, bedingen – hier von Webb (2019b) explizit auf das Lesen bezogen: Neben der Größe des Hintergrundwissen und des L2-Wortschatzes bestimmt auch das Wort an sich die Aufnahme desselben Wortes in das mentale Lexikon. Diese Wort-Aneignung wird bestimmt durch eine ähnliche Form oder Bedeutung in der L1 (vgl. auch die Hinweise auf die Kognaten; vgl. Bohrmann-Linde 2012:183). Auch kommt es auf den Textzusammenhang an, in dem das Wort auftaucht, da dieser zu unterschiedlichen Graden Informationen zum entsprechenden Wort enthalten kann (vgl. Gablasova

2015:63f, 69f, Webb 2019b:227). Die Wortbegegnung kann also nicht als alleiniger Faktor für gelingendes Vokabellernen angesehen werden. Scaffolding (vgl. Zydatiś 2010b, Thürmann 2013a-b, Neveling 2017) bietet sich an, um diesen Prozess zu begleiten. Es zeigt sich folglich durchaus, dass beiläufiges Vokabellernen stattfindet. Allerdings wird deutlich, dass die Vokabelaufnahme mit expliziten Maßnahmen aus der Fremdsprachen- bzw. DaF-Didaktik angebahnt werden sollte. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu berücksichtigen, dass die BU Chemie-Module zum Einstieg in den bilingualen Chemieunterricht dienen sollen und noch kein Vokabular bekannt ist (vgl. z.B. Gablasova 2014:988, Grimm/Meyer/Volkman 2015, Ulrich 2013, Verboom/Koch 2019, Lindstromberg 2019 zu semantic elaboration oder der keyword method), und auch vor dem Hintergrund, dass die Begegnung mit dem neuen Vokabular nicht häufig geschieht: „In line with previous research (Nation, 2001), [Gablasova’s study, RB] also showed that exposure to TW [target words] limited to one learning occasion even when the TWs are embedded in informative context is in most cases not sufficient for complete acquisition of the word meaning“ (Gablasova 2015:71). Zu den Maßnahmen des Vokabellernens gehört das explizite, regelmäßige Einführen von Vokabular, sowie Möglichkeiten des Anwendens und Übens – und dies wiederum vor dem Hintergrund des kontinuierlichen Anbahnens über größere Zeiträume: „Successful learners, and by implication good courses, manage to organise the acquisition of vocabulary so that it is learned in regular amounts over extended periods of time“ (Milton 2009:249). Weiterhin unterstreicht Milton die kontinuierliche Arbeit, die ein erfolgreiches Sprachlernen von den Lernenden verlangt: „The idea that teachers do not have to teach and learners do not have to try to learn vocabulary, however, is nonsense. It requires deliberate effort and considerable time on the part of the learner“ (ibid.:250). Insofern ist es vielleicht zunächst sinnvoll, erste Schritte im BU Chemie anzubahnen, sprachliche und inhaltliche Ziele im Sinne des backward planning zu formulieren, und mithilfe der fremdsprachendidaktischen Herangehensweisen in einer Weise tragfähig so auszubauen (vgl. hierzu die Bedeutung des „Schulterschluss[es] zwischen Fremdsprachen- und Sachfachdidaktik“ nach Bohrmann-Linde 2012:197), dass auf deren Basis dann auch innovative Module Schritt für Schritt aufbauen können. Die Ausführungen, die auf den Erkenntnissen aus dem Modul und der einschlägigen Forschungsliteratur basieren, deuten darauf hin, dass der Hard CLIL-Ansatz (vgl. Dalton-Puffer 2017) nicht den notwendigen Raum für das L2- und L1-Sprachenlernen einräumen kann. Er sollte zu Gunsten eines shift zum Soft CLIL-Ansatz überdacht werden und explizite Arbeit in beiden Sprachen nach Typ C integrieren.

15 Inhaltlicher Lernzuwachs

In Kap. 10.6 und 10.7 wird der Lernzuwachs der Gruppen Unt und Eur für den ersten Erprobungszyklus dargestellt. Die hier folgenden Darstellungen beziehen sich auf die Untersuchungsgruppen Hie, F-A und Ona (vgl. die Übersicht in Anhang AX), wobei Forschungsfrage fünf im Zentrum steht.

15.1 Instrument

Als Instrument werden in Anlehnung an Gablasova (2015) handschriftlich verfasste Definitionen verwendet. Die SuS verfassten ohne Hilfsmittel vor und nach dem Modul englische und deutsche Erklärungen zu den Konzepten chlorophyll/Chlorophyll, glucose/Glucose, carbon cycle/ Kohlenstoffkreislauf, light/Licht, photocatalyst/Photokatalysator, photosynthesis/Photosynthese und cellular respiration/Zellatmung. Zunächst waren noch die Konzepte matter conversion/ Stoffumwandlung und energy conversion/Energieumwandlung mit enthalten, doch diese wurden getilgt (vgl. Anhang A11.2).

15.2 Durchführung

Dieses Instrument dient als Grundlage der Erhebungen in den Jahren 2019 (Coc, Hie, F-A) und 2020 (Ona). Jeweils wenige Tage vor und zwei Tage nach dem Modul wird die Erhebung während der Schulzeit durchgeführt. Dafür wird eine Doppelstunde von 90 min geblockt. Bei der Erhebung an der Schule mit den Gruppen Hie und F-A wird auch eine Kontrollgruppe (N = 19) eingeladen, deren Teilnehmer*innen sich aus derselben Stufe rekrutieren. Zunächst werden die englischen, dann die deutschen Definitionen vorgenommen. Die Erhebung erfolgt, wie alle Datenerhebungen der vorlie-

genden Studie, anonym. Jede Versuchsperson generiert dabei einen Code, der sich aus Buchstaben der Vornamen von Mutter und Vater, der Hausnummer und einem Buchstaben für das Geschlecht (X-ohne Angabe; W-weiblich; M-männlich).

Auch wurde das Instrument für die Achtklässler*innen des bilingualen Biologie-Kurses und für eine weitere Erhebung an einer Gesamtschule in NRW eingesetzt. Die Nachtests für den Biologie-Kurs fanden aus schulorganisatorischen Gründen erst ein paar Wochen nach der Moduldurchführung statt und wurden deshalb nicht ausgewertet. Die Erhebung an der Gesamtschule wurde bereits mit Vortest und anteiligen Durchführungen im Fach BU Chemie und BU Biologie begonnen, bis die Corona-Pandemie ein schulisches Weiterarbeiten und somit auch eine Nachtest-Auswertung unmöglich machte.

15.3 Methodik der Datenaufbereitung

Im Arbeitskreis der Wuppertaler Chemedidaktik wird je eine Definition für jedes Konzept entwickelt und bepunktet. Für jeden Konzeptanteil wird ein Punkt vergeben (vgl. Anhang A15.3). Die Netzdiagramme in den Abb. 85 bis Abb. 90 geben Einblicke in die jeweiligen Konzeptanteile und die jeweilige Versprachlichung in englischer und deutscher Sprache.

Zu jedem Konzept wird immer der gesamte Bogen der Versuchsperson durchgearbeitet und Bepunktungen vorgenommen. Das Durcharbeiten des Gesamtbogens ist deshalb wichtig, da die Konzepte nicht trennscharf voneinander sind. So können relevante Inhalte auch in anderen Konzepten auftauchen. Zum Beispiel könnte im Bereich Photosynthese genannt werden, dass Chlorophyll ein grünes, lichtabsorbierendes Pigment ist, das als Photokatalysator fungiert. Somit würden hier neben Bepunktungen für das Konzept Photosynthese anteilig auch Bepunktungen für die Konzepte Chlorophyll und Photokatalysator resultieren.

Die Bepunktungsergebnisse werden in Excel 2013-Tabellen vorgenommen und visuell in Durchschnittswerte angehenden Netzdiagrammen dargestellt (vgl. Abb. 85 bis Abb. 89). Während des Bepunktens und Auswertens der handschriftlichen Fragebögen, von denen nur die Bögen der Gruppen Hie, F-A und Ona transkribiert in MAXQDA vorliegen, werden Notizen angefertigt um gleichartige Kodierungsentscheidungen in Zweifelsfällen treffen zu können. Das Kodieren wird für jeden der vier Fragebögen der Versuchspersonen in mindestens zwei Durchläufen vorgenommen, um glaubwürdige Bepunktungen zu erhalten, die den Definitionen der Versuchspersonen entsprechen. Es geht also darum, den inhaltlichen Leistungen der SuS in fairer Weise gerecht zu werden und diese in möglichst objektiver Weise zu erfassen, so dass reliable Ergebnisse vorliegen (vgl. insbesondere die Einträge zu „Auswertungsobjektivität“ in Döring/Bortz 2016:443 sowie die Ermahnung „Conclusions from such data can be trusted only after demonstrating their reliability“ von Hayes/Krippendorff 2007:77). Vereinzelt treten bei der Neubepunktung kleinere Abweichungen auf, die auf Flüchtigkeit bzw. Unkonzentration des Autors beim ersten Durchlauf zurückzuführen, aber nicht dem Bepunktungssystem anzurechnen sind. Die Notizen, die während des ersten Durchlaufes Entscheidungen bei Zweifelsfällen dokumentierten, stellten sich als hilfreich für die Bepunktung im zweiten Durchlauf heraus. Da die Bepunktungsdurchläufe vom Autor selbst durchgeführt werden und da es um das konkrete Vorhandensein – bzw. die Absenz – eines Konzeptanteils im Sinne von dichotomem Merkmalen geht, also etwas, das relativ einfach zu entschieden ist, wird von der Berechnung einer Interrater-Reliabilität (vgl. Hammann/Jördens 2014:177ff, Wirtz/Kutschmann 2007:2ff) abgesehen. Zur Berechnung dieser gibt es unterschiedliche Koeffizienten, z.B. Cohens Kappa (vgl. z.B. Hammann/Jördens 2014:177, Wirtz 2019), Cronbachs Alpha (vgl. z.B. Gablasova 2015:67), Krippendorffs Alpha (vgl. z.B. Hayes/Krippendorff 2007) oder Spearmans Rho (vgl. z.B. Gablasova 2015:67), deren Aussagekraft und Einsatzgebiete Objekte wissenschaftlicher Debatten sind (vgl. z.B. Hayes/Krippendorff 2007, Hammann/Jördens 2014:177ff, Wirtz/Kutschmann 2007). Zudem treten bei den erneuten Bepunktungen, wie oben erwähnt, nur vereinzelt Abweichungen auf, die dann jeweils aufzulösen waren. Die Bepunktungen sind in Anhang A15.3 zu finden, die Definitionen, nach Konzeptanteilen aufgetrennt, finden sich in den folgenden Abbildungen, Abb. 85 bis Abb. 89, bzw. A15.4.

15.4 Ergebnisse

Auf den folgenden Seiten finden sich die erzeugten Netzdiagramme zu den Konzepten Chlorophyll, Kohlenstoffkreislauf, Licht und Photosynthese. Im Anschluss daran werden sie beschrieben (siehe Ergebnisse: Beschreibung). Aus Gründen der Übersicht werden die vier am wichtigsten erachteten Konzepte ausgewählt. Die anderen drei Konzepte, d.h. Glucose, Photokatalysator und Zellatmung, finden sich mit entsprechenden Kommentaren im Anhang A15.4.

15.4.1 Visualisierungen

Die Netzdiagramme der jeweiligen Untersuchungsgruppen werden nebeneinander gestellt, so dass ein vergleichender Blick möglich ist.

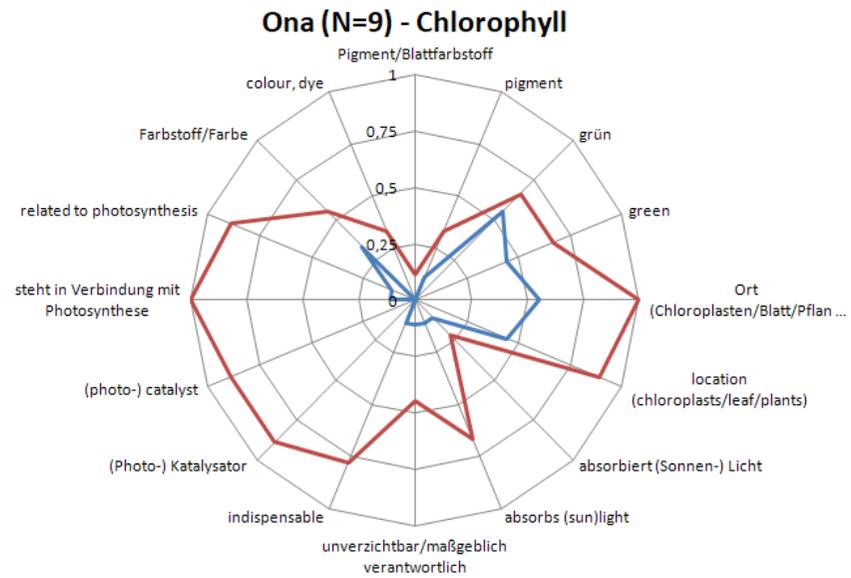
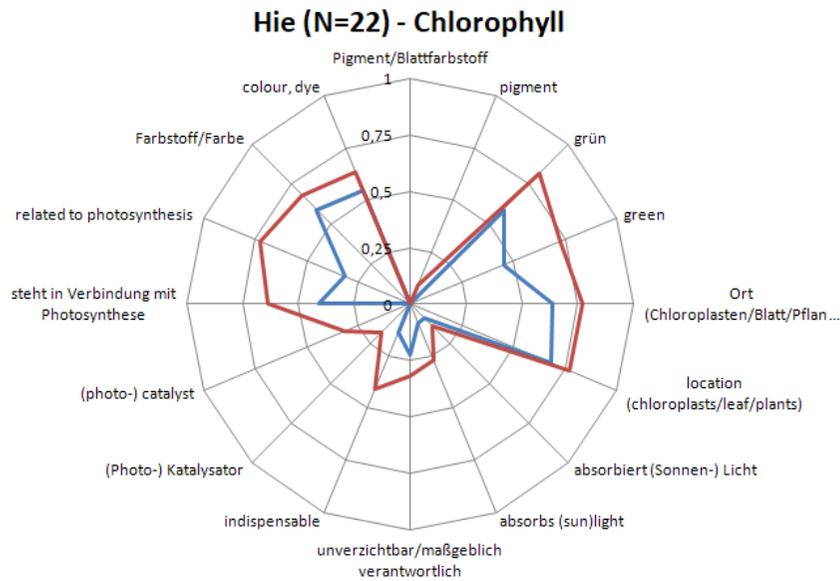
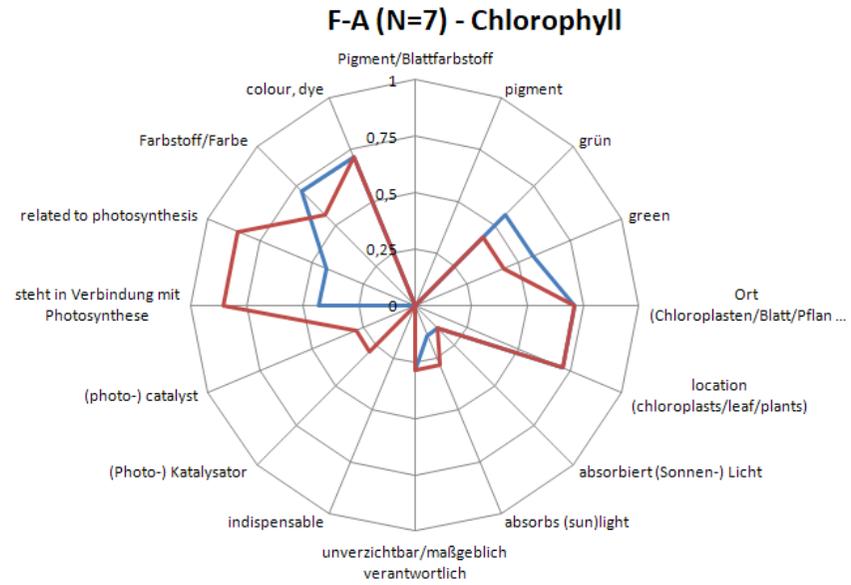
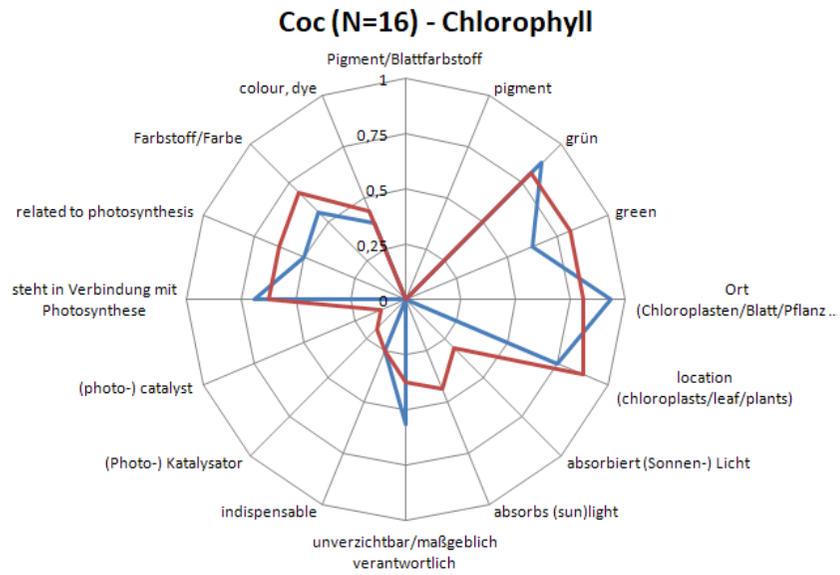
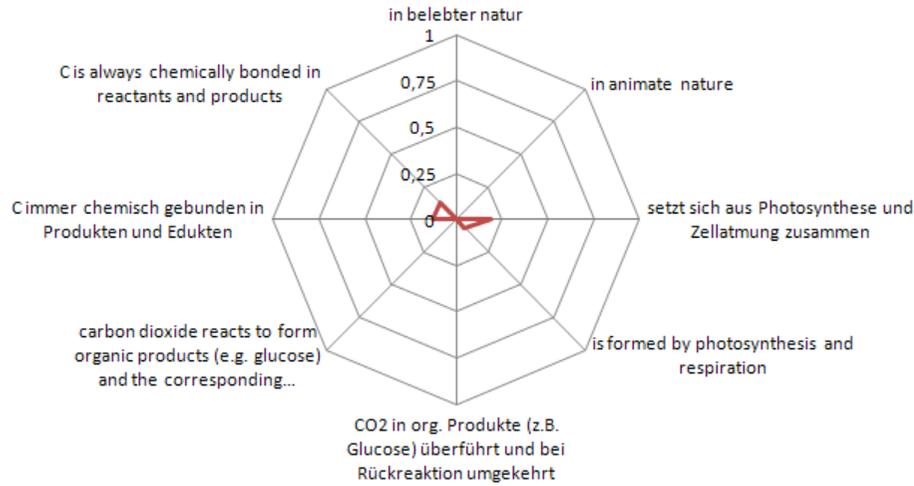
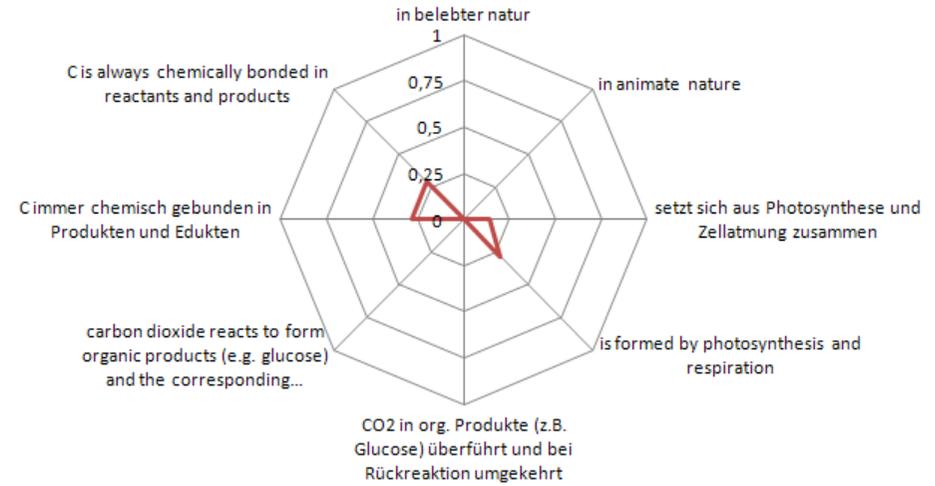


Abb. 85: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Chlorophyll (Vortest blau – Nachtest rot)

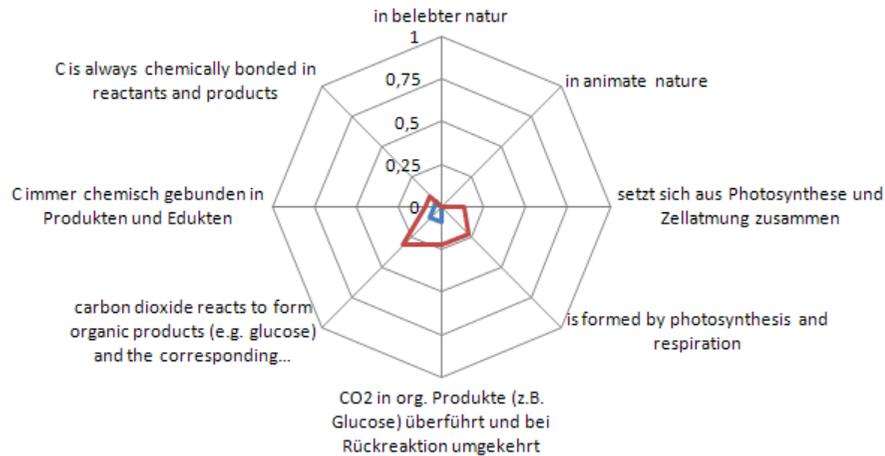
Coc (N=16) - Kohlenstoffkreislauf



F-A (N=7) - Kohlenstoffkreislauf



Hie (N=22) - Kohlenstoffkreislauf



Ona (N=9) - Kohlenstoffkreislauf

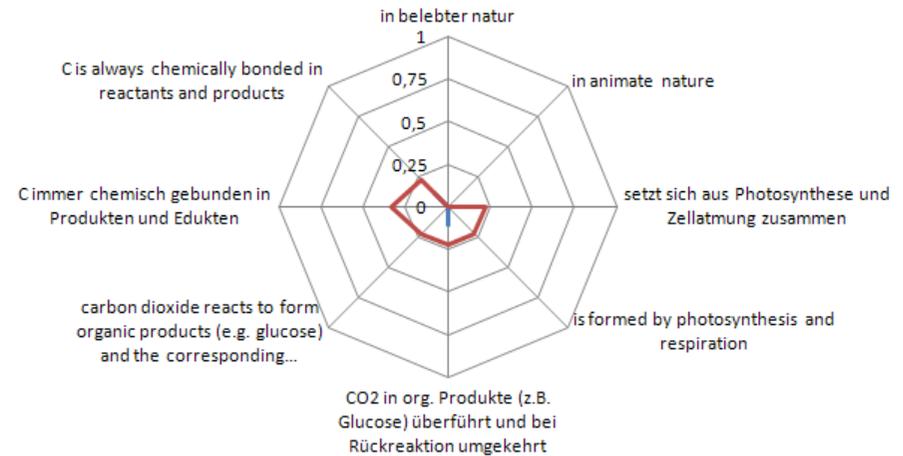
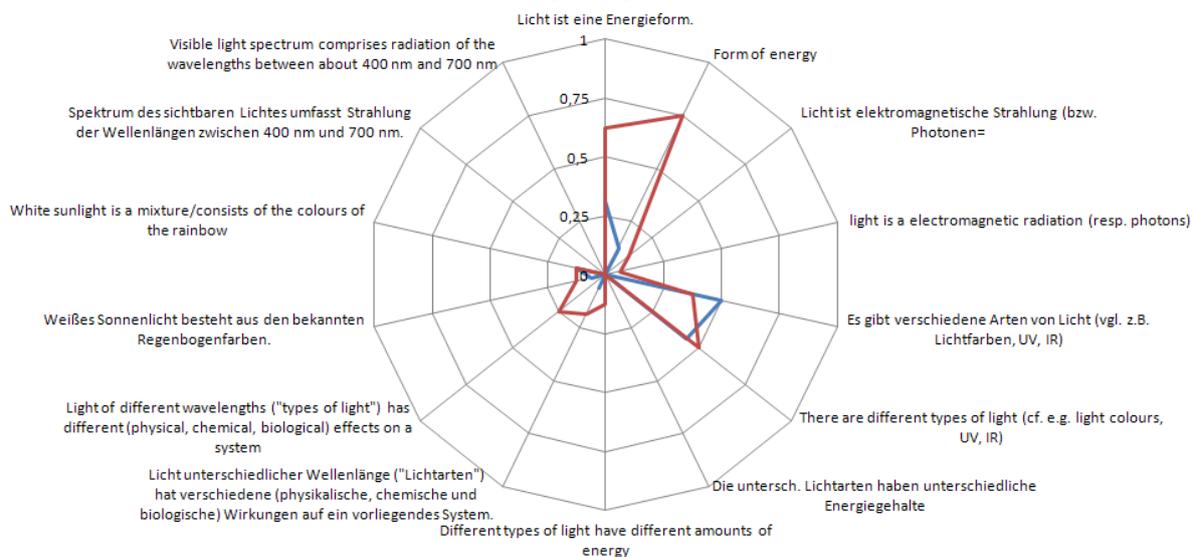


Abb. 86: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Kohlenstoffkreislauf (Vortest blau – Nachtest rot)

Coc (N=16) - Licht



Hie (N=22) - Licht

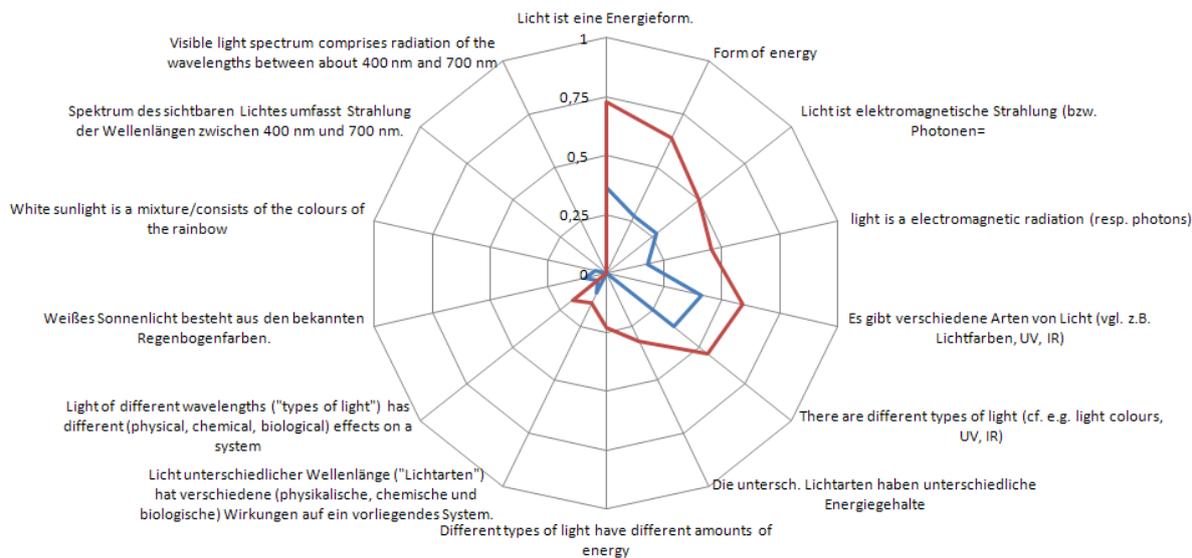


Abb. 87: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc und Hie; Fokus: Licht (Vortest blau – Nachttest rot)

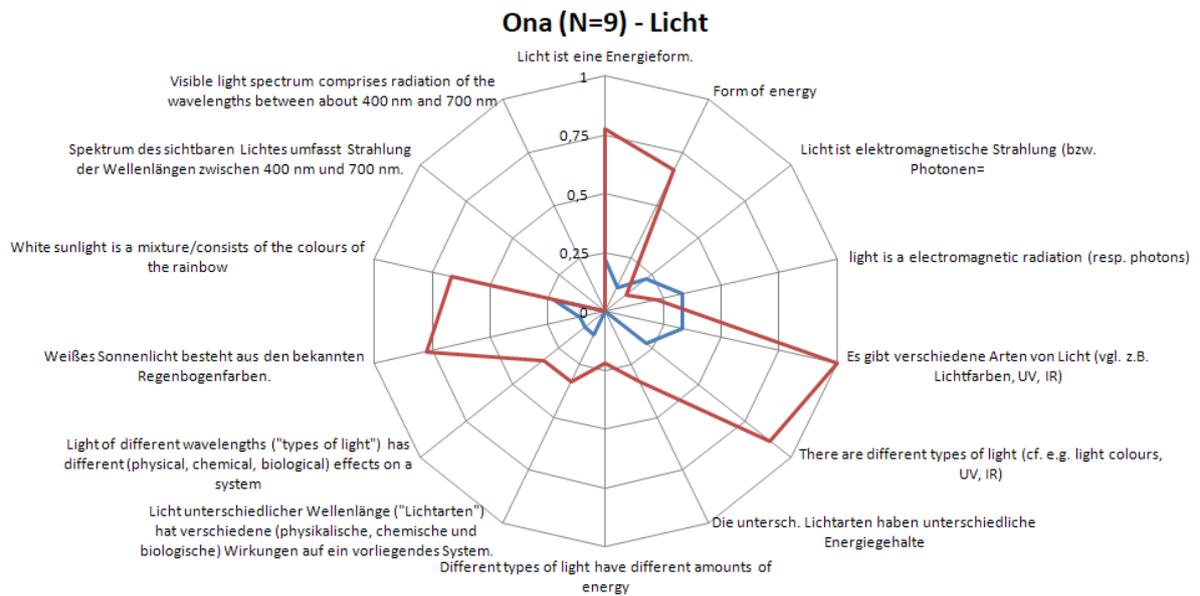
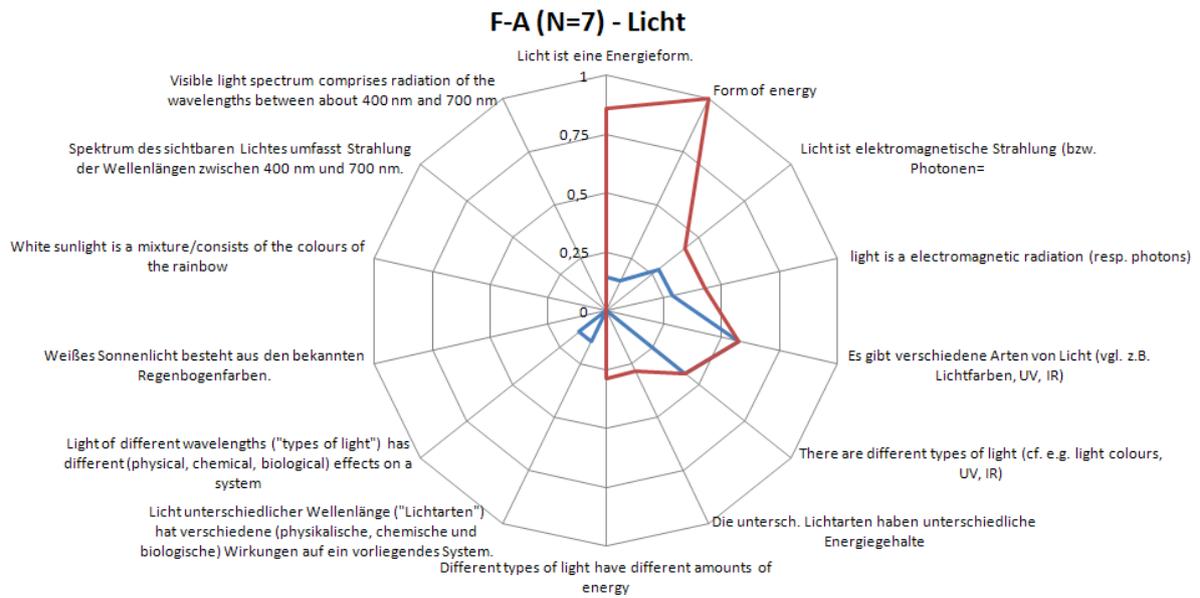


Abb. 88: Inhaltliche Auswertung der Gruppen F-A und Ona; Fokus: Licht (Vortest blau – Nachtest rot)

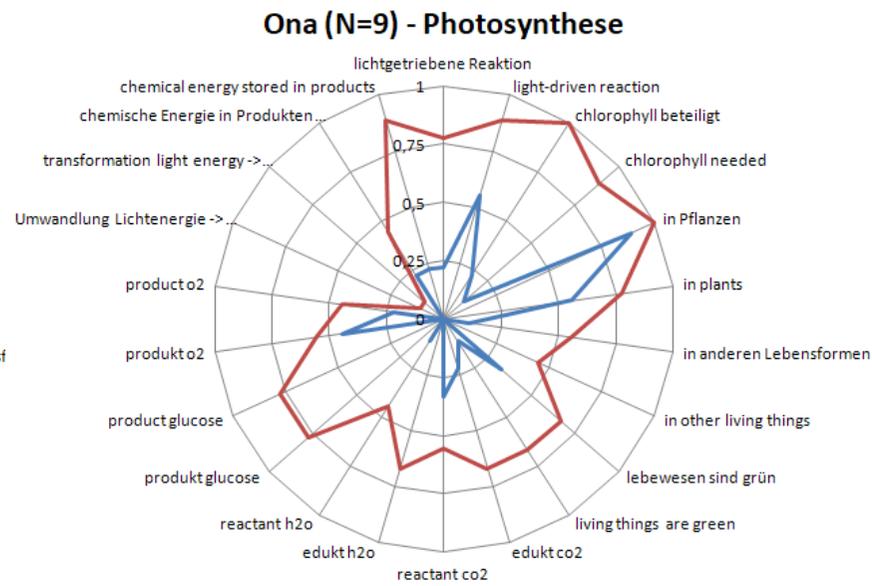
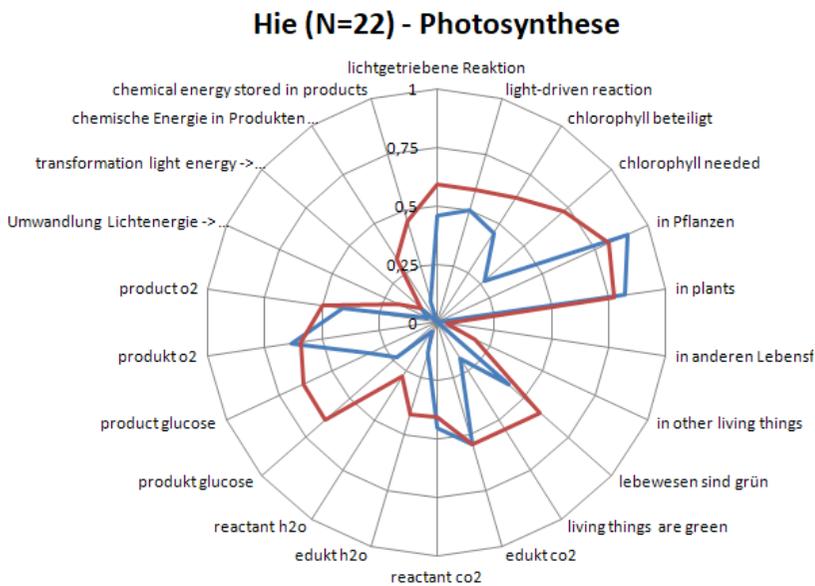
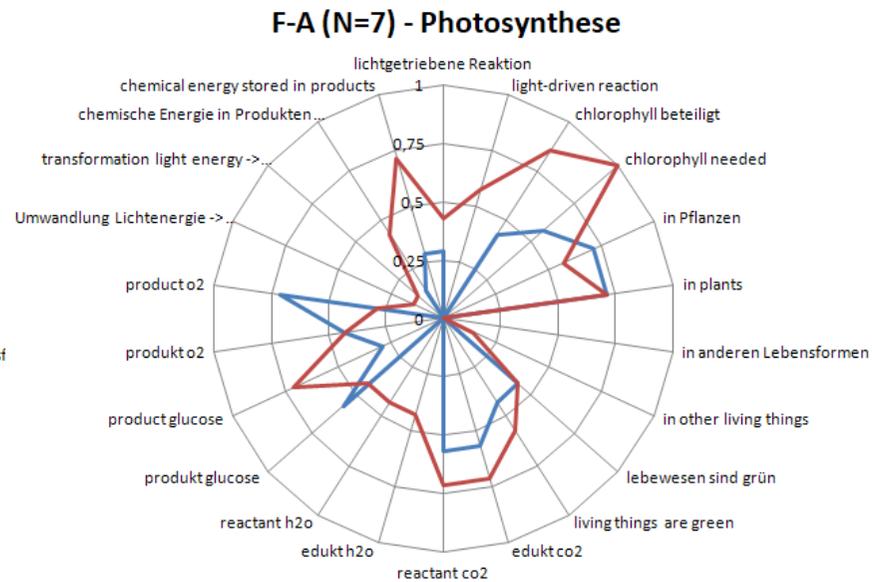
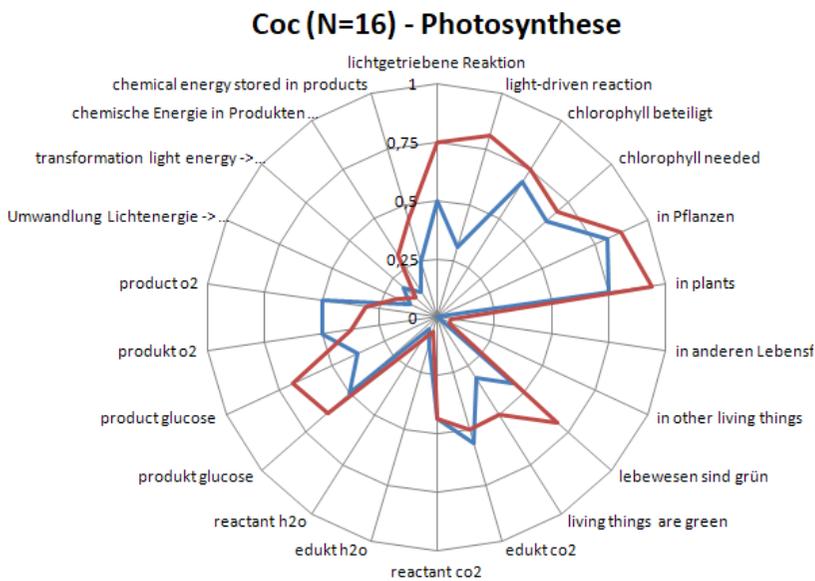


Abb. 89: Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Photosynthese (Vortest blau – Nachtest rot)

15.4.2 Beschreibungen

In den Netzdiagramm-Beschreibungen wird nun Augenfälliges hervorgehoben. Dazu gehört mehrheitliches Vorwissen, d.h. der betrachtete Aspekt muss bei mindestens der Hälfte der Versuchspersonen vorkommen, in den Netzdiagrammen also mindestens bei 0,5 liegen. Relevante Befunde unterhalb dieser Schwelle werden entsprechend gekennzeichnet. In den Beschreibungen wird auf die Inhalte verwiesen und dann erst im zweiten Schritt auf sprachliche Betrachtungen abgehoben.

15.4.2.1 Chlorophyll

In den vier Gruppen herrscht mehrheitliches Vorwissen in den Bereichen grün und Ort vor (vgl. Abb. 85). Der Aspekt Farbstoff ist zudem bei Coc, Hie und F-A vertreten. Bei Coc ist auch der Bezug zur Photosynthese genannt. Die Zunahmen im Nachtest betreffen bei allen Gruppen außer Coc den **Bezug zur Photosynthese**. Weitere, jedoch nicht mehrheitlich vertretene Zuwächse bei allen betreffen die **Lichtabsorption**. Bei Ona wird dies von drei Vierteln der Proband*innen genannt, bei allen anderen Gruppen sind es zwischen etwa ein Viertel und der Hälfte. Leichte Zunahmen zum Bezugspunkt Katalyse liegen bei Hie und F-A vor (Nennungen bei jeweils ca. einem Viertel), doch bei Ona sind es fast alle Proband*innen, die diese Verbindung herstellen. Bezüglich der Unverzichtbarkeit weist die Gruppe Ona starke Zuwächse auf, wohingegen dieser Aspekt wiederum nur sehr dezent bei Hie und F-A Berücksichtigung findet (ca. ein Drittel bis die Hälfte) und bei Coc verliert (von über der Hälfte auf einen Wert von etwa einem Drittel). Weitere auffällige Zuwächse gibt es bzgl. der Farbe Grün bei Hie und Ona und bzgl. des Ortes bei Ona. Auffällig ist insgesamt, dass im Vergleich zwischen Vor- und Nachtest die Zuwächse bei Coc am geringsten ausfallen, da die Bepunktung im Vortest bereits relativ stark ausgeprägt ist. Bei Ona sind die Zuwächse insgesamt am größten. Hier gibt es insgesamt am wenigsten Vorwissen, doch auch das Ausmaß der Nachtest-Bepunktung ist in vielen Bereichen deutlich höher als bei den anderen Gruppen. Zudem ist es die einzige Gruppe, in der die Katalyse und der Bezug zur Unverzichtbarkeit am stärksten ausgeprägt sind. Die Werte für die Farbe sind hier etwas weniger stark ausgeprägt als bei den anderen, jedoch gibt es stattdessen einen höheren Ausschlag im Bereich der Pigmente (ca. ein Drittel).

Es fällt auf, dass die Werte für die deutsche bzw. englische Entsprechung eines Konzeptanteils sehr häufig nicht identisch hoch sind. Während die meisten im etwa gleichen Bereich zu verorten sind, treten allerdings auch deutliche Unterschiede auf. Sie werden hier aufgelistet: Für Coc betrifft das die inhaltlichen Vorstellungsanteile von grün/green, den Ort, die Unverzichtbarkeit, den Bezug zur Photosynthese und die Farbe (alles Vortest, VT) sowie die Absorption von Licht (Nachtest, NT). Bei Hie betrifft dies die Lichtabsorption und die Photokatalyse (jeweils NT), bei F-A die Lichtabsorption und die Unverzichtbarkeit (VT, NT), und bei Ona neben Lichtabsorption und Unverzichtbarkeit auch die Farbe und den Blattfarbstoff (jeweils NT). Im VT betrifft es bei Ona zudem die Farbe.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass die Gruppe Coc um das ausgeprägteste Vorwissen verfügt und dass die meisten Zuwächse im Bereich **Photosynthese-Bezug** und **Lichtabsorption** vorliegen, wobei die Gruppe Ona hier, wie auch bei anderen Aspekten, die höchsten Zuwachsraten und die höchsten finalen Werte aufweist. Der Bereich Blattfarbstoff bleibt wenig berücksichtigt. Abschließend fällt auf, dass die englische bzw. deutsche Versprachlichung jeweils anteilig stark unterschiedlich verläuft. Bei allen Gruppen betrifft dieses bspw. im Nachtest stets den Vorstellungsanteil der Lichtabsorption. Hier ist stets der Wert für die englischsprachige Realisation höher. Allerdings ist diese Beobachtung nicht auf die anderen unterschiedlich ausgeprägten Werte übertragbar.

15.4.2.2 Kohlenstoffkreislauf

In den Gruppen herrscht sehr wenig Vorwissen vor (vgl. Abb. 86). In den Nachtests gibt es ganz leichte Zuwächse, die nur knapp über die ein Viertel-Grenze reichen. Diese betreffen bei allen vier Gruppen die Zusammensetzung des natürlichen Kreislaufes aus Photosynthese und Zellatmung. Die chemische Bindung von C-Atomen findet sich bei Coc, F-A und Ona. Bei Hie und Ona wird die allgemeine Umsetzung von Kohlenstoffdioxid in organische Produkte thematisiert. Die Ausprägungen von englischen und

deutschen Entsprechungen sind in ähnlichen Bereichen zu verorten, wobei immer wieder auch kleinere Abweichungen vorliegen (z.B. Coc und Hie: Zusammensetzung aus Photosynthese und Zellatmung).

Insgesamt ist festzustellen dass die Gruppe Ona das ausgeprägteste NT-Netzdiagramm aufweist, wobei die Werte niedrig ausfallen. In allen Netzen fehlt ein Verweis auf die belebte Natur. Die Zuwächse basieren auf sehr wenig Vorwissen. Die englischen und deutschen Entsprechungen weisen meistens vergleichbare Werte auf, wobei vereinzelt Asymmetrien zu verzeichnen sind.

15.4.2.3 Licht

In zwei Gruppen, Coc und F-A, herrscht mehrheitliches Vorwissen zum Aspekt der Lichtarten vor (vgl. Abb. 85 bis Abb. 88). Ähnlich ist es, mit Abstrichen, bei Gruppe Hie. Die Netzdiagramme aller Gruppen sind ansonsten von wenig Vorwissen geprägt. Allenfalls in den Bereichen Energieform (Coc, Hie) und elektromagnetische Strahlung (F-A, Ona) liegt noch versprachlichtes Vorwissen vor – das allerdings nur bei anteilig wenigen Versuchspersonen (zwischen einem Viertel und der Hälfte der Versuchspersonen).

Die Zunahmen im Nachtest betreffen bei allen Gruppen den Bereich Energieform: Sie sind derart groß, dass sie nicht unter knapp drei Viertel aller Versuchspersonen beginnen (vgl. Hie), doch teils alle Versuchspersonen umfassen (vgl. F-A). Sehr auffällig sind die Zuwächse bei Ona: Hier nennen alle Proband*innen die Lichtfarbe und viele die Tatsache, dass sich weißes Licht aus verschiedenen Farben zusammensetzt. Diese beiden Bereiche sind im Deutschen wie im Englischen stark ausgeprägt. Die Nennung des weißen Lichtes als Farbmischung führt keine andere Gruppe in derart starkem Maße an – sehr geringe Zuwächse, d.h. bis zu einem Viertel, sind jedoch bei Coc und Hie zu bemerken. Auch ist nur bei der Gruppe Hie noch eine Zunahme im Bereich der verschiedenen Lichtfarben zu bemerken, wohingegen diese Werte bei den anderen Gruppen stagnieren. Vereinzelt gibt es noch Zunahmen, die mehrheitliches Wissen abbilden: Hier ist der Aspekt elektromagnetische Strahlung bei Hie zu nennen. Geringere Zunahmen, d.h. bis zu einem Wert von etwa einem Drittel, gibt es bei der Wirkung von Licht (vgl. Ona und, mit Abstrichen, Coc sowie Hie und F-A) und seinem Energiegehalt (vgl. Ona und, mit Abstrichen, Hie und F-A sowie, mit weiteren Abstrichen, Coc).

Die Werte für die deutschen und englischen Entsprechungen von Konzeptanteilen sind meist ähnlich hoch, wobei auch deutlichere Unterschiede vorliegen, die bei Coc die Energieform (VT), bei F-A die Lichtarten (VT und NT) und bei Ona die elektromagnetische Strahlung und die Lichtarten (jeweils VT und NT) betreffen.

Insgesamt ist festzustellen, dass der Aspekt des Lichtspektrums unberührt bleibt und dass bei unterschiedlichem Vorwissen, das nur ausgewählte Anteile betrifft, hauptsächlich der Bereich der **Energieform** Zuwächse erfährt. Alle Netzdiagramme sind im Nachtest ferner im Bereich der **Lichtarten** ausgeprägt. Auffällig ist die starke Zunahme im Bereich Lichtmischung bei der Gruppe Ona. Die englischen und deutschen Entsprechungen weisen meistens vergleichbare Werte auf, wobei vereinzelt deutliche Asymmetrien zu verzeichnen sind.

15.4.2.4 Photosynthese

Das Vorwissen in diesem Konzept ist je Gruppe sehr unterschiedlich (vgl. Abb. 91). Allen Netzdiagrammen ist das mehrheitliche Wissen um den Ort, Pflanzen, gemeinsam. Die Aspekte lichtgetriebene Reaktion und Produkt Sauerstoff werden von jeweils drei Gruppen angegeben (Licht: alle außer F-A; Sauerstoff: alle und Ona mit leichten Abstrichen). Zwei Gruppen weisen Wissen zur Chlorophyll-Beteiligung auf (Coc, F-A), dazu die Gruppe Hie mit leichten Abstrichen – die Gruppe Ona hat hier lediglich Werte unter einem Viertel. Allerdings teilen alle vier Gruppen Fehlstellen bzgl. der Aspekte der Umwandlung von Lichtenergie, des Edukts Wasser und der Tatsache, dass sich auch andere Lebensformen photosynthetisch betätigen können.

Alle vier Gruppen weisen im Nachtest zusätzlich zum Ort Pflanze mehrheitliches Wissen in vier Bereichen auf: lichtgetriebene Reaktion, Chlorophyll-Beteiligung, Edukt Kohlenstoffdioxid, Produkt Glucose, grüne Farbe). Zu nennen ist in diesem Kontext auch der Aspekt der Speicherung von Energie in Photosyntheseprodukten: Die Gruppen F-A und Ona weisen hier Werte deutlich über der Hälfte der

Proband*innen auf und die Gruppen Coc und Hie weisen Werte auf, die nur knapp unter der Hälfte liegen. Der Bereich Sauerstoff liegt nun bei drei Gruppen mehrheitlich vor, wobei dieser Bereich bei Coc einen Rückgang auf etwa ein Drittel aller Versuchspersonen erfahren hat; auch bei F-A gibt es Rückgänge, mit Abstrichen ebenfalls bei Hie. Die Zuwächse für die Gruppe Ona in diesem Bereich liegen etwas unter denjenigen der anderen Reaktionsteilnehmer. Bei allen Gruppen fehlt weiterhin der Aspekt der Energieumwandlung.

Auffällig sind die starken Zuwächse bei Ona, die die acht Konzeptanteile lichtgetriebene Reaktion, Chlorophyll, in anderen Lebensformen, die Farbe Grün, die Edukte Kohlenstoffdioxid und Wasser, das Produkt Wasser und die Speicherung von Energie in photosynthetischen Produkten umfassen.

Die Werte für die deutschen und englischen Entsprechungen von Konzeptanteilen weisen bei in der Regel ähnlichen Werten immer wieder auch Asymmetrien auf, die mehrheitlich die Nachttests betreffen. Bei Coc betrifft es in den VT die lichtgetriebene Reaktion und die Farbe Grün. In den NT umfasst es neben der Farbe Grün sowohl die Energiespeicherung als auch das Produkt Glucose. Bei Hie betrifft es im VT die Aspekte Chlorophyll, die Farbe Grün und das Sauerstoff. In den NT tangiert es die Energie in Produkten, das Produkt Sauerstoff und die Edukte Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die Gruppe F-A weist im VT Asymmetrien bzgl. der Aspekte Sauerstoff, Glucose und Chlorophyll auf und in den NT bei Energie in Produkten, lichtgetriebene Reaktion, Chlorophyllbeteiligung, Pflanzen, die Farbe Grün und das Produkt Glucose. Ona schließlich weist im VT Asymmetrien im Bereich lichtgetriebene Reaktion, Pflanzen, Farbe Grün und Produkt Sauerstoff auf. In den Nachttests betrifft es die Bereiche chemische Energie in Produkten, Pflanzen, Edukt Wasser und Produkt Sauerstoff. Bei allen betrifft die Asymmetrie also stets die chemische Energie in den Produkten.

Es bleibt festzuhalten, dass auf Basis komplexen, teils recht umfänglichen Vorwissens Netzdiagramme entstehen, die alle von ausgeprägten Konzeptanteilen in den Bereichen Pflanze, lichtgetriebene Reaktion, Chlorophyll, Farbe Grün, Edukt Kohlenstoffdioxid, Produkt Glucose sowie, mit Abstrichen, der Energiespeicherung in den Produkten, gekennzeichnet sind. Eine **Fehlstelle bleibt im Bereich der Lichtumwandlung**. Die Bedeutung von **Sauerstoff als Reaktionsprodukt** ist relativ wenig ausgeprägt, nimmt gar ab. Die größte Netzdiagrammausprägung findet sich bei der Gruppe Ona. Die englischen und deutschen Entsprechungen weisen oft ähnliche Ausprägungen auf, jedoch sind einige Asymmetrien zur erkennen. Diese betreffen bei allen Gruppen den Aspekt der Speicherung von Energie in photosynthetischen Produkten.

15.5 Diskussion

Eine Literaturrecherche im Vorfeld dieser Studie (vgl. Kap. 8.2) ergibt, dass das Thema Photosynthese aus Lernenden-Perspektive als inhaltlich schwierig und nicht besonders interessant angesehen wird. Ferner treten einige schwer veränderbare Fehlvorstellungen auf. In der Forschungsliteratur werden häufig inhaltliche Fehlstellen diagnostiziert, allerdings fehlen Erhebungen zur Absorption von Licht geeigneter Wellenlänge, zu photokatalytischen Vorgängen bzw. der Funktion des Pigments Chlorophyll. Die vorgenommenen Entwicklungen von Unterrichtsmaterialien durch Steigert (2012) tangieren diese Bereiche lediglich eher peripher, da sie auf Lernende der sechsten Klasse abzielen. Die Studien können also nur als grobe Anhaltspunkte dienen, um die in der vorliegenden Forschungsarbeit gewonnenen Ergebnisse zum Inhaltslernen einzuordnen. Auch der Vergleich mit dem Inhaltslernen anderen Erprobungen innovativer Module (z.B. Eilks 2005) oder bilingualer Chemie-Module (z.B. Hülnden 2014), auf die in Kap. 1.2 und 10.10.7 bereits verwiesen wird, ist schwer, da die jeweils verwendeten Erhebungsinstrumente stark variieren. Die Diskussion wird deshalb eher studienimmanenten Charakter haben. Die inhaltlichen Ergebnisse werden schwerpunktmäßig zueinander in Beziehung gesetzt und vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Modulplanungen reflektiert. Die Modulgrundlage der Gruppen Coc, Hie und F-A aus dem Jahr 2019 unterscheidet sich deutlich von derjenigen der Gruppe Ona aus dem Jahr 2020 (vgl. Kap. 10.1, 11.1 und 12.1). Weiterhin wird ein Blick auf die Modalnetze aus der Erhebung des Jahres 2018 (Gruppen Unt und Eur) geworfen (vgl. Kap. 10.6 und 10.7 sowie 10.7.1) und in die Diskussion mit einbezogen.

Die Netzdiagramme ermöglichen detaillierte Einblicke in die Ausprägung der Vorstellungsinhalte vor und nach dem BU Chemie-Modul. Es sei an dieser Stelle schon darauf hingewiesen, dass die

Ergebnisse der Gruppe Coc hier wie auch beim Sprachlernen wahrscheinlich auch deshalb variieren, weil aus schulorganisatorischen Gründen nicht immer alle Lernende am Modul teilnehmen konnten. Die Darstellung mit den Netzdiagrammen ist individuell für jede Versuchsperson möglich, doch geht es hier primär um Tendenzen, die die unterschiedlichen Lerngruppen betreffen. Zuerst ist festzuhalten, dass die Netzdiagramme der Gruppe Ona in der Regel deutlich stärkere inhaltliche Ausprägungen aufweisen als diejenigen der anderen Gruppen. Dies lässt auf die im Vergleich zu den vorherigen Modulen kognitiv aktivierende und von facettenreicherem Scaffolding geprägte Unterrichtsanlage in Form einer komplexen Kompetenzaufgabe nach Hallet (2012) schließen (vgl. Lipkowski 2015:89ff). Auch kann dieses auf das weiter gestiegene Interesse bzw. die Freude, das bzw. die die SuS während des Moduls erfahren (vgl. Kap. 13.11, 13.2.2 und 13.7), zurückgeführt werden. Diese Aspekte gelten als motivations- und lernförderlich (vgl. Schiefele/Schaffner 2015:163ff).

Insgesamt wird in allen Modulen Wissen in vielen bedeutenden Konzeptanteilen erworben, wie die oben in detaillierter Weise ausgeführten Ergebnisbesprechungen nachvollziehen lassen. Ein Blick auf die Netzdiagramme gibt zudem sofort Aufschluss über den Lernerfolg bzgl. des jeweils betrachteten Konzeptanteils. Die folgenden Wissensbestände sind bei allen Gruppen zu bemerken:

- Chlorophyll bedeutend für Photosynthese
- Chlorophyll absorbiert Sonnenlicht
- Chlorophyll wird an gewissen Orten konkret lokalisiert
- Glucose ist ein Photosyntheseprodukt
- Glucose ist eine bedeutende Energiequelle
- Licht ist eine Energieform
- es gibt verschiedene Arten von Licht
- ein Photokatalysator ist ein Stoff
- Licht aktiviert den Photokatalysator
- Photosynthese findet in Pflanzen statt
- Photosynthese ist eine lichtgetriebene Reaktion
- Photosynthese läuft unter Chlorophyllbeteiligung ab
- Photosynthese läuft in grünen Lebewesen (d.h. Pflanzen) ab
- ein Photosynthese-Edukt ist Kohlenstoffdioxid
- ein Photosynthese-Produkte ist Glucose
- durch Photosynthese wird chemische Energie in Produkten gespeichert

Besonders auffällig bei der Gruppe Ona sind neben den stärker ausgeprägteren o.g. Aspekten auch folgende zusätzliche inhaltliche Zuwächse:

- Unverzichtbarkeit des Chlorophylls
- Chlorophyll ist ein Photokatalysator
- Aufführen der Summenformel von Glucose
- weißes Licht ist eine Mischung aus Lichtfarben
- unterschiedliche Lichtfarben haben verschiedene Wirkungen auf ein System
- ein Photokatalysator beschleunigt chemische Reaktionen
- ein Photokatalysator macht chemische Reaktionen überhaupt erst möglich
- auch andere Lebensformen als Pflanzen betreiben Photosynthese

Diese Liste von dazugelernten Konzeptanteilen vergegenwärtigt das Lernpotential der Module, das in Teilen sicher noch ausbaufähig ist. Ein conceptual development im Sinne Pavlenkos (2009:140ff, 150ff, vgl. Heine 2014:228) findet statt, da neue Vorstellungsinhalte gelernt werden, die im Sinne der Konzeptäquivalenz in den Kulturräumen der L2 und der L1 vorliegen. Hier wäre es interessant, einen Vergleich zwischen monolingual und bilingual unterrichteten Versuchspersonen anzustellen um herauszufinden, inwiefern die sowieso schon schwierige Thematik (s.o.) noch weiter durch die Unterrichtssprache Englisch erschwert wird. Begrüßenswert sind die Zuwächse im Bereich Licht, die den in

den Voruntersuchungen identifizierten Vorstellungsschwierigkeiten begegnen (vgl. Skribe Dimec/Strgar 2017:64, Steigert 2011:31ff). Auf Basis der Zuwächse in der Gruppe Ona kann festgehalten werden: Licht ist eine Energieform, die die Photosynthese über die Aktivierung des unverzichtbaren Photokatalysators Chlorophyll antreibt. Der Aspekt der Transformation von Lichtenergie in chemische Energie wird in dieser Deutlichkeit nicht genannt, jedoch wird mehrheitlich formuliert, dass Glucose eine wichtige Energiequelle ist, sie in der Photosynthese generiert wird und dass bei der Photosynthese chemische Energie in den Produkten bereitgestellt wird. Diese Erkenntnisse erscheinen wichtiger, da hier die Funktion des Lichtes deutlich wird. Sie kann in eine Abfolge von notwendigen Schritten eingeordnet werden, und zwar denjenigen der Absorption durch den Photokatalysator Chlorophyll. Dieser erste Schritt bringt den Stein der photosynthetischen Prozesse erst ins Rollen und resultiert in chemischer Energie, die in den Produkten, Glucose als Transportform bzw. Stärke als Lagerform, vorliegt. Diese Zusammenhänge im Sinne einer vorliegenden kognitiven Struktur lassen sich nicht aus den Netzdiagrammen ablesen, doch dienen die genannten inhaltlichen Zuwächse auf Seiten der SuS als Anhaltspunkte für das durchschnittlich angebaute Wissen. Sie dienen als Indikatoren für das Lernpotential der Module. Ferner erinnern sie die Lehrkräfte daran, die unterschiedlichen Aspekte final noch einmal von SuS-Seite vernetzen zu lassen und auf das Gelernte reflektierend zurückzublicken, um dann Transferleistungen anzubahnen.

Die inhaltlichen Ausprägungen der Nachttests verdeutlichen auch, in welchen Bereichen der jeweilige Unterricht Schwerpunkte gesetzt hat. So wurde in der ersten Zyklusdurchführung deutlich, dass den Bereichen Licht und Katalyse mehr Aufmerksamkeit in Form von Aufgaben und Unterrichtszeit gewidmet werden muss. Dies schlägt sich positiv in den Netzdiagrammen der Gruppen aus dem Jahr 2019 nieder. Die weiteren Modifikationen sorgen für eine weitere Verstärkung in diesen Bereichen (vgl. die Werte von Ona): Das neu hinzugefügte Experiment zur Aufspaltung weißen Lichts in Lichtfarben findet im entsprechenden Konzeptanteil des Konzepts Licht Niederschlag. Ähnliches gilt für die weitere Fokussierung auf die Photokatalyse und den Photokatalysator Chlorophyll. Allerdings findet die Erkenntnis, dass nur gewisse Lichtfarben aus dem weißen Licht vom Photokatalysator absorbiert werden und diesen somit aktivieren, wenig Abbildung in den Ona-Diagrammen. Hier gilt es, die Ergebnisse aus dem ersten Experiment (weißes Licht aufspalten) noch deutlicher mit dem zweiten Experiment (nur gewisse Lichtfarben erzeugen den blauen Farbstoff in der zunächst gelben PBB-Lösung) in Verbindung zu bringen. Hier könnte auf den Energiegehalt der jeweiligen Lichtfarbe mithilfe des Spektrums abgehoben werden, wobei auch der Umgang mit dem Lichtspektrum geübt werden muss. Die LF (vgl. Kap. 10.9 und 10.10) und auch die wenig ausgeprägten Konzeptanteile zum visuellen Lichtspektrum (vgl. Abb. 87 bis Abb. 88) dokumentieren die fachmethodischen Schwierigkeiten direkt bzw. indirekt. Auch wäre es denkbar, an dieser Stelle mit Emissions- und Absorptionsspektren zu arbeiten, jedoch würde auch diese Standardsituation im physikalisch-chemischen Unterricht zunächst erschlossen werden müssen.

Die Konzepte Kohlenstoffkreislauf und Zellatmung sind bei allen Gruppen nur sehr oberflächlich ausgeprägt, wobei die Gruppe Ona bzgl. des letzteren Konzeptes etwas besser abscheidet. Die Betrachtung der Modalnetze der Gruppen Unt und Eur (vgl. Kap. 10.6, 10.7 sowie 10.7.1) liefert dahingegen Zunahmen gerade bei den Verknüpfungen Zellatmung, Photosynthese und Kohlenstoffkreislauf. In diesen Bereichen wurde das Material vom ersten Zyklus (Unt, Eur) zum zweiten Zyklus (Coc, Hie, F-A) kaum verändert. Es scheint den Proband*innen also eher leichter zu fallen, diese graphische Verknüpfung zwischen den Vorstellungsinhalten herzustellen, als diese produktiv und ganz ohne Hilfsmittel zu versprachlichen, wobei die Forschung explizit gerade auf Schwierigkeiten in diesem inhaltlichen Bereich verweist (vgl. z.B. Skribe Dimec/Strgar 2017 und Lin/Hu 2003). Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Thematik an sich mit vielen Lehr-Lern-Schwierigkeiten behaftet ist (vgl. Steigert 2012:31ff, Näs 2012:73ff). Hinweise dafür liefern auch die Analysen der verwendeten Fachsprache: Die Versprachlichung der Tatsache, dass Kohlenstoff-Atome stets chemisch gebunden in den organischen Edukten bzw. Produkten des Kohlenstoffkreislaufes vorliegen sorgt sowohl in der L2 als auch in der L1 für Probleme, so dass der Transport der inhaltlichen Informationen scheitert (vgl. Kap. 14.8.2 und 14.9.2 sowie Tab. 21). Die weitere relativ geringe Vernetzung des Begriffs carbon cycle bzw. des etwas besser vernetzten Begriffs respiration in den Modalnetzen verdeutlicht aber auch inhaltliche

Schwierigkeiten bzw. Fehlstellen bzgl. dieser Konzepte, ähnlich wie auch in den schriftlichen Definitionen. Wünschenswert wären in den Modalnetzen z.B. Verbindungen zu den am carbon cycle beteiligten Stoffen oder der respiration.

Das entsprechende Arbeitsblatt ws2_2018 wurde in den ersten beiden Zyklen an die forschend-entwickelnde Unterrichtsphase angegliedert (im Zyklus Sommer 2019 ist es als ws3 benannt). Beides wurde in den LF als besonders bedeutsam hervorgehoben, und insbesondere das Arbeitsblatt (vgl. Kap. 10.10.7, 10.10.1.4). Im dritten Zyklus (Ona) fiel dieser Teil des Moduls komplett weg. Während also die Fehlstellen im dritten Zyklus auch mit dem Fehlen dieser inhaltlichen Anteile erklärbar – und erwartbar – sind, ist dies für den Zyklus zwei und die Gruppen Coc, Hie und F-A nicht der Fall. An diesen Stellen wird also weiterer Optimierungsbedarf bzgl. des Moduls bzw. seines Einsatzes offenkundig. Hier gilt es, den Lernenden bei der Aufnahme und Sicherung der inhaltlichen Aspekte zu helfen. Ferner ist es wünschenswert, daran Aufgaben zur Versprachlichung der Inhalte mithilfe von Scaffoldingmaßnahmen zu knüpfen. Im Sinne von Selbsterklärungen-Aufgaben ist es denkbar, im gesamten Modul die Versprachlichung der jeweiligen Inhalte in englischer und/oder deutscher Sprache zu üben, so dass vertieftes fachliches wie sprachliche Lernen angeregt wird (vgl. Renkl 2015:21, Felten/Stern 2012:25ff). Dabei müssen diese Aufgaben so gestaltet sein, dass sie interessant sind. Dabei kann das „Was habe ich gelernt“-Arbeitsblattes, Stichwort epistemisches Schreiben, als eine Art der Umsetzungsmöglichkeit dienen, jedoch in sparsamer Weise (vgl. Kap. 10.10.1.9 zur Erprobung 2018 mit der Untersuchungsgruppe Unt) und ggf. in Kombination mit einem Sprachwechsel, wobei hier auf „motivationshinderliche Wiederholungen“ (Diehr 2016:74) verzichtet werden möge.

In allen Erprobungszyklen wurden zwar die miteinander in Beziehung stehenden Kreisläufe von Photokatalyse, Photosynthese und Zellatmung thematisiert, doch die Ergebnisse machen deutlich, dass dieses eher in oberflächlicher Weise geschehen ist und somit die SuS bzgl. ihres Wissenszuwachses wenig profitieren konnten. Hier bietet es sich an, diese durchaus komplexen Zusammenhänge, die die Stoff- und Energieumsätzen beinhalten, didaktisch aufzuarbeiten und neu in den Unterricht zu integrieren. Hierdurch könnten die explizit von Skribe Dimec/Strgar (2017:64) und Lin/Hu (2003:1541) identifizierten Schwierigkeiten bzgl. des Energieflusses bzw. der Stoffkreisläufe adressiert werden. Es ist z.B. denkbar, nach dem forschend-entwickelnden Experimentieren und dem Einsatz des Arbeitsblattes ws2_2018 (ws 3 im Modul Sommer 2019) die jeweiligen Kreisläufe auf submikroskopischer Ebene zu erforschen. Im Modellexperiment betrifft das die Zyklen Photokatalyse und Substrat. Diese können schrittweise bzgl. der stofflichen Umsätze und dann bzgl. der Rolle des Lichtes und der konkret ablaufenden chemischen Reaktionen sowie energetischer Aspekte rekonstruiert und versprachlicht werden. Zur Rekonstruktion der Prozesse könnte man mit dem Substratzyklus beginnen, ggf. sogar zunächst nur mit einem Halbkreis, der Reaktion des farblosen Stoffes zum blauen Produkt. Ähnliches könnte für die natürlichen Prozesse entwickelt werden, um final eine Modellkritik vorzunehmen. Einige Ideen sind im Photo-LIKE-Material von Gökkuş née Yurdanur (vgl. 2020:345) vorhanden, doch sie benötigen im Sinne der hier angerissenen methodisch-didaktischen Ideen noch einer konkreten Überarbeitung. Möglichen Umsetzungsvorschlägen wird an dieser Stelle nicht nachgegangen, doch sieht der Autor hier noch Potential für die Entwicklung konkreten Lehr-Lern-Materials.

Nicht nur das Thema Photosynthese stellt laut der fachdidaktischen Forschung die Lernenden vor Herausforderungen. Dies gilt auch für das Konzept Licht. Das Konzept weißes Licht ist auch nach unterrichtlichen Einheiten schwierig für die Lernenden, wie Haagen-Schützenhöfer festhält: „The results [of the presented research project] indicate that learners often lack an adequate concept of white light even after instruction in introductory optics. This seems to cause learning difficulties concerning colour phenomena“ (2017:1). Eine ähnliche Situation scheint auch bei den Versuchspersonen der aktuellen Studie vorzuliegen. Erst die Aktualisierung des Basiswissens zu weißem Licht als Mischfarbe und die darauf folgende Weiterarbeit mit den Mischfarben an sich und ihrer jeweiligen Wirkung auf die PBB-Lösung scheint wirkungsvoll zu sein, wie die Erfahrungen in der Gruppe Ona und die dortigen Ergebnisse, die als recht moderat ausgeprägt zu bezeichnen sind, zeigen. Man darf dies aber nicht unabhängig von der formulierten Leitfrage betrachten, die die Lernenden im Zuge der poster production beachten sollen. Hier wird explizit auf unterschiedliche Lichtfarben abgehoben, so dass von den Versuchspersonen auch explizit erwartet wird, sich mit diesem Thema auseinander-

zusetzen. Die Unsicherheiten mit weißem Licht werden auch in einem LF angesprochen. Die Versuchsperson zeigte sich verblüfft davon, dass der Farbumschlag von gelb nach blau nicht nur im Lampen- sondern auch Sonnenlicht stattfindet (vgl. LF 3, Z. 25-27). Insofern ist es für zukünftige Moduldurchführungen sinnvoll – egal in welcher der vorliegenden Versionen – zu überprüfen, ob die SuS im Sinne der key ideas (a)-(f) in Abb. 90 über anschlussfähiges Wissen verfügen oder welche Elemente ggf. in das Modul integriert werden sollten, um für das notwendige anschlussfähige Vorwissen zu sorgen. Im Fall der Gruppe Coc liegt relativ viel Vorwissen vor, doch scheint dieses im Bereich Licht, aber auch bzgl. des Kohlenstoffkreislaufs und der Photokatalyse, recht wenig anschlussfähig zu sein.

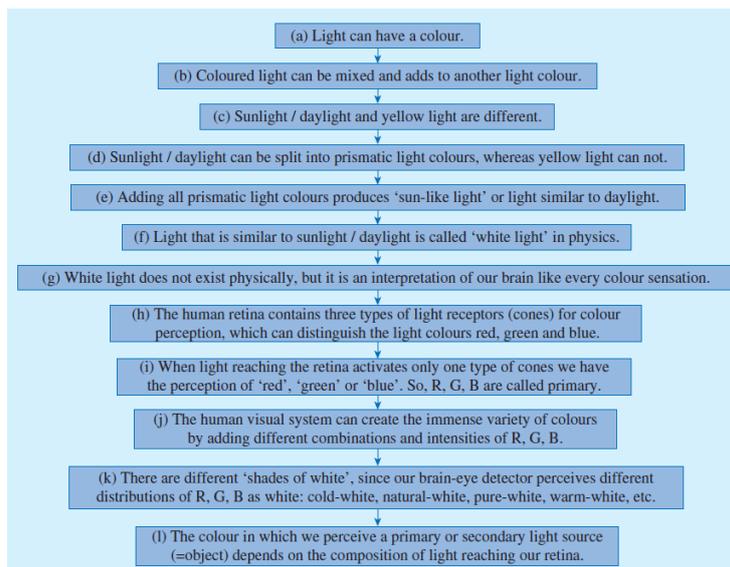


Abb. 90: Inhaltlich aufeinander aufbauende Sequenz zur unterrichtlichen Thematisierung von Licht, Lichtfarbe und weißem Licht (vgl. Haagen-Schützenhöfer 2017:6). Diese Bausteinabfolge wurde in einem praxisorientierten DBR-Projekt entwickelt (vgl. Haagen-Schützenhöfer/Hopf 2020)

Wenn das anschlussfähige Vorwissen vorliegt, ist zu erwarten, dass dann der Zusammenhang zwischen Lichtfarbe, Energiegehalt und Wirkung von mehr Versuchspersonen konstruiert wird. Die Versprachlichung der gewonnenen Erkenntnisse erfordert dann wiederum einschlägige Scaffolding-Maßnahmen, die bestenfalls mit sinnvollen (Selbsterklärungs-) Aufgaben einhergehen.

Im Sinne eines Spiralcurriculums Chemie mit Licht kann das Modul als ein Baustein dienen. Hieran anknüpfend können die Vorgänge der elektronischen Anregung als notwendige Voraussetzung für die Photosynthese vertieft und präzisiert werden, ggf. ähnlich der o.g. Rekonstruktion der verschiedenen gekoppelten Kreisläufe. Auch das Thema Farbigkeit kann anhand der notwendigen Farbigkeit von Proflavin und Chlorophyll bzw. des Substrats Ethylviologen, wie in Kap. 6.6 erläutert, aufgegriffen und integriert werden. Nächste Schritte können dann auf Basis der Lehrfilme „Ein Fall für zwei – Teil 2 von 2“ bzw. englischsprachig „A Case for Two – part two“ erfolgen.

Immer wieder treten vereinzelt inhaltliche Ausprägungsunterschiede bei Betrachtung der englischen bzw. deutschen Versprachlichung ins Relief. In den Fällen, in denen die deutschen Konzeptanteile im Schnitt höhere Werte bekommen, lässt es darauf schließen, dass für die Vorstellungsinhalte nicht in allen Fällen das notwendige englischsprachige Vokabular vorliegt. Im umgekehrten Fall kann Ähnliches für das notwendige deutschsprachige Vokabular gefolgert werden.⁵⁴ Vor diesem Hintergrund muss die Ausprägung der doppelten Sachfachliteratur als nicht gleich stark verstanden werden.

⁵⁴ Allerdings fließt möglicherweise als Variable auch mit ein, dass die Tests zunächst in englischer, dann in deutscher Sprache verschriftlicht worden sind. Duske erkennt diesen Einfluss bzgl. ihres deutsch-englischen Testvorgehens, das auf Multiple-Choice-, Zuordnungs- und freien Beschriftungsaufgaben basiert: „[D]ie Testergebnisse [liegen] im jeweils zuerst durchgeführten Wissenstest durchschnittlich höher als in der Gruppe, die diesen Test als Zweites durchführten“ (2017:156; zu ihrem Testvorgehen vgl. ibid.:114ff).

Die Diskussionen in Kap. 14.12 zum Sprachlernen untermauern diese Feststellung. Da Konzept-Äquivalenz für die betrachteten Vorstellungsinhalte besteht, liegt sowohl in der L1 als auch in der L2 potentiell eine konkrete konzeptionelle Repräsentation und auch eine konkrete Versprachlichung vor (vgl. Pavlenko 2009, Diehr 2016). Das conceptual development hat indes bei den Lernenden in einigen Anteilen stattgefunden, doch sind die Verbindungen zwischen dem gemeinsamen Konzept- und den beiden Wortspeichern nicht in gleichartig starker Weise ausgeprägt. Diese Ergebnisse bestätigen also die theoretischen Weiterentwicklungen, die Diehr für die IDM-Modellierung vornimmt. Die Konzepte sind nicht in regelmäßiger Weise unterschiedlich stark an die Sprachspeicher angebunden. Auch kann der L1-Wortspeicher nicht stets als größer ausgebildet angesehen werden, so dass auch die Verbindungspfeile zwischen L1- und L2-Speicher nicht in statischer Weise als unterschiedlich stark angesehen werden können (vgl. Diehr 2016:65ff).

Im Sinne eines backward planning (vgl. z.B. Hallet 2012, Gerlach/Goworr/Schluckebier 2012) sollten in zukünftigen Adaptionen des Moduls, neben den fachlichen Zielsetzungen und den dorthin vorzunehmenden Schritten, auch sprachliche Ziele bzgl. des Fachwortschatzes explizit formuliert werden. Dazu sollten auch explizite Übungsformen angeboten werden sowie das Anwenden des neuen Vokabulars auch neben einschlägigen Kollokationen während sprachproduktiver Phasen eingefordert werden (vgl. Diskussion zum Sprachlernen in Kap. 14.12).

Das Untersuchungsinstrument Definieren liefert wertvolle, differenzierte Erkenntnisse über das schriftsprachlich produktiv transportierte Wissen. Durch das Aufarbeiten der Definitionen mit einem Kategoriensystem werden die mentalen Repräsentationen für die jeweiligen Konzeptanteile nachvollziehbar. Im Vergleich mit den Concept Maps stellt dieses Instrument noch deutlicher Fehlstellen und auch sprachliche Herausforderungen heraus, da ein rein assoziatives Verbinden von vorgegebenen Konzepten eben nicht möglich ist. Auch liefern die Definitionen weniger gedankliche Anstöße und, bis auf das zu definierende Wort bzw. Konzept, keine weiteren Vokabeln, die in den Concept Map Anstoß zum Weiterdenken sein können. Schriftliche Erhebungen führen aber auch zu Einschränkungen (vgl. auch S. 193), wie Näs nach der Erhebung des Wissens von monolingual Unterrichteten zum Thema Photosynthese formuliert: „Most of the students demonstrated deeper knowledge in the guided interview compared to the written test“ (2012:87). Gemäß dieser Aussagen ist als zukünftig in Betracht zu ziehen, ob eine entsprechende Kombination von Erhebungsinstrumenten, d.h. schriftlicher Test bzw. schriftliche Definitionen, gefolgt von Interviews, vorgenommen wird. So könnten noch genauere Einsichten in die erworbenen Vorstellungsinhalte, aber auch in zusammenhängendes, vernetztes Wissen (s.o.), gewonnen werden, die den Teilnehmenden und ihren mentalen Repräsentationen noch gerechter werden. Näs schlägt ferner vor, auch Realia mit in die Interviewsituation zu bringen, um das vorliegende Wissen sichtbar zu machen (ibid.:88)⁵⁵. Sie stellt abschließend deutlich die Vorteile der mündlichen Austauschsituation heraus:

Written tests alone may not give an adequate indication of students' understanding of science; students need to be given opportunities to be assessed orally as well to clarify what the questions mean and explain their understandings. Developing a deep understanding of photosynthesis and respiration may not be as unattainable as indicated by international surveys if students are given the opportunity to reason with their teachers and classmates and, when using chemical formulas, to connect them to concrete material, such as branches and fruits. (Näs 2012:88)

In einem anderen Zusammenhang stellt die Forscherin heraus, dass schriftliche Ausführungen mehr Wissenschaftssprache („scientific language“) enthalten als mündliche Austauschsituationen (Näs/Ottander 2008:188). Auf diese Weise kann durch die Kombination von schriftlichen und mündlichen Instrumenten sowohl Fach- als auch Alltagssprachliches mit erhoben werden. Es wäre interessant, in späteren Untersuchungen Korrelationen zwischen sprachlichem und inhaltlichem Lernzuwachs zu untersuchen und hier auch explizit fachsprachliche wie auch alltagsprachliche Aspekte einzubeziehen.

⁵⁵ In den LF der Gruppe Unt in Erprobungszyklus 1, Jahr 2018, haben sich die mitgebrachten Unterrichtsmaterialien tatsächlich in der Weise bewährt, dass sie Reflexions- und Sprachanlässe boten.

Teil V – Ausblick

16 Zusammenfassung und Perspektiven

Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Betrachtung der Forschungsfragen. Nach Ausführungen zur Relevanz der Studie werden abschließend die Grenzen des vorliegenden Projekts thematisiert.

16.1 Zusammenfassung der Forschungsfragen

1. Welche innovativen experimentbasierten Materialien aus dem Fundus der Wuppertaler Chemiedidaktik bieten sich für einen Einsatz im BU Chemie an?

Dieser Forschungsfrage wird während der Vorstudie aus zwei Perspektiven nachgegangen: Erstens auf Basis einer Bedarfsanalyse unter Lehrpersonen im schulischen Feld und zweitens auf Basis einer Literaturrecherche (vgl. Kap. 8, vgl. auch Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde 2020).

Ausgehend vom Rücklauf der Bedarfsanalyse ergibt sich, dass die Akteure im Bereich BU besonders die Themenbereiche Photosynthese und Zellatmung favorisieren, also den Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur. Ein darüber hinaus gehender Bedarf für vielfältige weitere Themen, die durchaus auch klassische Chemie- und Biologiethemen betreffen, wird offenkundig. Zudem finden sich immer wieder Haftzettel mit handschriftlichen Vermerken auf den zurückgesendeten Erfassungsbögen, die Dank und Freude der teilnehmenden Lehrkräfte über die Entwicklung bilingualen Materials von Universitätsseite transportieren.

Das intensive Sichten einschlägiger fachdidaktische Forschungsliteratur dient dazu, die Erkenntnisse der Bedarfsanalyse – und somit die Relevanz der genannten Themenfelder – zu reflektieren. Auf Basis der nationalen und internationalen Literatur, die den Pflanzenstoffwechsel mit Schwerpunkt Photosynthese in monolinguaem Unterricht fokussiert, erhärtet sich der Eindruck der Relevanz, bilinguales Material für diesen Themenbereich zu entwickeln. Gleichzeitig bringt dieser fachdidaktische Blick auf das Thema Photosynthese/Zellatmung zutage, dass es in vielfältiger Weise als inhaltlich herausfordernd für SuS gilt und mit vielen Fehlvorstellungen verbunden ist. Diese Präkonzepte gelten zudem als schwer veränderlich, wobei experimentorientierte Unterrichtsreihen sich als lernförderlich herausstellen. Überdies weisen Forschende darauf hin, dass die jeweilige Schülerschaft dem Thema eher desinteressiert begegnet (vgl. Kap. 8).

2. Inwiefern eignet sich ein photochemisches Modul zum Kohlenstoffkreislauf in der belebten Natur als Einstieg in den BU Chemie?

Dieser Forschungsfrage wird im Hauptteil der Studie nachgegangen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Antwort hierzu in dreifach aufgeklärter Weise: Erstens auf Basis der SuS-Einstellungen, zweitens auf Basis ihres fremdsprachlichen und inhaltlichen Lernzuwachses und drittens auf Basis der Einschätzungen von Praktiker*innen, die das Modul selbst im Chemie- bzw. Biologieunterricht durchführen, wozu auch der Autor gehört, der selbst als Unterrichtender agiert. Die Hauptuntersuchung widmet sich drei vom Autor durchgeführten fachdidaktischen Forschungs- und Entwicklungszyklen in insgesamt fünf EF Chemie-Kursen in den Jahren 2018 bis 2020. Parallel dazu finden zu unterschiedlichen Zeitpunkten weitere Erprobungen statt (ein EF-Chemie-Kurs in RLP; ein Biologie-Kurs mit bilingualer Differenzierung Klasse 8 in NRW), wobei einige Unterfangen aus unterschiedlichen Gründen, u.a. pandemiebedingt, nicht zu Ende geführt werden konnten (d.h. Untersuchungen in Biologie- und Chemie-Kursen an einem Gymnasium in NRW und einer Gesamtschule in NRW); vgl. hierzu auch Abb. 36 auf S. 84.

Nun werden die Schwerpunkte der Ergebnisse, die die mehrheitlichen Rückmeldungen der Versuchspersonen skizzieren, in Bezug auf die Forschungsfrage dargestellt. Zunächst werden die Erkenntnisse zur Einstellung von Schülerschaft und Lehrpersonen zum Modul vorgestellt: Für alle SuS-Gruppen kann festgehalten werden, dass sie affirmativ dem Modul begegnen. Bereits im Leitfadenterview (Zyklus 1, 2018, vgl. hierzu auch das Zwischenfazit in Kap. 10.11) zeigt sich, dass die Teilnehmenden das Modul als bewältigbar hinsichtlich der inhaltlichen und sprachlichen Anforderung erfahren. Dies ist ein Indikator dafür, dass die Voraussetzungen im Sinne einer notwendigen sprachlichen Kompetenzschwelle gegeben sind. Die Modulkonzeptionen sind aus Teilnehmenden-Perspektive nachvollziehbar strukturiert und dabei von Abwechslungsreichtum sowie hilfreichen Scaffolding geprägt. Sie wecken bei den Teilnehmenden Interesse und Freude, die sich hauptsächlich

aus chemiespezifischen, aber auch aus sprachlichen Aspekten speist. Gerade das Experimentieren sorgt für ein positives Erleben. Zudem erhalten die SuS durch das Durchlaufen des Moduls positive Rückmeldungen bzgl. ihrer eigenen fremdsprachlichen und sachfachlichen Kompetenzen. Der inhaltliche Lernertrag wird als hoch eingestuft und die Wortschatzzunahme positiv hervorgehoben. Die Darstellungen in den Kapiteln 10.10.7, 10.11, 13.11 und 13.12 ergeben, dass die Module als kognitiv aktivierend und als eine große Lernbereitschaft hervorrufend eingeordnet werden, insbesondere dasjenige aus der letzten Erprobung (2020). In den Zyklen zwei und drei (2018 und 2019) wird ein Arbeitsblatt, ws2_2018 bzw. ws 3 im Sommer 2019, eingesetzt, das in den LF (2018) als sehr bedeutsam für die Verknüpfung von praktisch durchgeführtem Modellexperiment und der Analyse natürlicher Prozesse eingeschätzt wird. Optimierungsbedarf gibt es bzgl. der Aufgabenstellungen und des Lehrfilms. Die Sprachwechsel der SuS werden als Anlass genommen, das Scaffolding in vielfältiger Weise im Zuge der drei Entwicklungszyklen zu überarbeiten. Die Lehrer*innen-Rückmeldungen sind ebenfalls positiv, jedoch wird vom Chemielehrer aus RLP genannt, dass zukünftig lediglich einige Aspekte des Moduls integriert werden würden, da Zeitgründe dieses nötig machen. Ferner wird dem Modul (Zyklus 2, 2019) zuviel Spracharbeit bei dahingegen etwas zu wenig inhaltlichem Ertrag für die veranschlagte Zeitplanung attestiert. Die Biologie-Lehrer*innen blicken positiv auf das Modul und heben das PBB-Basisexperiment als bereichernd hervor. Sie würden dieses Experiment in den eigenen Biologieunterricht in der Sekundarstufe I und II integrieren, ggf. in modifizierter Form. Es bleibt festzuhalten, dass sich auf Basis der Teilnehmenden-Rückmeldung die Module eignen, wobei das Modul am Ende des dritten Zyklus (2020) mit Blick auf die vielfältigen Rückmeldungen am positivsten eingeschätzt wird. Indes kann das Modul zum Ende des zweiten Zyklus (2019) durchaus auch als ausgereift angesehen werden. Ebenfalls kann das PBB-Modellexperiment und das die experimentellen Prozesse aufgreifende Arbeitsmaterial als wertvoll für die Erkenntnisgewinnung über die Vorgänge der Photosynthese und Zellatmung herausgestellt werden. Das von Tausch genannte „Motivationspotential“ (2019:30, 275) photochemischer Inhalte tritt zudem deutlich zutage.

Hinsichtlich des sprachlichen Lernzuwachses zeigt sich, dass deutliche Zunahmen im Bereich der produktiv, d.h. aktiv verwendeten, fachspezifischen und bildungssprachlichen englischen Termini vorliegen. Dies wird zum einen anhand der Definitionen vor und nach den unterrichtlichen Interventionen in Zyklus zwei und drei (2019, 2020) deutlich. Zum anderen wird es auch an den von Duplikaten bereinigten Übersichten der neu hinzugekommenen englischen Wörter nachvollziehbar. Im Modul eignen sich die SuS also in individuell unterschiedlicher Weise relevantes Vokabular an, das allerdings als noch deutlich ausbaufähig angesehen wird. Die Zunahmen in bedeutsamen Bereichen der L2-Lexik können als Indikator für einen gewachsenen fachspezifischen und bildungssprachlichen Wortschatz angesehen werden. Damit einhergehend verweisen sie auf eine insgesamt gewachsene Fremdsprachenkompetenz der Lernenden. Wie die Ausführungen in Kap. 11.1 und 12.11 zeigen, hat sich die Modulkonzeption von Zyklus zwei (2019) zu Zyklus drei (2020) deutlich verändert, was positive Auswirkungen auf das produktiv verwendete Vokabular hat. In vielen Bereichen zeigt sich also der potentielle Nutzen der Module, insbesondere aber des Moduls aus dem Erprobungszyklus drei (2020), für das Erweitern des L2-Vokabulars. Zusammenfassend wird festgestellt, dass das Modul in seinem Potential für das sprachliche Lernen noch nicht ausgeschöpft ist, aber das Potential deutlich wird. Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Verweis auf den vorherigen Absatz, in dem das Vorliegen der fremdsprachlichen Schwellenkompetenz der Lernenden festgestellt und auch das aus Schüler*innen-sicht formulierte Kompetenzerleben thematisiert wird. Die Grundlage für vertieftes Vokabellernen kann vor diesem Hintergrund als gegeben angesehen werden. Es ist also bedeutsam, dass durch weitere Maßnahmen aus dem Bereich der Fremdsprachen-Fachdidaktik das Potential bzgl. des L1- und L2-Wortschatzwachstums weiter ausgebaut werden sollte.

Hinsichtlich des Lernzuwachses im inhaltlichen Bereich zeugen die Module der Erprobungszyklen zwei und drei (2019 bzw. 2020) davon, dass dort in vielen bedeutenden Anteilen der zu Grunde liegenden Konzepte des Themas Photosynthese/Zellatmung Wissen vermittelt wird: Sie betreffen zentrale Anteile u.a. in den Bereichen Chlorophyll, Glucose, Licht, Photokatalyse, Photosynthese-Edukte und –Produkte, sowie Energie. In Kap. 15 werden diese ausgestellt, wobei die Lernzuwächse des Moduls aus dem Jahr 2020 auf eine besonders ausgeprägte Lernförderlichkeit dieses Unterrichts

verweisen und auch weitere Konzeptanteile umfassen: Sie betreffen bedeutsame Inhaltsbereiche wie die Qualität von Licht und die Wirkung unterschiedlicher Lichtfarben auf ein System, Chlorophyll als unverzichtbarer Photokatalysator oder die Bedeutung von Photokatalysatoren für chemische Reaktionen. Das Lernpotential der Module zwei und drei wird offenkundig; mit Abstrichen gilt dies auch für das erste Modul (2018, vgl. hierzu auch das Zwischenfazit in Kap. 10.11), jedoch ist hier das auf Concept Mapping beruhende Erhebungsinstrument nicht so aussagekräftig wie das aus den Folgejahren (Definieren). Indes bleiben deutliche Leerstellen im Bereich der Zellatmung und des Kohlenstoffkreislaufes, aber auch anteilig im Bereich Licht. Den SuS scheint die Versprachlichung des Kohlenstoffkreislaufes schwer zu fallen. In Bezug auf die Leerstellen sind zukünftig von den Lehrern schwerpunktmäßig Veränderungen vorzunehmen, da insbesondere das Thema weißes Licht aus Sicht der Physik-Fachdidaktik auch als schwierig gilt. Es hat sich am Prisma-Experiment (Spaltung von weißem Licht in Lichtfarben) gezeigt, dass gewisse Einhilfen nötig sind, um notwendiges Vorwissen in diesem Bereich bereitzustellen – dieses könnte auf weitere Aspekte, die die Themen Zellatmung und Kohlenstoffkreislauf betreffen, ausgeweitet werden, bspw. durch Schwerpunktsetzungen im Unterrichtsgang, die noch intensiver mit den englischen oder deutschen Lehrfilmen arbeiten, aber auch durch Reflexion des notwendigen Vorwissens und entsprechend daraus abgeleitete Maßnahmen. Es bleibt festzuhalten, dass sich insbesondere die Module der zweiten und dritten Zyklen zum Einsatz in der EF Chemie eignen, da bedeutendes Lernen vorliegt, das auch die Bereiche umfasst, die in der fachdidaktischen Literatur als zu füllende Leerstellen herausgestellt werden. Das Lernpotential bzgl. umfassenderer Konzeptausprägungen ist indes noch nicht ausgeschöpft. Allerdings wird insgesamt auf breiter Basis (Einstellungen der Versuchspersonen und dem inhaltlich-fachlichen sowie fremdsprachigen Lernertrags) der Beweis der Eignung dieses innovativen, photochemischen Moduls aus der Wuppertaler curricularen Innovationsforschung (vgl. z.B. Tausch 2004, 2019, Bohrmann-Linde/Tausch 2021, Bohrmann-Linde/Meuter/Zeller et al. 2021, Gökkuş/Wilke/Pöloth et al. 2021) für den unterrichtlichen Einsatz im BU Chemie angetreten.

3. Welchen Einfluss hat das Modul auf das produktive bildungssprachliche und fachwissenschaftliche Vokabular als Anteil einer englischen Sachfachliterateität?

Dieser Forschungsfrage wird in den Unterrichtszyklen zwei und drei (2019, 2020) nachgegangen. Das mehrstufige Vorgehen nimmt zunächst die englischen Definitionen der beteiligten Gruppen in den Blick. Die erstellten Vokabelprofile machen deutlich, dass die deutlich längeren englischen Texte nach den Interventionen deutlich mehr Anteile an Bildungs- und Fachsprache aufweisen. Eine ähnliche Analyse der neu hinzugekommenen Wörter bringt zum Vorschein, dass bildungs- und fachsprachliche Anteile gut ein Drittel ausmachen. In der qualitativen Analyse der neu hinzugekommenen Wörter in den Definitionen der Lernenden finden sich sehr viele für das Modul relevante Vokabeln, jedoch werden diese nicht immer mehrheitlich verwendet und tauchen auch nicht in jeder Untersuchungsgruppe auf. Zusätzlich zu den vielen genuin neuen Wörtern findet sich eine Vielzahl von Kognaten in der L2-Lexik. Die Untersuchung des in den Definitionen mehrheitlich vorkommenden Vokabulars bringt hervor, dass die Anzahl der mehrheitlich verwendeten Vokabeln deutlich ansteigt und dass dieses Vokabular fast durchgängig von zielgerechter Qualität und hohem fachsprachlichen Anteil geprägt ist. Eine abschließende Analyse zur Gruppe Ona in Zyklus drei (2020) geht der produktiven Verwendung der angebotenen Glossareinträge in den englischen Definitionen nach. Hier zeigt sich, dass nur relativ wenige Einträge Einzug in die Definitionen finden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich ein sehr gemischtes Bild ergibt. In vielerlei, qualitativ und quantitativ recht unterschiedlicher, Weise wird die relevante Lexik aufgenommen und prägt die Texte der Versuchspersonen. Ein Vergleich mit anderen Lerngruppen, die zu anderen Themen BU wahrgenommen haben, ist nicht möglich, da die Untersuchungsinstrumente oder die Vergleichskorpora stark variieren. Ein studienimmanenter Vergleich macht deutlich, dass die Gruppe Ona aus dem dritten Zyklus (2020) die stärksten Zuwächse aufweist. Es ist insgesamt deutlich geworden, dass das Modul viele Lerngelegenheiten zur Aufnahme fachspezifischer und bildungssprachlicher Terminologie anbietet, dass jedoch das Potential – ähnlich wie auch im inhaltlichen Bereich – als lediglich anteilig ausgeschöpft angesehen werden kann. Diese

Erkenntnis verlangt danach, die Anlage des Moduls im dritten Zyklus aufrecht zu erhalten, jedoch die dortige Wortschatzarbeit im Modul weiter zu vertiefen.

4. Fokus doppelte Sachfachlateralität: Wird das neue englische Vokabular adäquat in der L1 versprachlicht? Welche Implikationen ergeben sich daraus für die Modellierung des mentalen Lexikons bilingual Unterrichteter, dem Integrated Dynamic Model (IDM) nach Diehr (2016)?

Dieser Forschungsfrage wird in den Zyklen zwei und drei (2019, 2020) nachgegangen. Anhand einer Auswahl an fach- bzw. bildungssprachlichen Termini, die in den englischen Nachtests neu produktiv verwendet werden, wird herausgestellt, inwiefern diese sich auch in den deutschen Nachtests der entsprechenden Versuchspersonen niederschlagen. Die Untersuchungsergebnisse stützen Diehrs (2016:64) Vermutung, dass ein automatischer Aufbau der Lexik in der L1 nicht stattfindet (vgl. hierzu auch das Zwischenfazit in Kap. 10.11). Eine Betrachtung von Definitionen von SuS, die nach Typ A bzw. C unterrichtet wurden, liefert Hinweise dafür, dass durch die Spracharbeit in der L1 eher eine korrekte Übertragung der betrachteten englischen Wörter ins Deutsche gelingt, als wenn diese funktionalen Sprachwechsel ausbleiben. Diese mit den Maßnahmen in Beziehung stehenden Befunde stützen also die Annahme, dass geplante Wechsel von der L2 in die L1 notwendig für den Ausbau der doppelten Sachfachlateralität sind (vgl. Diehr 2016:73). Unterstrichen werden sie dadurch von dem Befund, dass die Texte der nach Typ C Unterrichteten weniger von der L2 motivierte Ausweichphänomene aufweisen, als die Texte der nach Typ A Unterrichteten.

Diese Ergebnisse stützen auch die These der stärkeren Angebundenheit mancher der neuen, im BU Chemie erworbenen Inhalte an die englische Sprache (vgl. *ibid.*:71). Insofern sollten gemäß der Vorschläge von Diehr in der Tat keine unterschiedlich starken Wort-Konzept-Verknüpfungen zwischen Sprachspeichern und Konzeptspeicher modelliert werden (*ibid.*), wie es im MHM von Pavlenko (2009:147) noch vorgesehen ist. Somit bestätigt die vorliegende Studie diesen Anteil der Theorie- und Modellbildung zum bilingualen mentalen Lexikon im Sinne des IDM (vgl. *ibid.*) (vgl. hierzu auch das Zwischenfazit in Kap. 10.11).

Die Ergebnislage bestätigt ebenfalls die vorgenommene Weiterentwicklung der Sprachspeichermodellierung, die im Theoriegebilde des IDM als dynamisch dargestellt werden (*ibid.*). Während einige englische Wörter neu aufgenommen werden, jedoch nicht in der deutschen Sprache Abbildung finden, wächst also nur der L2-Speicher – der L1-Speicher hingegen in dieser Situation nicht. Folglich kann in diesen Fällen von einem asymmetrischen Wachstum gesprochen werden. Insofern kommt es hier zur „Dominanz des themenspezifischen Fachvokabulars“ (*ibid.*:70) bzw. des bildungssprachlichen Vokabulars in der L2 (vgl. hierzu auch das Zwischenfazit in Kap. 10.11).

Die Untersuchungen zur Verwendung von angebotenen Glossareinträgen bringen zutage, dass wenige Proband*innen hieraus Vokabular produktiv nutzen. Eine Übertragung der genutzten englischen Wörter in deutsche Äquivalente findet ebenfalls wenig statt – dies gilt auch für das Vokabular, das häufig im Lehr-Lern-Material angeboten wird. Insofern stützen diese Befunde die Zweifel Diehrs, dass sich „die doppelte Fachlateralität [...] durch die Verfügbarkeit bilingualer Vokabellisten einstellt“ (2016:73). Die hier wiederum auftretenden Kompensationsstrategien für nicht vorhandenes L1-Vokabular (vgl. Ausführungen oben; vgl. auch die SuS-Aussagen dazu in Kap. 13.9) indizieren einmal mehr die Fehlstellen im L1-Wortschatz und stützen obige Ausführungen zur asymmetrischen Entwicklung der Wortspeicher mit Vorteilen für den L2-Speicher. Insofern wird die theoretische Modellierung des IDM wiederum in diesen Anteilen bestätigt.

Es wird festgehalten, dass die vorliegende Studie Ergebnisse liefert, die die Theoriebildung Diehrs zum mentalen Lexikon bilingual unterrichteter SuS in zentralen Aussagen und Entwicklungsmomenten stützt. Ferner liefert sie Erkenntnisse dazu, dass der fach- bzw. bildungssprachliche L1-Wortschatz nicht automatisch in adäquater Weise in von der L2 dominierten Settings mitwächst (vgl. u.a. die Postulate in Diehr 2016, Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016a, vgl. auch die neuen Erkenntnisse in Holmberg 2019 zur Bildungssprache). Es bedarf dazu überdies mehr als das reine Angebot von bilingualen Glossaren mit Beispielsätzen (vgl. die Vermutungen in Diehr 2016). Die Untersuchung legt nahe, dass von der Lehrkraft initiierte funktionelle Sprachwechsel zu einer besser ausgebauten L1-Lexik führen (vgl. Postulate in Diehr/Preisfeld/Schmelter 2016a, Diehr 2016, Bohrmann-Linde 2016, Frisch 2016, Pavón-Váz-

quez/Ramos Ordóñez 2019). Allerdings zeigt Kap. 13.9, dass einige Schüler*innen von Situationen des funktionalen Sprachwechsels noch irritiert sind. Hier bedarf es offenbar noch Überzeugungsarbeit und Eingewöhnungszeit.

5. Welche Aspekte des sachfachlichen Inhaltslernens fördert das Modul in besonderer Weise?

Diese Forschungsfrage wird bereits näher im Zuge der Ausführungen zu Forschungsfrage 2 thematisiert und soll hier nicht noch einmal dargestellt werden. Allerdings soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die deutsch bzw. englisch versprachlichten Wissenszuwächse oftmals gleichartig groß sind, wobei einige Vorkommnisse von deutlichen Asymmetrien zu notieren sind. Auch dieses wird als Indikator dafür gewertet, dass die beiden Sprachen im BU Chemie nicht gleichartig ausgebildet werden. Folglich liegen somit weitere Befunde für die o.g., theoretisch angenommenen Asymmetrien der Wortspeicher-Entwicklungen im IDM (vgl. Diehr 2016) vor. Überdies unterstreichen sie zu einem gewissen Grad die ebenfalls dort angenommene stärkere Anbindung der Konzepte über die L2, wie auch die Notwendigkeit der umfassenderen Anbahnung von funktionalen Sprachwechseln.

16.2 Reflexionen zum PBB-Modellexperiment und dem unterrichtlichen Einsatz

Hier wird der Blick auf mögliche Optimierungsaspekte des Modellexperiments gerichtet. Die Grundlage hierfür sind eigene Beobachtungen aus der unterrichtlichen Praxis, SuS-Aussagen in LF und die vorliegenden Definitionen aus englischen sowie deutschen Vor- und Nachtests. Die in vorherigen Kapiteln durchgeführte Analyse des PBB-Experiments als Modellexperiment erlaubt eine Reflexion des PBB-Basisexperiments und seiner Varianten auf verschiedenen konkret voneinander trennbaren und jeweils auch benennbaren Ebenen. Insofern wird das Kategoriensystem von Sommer et al. (2017; vgl. Kap. 7.7) als Reflexionsinstrument betrachtet und bietet Orientierung für das identifizierte Weiterentwicklungspotential.

In den Ausführungen zum Modellexperiment, Unterkapitel 7.7.2 PBB-Basisexperiment (Lichtreaktion) und Photosynthese, wird der starke Modellierungsgrad des PBB-Modellexperiments deutlich. Im Zuge der durchgeführten explorativen Studie zeigte sich, dass auf der Ebene der Oberflächenmerkmale des Modellexperiments eine nicht intendierte Pseudo-Analogie zwischen Modellexperiment und Natur in der Farbe Grün konstruiert werden kann – das bedeutet, dass trotz gleicher Farbe keine Analogie auf der Ebene der Strukturmerkmale vorliegt: Während in der Natur das Pigment Chlorophyll grün ist, kann man beim Modellexperiment auch eine grüne Färbung beobachten, die sich aus den Farben Gelb (Lösung mit Proflavin) und Blau (den entstehenden EV**) mischt. Bei weiterer Bestrahlung wird die Lösung dann als blau bzw. dunkelblau bis fast schwarz wahrgenommen. So ähnlich beschreiben es immer wieder auch die Teilnehmenden während der Experimentierphasen und insbesondere dann, wenn der Sauerstoffeinfluss, d.h. das überstehende Luftvolumen, untersucht wird. Dort wurden Fläschchen mit unterschiedlichen Füllständen an gelber PBB-Lösung ausgegeben und bestrahlt. Hier bietet sich ein Anlass zur Reflexion, der unterrichtlich auch genutzt wurde, d.h. die Farbwahrnehmung grün wurde immer auch auf das Mischen von gelber Lösung mit darin entstehendem blauem Substrat zurückgeführt. In einem LF wird eben das von SuS-Seite auch thematisiert:

[I]ch wollte nur sagen, was daraus noch entstand. Wenn man das [die PBB-Lösung ist gemeint, RB] mit einem Licht mit hoher Energie angestrahlt hat, dann hat sich die Farbe verändert. Wenn man zum Beispiel UV-Licht benutzt hat, dann wurde die Farbe so - ich glaube das Endergebnis sollte blau sein - dunkelgrün, weil die Flüssigkeit ja gelb ist. Wir haben auch gemerkt, dass, wenn man das auf eine Herdplatte gestellt hat, dass es sich dann nicht verändert hat. (LF5, Pos. 29)

Im obigen Fall wurde also die Grünfärbung korrekt erläutert, allerdings ist die Aussage auch mit einem gewissen Grad an Unsicherheit verbunden: „ich glaube das Endergebnis sollte blau sein“.

Bei manchem Nachtest wird jedoch deutlich, dass einige wenige Teilnehmende davon ausgehen, dass grünes Chlorophyll während der Photosynthese entsteht bzw. die Photosynthese wird selbst mit einer Farbänderung in Verbindung gebracht – und weil Chlorophyll die einzig bekannte farbige

Substanz ist, wird dieser eine entsprechende Rolle zugeschrieben. Diese Vorstellungen tauchen bei drei SuS ganz neu auf: Während die Aussage der Schüler*in Hie42 im Nachtest Deutsch Unsicherheiten ob des farblichen Ursprungs aufweist („Chlorophyll ist für die Photosynthese verantwortlich. Es produziert auch den grünen Farbstoff in Pflanzen.“), werden die Fehlvorstellungen im Fall dieser zwei Proband*innen sehr viel deutlicher: Coc14 behauptet in beiden Nachtests klar, dass Chlorophyll während der Photosynthese entsteht. Auch die Aussagen von F-A12 weisen darauf hin, dass diese Person der Ansicht ist, dass während der Photosynthese eine Farbänderung stattfindet, für die das grüne Pigment Chlorophyll verantwortlich ist („Benötigt man bei der Photosynthese, damit die Pflanzen ihre Farbe ändern.“ / "It involves [sic] in photosynthesis, so the plants can change the colour.")

Mit Stachowiak gesprochen konstruieren manche Lernende einen Zusammenhang zwischen einem Attribut des Urbildbereiches (Chlorophyll ist grün) mit einer zufälligen Beobachtung während der Modellexperiment-Durchführung (kurzzeitig ist die PBB-Lösung grün), der sie die Qualität eines Bildbereich-Attributs zuschreiben. Trotz unterrichtlicher Einhilfen scheint die Pseudo-Analogie eine unüberwindbare Hürde für manche darzustellen. Sie haben Probleme, diesen Modellanteil von der Realität zu unterscheiden (vgl. Tausch 2019:97, Harrison/Treagust 1996).

Für einige wenige Versuchspersonen birgt die fälschlicherweise als Analogie aufgefasste Grünfärbung im PBB-Basisexperiment somit das Potential für Fehlvorstellungen, die aus dem Modellexperiment erwachsen können. Es ist gut möglich, dass auch bereits vorliegendes Alltagswissen diese Annahme untermauert, z.B. dass das Gras unter einem Zelt nach langer Zeit gelblich-weiß wird, also die Farbe Grün verschwindet, jedoch bei Lichteinfluss langsam wieder aufgebaut wird. Dies hat allerdings ursächlich nichts mit der Photosynthese an sich zu tun, sondern mit der Bildung von Chloroplasten durch Lichteinfluss (vgl. z.B. Yoo/Pasoreck/Wang et al. 2019). Dieses ist eine notwendig zu durchlaufende Vorstufe der Photosynthese, die als Bedingung für diese angesehen werden kann. Im Zuge der Modellkritik im Unterricht sollte die Lehrkraft also explizit das Zustandekommen der Grünfärbung im Modellexperiment adressieren und mit der Grünfärbung in der Natur kontrastieren.

Überdies ergeben sich hieraus mögliche Anknüpfungspunkte für weitere Forschungen. Mit Methoden wie lautes Denken und LF können die Lernenden-Vorstellungen eruiert und der vermutete Zusammenhang untersucht werden (vgl. z.B. hierzu den Ansatz von Kleinert/Isaak/Textor et al. 2021 in einem anderen unterrichtlichen Zusammenhang). Daraus können dann didaktische Konsequenzen auf unterrichtlicher Ebene gezogen werden. Ferner könnte an eine Anpassung des Modellexperiments gedacht werden und eine Veränderung des Oberflächenmerkmals (Farbveränderung Gelb nach Blau) in Richtung einer Farbe, die keine Pseudo-Analogie zum Chlorophyll aufkommen ließe, wäre wünschenswert. Dies kann aber bei Betrachtung der notwendigerweise einzubeziehenden Variablen (u.a. Wasserlöslichkeit, Passung/*matching* Photokatalysator und Substrat, Lichtabsorption, Sicherheitsaspekte, klar wahrnehmbare Phänomene) nur ein Wunsch bleiben. Es ist vielmehr notwendig, die jahrelangen, intensiven Optimierungsarbeiten des Arbeitskreises Tausch hervorzuheben: Die experimentell-konzeptionellen Entwicklungsarbeiten (vgl. die Übersicht in Gökkuş née Yurdanur/Tausch 2019) haben ein verlässliches, funktionierendes Experiment hervorgebracht, das auch vor dem Hintergrund von Sicherheitsaspekten von Lernenden eigentätig durchgeführt werden kann. Zuletzt hat Heffen (2017) unterschiedliche Variablen in Bezug auf die Wahl von Substrat und Photokatalysator erforscht und in ihrer Dissertationsschrift zeigt sich eindrucksvoll, wie schwierig das Unterfangen des Weiterentwickelns für schulische Zwecke tatsächlich ist.

Im Folgenden geht es um unterrichtspraktische Aspekte im Umgang mit dem PBB-Basisexperiment und Vorschläge zur Weiterentwicklung des Unterrichtsarrangements. Beim experimentellen Erforschen der Energieformen, die eine Blaufärbung auslösen (vgl. Tausch/Heffen 2016, Heffen 2017), wird bislang nicht der Aspekt der elektrischen Energie berücksichtigt. Manchen SuS ist bekannt, dass man ausgehend von einer 9V-Blockbatterie Elektroden in (angesäuertes) Wasser geben kann, um eine Wasserelektrolyse durchzuführen. Auch hier im Falle der PBB-Experimente können ins Wasser ragende Elektroden an eine Batterie angeschlossen werden, um den Einfluss elektrischer Energie zu überprüfen. Hierzu könnte ein entsprechender Videoclip erstellt werden. Zum Thema Einfluss der Luftmenge gibt es zwar schon einen Videoclip von Tausch/Kremer/Gökkuş (2021b), für den ich folgenden Optimierungsvorschlag anrege. Es handelt sich um eine Technik, die sich in allen von mir

(mit-) betreuten Lerngruppen handwerklich und auch bezüglich der dadurch angebotenen Erkenntnisgewinne bewährt hat: Mithilfe der Pipetten füllen die SuS fünf Glasfläschchen mit gelber PBB-Lösung, so dass fünf klar beobachtbare Füllstände vorliegen.⁵⁶ Eines wird randvoll⁵⁷, eines fast randvoll, eines zu $\frac{3}{4}$, eines zu $\frac{1}{2}$ und eines zu $\frac{1}{4}$ befüllt. Probeweise kann man die Fläschchen zwischen Daumen und Zeigefinger aufreihen und schon einmal umdrehen. So können die Luftvolumina sehr gut beobachtet und ggf. noch Modifikationen bzgl. des Füllstandes vorgenommen werden. Die verschlossenen Fläschchen werden auf den Tisch gestellt (nun wieder Glasboden nach unten und Verschluss nach oben, damit eine maximale Flüssigkeitsoberfläche beleuchtet wird) und mit blauem Licht aus mehreren Taschenlampen beleuchtet. Sobald alle Proben einheitlich dunkelblau gefärbt sind, werden die fünf Fläschchen wiederum zwischen Zeigefinger und Daumen gehalten und langsam (!) auf den Kopf gestellt und zurück bewegt. Durch dieses vorsichtige Schwenken werden flüssige und überstehende gasförmige Phase miteinander in Kontakt gebracht und nach und nach entfärben sich die fünf Fläschchen: Je weniger Luftvolumen übersteht, umso länger dauert das Entfärben von Blau nach Gelb. Die Probe im randvollen Gefäß sollte sich nicht entfärben. Interessant ist, dass hier zunächst fast schwarz erscheinende Proben vorliegen, die über unterschiedliche Blau- bzw. Grüntöne schließlich Gelb werden – auch hier bietet sich eine Diskussion über das Zustandekommen der Farbe an (s.o.). Wird das Verfahren wiederholt, zeigt sich, dass das Entfärben immer länger dauert und dass sich die Probe im Fläschchen mit sehr wenig Luftvolumen schließlich gar nicht mehr entfärbt – und das trotz immer noch vorliegender kleiner Gasblase in der Probe. Luft – oder was davon übrig geblieben ist – ist also makroskopisch gesehen immer noch vorhanden. Den nun geäußerten Hypothesen, dass der Luftbestandteil Sauerstoff als Ausgangsstoff nicht mehr zur Verfügung steht, weil er in den Vorreaktionen abreagiert hat, sollte mit einem weiteren Video (oder Experiment vor Ort) nachgegangen werden (siehe Ausführungen unten). Im Vergleich zu dem hier beschriebenen Vorgehen bietet das Video von Tausch/Kremer/Gökkuş (2021b) nur ein vollständig und ein halb gefülltes Glasfläschchen an und erlaubt keinen Einblick in die Luftmenge, sondern lediglich in die Ab- oder Anwesenheit von Luft. Die Erweiterung und der Vorteil des hier beschriebenen Verfahrens gegenüber demjenigen im bereits existierenden Video liegen auf der Hand, ebenso der Übergang in den nächsten forschend-entwickelnden Zyklus: Welcher Luftbestandteil ist verantwortlich für die Rückreaktion Blau \rightarrow Gelb? Insofern muss der Gasraum über der PBB-Lösung thematisiert werden, d.h. es muss untersucht werden, welche(r) Luftbestandteil(e) mit der blauen PBB-Lösung – also den gelösten EV^{+} – reagieren bzw. reagiert. Ich schlage vor, dass die unterschiedlichen Luftbestandteile nacheinander in blaue PBB-Lösung eingeperlt werden – am besten alle, die die SuS nennen, also neben Stickstoff, Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid auch ein Edelgas (am besten wäre ein paralleles Einperlen der unterschiedlichen Gase in unterschiedliche Behältnisse mit der blauen PBB-Lösung). Dies kann in SuS-Experimenten mit 100mL-Spritzen geschehen, wie es der Autor mit den 8er-Bilis Biologie gemacht hat. Dort wurde Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff überprüft.

⁵⁶ Es hat sich bewährt, die PBB-Lösung vor dem Einsatz in der Unterrichtsstunde schon zu beleuchten und umzuschütteln, bis die dann blaue Lösung beim Umschütteln ganz langsam wieder gelb wird. So wird ein Großteil des gelösten Sauerstoffs entfernt und trotz des späteren Umfüllens mit Pipetten wird die Lösung bei Belichtung recht rasch dunkelblau. Noch besser ist es, wenn fünf bereits randvolle Fläschchen wie oben genannt vorbereitet werden. Aus diesen entfernen die Schüler*innen dann die entsprechenden Volumina. So wird das Einbringen von viel Luftsauerstoff vermieden und die Unterrichtszeit gut genutzt.

⁵⁷ In der Regel verbleibt trotzdem ein kleines Glasbläschen im randvoll gefüllten Fläschchen.

Es ist auffällig, dass der elektronisch angeregte Zustand wenig von den SuS thematisiert bzw. versprachlicht wird. Dieser völlig neue Inhalt, mit dem die SuS im Modul den Erstkontakt im Chemieunterricht haben, könnte mithilfe eines weiteren kleinen Modells thematisiert werden. Bommersheim/Heuper (2020) nutzen ein „Plopp-Gummi“ und formulieren dazu den didaktischen Wert (vgl. Abb. 91). Eben dieses Vorgehen ist in adaptierter Weise durchaus auch für das vorliegende Modul denkbar.

Vor dem Hintergrund dieser unterrichtlichen Erfahrungen könnten von Lehrenden bzw. fachdidaktisch Forschenden Storyboards gemäß der genannten Schwerpunkte konzipiert und entsprechende Clips produziert werden, so dass dem Einfluss elektrischer Energie sowie der Luftmenge nachgegangen, Sauerstoff als Reaktionspartner identifiziert oder experimentell-methodische Kniffe vermittelt werden können. Die Videos würden somit Lehrende und Lernende als Zielpublikum adressieren und das bereits existierende Angebot an fachdidaktischen Online-Clips u.a. von Tausch/Kremer/Gökkuş (2021a-d) bereichern.

Analogiemodell zur Veranschaulichung

Der „Plopp-Gummi“ (auch als „Hüpfer“ oder „Popper“ bezeichnet) ist ein Kinderspielzeug. Er dient als Anschauungsmodell für ein System, das zwei verschiedene Energiezustände annehmen kann. Im Grundzustand ist er geformt wie eine Halbkugel. Führt man ihm Energie passend zu, so kann man ihn in eine andere Form bringen, die er auch für eine kurze Zeit beibehält. Danach springt er in seine ursprüngliche Form zurück. Die dabei erfolgende Energieabgabe ist durch das Hochspringen des Gummis eindrucksvoll wahrnehmbar.



Abb. 91: Das „Plopp-Gummi“ (Bommersheim/Heuper 2020:312)

16.3 Relevanz der Studie

Die Arbeit lässt erstens erkennen, dass das ausgewählte **innovative Lehr-Lern-Material** aus der experimentell-konzeptionellen fachdidaktischen Forschung erfolgreich in Form eines bilingualen Moduls auch nach dem Modell des Hard CLIL (vgl. Dalton-Puffer 2017) umgesetzt werden kann. Somit wird ein Beitrag zu einer der Aufgaben der Chemiedidaktik, wie sie in der Einleitung zu dieser Arbeit formuliert wird, erfolgreich eingelöst. Die Herangehensweise in Form einer komplexen Kompetenzaufgabe (vgl. Hallet 2012) eignet sich dafür, aber auch die Herangehensweise in Form einer Lernspirale (vgl. Tausch 2012). Voraussetzung für das Gelingen sind kognitiv aktivierende, interessante Aufgaben, denen sich die Versuchspersonen widmen können, und zwar unter Berücksichtigung chemiespezifischer Arbeitsweisen, d.h. dem (forschend-entwickelnden) Experimentieren und angemessener, vielfältiger Scaffolding-Maßnahmen (vgl. Thürmann 2013a). Das Material wurde in Orientierung an grundlegenden Gedanken zur Konzeption bilingualen (Chemie-) Unterrichts entwickelt (vgl. Bohrmann-Linde 2012, Bonnet 2012, Meyer 2010). Dieses Material steht nun der Gemeinschaft der in unterschiedlichen Bereichen (des BU) Forschenden und Lehrenden sowie den dort Lernenden zur Verfügung.

Zweitens können die Ergebnisse der Studie für die Weiterentwicklung der Didaktik und Methodik des BU im Sachfach Chemie verwendet werden. Das betrifft zum einen die Diskussion um die L2 im Zuge des Anbahnens der **doppelten Sachfachliteraltät**. Es finden sich hier eindeutige, jedoch zahlenmäßig wenige Nachweise, dass sich die doppelte Sachfachliteraltät in Bezug auf die Fachterminologie nicht automatisch einstellt. Hier wurde eine Brücke zur schwedischen Studie von Holmberg (2019) geschlagen, die Ähnliches für die Bildungssprache akzentuiert. Die vorliegende Studie zeigt auch, dass das Anbieten von bilingualen Glossaren allein nicht als zielführend angesehen werden kann. Es werden damit Annahmen aus der einschlägigen Forschungsliteratur bestätigt (vgl. z.B. Diehr 2016, 2018). Die leichten Vorteile der Typ C-Unterrichteten gegenüber der nach Typ A Unterrichteten in Bezug auf die Versprachlichung der neuen Fachtermini low-energy und high-energy liefert Hinweise dafür, dass funktionale Sprachwechsel vorteilhaft für den Ausbau der L1-Lexik sind. Auch die Tatsache, dass die Typ C-Definitionen etwas weniger von L2-Einflüssen gekennzeichnet sind, zeugt davon. Auf

dieser Basis ist es wünschenswert, dass weitere BU-Planungen von L1-Spracharbeit gekennzeichnet sind, wie sie Bohrmann-Linde (2016) für den BU Chemie vorschlägt. Das impliziert eine Abkehr vom Hard CLIL zu Gunsten von Soft CLIL (vgl. Dalton-Puffer 2017). Zum anderen tangieren die Ergebnisse die Weiterentwicklung im Bereich der L1-Sachfachliteratur. Es zeigt sich, dass mehr Spracharbeit notwendig ist, da trotz einiger gewünschter Zunahmen im Bereich der Lexik das Potential noch nicht ausgeschöpft ist. Anregungen bieten Ausführungen zur Integration von Sprach- und Inhaltslernen im BU (vgl. Vollmer 2010a-b), das Scaffolding-Konzept (vgl. z.B. allgemein bzw. für den Englischunterricht: Thürmann 2010, 2013a-b, Thürmann/Krabbe/Platz et al. 2017, Zydati 2010; bzgl. der komplexen Kompetenzaufgabe: Hallet 2012, Neveling 2016; bzgl. der Lernaufgabe: Leisen 2013, 2015a-b; Naturwissenschaften allgemein: Agel/Beese/Krämer 2012, Bohrmann-Linde 2018, 2019, Schecker/Höttecke 2021; Chemie monolingual: Bohrmann-Linde 2018, 2019, Emden/Özcan 2015, Nickel/Schweighoffer 2018; Chemie bilingual: Bohrmann-Linde 2012, Bonnet 2012), der sprachensible Unterricht (vgl. z.B. Leisen 2013, Bohrmann-Linde/Strippel 2018, Prediger 2020), DaF- bzw. fremdsprachenunterrichtliche Herangehensweisen zum Umgang mit neuem Vokabular (vgl. z.B. Grimm/Meyer/Volkman 2015, Ulrich 2013, Verboom/Koch 2019), das Bewusstmachen von Alltags- und Fachsprachegebrauch (vgl. z.B. Heine 2012, Thürmann/Krabbe/Platz et al. 2017, Verboom/Koch 2019, vgl. auch Emden/Özcan/Sumfleth 2015) oder Schreibaufgaben wie z.B. Selbsterklärungen (vgl. z.B. Felten/Stern 2012, Renkl 2015, vgl. auch Emden/Sumfleth 2015).

Drittens wurden verschiedene **Sprachwechsellmethoden** ausprobiert. Die Methoden des epistemischen Schreibens (vgl. Beerenwinkel/Hefti/Lindauer et al. 2015) und des Bilingual Picture Storming (vgl. Heimes 2010) eignen sich weniger als diejenige der Bilingual Poster Production (vgl. *ibid.*, vgl. Kiesling/Brunnert/Bohrmann-Linde 2019). Hier bietet es sich an, den Umgang der SuS mit unterschiedlichen Methoden des funktionalen Sprachwechsels hinsichtlich ihrer Akzeptanz, aber auch bzgl. des sprachlichen Lernpotentials oder der Situierung im Lehr-Lern-Prozess zu untersuchen (vgl. dazu auch Diehr 2016, Bohrmann-Linde 2016, Frisch 2016). Die qualitative Studie von Kleinert/Isaak/Textor et al. (2021) oder die quantitativ orientierten Studien von Reschke/Koennen/Sumfleth (2020) oder von Arnold/Kremer/Mayer (2017) können als Orientierung dienen.

Viertens liefert die Studie Beiträge zur Modellierung des bilingualen mentalen Lexikons im Sinne des von Diehr vorgeschlagenen **Integrated Dynamic Model** (vgl. 2016, 2018, vgl. Diehr/Rumlich 2021). Sie beziehen sich einerseits auf das asymmetrische Wachstum der L1- und L2-Sprachspeicher. Dieses kann auch auf Basis der vorliegenden Studie als Konsequenz aus der Konzeptbildung in der L2 angesehen werden. Eine stärkere Anbindung zwischen Konzept- und L1-Speicher ist nicht für den BU gegeben und auch nicht mehr die stärkere Anbindung von L2-Speicher an L1-Speicher, d.h. das Konzeptlernen über die L1, wie es noch von Pavlenko (2009) im Modified Hierarchical Model abgebildet wird. Für die Argumentation nutzt die vorliegende Studie auch die von Lernenden verwendeten Sprachwechselphänomene und Ausweichstrategien.

Darüber hinaus sind einige **englische bzw. bilingual deutsch-englische Lehr-Lern-Materialien** während der Studie entstanden. Ein Teil davon wurde unterrichtlich in den drei Modulzyklen erprobt. Die vielfältigen Materialien sind hier aufgelistet:

- Übertragung des **Photo-LIKE-Materials** von Gökkuş née Yurdanur (2020) durch den Autor **ins Englische** für eine internationale Zielgruppe, online publiziert auf der von Tausch, Bohrmann-Linde und Meuter betreuten Website Chemie mit Licht: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/experimental-kits/photo-like.html> (vgl. auch Anhang A9.1)
- Übertragung des **zweiteiligen Lehrfilms** „Photosynthese: Ein Fall für Zwei“ durch den Autor **ins Englische** sowie Koordination des Gegenlesens durch englische Muttersprachler. Finanzierung der professionellen Produktion durch die Firma Tricast, Wuppertal, mithilfe selbst eingeworbener Drittmittel (Dank geht an den Fonds der chemischen Industrie, FCI). Die Originalfilme wurden von Tausch und Heffen (2016) bzw. Tausch, Meuter und Grandrath née Zückert (2017) konzipiert. Die englischen Versionen liegen online publiziert als „Photosynthesis – A case for two (part 1 of 2): The Photo-Blue-Bottle Experiment“ sowie „Photosynthesis – A case for two (part 2 of 2): Interaction of chlorophyll and β -carotene“ auf folgender Website vor:

<https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/movies-videos.html>. Die Transkripte können beim Autor angefordert werden bzw. finden sich in Anhang A12.1.

- Entwicklung und Optimierung von bilingual deutsch-englischen **Unterrichtsmodulen** zu „Photosynthesis and respiration: the carbon cycle in animate nature.“ Die Materialien befinden sich im Anhang A10.1, A.11.1 und A12.1.
- Ein **Unterrichtsmodell für den Einsatz in der Sek. I** wird in Brunnert/Gökkuş née Yurdanur/Tausch (2019) präsentiert und **didaktische Kommentierungen** zu photochemischen Filmen werden in Brunnert/Bohrmann-Linde/Meuter et al. (2018) vorgenommen.

Diese Erarbeitungen stehen interessierten Lehrkräften zum Einsatz im Unterricht, aber auch der Fachdidaktik für weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Verfügung.

Es wurden in diesem Zusammenhang **Workshops** mit Lehrkräften der Disziplinen Chemie und Biologie an drei Standorten in Nordrhein-Westfalen und an je einem Standort in Rheinland-Pfalz und Niedersachsen durchgeführt. Im Sinne der Aktionsforschung werden die Erkenntnisse des Aktions- und Reflexionsprozesses an Lehrkräfte weitergegeben. Unterschiedliche schulische Standorte wurden in diesem Kontext mit dem notwendigen Lehr-Lern-Material, auch in Form von farbwechselnden Taschenlampen und, in indirekter Weise, Chemikalien, versorgt, so dass hier die innovativen bilingualen Module auch in Zukunft durchgeführt werden können.

Neben den bis hierhin aufgeführten zentralen Aspekten tangiert die Studie **weitere Nebenaspekte** die hier abschließend aufgeführt werden:

- Es wurde damit begonnen, sich mit anderen Unterrichtenden im Bereich BU Chemie zu vernetzen. Es liegt nun Übersicht mit aktuellen Einträgen zu weiterführenden Schulen vor, die BU Chemie anbieten. Mithilfe dieser kann das vom Autor als wünschenswert angesehene Einrichten einer **Aktionsforschungsgruppe für den bilingualen Chemieunterricht** umgesetzt werden.
- Es wurden unterschiedliche, teils für den chemiedidaktischen Bereich neuartige, **Instrumente zum Erheben von inhaltlichem und sprachlichem Lernen** erprobt. Sie können von interessierten Forschenden aufgegriffen und für die Erprobung und Evaluation weiterer Lehr-Lern-Materialien verwendet werden. Mithilfe der Instrumente des Definierens in Englisch und Deutsch wurden **Einblicke in das Sprach- und Inhaltslernen** im Zuge der erprobten Module gewonnen. Sie dienen, wie auch die Ergebnisse von **VocabProfiler**, als Vergleichsinstrumente für die Weiterentwicklung des vorliegenden Moduls. Auch können die Ergebnisse als Referenz für ähnlich gelagerte Studien herangezogen werden.
- Das **Modellexperiment** wurde in einen erst vor kurzem begonnenen fachdidaktischen Diskurs um Modellexperimente eingeflochten. Das vorhandene Kategoriensystem wurde genutzt, um mögliche Weiterentwicklungsaspekte zu reflektieren.
- Aus dem unterrichtlichen Experimentieren mit den unterschiedlichen PBB-Experimentvarianten ergeben sich neue Ideen für methodische Umsetzungen. Auf der Seite Chemie mit Licht der Universität Wuppertal liegen schon einige **Videosequenzen für die unterschiedlichen PBB-Experimente** vor, die für das Lernen auf Distanz oder für den unterrichtspraktischen Einsatz vor Ort Anwendung finden können. Für diese Datenbank digitaler PBB-Experimente wurden konkrete Vorschläge zur Weiterentwicklung und Ergänzung des vorhandenen Videofilm-Materials gegeben.
- Die **chemiespezifischen Theorieteile** der Studie liefern kleine Beiträge zum PBB-Basisexperiment, die in der einschlägigen fachdidaktischen Literatur bislang wenig Aufmerksamkeit erhalten haben. So wird die **Farbigkeit des Substrats Ethylviologen** auf submikroskopischer Ebene adressiert: Der Autor nähert sich dem Thema auf Basis der Planarität des Moleküls, der Molekül-Topologie und der Chromophor-Ausdehnung. Diese Aspekte wurden somit in einem ersten Schritt für den Unterricht aufgearbeitet. Weiterhin werden mögliche Produkte der **Oxidation von EDTA** erkundet und für fachdidaktische Zwecke urbar gemacht. Diese Ergebnisse tragen dazu bei, dass interessierte Lehrer*innen nun eine fachdidaktische Grundlage

vorfunden, mithilfe derer sie zum einen die Blaufärbung der PBB-Lösung, und zum anderen die Oxidation des Opfer-Donors EDTA nachvollziehen können.

- Der **psycholinguistische Theorieteil** zur Konzeptäquivalenz tangiert mögliche Herangehensweisen, um diese Thematik auch für den Bereich der Chemie zu eruieren. Hierfür wird die Natural Semantic Metalanguage, NSM, aufgegriffen. An dieser Stelle wäre eine Zusammenarbeit mit Forschenden der Linguistik von großem Interesse.

16.4 Limitationen

Die Studienergebnisse liefern kleine Beiträge zur Weiterentwicklung von BU Chemie, zur Theoriebildung im Bereich IDM, zum Einsatz von Sprachwechsel-Methoden im BU und zum Einsatz von Erhebungsinstrumenten. Dieses geschieht in explorativer Weise auf Basis von Untersuchungsgruppen, die in ihrer Zusammensetzung jeweils im Feld Schule vorgefunden worden sind. Es werden dabei aus der Praxis Erkenntnisse gewonnen, die genuine Einblicke in die Einstellung von SuS und Lehrpersonen und in das sprachliche und inhaltliche Lernen im Zuge der Module geben. Die Studie kann aufgrund der Stichprobengröße und –zusammenstellung nicht repräsentativ sein. Dennoch werden aus den Daten nachvollziehbare Erkenntnisse bzgl. der doppelten Sachfachliteralität für die jeweils untersuchten Lerngruppen gewonnen. Dies findet nur für recht kleine Fallzahlen statt, jedoch wird dadurch die Theoriebildung vorangetrieben. Viele Aspekte werden mit visuellen, quantitativen Methoden dargestellt, um Trends in den jeweiligen Untersuchungsgruppen herauszuarbeiten. Dies findet auch durch explorativ-interpretative Herangehensweisen statt. Die Ergebnisse sind hilfreich, um im Zuge der Aktionsforschungsstudie Weiterentwicklungen vorzunehmen.

Das Untersuchungsinstrument des Definierens bildet nur das per Sprache transportierbare Wissen ab. Es könnten im Sinne von Näs (2012) oder Weirauch/Lohwasser/Fenner et al. (2018) Erweiterungen vorgenommen werden, um das Wissen der Proband*innen hervorzulocken. Für nichtsprachliche Herangehensweisen findet sich Literatur in Kap. 10.3. Das hier gewählte Definieren ist für die vorliegende Studie deshalb geeignet, da im Sinne der Sachfachliteralität Wissen per Sprache kommuniziert werden muss, jedoch schränkt es möglicherweise auch die Abbildung des vorhandenen inhaltlichen Wissens ein.

Anschlussuntersuchungen können die hier aus der Praxis erforschten Ergebnisse in den Blick nehmen. An dieser Stelle können kontrollierte Settings wie sie in Schüler*innen-Laboren möglich sind, dienlich sein. Dort können gezielt ausgewählte Variablen bzgl. ihres Einflusses untersucht werden. Es bietet sich an, die Kohorten entsprechenden kognitiven Fähigkeits- bzw. Sprachtests zu unterziehen und weitere in den Versuchspersonen liegende Variablen zu kontrollieren. Dies kann im Zuge quantitativer Studien erfolgen (vgl. z.B. Buse/Preisfeld 2016, Rodenhauser/Preisfeld 2016), aber auch auf Basis der Untersuchung von einzelnen Proband*innen. In diesem Falle müssten thick descriptions erfolgen und mithilfe von Einzelfallstudien Entwicklungen nachvollzogen werden (vgl. z.B. Botz/Diehr 2016). Es ist wünschenswert, die bereits existierenden Synergieeffekte auf dem Wuppertaler Campus weiter auszubauen und gemeinsame, interdisziplinäre Forschungsvorhaben anzustoßen. Hier wären die bereits in der AG BiLL vertretenen Fakultäten zu nennen, wie auch die pädagogisch-psychologischen Einrichtungen.

17 Literatur

- Abendroth-Timmer, D. (2010): Schülerinnen und Schüler im bilingualen Sachfachunterricht. In: Doff, S. (Hrsg.). 124-136.
- . (2007): Akzeptanz und Motivation. Empirische Ansätze zur Erforschung des unterrichtlichen Einsatzes von bilingualen und mehrsprachigen Modulen. R. KFU, Bd. 33. Frankfurt a. M.: Lang.
- . (2004): Evaluation bilingualer Module aus Schülerperspektive: zur Lernbewusstheit und ihrer motivationalen Wirkung. Z. für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht 9(2). 1-27.
- Aguado, K. (2013): Wie wirkt Unterricht? Potentiale und Grenzen der empirischen Untersuchung des Lehrens und Lernens von Fremdsprachen. In: Schart, M., Hoshii, M., und Raindl, M. (Hrsg.) (2013). 11-39.
- Ahvenainen, T. (2021): Language Proficiency Facework and Perceptions of Language Proficiency Face in L2 Interaction. Diss. R. JYU Dissertations, Bd. 358. Jyväskylä: University of Jyväskylä. Online: https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/74679/1/978-951-39-8553-0_vaitos17042021.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Adler, B. (2019): Moderne Energiesysteme. Ein Beitrag zur Energiewende. Berlin: Springer Spektrum.
- Agel, C., Beese, M., und Krämer, S. (2012): Naturwissenschaftliche Sprachförderung. Ergebnisse einer empirischen Studie. MNU 65(1). 36-44.
- Agustín Llach, M. P. (2014): Exploring the lexical profile of young CLIL learners. Towards an improvement in lexical use. J. of Immersion and Content-Based Language Education 2(1). 53-73.
- . (2010): An overview of variables affecting lexical transfer in writing: A review study. International J. of Linguistics 2(1). 1-17.
- Alberts, B., Johnson, A. D., Lewis, J., et al. (2017): Molekularbiologie der Zelle. Deutsche Ausgabe. 6. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH.
- Albrecht, V., und Böing, M. (2010): Wider die gängige monolinguale Praxis? – Mehrperspektivität und kulturelle Skripte als Wegbereiter der Zweisprachigkeit im bilingualen Geographieunterricht. In: Doff, S. (Hrsg.). 58-71.
- Altrichter, H., Posch, P., und Spann, H. (2018): Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht. Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsevaluation durch Aktionsforschung. 5. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt/UTB.
- Ameel, E., Storms, G., Malt, B., et al. (2005): How bilinguals solve the naming problem. J. of Memory and Language 52. 309-329.
- Archila, P. A., Molina, J., und Truscott de Mejía, A.-M. (2021): Fostering bilingual scientific writing through a systematic and purposeful code-switching pedagogical strategy. International J. of Bilingual Education and Bilingualism 24(6). 785-803.
- Aristov, N. (2013): Was ist bekannt über den bilingualen Unterricht in den Naturwissenschaften (Chemie)? CHEMKON 20(4). 169-174.
- Arnold, J., Kremer, K., und Mayer, J. (2017): Scaffolding beim Forschenden Lernen. Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. ZfDN 23. 21-37.
- Ausfelder, F. (2016): Energiespeicherung und Vernetzung im Energiesystem. PdN-ChidS 65(3). 9-12.
- Ausfelder, F., Beilmann, C., Bertau, M., et al. (2015): Energiespeicherung als Element einer sicheren Energieversorgung. Chemie Ingenieur Technik 87 (1-2). 17-89.
- Bach, G. (2010): Bilingualer Unterricht: Lernen – Lehren – Forschen. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 9-22.
- Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.) (2010): Bilingualer Unterricht. Grundlagen, Methoden, Praxis, Perspektiven. 5. Aufl. R. KFU, Bd. 5. Frankfurt a. M.: Lang.
- Bahar, M., Johnstone, A. H., und Suttcliffe, R. G. (1999): Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. J. of Biological Education 33(3). 134-141.
- Baker, C., und Wright, W. E. (2017): Foundations of Bilingual Education and Bilingualism. 6. Aufl. Bristol: Multilingual Matters.
- Barcroft, J., Sunderman, G., und Schmitt, N. (2011): Lexis. In: Simpson, J. (Hrsg.). 571-583.
- Barke, H.-D., und Harsch, G. (2001): Chemiedidaktik heute. Lernprozesse in Theorie und Praxis. Berlin: Springer.

- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., et al. (2018): Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis. 3. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., et al. (2015): Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis. 2. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Barltrop, J. A., und Jackson, A. C. (1984): The Synthesis and Electrochemical Study of New Electrochromic Viologen-based Materials. *J. of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*. 367-371.
- Bassetti, B., und Cook, V. (2011): Relating language and cognition: The second language user. In: Cook, V., und Bassetti, B. (Hrsg.): *Language and Bilingual Cognition*. Hove: Taylor & Francis e-Library. 143-190.
- Bazant-Kimmel, C. (2017): Chinesische Texte lesen lernen: Aktionsforschend begleitete Entwicklung und Erprobung eines didaktischen Konzepts zur Schriftsprachlichkeit chinesischer Gebrauchstexte. Diss. Wien: Universität Wien. Online: <http://othes.univie.ac.at/49498/1/50640.pdf> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Becker, H. G. O. (Hrsg.) (1991): Einführung in die Photochemie. 3. Aufl. Berlin: DVW.
- Becker-Mrotzek, M., Schramm, K., Thürmann, E., et al. (Hrsg.) (2013): Sprache im Fach. Sprachliches und fachliches Lernen. R. Fachdidaktische Forschungen, Bd. 3. Münster: Waxmann.
- Beerenwinkel, A., Hefti, C., Lindauer, T., et al. (2015): Schreiben im Chemieunterricht. *CHEMKON* 23(1). 19-24. Online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ckon.201410257> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Bellin, J., Alexander, R., und Mahoney, R. D. (1973): Dye-sensitized photoreduction of methylviologen. *Photochemistry and Photobiology* 17(1). 17-24.
- Belova, N., und Eilks, I. (2015): Learning with and about advertising in chemistry education with a lesson plan on natural cosmetics – a case study. *CERP* 16. 578-588.
- Belova, N., Heckenthaler, A., und Zowada, C. (2020): Chemie in Social Media. Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtsmoduls zu parabenhaltiger Kosmetik. *MNU* 73(4). 299-304.
- Bergfelder-Boos, G. (2018): Mündliches Erzählen als Performance: die Entwicklung narrativer Diskurse im Fremdsprachenunterricht. R. Giessener Beiträge zur Fremdsprachendidaktik. Tübingen: Narr Francke Attempto.
- . (2011): Aktionsforschung in der Weiterbildung Romanische Sprachen. Handreichung zum Aktionsforschungsseminar. Online: <https://www.geisteswissenschaften.fu-berlin.de/we05/romandid/fort-und-weiterbildung/aktionsforschung/index.html> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Bergsleithner, J. M. (2010): Working memory capacity and L2 writing performance. *Ciencias & Cognicao* 15(2). 2-20.
- Biederstädt, W. (2013): Ein innovatives Unterrichtskonzept. In: Biederstädt, W. (Hrsg.): *Bilingual unterrichten. Englisch für alle Fächer*. Berlin: Cornelsen/Scriptor Praxis. 5-14.
- Bögge, L., und Lühken, A. (2021): Zur Schülerwahrnehmung von Low-Cost-Experimentiermaterialien. Die Destillation im Kleinmaßstab. *CHEMKON* 28(5). 196-202.
- Bohn, M., und Doff, S. (2010): Biologie bilingual. Die Perspektive der Unterrichtspraxis. In: Doff, S. (Hrsg.). 72-88.
- Bohrmann-Linde, C. (2019): Elektrolyse von Zinkiodid. Sprachfördernde Arbeitsmaterialien mit Wechsel der Darstellungsformen. *NiU* 173. 23-27.
- . (2018): Scaffolding bei der Elektrolyse von Zinkiodid – Arbeitsmaterialien zur fachsprachlichen Vorentlastung beim Experimentieren und beim Verfassen eines Protokolls. *NiU* 168. 38-43.
- . (2016): Funktionale Sprachwechsel und Wechsel der Darstellungsformen im bilingualen Chemieunterricht. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 147-164.
- . (2013): Chemie. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 295-301.
- . (2012): Auf dem Weg zu einer Fachdidaktik Bilingualer Chemieunterricht. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.). 183-200.
- Bohrmann-Linde, C., Kröger, S., Tausch, M. W., et al. (Hrsg.) (2014): Chemie 2000+ Qualifikationsphase. Bamberg: Buchner.

- . (2012): Chemie 2000+. Einführungsphase. Bamberg: Buchner.
- Bohrmann-Linde, C., Meuter, N., Zeller, D., und Tausch, M. W. (2021): Teaching Photochemistry: Experimental Approaches and Digital Media. ChemPhotoChem. Early View. 1-12. Online: <https://doi.org/10.1002/cptc.202100141> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Bohrmann-Linde, C., Siehr, I., und Kröger, S. (2020): Chemie Gesamtband Sekundarstufe I. Nordrhein-Westfalen. Bamberg: Buchner.
- Bohrmann-Linde, C., und Strippel, C. (2018): Sprachliche Interaktionen und sprachsensibler Chemieunterricht. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 709-721.
- Bohrmann-Linde, C., und Tausch, M. W. (2021): Nachhaltige Chemie mit Licht – Experimentelle Zugänge in digitalen Medien. CHEMKON 28(4). 147-154.
- Bommersheim, S., und Heuper, W. (2020): Der Schatten der Natriumflamme. Wie Lernende sprachsensibel angeleitet werden, ausgehend von einem Phänomen ihre Vorstellung vom Atom zu erweitern. CHEMKON 27(7). 307-313.
- Bonnet, A. (2015): Sachfachlicher Kompetenzerwerb in naturwissenschaftlichen CLIL-Kontexten. In: Rüschoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 165-182.
- . (2012): CLIL im Fach Chemie – Wachsende Orchidee und Motor der Integration. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.) S. 201-218.
- . (2004): Chemie im bilingualen Unterricht. Kompetenzerwerb durch Interaktion. Opladen: Leske + Budrich.
- Bonnet, A., und Breidbach, S. (2013): Bilingualer Unterricht: Bildungstheoretische Grundlegung. Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 18-25
- Boroditsky, L. (2010): How language shapes thought. The languages we speak affect our perceptions of the world. Scientific American 304(2). 63-65.
- Botz, L., und Diehr, B. (2016): Bilinguales Lernen in der Grundschule – Einblicke in das BiSY-Projekt (Bilingualer Sachunterricht – Young Learners). In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 245-260.
- Brandl, H., und Tausch, M. W. (1997): Lichtbeteiligung bei chemischen Reaktionen. MNU 50(4). 206-222.
- Brehm, I. (2004): Redoxpotential. In: RÖMPP Online. Stuttgart: Thieme. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-18-00556> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Breidbach, S. (2013): Geschichte und Entstehung des Bilingualen Unterrichts in Deutschland: Bilingualer Unterricht und Gesellschaftspolitik. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 11-17.
- . (2010): Bilinguale Didaktik – bald wieder zwischen allen Stühlen? Zu den Aussichten einer integrativen Didaktik des bilingualen Sachfachunterrichts. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 165-176.
- . (2006): Bilinguales Lehren und Lernen - Was hat das Denken mit Sprechen und Sprache zu tun? Praxis Fremdsprachenunterricht 3(6). 10-15.
- Broman, K., und Simon, S. (2015): Upper secondary school students' choice and their ideas on how to improve chemistry education. Int. J. of Science and Mathematics Education 13. 1255-1278.
- Bromhead, H. (2017): The semantics of standing-water places in English, French, and Pitjantjatjara/Yankunytjatjara. In: Ye, Z. (Hrsg.). 180-204.
- Brüning, L., und Saum, T. (2009): Erfolgreich unterrichten durch kooperatives Lernen. Teil 2. Neue Strategien zur Schüleraktivierung, Individualisierung – Leistungsbeurteilung, Schulentwicklung. Essen: Neue Deutsche Schule.
- . (2008): Erfolgreich unterrichten durch kooperatives Lernen. Teil 1. Strategien zur Schüleraktivierung. 4. Aufl. Essen: Neue Deutsche Schule.
- Bruice, P. Y. (2011): Organische Chemie. Studieren kompakt. 5. Aufl. München: Pearson.
- Brunnert, R., Bohrmann-Linde, C., Meuter, N., et al. (2018): The Fascinating World of Photochemistry. Educación Química 29(3). 108-117. Online: <https://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63736> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Brunnert, R., Gökkuş née Yurdanur, Y., und Tausch, M. W. (2019): Towards Artificial Photosynthesis in Science Education. World J. of Chemical Education 7(2). 33-39.

- Brunnert, R., Harsch, G., und Heimann, R. (2008): Organic chemistry goes bilingual - bilingualer Chemieunterricht. Ein bilinguales Modul zum Einstieg in die organische Chemie nach dem PIN-Konzept. Münster: Schöningh.
- Brunnert, R., Tausch, M. W., und Bohrmann-Linde (2020): Paving the way for curriculum innovation through participatory action research in bilingual chemistry and bilingual biology lessons at German secondary schools: Results from a survey among teachers concerning their material demands. *Action Research and Innovation in Science Education* 3(1). 17-23.
- Burmeister, M., und Eilks, I. (2012): An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to Education for Sustainable Development in secondary school chemistry teaching. *CERP* 13. 93-102.
- Busch, H. B. (2012): Möglichkeiten der Diagnostik und Förderung fachsprachlicher Kompetenzen im Chemieunterricht. R. Beiträge zur Chemiedidaktik, Berlin: Uni-Edition.
- Buse, M., und Preisfeld, A. (2016): The Emperor Moth - The Power to Develop. Sachfachliches Lernen im bilingualen Biologieunterricht der Sekundarstufe I. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 201-219.
- Bußmann, H. (Hrsg.) (2008): Lexikon der Sprachwissenschaft. 4. Aufl. Stuttgart: Kröner.
- Cambridge Dictionary Englisch-Deutsch, Deutsch-Englisch. Cambridge: CUP. Online: <https://dictionary.cambridge.org/de/> Letzter Zugriff: 27.07.2021.
- Caspari, D. (2016): Prototypische Designs. In: Caspari, D., Klippel, F., Legutke, M. K., et al. (Hrsg.): Forschungsmethoden in der Fremdsprachendidaktik. Ein Handbuch. Tübingen: Narr Francke Attempto. 67-78.
- Chang, H.-S., Korshin, G. V., und Ferguson, J. F. (2006): Investigation of Mechanisms of Oxidation of EDTA and NTA by Permanganate at High pH. *Environ. Sci. Technol.* 40. 5089-5094.
- Christ, H. (2006): Lernen in zwei Sprachen mit Blick auf zwei Kulturen. *Praxis Fremdsprachenunterricht* 3(6). 16-19.
- Clair, R. (1993): The use of framing devices to sequester organizational narratives: Hegemony and harassment. *Communication Monographs* 60. 113-136.
- Cobb, T. (2022): Web VP Classic v.4 – Lextutor VocabProfiler. Software. Online: <https://www.lexutor.ca/vp/eng/> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Collins, A., Joseph, D., und Bielaczyc, K. (2004): Design research: Theoretical and methodological issues. *J. of the Learning Sciences* 13(1). 15-42.
- Collins Wörterbuch der Englischen Sprache. London: HarperCollins. Online: <https://www.collinsdictionary.com/de/> Letzter Zugriff: 27.07.2021.
- Connolly, T. (2019): Die Förderung vertiefter Lernprozesse durch Sachfachliterarität: Eine vergleichende Studie zum expliziten Scaffolding kognitiver Diskursfunktionen im bilingualen Chemieunterricht am Beispiel des Erklärens. Diss. Mainz: Universität Mainz. Online: <https://core.ac.uk/download/pdf/199709752.pdf> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Cotzee-Lachmann, D. (2009): Assessment of subject-specific task performance of bilingual geography learners: Analysing aspects of subject-specific written discourse. Diss. Osnabrück: Universität Osnabrück. Online: <https://osnadocs.ub.uni-osnabrueck.de/handle/urn:nbn:de:gbv:700-2009030617> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2006): Eine Definition fachspezifischer Diskurskompetenz. In: Timm, J.-P. (Hrsg.): Fremdsprachenlernen und Fremdsprachenerwerbsforschung. Kompetenzen, Standards, Lernformen, Evaluation. Festschrift für Helmut Johannes Vollmer. Tübingen: Narr. 249-265.
- Coxhead, A. (2020): Academic Vocabulary. In: Webb, S. (Hrsg.). 97-110.
- (2011): The Academic Word List 10 Years On: Research and Teaching Implications. *TESOL Quarterly* 54(2). 355-362.
- Coyle, D., Hood, P., und Marsh, D. (2010): CLIL – Content and Language Integrated Learning. Cambridge: CUP.

- Cummins, J. (2007): Rethinking monolingual instructional strategies in multilingual classrooms. *Canadian J. of Applied Linguistics* 10(2). 221-240. Online: <https://journals.lib.unb.ca/index.php/CJAL/article/view/19743> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Dale, L., und Tanner, R. (2012): *CLIL activities. A resource for subject and language teachers.* Oxford: OUP.
- Dalton-Puffer, C. (2017): *CLIL in der Praxis – was sagt die Forschung?* München: Goethe-Institut. Online: <https://www.goethe.de/de/spr/unt/kum/clg/20984546.html> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2013): A construct of cognitive discourse functions for conceptualising content-language integration in CLIL and multilingual education. *European J. of Applied Linguistics* 1(2). 216-253. DOI 10.1515/eujal-2013-0011 Letzter Zugriff: 15.01.2022
- (2007): *Discourse in Content and Language Integrated (CLIL) Classrooms.* Amsterdam: Benjamins.
- Dau, H., Kurz, P., und Weitze, M.-D. (2019): *Künstliche Photosynthese. Besser als die Natur?* Berlin: Springer.
- Deci, E. L., und Ryan, R. M. (2000): The „what“ and „why“ of goal pursuits: human needs and the self-determination of behaviour. *Psychological Inquiry* 11(4). 227-268.
- De Lange, J. (2009): Case study, the use of concept cartoons in the Flemish Science Education: Improvement of the tools and supporting learners' language skills through a design based research. *ESERA Conference Proceedings 2009. Strand 2: Teaching Sciences.* 1-6.
- Didaktik der Chemie Wuppertal (o.J.): Internetpräsenz der Didaktik der Chemie an der Bergischen Universität Wuppertal. Online: <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Diehr, B. (2019): Alleskönner Bilingualer Unterricht? – In zwei Sprachen! In: *Hallet's Language Learning Log.* 24. August 2019. Online: <https://languagelearninglog.de/2019/08/24/alleskoenner-bilingualer-unterricht-in-zwei-sprachen/> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2018): Language, Cognition, and Culture – a Model of the Bilingual Learner's Mental Lexicon. In: Böttger, H., und Sambanis, M. (Hrsg.): *Focus on Evidence II: Netzwerke zwischen Fremdsprachendidaktik und Neurowissenschaften.* Tübingen: Narr Francke Attempto. 151-162.
- (2016): Doppelte Fachliteralität im bilingualen Unterricht. Theoretische Modelle für Forschung und Praxis. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 57-84.
- (2012): What's in a name? Terminologische, typologische und programmatische Überlegungen zum Verhältnis der Sprachen im Bilingualen Unterricht. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.). 17-36.
- Diehr, B., und Frisch, S. (2018): Das Zusammenspiel von zwei Sprachen im bilingualen Unterricht. Theoretische Überlegungen, empirische Erkenntnisse und praktische Implikationen. In: Caruso, C. G., Hofman, J., Rohde, A., und Schick, K.-S. (Hrsg.): *Sprache im Unterricht. Ansätze, Konzepte, Methoden.* Trier: wvt. 245-260.
- Diehr, B., und Kroschewski, A. (2016): Einleitung. Bilingual unterrichten, lehren und forschen. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 15-18.
- Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.) (2016a). *Bilingualen Unterricht weiterentwickeln und erforschen. Inquiries in Language Learning/Forschungen zur Psycholinguistik und Fremdsprachendidaktik, Bd. 18.* Frankfurt a. M.: Lang.
- (2016b). Vorwort. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 11-13.
- Diehr, B., und Rumlich, D. (2021): *Bilingualer Unterricht. Aktuelle Herausforderungen und neue Chancen: Zur Einführung in den Themenschwerpunkt.* FLuL 50(1). 3-14.
- Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.) (2012): *Bilingualen Unterricht weiterdenken. Programme, Positionen, Perspektiven.* R. *Inquiries in Language Learning/Forschungen zur Psycholinguistik und Fremdsprachendidaktik, Bd. 7.* Frankfurt a. M.: Lang.
- Döring, N., und Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften.* 5. Aufl. Berlin: Springer.

- Doff, S. (Hrsg.): Bilingualer Unterricht in der Sekundarstufe: Eine Einführung. R. Narr Studienbücher. Tübingen: Narr.
- Duden. Online-Wörterbuch. Berlin: Bibliographisches Institut. Online: www.duden.de Letzter Zugriff: 27.07.2021.
- Duit, R. (2014): Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In: Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., et al. (Hrsg.): Teaching and Learning of Energy in K-12 Education. Cham: Springer. 67-86.
- Durrant, P. (2014): Discipline and Level Specificity in University Students' Written Vocabulary. Applied Linguistics 35(3). 328-356.
- Duske, P. (2017): Bilingualer Unterricht im Fokus der Biologiedidaktik. Auswirkungen von Unterrichtssprache und –kontext auf Motivation und Wissenserwerb. Berlin: Springer VS.
- Edenborough, M. (1998): Organic Reaction Mechanisms. A Step by Step Approach. 2. Aufl. London: Taylor & Francis.
- Eilks, I. (2005): Experiences and reflections about teaching atomic structure in a jigsaw classroom in lower secondary school chemistry lessons. J. of Chemical Education 82(2). 313-320.
- I. (2018): Action research in science education: A twenty-years personal perspective. Action Research and Innovation in Science Education 1(1). 3-14.
- Eilks, I., und Ralle, B. (2002): Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. CHEMKON, 9(1). 13–18.
- Emden, M., Koenen, J., und Sumfleth, E. (Hrsg.) (2015): Chemieunterricht im Zeichen von Diagnostik und Förderung. R. Ganz in. Münster: Waxmann.
- Emden, M., und Özcan, N. (2017): Entwurf sprachsensibler Unterrichtsmaterialien. In: Emden, M., Koenen, J., und Sumfleth, E. (Hrsg.). 40-46.
- Emden, M., Özcan, N., und Sumfleth, E. (2015): Diagnose und Förderung fachsprachlicher Fertigkeiten. In: Emden, M., Koenen, J., und Sumfleth, E. (Hrsg.). 29-39.
- Emden, M., und Sumfleth, E. (2015): Aufgaben im Chemieunterricht. Hinweise aus der empirischen Aufgabenforschung. In: Emden, M., Koenen, J., und Sumfleth, E. (Hrsg.). 52-59.
- Enns, K., und Burgess, W. H. (1965): The Photochemical Oxidation of Ethylenediaminetetraacetic Acid and Methionine by Riboflavin. J. of the American Chemical Society 87, 24, S. 5766-5770.
- Fandrych, C., und Thurmair, M. (1994): Ein Interpretationsmodell für Nominalkomposita: linguistische und didaktische Überlegungen. Deutsch als Fremdsprache 31(1). 34-45. Online: https://zs.thulb.uni-jena.de/receive/jportal_jparticle_00304652 Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Fausey, C. M., und Boroditsky, L. (2011): Who dunnit? Cross-linguistic differences in eye-witness memory. Psychonomic Bulletin & Review 18. 150-157.
- Fechner, S. (2009): Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education. R. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 95. Berlin: Logos.
- Fechner, S., und Schüttler, S. (2013): Experimentieren lernen auf Englisch – geht das?! Ein bilingual ausgerichtetes Chemieprojekt zur Vermittlung des Erkenntniswegs im Film. MNU 66 (5). 274-280.
- Fehling, S. (2010): Critical Language Awareness im bilingualen Unterricht: Relevanz für die lernenden und unterrichtliche Umsetzungsmöglichkeiten. In: Doff, S. (Hrsg.). 182-198.
- . (2008): Language Awareness und bilingualer Unterricht: Eine komparative Studie. Frankfurt a. M.: Lang.
- Felten, M., und Stern, E. (2012): Lernwirksam unterrichten. Im Schulalltag von der Lernforschung profitieren. 2. Aufl. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., und Sands, M. (1991): Vorlesungen über Physik. Bd. I. München: Oldenbourg.
- Field, J. (2011): Psycholinguistics. In: Simpson, J. (Hrsg.). 472-486.
- . (2008): Psycholinguistics. The Key Concepts. Abingdon, UK: Routledge.
- Fife, D. J., und Moore, W. M. (1979): The reduction and quenching of photoexcited flavins by EDTA. Photochemistry and Photobiology 29(1). 43-47.

- Fischler, H., und Peuckert, J. (Hrsg.) (2000a): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. R. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 1. Berlin: Logos.
- (2000b): Concept Mapping in Forschungszusammenhängen. In: Fischler, H., und Peuckert, J. (Hrsg.). 1-22.
- Friedrich, J. (2018): Modell und Modellexperimente. CHEMKON 25(8). 316.
- Friedrich, J., und Oetken, M. (2013): Modellexperimente. PdN-ChidS 62(8). 4.
- Friege, G., und Lind, G. (2000): Begriffsnetze und Expertise. In: Fischler, H., und Peuckert, J. (Hrsg.). 147-178.
- Fries, S., und Souvignier, E. (2015): Training. In: Wild, E., und Möller, J. (Hrsg.). 401-420.
- Frisch, S. (2021): Bilinguales Lernen in der Grundschule: Einblicke in sprachliche und naturwissenschaftliche Kompetenzen. FLuL 50(1). 31-49.
- (2016): Sprachwechsel als integraler Bestandteil bilingualen Unterrichts. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 85-102.
- Gablasova, D. (2015): Learning technical words through L1 and L2: Completeness and accuracy of word meanings. English for Specific Purposes 39. 62-74. Online: <https://doi.org/10.1016/j.esp.2015.04.002> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2014): Issues in the assessment of bilingually educated students: Expressing subject knowledge through L1 and L2. The Language Learning J. 42(2). 151-164. Online: <https://doi.org/10.1080/09571736.2014.891396> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Gallagher, F., und Colohan, G. (2017): T(w)o and fro: using the L1 as a language teaching tool in the CLIL classroom. The Language Learning J. 45(4). 485-498.
- García, O., und Wei, L. (2014): Translanguaging. Language, Bilingualism and Education. New York: Palgrave Macmillan.
- Geller, H. (2017): Gesprächsanalyse im bilingualen, englischsprachigen Chemieunterricht als Diagnosemöglichkeit für kognitive Prozesse. Diss. Wuppertal: Universität Wuppertal. Online: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DocumentServlet?id=7210> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Geller, H., und Tausch, M. W. (2016): Gesprächsanalyse im bilingualen, englischsprachigen Chemieunterricht. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 183-200.
- Gerlach, D., Goworr, J., und Schluckebier, J. (2012): Lernaufgaben als Planungsinstrumente: Vorschläge für den kompetenzorientierten Fremdsprachenunterricht und die Lehrerbildung. Beiträge zur Fremdsprachenvermittlung 52. 3-19.
- Gierlinger, E. M., und Wagner, T. A. (2016): The More the Merrier - Revisiting CLIL-Based Vocabulary Growth in Secondary Education. Latin American J. of Content and Language Integrated Learning 9(1). 37-63.
- Gilbert, E., und Hoffmann-Glewe, S. (1990): Ozonation of Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) in aqueous solution, influence of pH value and metal ions. Water Res. 24(1). 39-44.
- Goddard, C., und Wierzbicka, A. (2016): Words and meanings. Lexical semantics across domains, languages, and cultures. Paperback edition. Oxford: OUP.
- Gogolin, I. (2011): Bilingual Education. In: Simpson, J. (Hrsg.). 229-242.
- Gogolin, I., und Lange, I. (2011): Bildungssprache und Durchgängige Sprachbildung. In: Fürstenau, S., und Gomolla, M. (Hrsg.): Migration und schulischer Wandel: Mehrsprachigkeit. Wiesbaden: Springer VS. 107-128.
- Gökkuş née Yurdanur, Y. (2020): Explorative Studie zur curricularen Einbindung photochemischer Inhalte in den Chemieunterricht. Diss. Wuppertal: Universität Wuppertal. Online: <https://doi.org/10.25926/j4a4-b813> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Gökkuş, Y., und Tausch, M. W. (2021): Explorative Studie zur partizipativen und nutzenorientierten Forschung in der Chemiedidaktik. CHEMKON. Early View. Online: <https://doi.org/10.1002/ckon.202000079> Letzter Zugriff: 13.01.2022.

- Gökkuş née Yurdanur, Y., und Tausch, M. W. (2019): Metamorphosen eines Experiments – Vom hightech UV-Tauchlampenreaktor zur Low-Cost TicTac®-Zelle. CHEMKON 26(3). 125-129. Online: <https://doi.org/10.1002/ckon.201800095> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Gökkuş, Y., Wilke, T., Pöloth, B., et al. (2012): Trendbericht Chemiedidaktik 2021. Nachrichten aus der Chemie 69(12). 8-17.
- Graf, D. (2014): Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.). 325-337.
- Graf, E. (1999): Die Fotosynthese. Energiegewinnung und Energiespeicherung in der Natur. NiU 54. 42-43.
- Greinert, L. (2020): Konzeption und Evaluation eines curriculumorientierten Lehrgangs mit Fokus auf Energietransfer und Visualisierung mittels Infrarotkamera. Diss. Hannover: Universität Hannover.
- Grimm, N., Meyer, M., und Volkmann, L. (2015): Teaching English. Tübingen: Narr Francke Attempto.
- Groß, J., und Gropengießer, H. (2003): Erfassung von Lernprozessen mittels retrospektiver Befragung in Natur- und Erlebniswelten. In: Vogt, H., Krüger, D., und Unterbruner, U. (Hrsg.): Erkenntnisweg Biologiedidaktik 2. Berlin: Freie Universität Berlin/Didaktik der Biologie. 91-102. Online: https://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2003/2003_07_Gross.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2017): Students' conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour. Physics Education 52. 1-10.
- Haagen-Schützenhöfer, C., und Hopf, M. (2020): Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. Physical Review Physics Education Research 16. 1-24.
- Habelitz-Tkotz, W. (2019): Den Energiebegriff kumulativ entwickeln. Wie kann und soll man mit Lernenden über etwas sprechen, das man nicht definieren kann? NiU 173. 36-41.
- Habib, S. (2017): The meaning of 'angel' in English, Arabic, and Hebrew. In: Ye, Z. (Hrsg.). 89-118.
- Häder, M. (2019): Empirische Sozialforschung. Eine Einführung. 4. Aufl. Berlin: Springer VS.
- Hallet, W. (2015): Transkulturelles Lernen im CLIL-Unterricht. In: Rüschoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 289-308.
- (2012): Die komplexe Kompetenzaufgabe. Fremdsprachige Diskursfähigkeit als kulturelle Teilhabe und Unterrichtspraxis. In Hallet, W., und Krämer, U. (Hrsg.). 8-19.
- (2009): Literature and Literacies. Literarische Bildung als Paradigma für Standardisierung, Differenz und Heterogenität. In: Buschkühle, C.-P., Duncker, L., und Oswald, V. (Hrsg.) (2009): Bildung zwischen Standardisierung und Heterogenität – ein interdisziplinärer Diskurs. Wiesbaden: VS | GWV. 53-80.
- (2007): Bilingualer Unterricht. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 23-26.
- (2002): Auf dem Weg zu einer bilingualen Sachfachdidaktik. Bilinguales Lernen als fremdsprachige Konstruktion wissenschaftlicher Begriffe. Praxis des neusprachlichen Unterrichts 49(2). 115-126.
- (1998): The Bilingual Triangle. Überlegungen zu einer Didaktik des bilingualen Sachfachunterrichts. Praxis des neusprachlichen Unterrichts 45(2). 115-125.
- Hallet, W., und Königs, F. G. (2013): Handbuch Bilingualer Unterricht. Content and language integrated learning. Seelze: Kallmeyer Klett.
- Hallet, W., und Krämer, U. (Hrsg.) (2012): Kompetenzaufgaben im Englischunterricht. Grundlagen und Unterrichtsbeispiele. Seelze: Kallmeyer Klett Friedrich.
- Hammann, M., und Jördens, J. (2014): Offene Aufgaben codieren. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.). 169-178.
- Hammann, M., und Mayer, J. (2012): Was lernen Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren? Biologie in unserer Zeit 42(5). 284f.
- Harrison, A. G., und Treagust, D. F. (1996): Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules. Implications for Teaching Chemistry. Science Education 80(5). 509-534.

- Hayes, A. F., und Krippendorff, K. (2007): Answering the Call for a Standard Reliability Measure for Coding Data. *Communication Methods and Measures* 1(1). 77-89.
- Heffen, M. U. (2017): Photoredoxsysteme zur Konversion und chemischen Speicherung von Solarenergie. Diss. Wuppertal: Universität Wuppertal. Online: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fbc/chemie/diss2017/heffen/dc1703.pdf> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Heffen, M. U., und Tausch, M. W. (2015): Photokatalyse – homogen und heterogen. *Das Photo-Blue-Bottle Experiment* runderneuert. *PdN-ChidS* 64(6). 51-55.
- Heimes, A. (2010): Bilinguale Methoden für den mehrsprachigen Sachfachunterricht. *Praxis Fremdsprachenunterricht* 7. 7-10.
- Heine, L. (2014): Models of the bilingual lexicon and their theoretical implications for CLIL. *The Language Learning J.* 42(2). 225-237. Online: <https://doi.org/10.1080/09571736.2014.889973> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- . (2012): Mehr als nur Terminologie – Sprache im bilingualen Sachfach Erdkunde als Weg in die Fachlichkeit. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.). 91-110.
- . (2010): Fremdsprache und konzeptuelle Repräsentation. *Bilingualer Unterricht aus kognitiver Perspektive*. In: Doff, S. (Hrsg.). 199-212.
- Helfferrich, C. (2010): Die Qualität qualitativer Daten. *Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. 4. Aufl. Wiesbaden: VS.
- Heppinar, G. (2019): Förderung des wissenschaftlichen Schreibens angehender DeutschlehrerInnen in der Türkei am Beispiel des Exzerpieren – Eine Aktionsforschung. *Alman Dilil ve Edebiyatı Dergisi – Studien zur deutschen Sprache und Literatur* 41. 25-53. Online: <https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/sdsl/article/forderung-des-wissenschaftlichen-schreibens-angehender-deutschlehrerinnen-in-der-turkei-am-beispiel-des-exzerpieren-eine-aktionsforschung> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Herwig-Lempp, J. (2001): Die Form der guten Frage. *Kontext* 32. 33-55.
- Hilker, F. (2018): Modelle entwickeln und anwenden. In: Sieve, B., Hilker, F., und Sach, M. (Hrsg.): *Chemie unterrichten. Ein praktischer Leitfaden für Berufseinsteiger*. Seelze: Friedrich. 123-128.
- Hoffmann, K. (2005): Sprache als Unterrichtsthema im bilingualen Sachfachunterricht: Vorschläge für die Praxis. In: Bosenius, P., Donnerstag, J., und Rohde, A. (Hrsg.): *Der bilinguale Unterricht Englisch aus der Sicht der Fachdidaktiken*. Trier: wvt. 177-186.
- Höhle, B. (Hrsg.) (2012a): *Psycholinguistik*. 2. Aufl. Berlin: Akademie.
- . (2012b): *Psycholinguistik – ein Überblick*. In: Höhle, B. (Hrsg.). 9-22.
- Hollweck, S., und Schwarzer, S. (2020): Fostering Scientific Literacy with the Language of Science in the Production of a Nano-based After-sun Care Product in an Extracurricular Setting: A CLIL Approach in a Science Lab for School Students. In: Parchmann, I., Simon, S., und Apotheker, J. (Hrsg.): *Engaging Learners with Chemistry. Projects to Stimulate Interest and Participation*. R. *Advances in Chemistry Education*, Bd. 5. Cambridge: Royal Society of Chemistry. 154-191.
- Holmberg, P. (2019): The Development of Academic Vocabulary in Swedish. In: Sylvén, L. K. (Hrsg.). 173-186.
- Hülden, F. (2014): Sachfachlicher Lernerfolg und sprachlicher Zugewinn im Bilingualen Unterricht: Eine empirische Untersuchung im Rahmen eines bilingualen Moduls im Fach Chemie. *FLuL* 43(1). 109-124.
- Hußmann, S., Thiele, J., Hinz, R., et al. (2013): Gegenstandsorientierte Unterrichtsdesigns entwickeln und erforschen – Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In: Komorek, M., und Prediger, S. (Hrsg.): *Der lange Weg zum Unterrichtsdesign. Zur Begründung und Umsetzung genuin fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme*. Münster: Waxmann. 25-42.
- ISB (2020/2021): *Chemie (Arbeitssprache Englisch)*. München: ISB. Online: <https://www.bilingual.bayern.de/gymnasium/chemie/> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Ishikita, H., Loll, B., Biesiadka, J., et al. (2005): Redox Potentials of Chlorophylls in the Photosystem II Reaction Center. *Biochemistry* 44. 4118-4124.

- IUPAC (2014a): Photocatalysis. In: IUPAC. Compendium of Chemical Terminology 2. Aufl. Online: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/P04580> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2014b): Photocatalyst. In: IUPAC. Compendium of Chemical Terminology 2. Aufl. Online: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/PT07446> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2014c): Photosensitization. In: IUPAC. Compendium of Chemical Terminology 2. Aufl. Online: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/P04652> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Jiménez Catalán, R. M., und Agustín Llach, M. P. (2017): CLIL or time? Lexical profiles of CLIL and non-CLIL EFL learners. *System* 66. 87-99.
- Juchem-Grundmann, C. (2017): Kognitivierung. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 159f.
- Kalyanasundaram, K., und Dung, D. (1980): Role of proflavin as Photosensitizer for the Light-Induced Hydrogen Evolution from Water. *The J. of Physical Chemistry* 2551-2556.
- Keogh, B., und Naylor, S. (1999): Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International J. of Science Education* 21(4). 431-446.
- Kerr, K., Beggs, J., und Murphy, C. (2006): Comparing children's and student teachers' ideas about science concepts. *Irish Educational Studies* 25(3). 289-302.
- Kiesling, E., Brunnert, R., und Bohrmann-Linde, C. (2019): Bioethanol im bilingualen Chemieunterricht mithilfe der Methode Bilingual Poster Production. Poster. Aachen: GDCh-FGCU-Tagung/WIFO. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/mitarbeiter/rainer_brunnert/Poster_Elli_neu_v1.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kind née Barker, V. (2004): Beyond Appearances: Students' Misconceptions About Basic Chemical Ideas. Report. 2. Aufl. Durham, UK: Durham University (School of Education). Online: <https://edu.rsc.org/resources/beyond-appearances/2202.article> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kiran, T., und Nandibewoor, S. T. (2006): Oxidation of Aspirin by a new oxidant diperiodatoargentate(III) in aqueous alkaline medium. *J. of Chemical Research* 431-436.
- Kircher, E. (1995): Studien zur Physikdidaktik. Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen. Kiel. IPN.
- (1977): Einige erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Auffassungen und deren mögliche Auswirkungen auf die Fachdidaktik der Naturwissenschaften. *chimica didacticae* 3(2). 61-79.
- Kleinert, S. I., Isaak, R. C., Textor, A., et al. (2021): Die Nutzung gestufter Lernhilfen zur Unterstützung des Experimentierprozesses im Biologieunterricht – eine qualitative Studie. *ZfDN* 27. 59-71. Online: <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00126-1> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kloetzke, R., und Kirst, K. (2020). Chunks. Gerabronn: Zentrale für Unterrichtsmedien im Internet. Online: <https://deutsch-lernen.zum.de/wiki/Chunks?rdfrom=http%3A%2F%2Fdaf.zum.de%2Findex.php%3Ftitle%3DChunks%26redirect%3Dno> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- KMK (Hrsg.) (2020): Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Hürth: Wolters Kluwer. Online: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (Hrsg.) (2013): Bericht „Konzepte für den bilingualen Unterricht –Erfahrungsbericht und Vorschläge zur Weiterentwicklung“ Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 17.10.2013. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2013/201_10_17-Konzepte-bilingualer-Unterricht.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. München: Luchterhand/Wolters Kluwer. Online: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Knapp, D. R. (1979): Handbook of Analytical Derivatization Reactions. New York: Wiley.
- Koch, A. (2005): Bilingualer naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht: Entwicklung – Erprobung – Evaluation. Diss. Kiel: Universität Kiel. Online: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-15310> Letzter Zugriff: 13.01.2022.

- Köhne, T., und Bohrmann-Linde, C. (2010): "You can't - was heißt trennen? - these particles" und es geht doch: bilingualer Chemieunterricht. PdN-ChidS 59(7). 45-48.
- Königs, F. G. (2013): Mehrsprachigkeit und Bilingualer Unterricht/CLIL: Die Begriffsvielfalt von Mehrsprachigkeit. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 32-39.
- König, B., und Hilgers, P. (2016): Werkzeuge für Reaktionen. Funktionelle Farbstoffe als Photosensibilisatoren und Photokatalysatoren für Reaktionen mit sichtbarem Licht. PdN-ChidS 65(1). 25-27.
- Kötter, M. (2017): Wortschatzarbeit im Fremdsprachenunterricht. Grundlagen und Praxis in Primarstufe und Sekundarstufe I. Seelze: Klett Kallmeyer.
- Kondring, B., und Ewig, M. (2005): Aspekte der Leistungsmessung im bilingualen Biologieunterricht. Z. für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen 14(1). 49-62. Online: <https://doi.org/10.4119/zdb-1665> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Korn, S., und Tausch, M. W. (2001): A Laboratory Simulation for Coupled Cycles of Photosynthesis and Respiration. J. of Chemical Education 78(9).1238-1240.
- (2000): Kreislauf des Kohlenstoffs in der Biosphäre. Ein Modellversuch. PdN-ChidS 49(7). 29-31.
- Krause, M., und Eilks, I. (2019): Using action research to innovate teacher education concerning the use of modern ICT in chemistry classes. Action Research and Innovation in Science Education 2(1). 15-21.
- Kremer, R., Bohrmann-Linde, C., und Tausch, M. W. (2021): Künstliche Photosynthese im Fokus. Photokatalytische Wasserstoffherzeugung in der Eintopfzelle. CHEMKON. Early View. Online: <https://doi.org/10.1002/ckon.202000091> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kremer, R., Meuter, N., und Tausch, M. W. (2019): Towards artificial photosynthesis: Promoting microscale photochemistry in science education. African J. of Chemical Education 9(3). 120-134. Online: <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/191417> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kremer, R., und Tausch, M. W. (2019): Unterwegs zur künstlichen Photosynthese – Photokatalytische Reduktionen in Modellexperimenten. Chemie & Schule, 34(3). 15-29.
- Kremer, R., Tausch, M. W., Meuter, N. (2019): Photochemische Wasserstoffherstellung mit dem Photo-Blue-Bottle-Experiment. Video. Wuppertal: Universität Wuppertal. Online: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photokatalytische-herstellung-von-wasserstoff.html> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Kroll, J. F., und De Groot, A. M. B. (2007): Lexical and conceptual memory in the bilingual: Mapping form to meaning in two languages. In: Wei, L. (Hrsg.): The Bilingualism Reader. 2. Aufl. Abingdon, UK: Routledge. 405-428.
- Kroll, J. F., und Stewart, E. (1994): Category Interference in Translation and Picture Naming: Evidence for Asymmetric Connections between Bilingual Memory Representations. J. of Memory and Language 33. 149-17.
- Krüger, D., Kauertz, A., und Upmeyer zu Belzen, A. (2018): Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin: Springer Nature. 141-157.
- Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.) (2014): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin: Springer.
- Kuckartz, U. (2016): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 3. Aufl. Weinheim: Beltz.
- Kulkarni, S. D., Naik, P. N., und Nandibewoor, S. T. (2009): Mechanistic Study on the Oxidation of Sulfacetamide by Aqueous Alkaline Diperiodatoargentate(III). Industrial & Engineering Chemistry Research 48. 591-597.
- Kupetz, R. (2017): Multiple Literacy. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 225f.
- Lamnek, S., und Krell, C. (2016): Qualitative Sozialforschung. 6. Aufl. Weinheim: Beltz.
- Lasagabaster, D., und Doiz, A. (2015): A Longitudinal Study on the Impact of CLIL on Affective Factors. Applied Linguistics 38(5). 688-712.

- Laudonia, I., und Eilks, I. (2016): Lehrerzentrierte vs. Partizipative Aktionsforschung – Praxisorientierte Forschung und Unterrichtsentwicklung in der beruflichen Schule. In: Juen-Kretschmer, C., Mayr-Keiler, K., Örley, G., et al. (Hrsg.): *Visible Didactics – Fachdidaktische Forschung und Praxis*. Transfer Forschung-Schule 2. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. 125-132.
- Laudonia, I., Mamlok-Naaman, R., Abels, S., et al. (2017). Action research in science education – an analytical review of the literature. *Educational Action Research* 26(3). Online: <https://doi.org/10.1080/09650792.2017.1358198> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Laufer, B. (1998): The development of passive and active vocabulary in a second language: Same or different? *Applied Linguistics* 19(2). 255-271.
- Laufer, B., und Nation, P. (1995): Vocabulary size and use: Lexical richness in L2 written production. *Applied Linguistics* 16(3). 307-322.
- Laupenmühlen, J. (2012): Das Bilinguale im Biologieunterricht – Konzeptbildung in zwei Sprachen. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.). 163-182.
- Leifiphysik (2020): Newtons Versuche zu den Farben. Hamburg: Joachim Herz Stiftung. Online: <https://www.leifiphysik.de/optik/farben/versuche/newtons-versuche-zu-den-farben> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Leisen, J. (2015a): Zur Integration von Sachfach und Sprache im CLIL-Unterricht. In: Rüschoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 225-244.
- (2015b): Planung von CLIL-Unterricht. *Z. für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht* 20(2). 45-58. Online: <https://ojs.tu-journals.ulb.tu-darmstadt.de/index.php/zif/issue/view/64> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2013): *Handbuch Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Stuttgart: Klett.
- Lewis, G., Jones, B., und Baker, C. (2012): Translanguaging: origins and development from school to street and beyond. *Educational Research and Evaluation* 18(7). 641-654.
- Lim Falk, M. (2015): English and Swedish in CLIL student texts. *The Language Learning J.* 43(3). 304-318.
- Lin, A. M. Y. (2015): Conceptualising the potential role of L1 in CLIL. *Language, Culture and Curriculum* 28(1). 74-89.
- (2013): Classroom code-switching: three decades of research. *Applied Linguistic Review* 4(1). 195-218.
- Lin, C.-Y., und Hu, R. (2003): Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International J. of Science Education* 25(12). 1529-1544.
- Lindemann, M., und Diehr, B. (2016): Two wor(l)ds? Interkulturelles Lernen an partieller Konzeptäquivalenz im bilingualen Unterricht. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 261-274
- Lindstromberg, S. (2019): Intentional L2 Vocabulary Learning. In: Webb, S. (Hrsg.). 240-254.
- Lipowsky, F. (2015): Unterrichten. In: Wild, E., und Möller, J. (Hrsg.). 69-106.
- Lütge, C. (2017): Handlungskompetenz. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 118f.
- Lutz, B., und Pfeifer, P. (2002): *Fachwissenschaft, Lebenswirklichkeit und Chemieunterricht*. In: Pfeifer, P., Lutz, B., und Bader H. J. (2002): *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Neubearbeitung 2002. 3. Aufl. München: Oldenbourg.
- Maamuujav, U. (2021): Examining lexical features and academic vocabulary use in adolescent L2 students' text-based analytical essays. *Assessing Writing* 49. Online: <https://doi.org/10.1016/j.asw.2021.100540> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Mahr, B. (2008): Ein Modell des Modellseins - ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In: Dirks, U., und Knobloch, E. (Hrsg.): *Modelle*. Frankfurt a. M.: Lang. 187-220.
- Mamlok-Naaman, R. (2017): Curriculum implementation in science education. In: Taber, K., und Akpan, B. (Hrsg.): *Science Education. An International Course Companion*. Rotterdam: Sense. 199-210.

- Mayer, G. (2009): Photosynthese. RÖMPP Online. Stuttgart: Thieme.
<https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-02119> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- McConnell, I., und Brudvig G. W. (2013): Photosystem II. In: Roberts, G. C. K. (Hrsg.): Encyclopedia of Biophysics. Berlin: Springer. 1879-1882. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-642-16712-6_23
 Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- McHatton, P. A., Shaunessy-Dedrick, E., Farmer, J. L., et al. (2014): Investigating Middle School Students' Perceptions of Their Learning Environments through Drawings. Middle Grades Research J. 9(2). 37-55.
- McKay, Sandra Lee (1980): On Notional Syllabuses. The Modern Language J. 64(2). 179-186.
 Online: <https://www.jstor.org/stable/325300> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- McKenney, S., und Reeves, T. C. (2013): Educational Design Research. In: Spector, M. J., Merrill, M. D., Elen, J., et al. (Hrsg.): Handbook of Research on Educational Communications Technology. Berlin: Springer. 131-140.
- Mentz, O. (2013): Lehrpläne und Curricula für den Bilingualen Unterricht. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 87-93.
- Merikivi, R., und Pietilä, P. (2014): Vocabulary in CLIL and mainstream education. J. of Language Teaching and Research 5(3). 487-497.
- Merriam-Webster Dictionary. Springfield, MA: Merriam-Webster. Online: <https://www.merriam-webster.com/> Letzter Zugriff: 27.07.2021.
- Merzyn, G. (2013): Guter Chemieunterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern, Wissenschaftlern. PdN-ChidS 62(1). 37-42.
- Meuter, N. (2018). Photolumineszenz und Photochromie in Lösungen und in Feststoffmatrices – Interaktionsbox Photo-Mol. Diss. Wuppertal: Universität Wuppertal. Online:
<http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fbc/chemie/diss2018/meuter/dc1821.pdf>
 Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Meyer, H. (2004): Was ist guter Unterricht? 10. Aufl. Berlin: Cornelsen.
- Meyer, O. (2010): Introducing the CLIL Pyramid: Key Strategies and Principles for Quality CLIL Planning and Teaching. In: Eisenmann, T., und Summer, T. (Hrsg.): Basic Issues in EFL Teaching and Learning. R. Anglistische Forschungen, Bd. 420. Heidelberg: Winter. 265-284.
- Mifsud, E., und Tunnicliffe, S. D. (2018): Learning at natural history dioramas: a model for interpreting museum biological settings. In: Gericke, N., und Grace, M. (Hrsg.): Challenges in Biology Education. A selection of papers presented at the XIth conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB). Karlstad: Karlstad University/The Centre of Science, Mathematics and Engineering Education Research. 58-72.
- Mills, A., McFarlane, M., und Schneider, S. (2006): A viologen-based UV indicator and dosimeter. Analytical and Bioanalytical Chemistry 386. 299-305.
- Milton, J. (2009): Measuring Second Language Vocabulary Acquisition. R. Second Language Acquisition. Bristol: Multilingual Matters.
- Mohammad, M. (1987): Methyl Viologen Neutral MV: 1. Preparation and Some Properties. J. Org. Chem. 52(13). 2779-2782.
- Monk, P. M. (1998): The Viologens. Physicochemical Properties, Synthesis and Applications of the Salts of 4,4'-Bipyridine. Chichester: Wiley.
- Monk, P. M., Mortimer, R., und Rosseinsky, D. (2007): Electrochromism and Electrochromic Devices. Cambridge: CUP.
- Motekaitis, R. J., Martell, A. E., Hayes, D., et al. (1980): The iron(III)-catalyzed oxidation of EDTA in aqueous solution. Can. J. Chem. 58(19). 1999-2005.
- MSW (Hrsg.) (2014a): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Chemie. Online: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/151/KLP_GOST_Chemie.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (Hrsg.) (2014b): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Englisch. Online: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/e/KLP_GOST_Englisch.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.

- (Hrsg.) (2012): Allgemeine Dienstordnung für Lehrerinnen und Lehrer, Schulleiterinnen und Schulleiter an öffentlichen Schulen (ADO). Online: <https://bass.schul-welt.de/12374.htm> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (Hrsg.) (2007): Kernlehrplan für den verkürzten Bildungsgang des Gymnasiums – Sekundarstufe I (G8) in Nordrhein-Westfalen. Englisch. Online: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/18/gym8_englisch.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (Hrsg.) (o.J.): Chemie. Übersicht über die Operatoren. Online: <https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/cms/zentralabitur-wbk/faecher/getfile.php?file=2234> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Müller, M. (2018): Lernaufgaben für die Entwicklung interkultureller Kompetenzen im bilingualen Geographieunterricht. Unterrichtsverlaufsmodell und empirische Untersuchungen. R. Giessener Beiträge zur Fremdsprachendidaktik. Tübingen: Narr Francke Attempto.
- Müller-Lancé, J. (2003): A strategy model of multilingual learning. In: Cenoz, J., Hufeisen, B., und Jessner, U. (Hrsg.): The Multilingual Lexicon. New York: Kluwer.
- Näs, H. (2012): Understanding Photosynthesis and Respiration: Is It a Problem? Eighth Graders' Written and Oral Reasoning About Photosynthesis and Respiration. In: Tan, K. C. D., und Kim, M. (Hrsg.) Issues and Challenges in Science Education Research. Moving Forward. Dordrecht: Springer. 73-92.
- Näs, H., und Ottander, C. (2008): Student reasoning while investigating plant material. Nordic Studies in Science Education 4(2). 177-191.
- Nation, I. P. (2001): Learning Vocabulary in Another Language. Cambridge: CUP.
- Nawrot-Lis, B. (2019): The Challenges of Content Acquisition in a CLIL Course. A CLIL-Based Chemistry Course at the Lower Secondary School Level. Berlin: Metzler/Springer.
- Neuroth, J. (o.J.): Concept Mapping – eine Lernstrategie zum besseren Textverständnis. Duisburg: Universität Duisburg-Essen. Online: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/chemiedidaktik/ag-sumfleth/trainingsprogramm-concept_mapping-strategie.pdf Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Neveling, C. (2017): Wortschatz und Wortschatzvermittlung. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 379-381.
- (2016): Verfügen über sprachliche Mittel: Wortschatz. In: Burwitz-Melzer, E., Mehlhorn, G., Riemer, C., et al. (Hrsg.): Handbuch Fremdsprachenunterricht. 6. Aufl. Tübingen: UTB. 116-121.
- Nickel, H., und Schweighoffer, C. (2018): Chemie mit allen Sinnen. Sprachsensibel unterrichten – ein Erfahrungsbericht. NiU 168. 22-27.
- Niebert, K., und Gropengießer, H. (2014): Leitfadengestütztes Interview. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.). 121-132.
- Niemeier, S. (2010): Bilingualismus und „bilinguale“ Bildungsgänge aus kognitiv-linguistischer Sicht. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 23-46.
- Nikula, T., Dalton-Puffer, C., und Llinares, A. (2013): CLIL classroom discourse. Research from Europe. J. of Immersion and Content-Based Language Education 1(1). 70-100.
- Nikula, T., und Moore, P. (2019): Exploring Translanguaging in CLIL. International J. of Bilingual Education and Bilingualism 22(2). 237-249.
- Nuopponen, A. T. (2011): Methods of concept analysis - tools for systematic concept analysis (part 3 of 3). LSP J. 2(1). 4-15.
- (2010a): Methods of concept analysis - a comparative study. Part 1 of 3. LSP J. 1(1). 4-12.
- (2010b): Methods of concept analysis - towards systematic concept analysis (part 2 of 3). LSP J., 1(2). 5-14.
- Özcan, N. (2012): Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht. R. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 144. Berlin: Logos.
- Ohlberger, S. (2019): Profitieren Schüler von bi(o)lingual? Konzeption, Durchführung und Evaluation der Wirksamkeit bilingualer Module. Diss. Bielefeld: Universität Bielefeld. Online: <https://pub.uni-bielefeld.de/record/2937093> Letzter Zugriff: 13.01.2022.

- Ohlberger, S., und Wegner, C. (2018): Bilingualer Sachfachunterricht in Deutschland und Europa – Darstellung des Forschungsstandes. Herausforderung Lehrer_innenbildung 1. 45-89. Online: <https://doi.org/10.4119/hlz-2390> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Old, J. L., und Priss, U. (2001): Metaphor and Information Flow. Proceedings of the 12th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference. 99-104.
- Olsson, E., und Sylvén, L. K. (2019): English Productive Proficiency. In: Sylvén, L. K. (Hrsg.). 117-135.
- Orimoto, Y., Ishimoto, K., und Aoki, Y. (2018): Role of Pyridinium Groups and Iodide Ions in Photoelectrochromism in Viologen-Based Ion-Pair Charge-Transfer Complexes: Molecular Orbital Analysis. J. of Physical Chemistry C 122. 4546-4556.
- Oxford Text Checker. Oxford: OUP. Online: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/text-checker/> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Parchmann, I., und Bernholt, S. (2013): In, mit und über Chemie kommunizieren – Chancen und Herausforderungen von Kommunikationsprozessen im Chemieunterricht. In: Becker-Mrotzek, M., Schramm, K., Thürmann, E., et al. (Hrsg.). 241-255.
- Parchmann, I., Schwarzer, S., Wilke, T., et al. (2017): Von Innovationen der Chemie zu innovativen Lernanlässen für den Chemieunterricht und darüber hinaus: Wie finden chemische Forschung und Entwicklung systematisch und zeitnah Eingang in unterrichtliche und außerunterrichtliche Lernprozesse? CHEMKON 24(4). 161-164.
- Parchmann, I., und Sommer, K. (2018): Kompetenzorientierte Lehrpläne. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 117-138.
- Parchmann, I., und Venke, S. (2008): Eindeutig – zweideutig?! Chemische Fachsprache im Unterricht. NiU 106/107. 10-15.
- Patzelt, C. (Hrsg.): Gli uomini si legano per la lingua. Festschrift für Werner Forner zum 65. Geburtstag. R. Romanische Sprache und ihre Didaktik, Bd. 35. Stuttgart: ibidem. 371-388.
- Pavlenko, A. (2009): Conceptual Representation in the Bilingual Lexicon and Second Language Vocabulary Teaching. In: Pavlenko, A. (Hrsg.) (2009): The Bilingual Mental Lexicon. Interdisciplinary Approaches. Bristol: Multilingual Matters. 125-160.
- (2003): Eyewitness memory in late bilinguals: Evidence for discursive relativity. International J. of Bilingualism 7(3). 257-281.
- Pavón Vázquez, V., und Ramos Ordóñez, M. d. C. (2019): Describing the use of the L1 in CLIL: an analysis of L1 communication strategies in classroom interaction. International J. of Bilingual Education and Bilingualism 22(1). 35-48.
- Peetz, M. K. (2019): Evaluation von Schülervorstellungen mithilfe von Animationen. Der Löseprozess von Zucker und Salz in Wasser. Diss. Oldenburg: Universität Oldenburg.
- Peichert, R. (2005): Farbstoffchemie in der Schule. Chemie in unserer Zeit 39. 106-114.
- Peuckert, J., und Fischler, H. (2000): Concept Maps als Diagnose- und Auswertungsinstrument in einer Studie zur Stabilität und Ausprägung von Schülervorstellungen. In: Fischler, H., und Peuckert, J. (Hrsg.). 91-116.
- Pfeifer, P. (2018a): Chemiedidaktik, die Berufswissenschaft für Lehrende im Fach Chemie. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 12-16.
- (2018b): Der heutige Chemieunterricht und seine Entwicklungsgeschichte. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 645-665.
- (2002): Aufgaben und Inhalte der Fachdidaktik Chemie. In: Pfeifer, P., Lutz, B., und Bader, H. J. (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neubearbeitung. 3. Aufl. München: Oldenbourg. 9f.
- Pfeifer, P., und Sommer, K. (2018a): Modelle und Erkenntnis. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 519-524.
- (2018b): Modelle und Analogien. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 528f.
- Pham, D.-T., Gentz, K., Zörlein, C., et al. (2006): Surface redox chemistry of absorbed viologens on Cu(100). New J. Chem. 30. 1439-1451.
- Piske, T. (2015): Zum Erwerb der CLIL-Fremdsprache. In: Rüschoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 101-126.

- Plag, I. (2011): ... und Englisch ist doch komplexer! Eine empirische Analyse von Nebensätzen in deutschen und englischen Fachtexten der Sprachwissenschaft. In: Frevel, C., Klein, F.-J., und Poizat, O., Sourisseau, C., und Corset, J. (1986): Vibrational and electronic study of the methyl viologen radical cation MV^{•+} in the solid state. *J. Molec. Struct.* 143. 203-206.
- Polias, J. (2016): *Apprenticing students into science. Doing, talking and writing scientifically.* Melbourne: Lexis Education.
- PONS Online-Wörterbuch Englisch-Deutsch, Deutsch-Englisch. Stuttgart: PONS. Online: <https://de.pons.com/> Letzter Zugriff: 27.07.2021.
- Porst, R. (2014): *Fragebogen. Ein Arbeitsbuch.* 4. Aufl. Berlin: Springer VS.
- Porter, W. W., und Vaid, T. P. (2005): Isolation and Characterization of Phenyl Viologen as a Radical Cation and Neutral Molecule. *The Journal of Organic Chemistry* 70. 5028-5035.
- Prechtl, P. (2016): *Formelsprache.* In: Glück, H., und Rödel, M. (Hrsg.): *Metzler Lexikon Sprache.* 5. Aufl. Stuttgart: Metzler. 206.
- Prediger, S. (Hrsg.) (2020): *Sprachbildender Mathematikunterricht in der Sekundarstufe. Ein forschungsbasiertes Praxisbuch.* Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Preisfeld, A. (2016): Die Bedeutung bilingualen Experimentalunterrichts in Biologie für die fachliche und sprachliche Kompetenz. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 103-124.
- Ralle, B., und Di Fuccia, D.-S. (2014): Aktionsforschung als Teil fachdidaktischer Entwicklungsforschung. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.) (2014). 43-55.
- Reiners, C. (2017): *Chemie vermitteln. Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen.* Berlin: Springer Spektrum.
- Reiners, C., und Saborowski, J. (2017a): Wissensvermittlung durch Transformation. In: Reiners, C. (2017). 33-90.
- (2017b): Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In: Reiners, C. (2017). 91-146.
- Reschke, T., Koenen, J., und Sumfleth, E. (2020): Vom situationalen Interesse zum Lernerfolg: Lese geschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *ZfDN* 26. 191-206.
- Renkl, A. (2015): Wissenserwerb. In: Wild, E., und Möller, J. (Hrsg.). 3-24.
- Rincke, K. (2011): It's rather like Learning a Language: Development of talk and conceptual understanding in mechanics lessons. *International J. of Science Education* 11(2). 229-258.
- (2010a): Von der Alltagssprache zur Fachsprache – Bruch oder schrittweiser Übergang? In: Fenhart, G., Zeitlinger, E., und Lembens, A. (Hrsg.): *Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften. R. ide-extra, Bd. 16.* Innsbruck: Studien. 47-62.
- (2010b): Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *ZfDN* 16. 235-260.
- Reinmann, C. (2018): *Reader zu Design-Based Research (DBR).* Hamburg: Universität Hamburg. Online: https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2018/06/Reader_DBR_Juni2018.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Rittersbacher, C. (2007): Zur Eignung der Naturwissenschaften – insbesondere der Chemie – für den bilingualen Unterricht: Die Synergetik sprachlicher und sachfachlicher Phänomene. *FLuL* 36. 111-125.
- Rode, S., und Skribe Dimec, D. (2012): Pojmovanje fotosinteze (Understanding photosynthesis). *Naravoslovna solnica* 16(3). 4-7.
- Rodenhauser, A., und Preisfeld, A. (2016): A Glue from Snail Slime?! Umsetzung und Evaluation eines bilingualen Moduls für den Biologieunterricht. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 221-243.
- RÖMPP-Redaktion (2002a): *Spannungsreihe.* In: RÖMPP Online. Stuttgart: Thieme. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-19-03139> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2002b): *Verbrennung.* In: RÖMPP Online. Stuttgart: Thieme. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-22-00348> Zugriff: 14.01.2022.
- Roche, J., und Suñer, F. (2017): *Sprachenlernen und Kognition. Grundlagen einer kognitiven Sprachdidaktik.* Tübingen: Narr Francke Attempto.

- Ross, K. (1993): There is no energy in food and fuels - but they do have fuel value. *School Science Review* 221. 39-47.
- Rüchardt, C., und Mayer-Rüthardt, I. (1969): Die Chemie freier Radikale. *ChiuZ* 3(2). 40-49.
- Rüschhoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.) (2015): CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Stand des bilingualen Sachfachunterrichts. R. F.A.L., Bd. 54. Frankfurt a. M.: Lang.
- Rumlich, D. (2015). Zur affektiv-motivationalen Entwicklung von Lernenden im bilingualen Sachfachunterricht. In: Rüschhoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 309-330.
- Rymarczyk, J. (2012): „'Bilingual' ist doch die richtige Bezeichnung!“ - Code-Switching im englischsprachigen Kunstunterricht. In: Diehr, B., und Schmelter, L. (Hrsg.). 111-130.
- Sakuragi, Y., und Bryant, D.A. (2006): Genetic Manipulation of Quinone Biosynthesis in Cyanobacteria. In: Golbeck, J. H. (Hrsg.): *Photosystem I: The Light-Driven Plastocyanin: Ferredoxin Oxidoreductase*. Berlin: Springer. 205-222.
- Salhi, A. (2018): Das multilinguale Lexikon und die Mehrsprachigkeit. Diss. Universität Marburg. Online: <https://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2019/0106/pdf/das.pdf> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Sandmann, A. (2014): Lautes Denken. Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Krüger, D., Parchmann, I., und Schecker, H. (Hrsg.). 179-188.
- Savada, D., Hillis, D., Heller, H. C., et al. (2019). *Purves Biologie*. Deutsche Übersetzung. 10. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Schart, M. (Hrsg.) (2019): *Fach- und sprachntegrierter Unterricht an der Universität. Untersuchungen zum Zusammenspiel von Inhalten, Aufgaben und dialogischen Lernprozessen*. Narr Francke Attempto: Tübingen.
- Schart, M., Hoshii, M., und Raindl, M. (Hrsg.) (2013): *Lernprozesse verstehen – empirische Forschungen zum Deutschunterricht an japanischen Universitäten*. München: IUDICUM.
- Schart, M., und Schocker, M. (2013): ‚Die Menschen stärken, die Sachen klären‘: Die Aktionsforschung als praktikabler Weg zur gemeinsamen Entwicklung von Unterricht. In: Schart, M., Hoshii, M., und Raindl, M. (Hrsg.). 40-59.
- Schecker, H., und Höttecke, D. (2021): Unterrichtskonzeptionen für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen. In: Wilhelm, T., Schecker, H., und Hopf, M. (Hrsg.): *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum. 475-519.
- Scheepers, R. (2018): Probing the depths: can both size and depth of productive vocabulary predict academic performance? *Per Linguam* 34(2). 52-68.
- Schiefele, U., und Schaffner, E. (2015): Motivation. In: Wild, E., und Möller, J. (Hrsg.). 153-176.
- Schlichting, H. J., und Backhaus, U. (1984): Energieverbrauch und Energieentwertung. *Der Physikunterricht* 18(3). 24-34.
- Schmelter, L. (2016): Zwei Sprachen, ein Verfahren? Diagnostik und Leistungsbewertung im bilingualen Unterricht. In: Diehr, B., Preisfeld, A., und Schmelter, L. (Hrsg.). 125-146.
- . (2013): Entwicklungstendenzen und Desiderata der bilingualen Sachfachdidaktik. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 40-45.
- Schmenk, B. (2017): Kommunikative Kompetenz. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 261-263.
- Schmidkunz, H., und Parchmann, I. (2011): Basiskonzept Energie. *NiU* 121. 2-7.
- Schmitz, R.-P. (2020): Die Lichtreaktion der Fotosynthese. Wie gewinnen grüne Pflanzen Energie aus Sonnenlicht? Interaktive Animation. In: *Chemie interaktiv*. Online: <https://www.chemie-interaktiv.net/> bzw. https://www.chemie-interaktiv.net/html5_flash/effz_elektronentransportkette.html Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Schneider, V. (2012): Beteiligung ATP-abhängiger Transportprozesse an der Resistenz gegenüber Platinkomplexen. Diss. Universität Bonn. Online: <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/5355> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Scholl, T., und Schmelter, L. (2021): Zur Integration von sprachlichem und konzeptuellem Lernen im bilingualen Unterricht - Potenziale inszenierter Sprachmittlung im deutsch-französischen Geschichtsunterricht. *FLuL* 50(1). 15-30.

- Schreier, M. (2014): Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. *Forum Qualitative Sozialforschung* 15(1). Art. 18. Online: <https://doi.org/10.17169/fqs-15.1.2043> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Schulz, A. (2010): Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. Eine Videostudie. R. Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 113. Berlin, Logos.
- Schwanke, K. (2016): Zur Entwicklung des rezeptiven Wortschatzes bei teilimmersiv unterrichteten Fünftklässlern: Eine Pilotstudie. In: Steinlen, A., und Piske, T. (Hrsg.): *Wortschatzlernen in bilingualen Schulen und Kindertagesstätten*. R. F.A.L., Bd. 57. Frankfurt a. M.: Lang. 211-234.
- Si, A. (2017): The semantics of honeybee terms in Solega (Dravidian). In: Ye, Z. (Hrsg.). 221-245.
- Siepmann, D. (2010): Gesellschaftlich unterbewertet. Die Übersetzung deutscher wissenschaftlicher Texte ins Englische. *Forschung und Lehre* 17(8). 580-582.
- Sieve, B., und Offermann, S. (2018): Fotosynthese chemisch betrachtet. Grundlegende chemische Konzepte an einem typisch biologischen Thema vermitteln. *NiU* 165. 34-39.
- Simpson, J. (Hrsg.) (2011): *The Routledge Handbook of Applied Linguistics*. Abingdon, UK: Routledge.
- Skehan, P. (2015): Working Memory and Second Language Performance: A Commentary. In: Wen, Z., Borges Mota, M., und McNeill, A. (Hrsg.): *Working Memory in Second Language Acquisition and Processing*. R. Second Language Acquisition. Bristol: Multilingual Matters. 189-204.
- Skribe Dimec, D., und Strgar, J. (2017): Scientific Conceptions of Photosynthesis among Primary School Pupils and Student Teachers of Biology. *CEPS J.* 7(1). 49-68.
- Smit, U. (2010): English as a Lingua Franca in Higher Education. A Longitudinal Study of Classroom Discourse. R. Trends in Applied Linguistics, Bd. 2. Berlin: De Gruyter Mouton.
- . (2007): Introduction. *Vienna English Working Papers* 16(3). 3-5.
- Sörensen, M., Zurell, S., und Frimmel, F. H. (1998): Degradation Pathway of the Photochemical Oxidation of Ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in the UV/H₂O₂-process. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 26(2). 109-115.
- Sommer, K. (2007): *Die Fachmethoden der Chemie*. R. Praxis Schriftenreihe Chemie, Bd. 58. Köln: Aulis Deubner.
- Sommer, K., Klein, M., Steff, H., et al. (2012): Modellexperimente. Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung. *NiU* 132. 2-9.
- Sommer, K., und Parchmann, I. (2018): Kompetenzorientierte Lehrpläne. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 117-138.
- Sommer, K., und Pfeifer, P. (2018): Ziele des Chemieunterrichts und chemiedidaktische Leitlinien. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 139-174.
- Sommer, K., Steff, H., und Toschka, C. (2018): Modellexperimente. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 541-547.
- Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., et al. (2017): Modellexperimente im Chemieunterricht: Ein Beitrag zur Definition des Begriffes Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. *CHEMKON* 24(1). 13-19.
- Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.) (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Seelze: Aulis Friedrich.
- Stachowiak, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.
- Stadie, N., Drenhaus, H., Höhle, B., et al. (2012): Forschungsmethoden der Psycholinguistik. In: Höhle, B. (Hrsg.). 23-38.
- Steff, H., Schröder, T. P., Buse, S., et al. (2016): Analytik rund ums Holi-Pulver. Indisches Ritual und zeitgemäße Ausbildung. *ChiuZ* 50(1). 18-25.
- Steigert, T. (2012): Schülervorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel und die Bedeutung von Experimenten bei der Entwicklung von Konzepten. Hamburg: Kovac.
- . (2011): Schülervorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel – und die Bedeutung von Experimenten bei der Entwicklung von Konzepten. Diss. Ludwigsburg: PH Ludwigsburg.
- Stein, H. (2015): Bioenergy: Nachwachsende Rohstoffe als bilinguales Unterrichtsmodul. *NiU* 148. 7-17.

- Steinbuch, K. (1977): Denken in Modellen. In: Schaefer, G., Trommer, G., und Wenk, K. (Hrsg.): Denken in Modellen. R. Beiträge zur Didaktik der Naturwissenschaften, Bd. 2. Braunschweig: Westermann. 10-17.
- Steinke, I. (1999): Kriterien qualitativer Forschung. Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung. Weinheim: Juventa.
- Stockwell, B. R. (2011): The Quest for the Cure: The Science and Stories Behind the Next Generation of Medicines. New York: Columbia UP.
- Stracke, I., Gräsel, C., und Demuth, R. (2004): Diagnose von vernetztem Wissen. PdN-ChidS 53(8). 8-11.
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., et al. (2019): Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum.
- Strippel, C., und Bohrmann-Linde, C. (2018): Sprache im Chemieunterricht. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 239-248.
- Surkamp, C. (Hrsg.) (2017): Metzler Lexikon Fremdsprachendidaktik. Ansätze – Methoden – Grundbegriffe. 2. Aufl. Stuttgart: Metzler.
- Sumfleth, E., Kobow, Tunali, N., et al. (2013): Fachkommunikation im Chemieunterricht. In: Becker-Mrotzek, M., Schramm, K., Thürmann, E., et al. (Hrsg.). 255-276.
- Sumfleth, E., und Nakoinz, S. (2019): Chemie verstehen – beobachtbare makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebene modellbasiert interpretieren. ZfDN 25. 231-243.
- Sumfleth, E., Neuroth, J., und Leutner, D. (2010): Concept Mapping – eine Lernstrategie muss man lernen. CHEMKON 17(2). 66-70.
- Sun, Y, Kirschenbaum, L. J., und Kouadio, I. (1991): Kinetics and Mechanism of the Multi-step Oxidation of Ethylenediaminetetraacetate by $[Ag(OH)_4]^-$ in Alkaline Media. J. of the Chemical Society, Dalton Transactions 9. 2311-2315.
- Sylvén, L. K. (Hrsg.) (2019): Investigating Content and Language Integrated Learning: Insights from Swedish High Schools. R. Bilingual Education & Bilingualism. Bristol: Multilingual Matters.
- (2010): Teaching in English or English Teaching. On the effects of content and language integrated learning on Swedish learners' incidental vocabulary acquisition. R. Gothenburg Studies in English, Bd. 97. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Tajmel, T. (2013): Bildungssprache im Fach Physik. In: Gogolin, I., Lange, I., Michel, U., et al. (Hrsg.): Herausforderung Bildungssprache – und wie man sie meistert. R. FörMig, Bd. 9. Münster: Waxmann. 239-256.
- Tausch, M. W. (2021): Mehr Licht für nachhaltigen Chemieunterricht. LED statt Gasbrenner. ChiuZ. Early View. 2-10. Online: <https://doi.org/10.1002/ciuz.202000050> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2019): Chemie mit Licht. Innovative Didaktik für Studium und Unterricht. Berlin: Springer Spektrum. DOI: 10.1007/978-3-662-60376-5 Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2018): Mehr Licht im Chemieunterricht! Experimentelle Zugänge zu Grundkonzepten der Photochemie. CHIMIA International J. for Chemistry 72(1-2). 23-26. Online: <https://doi.org/10.2533/chimia.2018.23> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2016): Didaktisch integrativer Chemieunterricht. Kohärente Inhalte, Methoden und Medien. PdN-ChidS 65(5). Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_5_65_44-didaktisch_integrativer_cu.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2009): Innovationen in Zeiten von Kerncurricula und PISA. PdN-ChidS 58(2). 35-37. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_2_58_09-innovationen.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- (2008): Weitab vom chemischen Gleichgewicht. Oszillierende Systeme. PdN-ChidS 57(1). 14-18. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_1_57_08-strukturbildende_prozesse.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.

- . (2007): Concept Maps für den Unterricht und für Klausuraufgaben. PdN-ChidS 56(1). 46-50. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_1_56_01_07.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (2004): Curriculare Innovation. PdN-ChidS 53(8). 18-21. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_8_53_04.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (1998): Sinn(e) der Fachdidaktik. CHEMKON 5(4). 173.
- . (1994): Photo-Blue-Bottle Modellversuche zur Photosynthese und zur Atmung. PdN-ChidS 43(3). 13-18.
- . (1991): Photochemie – aktuelle Bedeutung und Möglichkeiten der Integration in den Chemieunterricht. PdN-ChidS 40(4). 2-10. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_4_40_91-photochemie.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (1983): Strukturaufklärung in der organischen Chemie – Ermittlung der Strukturformeln von Maleinsäure und Fumarsäure. PdN-ChidS 32(2). 44-48. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_ch_2_83.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (1982): Modelle im Chemieunterricht. MNU 35(4). 226-232.
- Tausch, M. W., Bohrmann-Linde, C., Posala, F., et al. (2013): Akku leer? Licht an! Photoelektrochemische Lichtenergiekonversion und –speicherung. PdN-ChidS 62(5). 25-31. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_5_62_13-akku_leer-licht_an.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tausch, M. W., und Goodwin, A. (2003): 7 Thesen zur Forschung in der Didaktik. ChiuZ 37(3). 210-211. Online: <https://doi.org/10.1002/ciuz.200300261> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tausch, M. W., und Heffen, M. U. (2016): Photosynthese und Atmung en miniature – Teil 1. Chemie & Schule 31(3). 5-11. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/chemie_und_schule_3_31-photosynthese-atmung-en-minature.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tausch, M. W., Kremer, R., und Gökkuş, Y. (2021a): Photo-Blue-Bottle Basisexperiment. Video. Chemiedidaktik der Bergischen Universität Wuppertal. Online: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photo-blue-bottle-basisexperiment.html> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (2021b): Photo-Blue-Bottle – Erweiterungsexperiment: Einfluss der Luftmenge. Video. Chemiedidaktik der Bergischen Universität Wuppertal. Online: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photo-blue-bottle-erweiterungsexperiment-luft.html> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (2021c): Photo-Blue-Bottle – Erweiterungsexperiment: Einfluss der Temperatur. Video. Chemiedidaktik der Bergischen Universität Wuppertal. Online: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photo-blue-bottle-erweiterung-waerme.html> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- . (2021d): Photo-Blue-Bottle – Erweiterungsexperiment: Einfluss der Wellenlänge. Video. Chemiedidaktik der Bergischen Universität Wuppertal. Online: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/de/filme-videos/photoredoxreaktionen/photo-blue-bottle-erweiterungsexperiment-wellenlaenge.html> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tausch, M. W., Schmitz, R.-P., und Meuter, N. (2013): Ein Fall für 2. Interaktion von Chlorophyll und β -Carotin bei der Photosynthese. PdN-ChiuZ 62(8). 15-20. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/publications/pdn_8_62_13-ein_fall_fuer_zwei.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tausch, M. W., und von Wachtendonk, M. (2007): Chemie 2000+. Gesamtband. Bamberg: Buchner.
- . (2001): Chemie 2000+. Bd. 1. Bamberg: Buchner.

- Tavares, N. J. (2015). How strategic use of L1 in an L2-medium mathematics classroom facilitates L2 interaction and comprehension. *International J. of Bilingual Education and Bilingualism* 18(3). 319-335.
- Thürmann, E. (2013a): Scaffolding. Unterstützung für das selbstgesteuerte Lernen im Englischunterricht. *Unterricht Englisch* 126. 2-9.
- (2013b): Kleiner Werkzeugkasten für die Konstruktion von Sprachgerüsten. *Unterricht Englisch* 126. 10-13.
- (2010): Pirate Attacks in the Gulf of Aden! Scaffolding für Präsentationen und textsortengebundenes Schreiben. *Unterricht Englisch* 106. 39-44.
- Thürmann, E., Krabbe, H., Platz, U., et al. (2017): Sprachbildung als Aufgabe aller Fächer und Lernbereiche. Erfahrungen mit Sprachberatung an Ganz-In-Gymnasien. R. Ganz In. Münster: Waxmann.
- Ting, Y.-L. T. (2015): CLIL – Why is it powerful for foreign language education? Video Clip. Online: <https://sites.google.com/unicat.it/teresa-ting/resources-for-teachers/videos> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Tolsdorf, Y., und Markic, S. (2018): Participatory action research in university chemistry teacher training. *CEPS J.* 8(4). 89-108.
- Turro, N. J. (1991): *Modern Molecular Photochemistry*. Sausalito, CA: University Science Books.
- Ulrich, W. (2013): Wissenschaftliche Grundlagen der Wortschatzarbeit im Fachunterricht. In: LISUM (Hrsg.): *Sprachbildung und Leseförderung in Berlin. Sprachsensibler Fachunterricht. Handreichung zur Wortschatzarbeit in den Jahrgangsstufen 5-10. Ludwigsfelde-Struveshof: LISUM.* 305-330.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., et al. (2019): *Campbell Biologie*. 11. Aufl. Deutsche Ausgabe. Hallbergmoos: Pearson.
- Usman, A., und Abdullahi, D. M. (2018): Productive Vocabulary Knowledge of ESL Learners. *Asian J. of Interdisciplinary Research* 1(1). 32-41.
- VERBI. (2020): MAXQDA Analytics Pro 2020. Software. Online: <https://www.maxqda.de> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Verboom, L., und Koch, A. (2019): WEGE durch den Sprachförderdschungel – Strukturierung des Fachwortschatz-Lernprozesses und Ansätze für den Theorie-Praxis-Transfer. In: Titz, C., Geyer, S., Ropeter, A., et al. (Hrsg.): *Konzepte zur Sprach- und Schriftsprachförderung: Praxiserfahrungen. R. Bildung durch Sprache und Schrift.* Stuttgart: Kohlhammer. 87-105.
- Verhallen, M., und Schoonen, R. (1993): Lexical knowledge of monolingual and bilingual children. *Applied Linguistics* 14(4). 344-363.
- Vogt, S., und Werner, M. (2014): *Forschen mit Leitfadeninterviews und qualitativer Inhaltsanalyse*. Skript. Köln: FH Köln, Fakultät für angewandte Sozialwissenschaften. Online: https://www.f01.th-koeln.de/imperia/md/content/sozialarbeitplus/skript_interviewsqual_inhaltsanalyse.pdf Letzter Zugriff per archive.org: 06.12.2021.
- Vollmer, H. J. (2013): Integration von inhaltlichem und sprachlichem Lernen. In: Hallet, W., und Königs, F. G. (Hrsg.). 124-131.
- (2009): Diskursfunktionen und fachliche Diskurskompetenz bei bilingualen und monolingualen Geografielernern. In: Ditze, S.-A., und Halbach, A. (Hrsg.): *Bilingualer Sachfachunterricht (CLIL) im Kontext von Sprache, Kultur und Multilateralität. R. MSU, Bd. 9.* Frankfurt a. M.: Lang. 165-186.
- (2010a): Bilingualer Sachfachunterricht als Inhalts- und Sprachlernen. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 47-70.
- (2010b): Förderung des Spracherwerbs im bilingualen Sachfachunterricht. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 131-150.
- Vollmer, H. J., und Thürmann, E. (2013): Sprachbildung und Bildungssprache als Aufgabe aller Fächer der Regelschule. In: Becker-Mrotzek, M., Schramm, K., Thürmann, E., et al. (Hrsg.). 41-58.
- Voß, T., und Wagner, W. (2021): Fach- und Grundbegriffe in Schulbüchern der Chemie. *CHEMKON*. Early View. Online: <https://doi.org/10.1002/ckon.202100030> Letzter Zugriff: 14.01.2022.

- Wartenburger, I. (2012): Mehrsprachigkeit. In: Höhle, B. (Hrsg.). 173-188.
- Webb, S. (Hrsg.) (2019a): The Routledge Handbook of Vocabulary Studies. R. Routledge Handbooks in Linguistics. Abingdon, UK: Routledge.
- (2019b): Incidental Vocabulary Learning. In: Webb, S. (Hrsg.). 225-239.
- Weigle, S. C. (2005): Second Language Writing Expertise. In: Johnson, K. (Hrsg.): Expertise in Second Language Learning and Teaching. Basingstoke/New York: Palgrave Macmillan. 128-149.
- Weirauch, K., Lohwasser, K., Fenner, C., und Geidel, E. (2018): Ein neues Methodenwerkzeug zur Arbeit mit authentischen Kontexten und Schülerideen: ESI (Eliciting Students' Ideas; Powerpoint-Präsentation, vorgetragen bei der GDCh-FGCU-Tagung in Karlsruhe). Würzburg: Universität Würzburg/Didaktik der Chemie.
- Weitze, M.-D., Tran, D., Dau, H., et al. (2020): Die Natur macht es vor. Künstliche Photosynthese. ChiuZ 54(4). 1-12.
- Wicke, R. E., und Haataja, K. (Hrsg.) (2015): Sprache und Fach: Integriertes Lernen in der Zielsprache Deutsch. München: Hueber.
- Wierzbicka, A. (1997): Understanding cultures through their key words. English, Russian, Polish, German, and Japanese. New York: OUP.
- (1992): Semantics, culture, and cognition. Universal human concepts in culture-specific configurations. Oxford: OUP.
- Wild, E., und Möller, J. (Hrsg.) (2015): Pädagogische Psychologie. 2. Aufl. Berlin: Springer.
- Wiley, T. G., und Rolstad, K. (2014): The Common Core State Standards and the Great Divide. International Multilingual Research J. 8(1). 38-55.
- Wilke, T., und Engelmann, P. (2020): Trendbericht Chemiedidaktik. Experimentell-konzeptionelle Forschung. Nachrichten aus der Chemie 68(12). 9-12.
- Willems, A. (2018): Lernmotivation und Interesse. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J., und Pfeifer, P. (Hrsg.). 197-206.
- Williams, C. (1994): Arfarniad o ddulliau dysgu ac addysgu yng nghyd-destun addysg uwchradd ddwyieithog [An evaluation of teaching and learning methods in the context of bilingual secondary education]. Unveröffentlichte Diss. Bangor, UK: University of Wales.
- Wirtz, M. A. (2019): Beurteilerübereinstimmung. In: Wirtz, M. A. (Hrsg.): Dorsch Lexikon der Psychologie. Bern: Hogrefe. Online: <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/beurteileruebereinstimmung> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- Wirtz, M. A., und Kutschmann, M. (2007): Analyse der Beurteilerübereinstimmung für kategoriale Daten mittels Cohens Kappa und alternativer Maße. Rehabilitation 46. 1-8. DOI: 10.1055/s-2007-976535 Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Witzigmann, S. (2011): Bildende Kunst in der Zielsprache Französisch als Einstieg ins Bilinguale Lehren und Lernen. Explorative Studie in einer fünften Realschulklasse. R. Fremdsprachendidaktik inhalts- und lernerorientiert, Bd. 19. Frankfurt a. M.: Lang.
- Wöhrle, D. (2020): Kohlenstoffkreislauf und Klimawandel. Die Rolle von Kohlenstoffdioxid und die Bedeutung der Klimagase. ChiuZ 54(4). 2-14.
- (2016): Was Licht bewirken kann. Photonen, Licht, Stoff- und Energieumwandlungen. ChiuZ 50(4). 244-259.
- Wöhrle, D., Tausch, M. W., und Stohrer, W.-D. (1998): Photochemie. Konzepte, Methoden, Experimente. Weinheim: Wiley-VCH.
- Wolff, D. (2017): Bilingualer Sachfachunterricht in Deutschland 2017. Versuch einer Standortbestimmung. München: Goethe-Institut. Online: <https://www.goethe.de/de/spr/unt/kum/clg/21074378.html> Letzter Zugriff: 13.01.2022.
- (2011): Der bilinguale Sachfachunterricht (CLIL): Was dafür spricht, ihn als innovatives didaktisches Konzept zu bezeichnen. Forum Sprache 3(2). 75-84.
- (2010): Möglichkeiten zur Entwicklung von Mehrsprachigkeit in Europa. In: Bach, G., und Niemeier, S. (Hrsg.). 151-164.
- Wolff, D., und Sudhoff, J. (2015): Zur Definition des Bilingualen Lehren und Lernens. In: Rüschoff, B., Sudhoff, J., und Wolff, D. (Hrsg.). 9-42.

- Wolkers, H., Stegmann, R., Freking, G., et al. (1993): Das Methylviologen-Radikalkation. Synthese, Kristallstruktur und ab initio-Rechnungen von N,N'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium-chlorid-dihydrat. *Z. für Naturforschung* 48b. 1341-1347.
- Wollrab, A. (2014): *Organische Chemie. Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten*. 4. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.
- Wüstneck, K. D. (1966): Einige Gesetzmäßigkeiten und Kategorien der wissenschaftlichen Modellmethode. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie* 14(12). 1452-1467.
- Yang, L., Frith, J. T., Garcia-Araez, N., et al. (2015): A new method to prevent degradation of lithium-oxygen batteries: reduction of superoxide by viologen. *Chemical Communications* 51. 1705-1708.
- Yassin, S. M., Marsh, D., Tek, O. E., et al. (2009): Learners' Perception towards the Teaching of Science Through English in Malaysia: A Quantitative Analysis. *International CLIL Research J.* 1(2). 54-69.
- Ye, Z. (Hrsg.) (2017a): *The semantics of nouns*. Oxford: OUP.
- (2017b): The semantics of nouns. A cross-linguistic and cross-domain perspective. In: Ye, Z. (Hrsg.). 1-18.
- Yoo, C. Y., Pasoreck, E. K., Wang, H., et al. (2019): Phytochrome activates the plastid-encoded RNA polymerase for chloroplast biogenesis via nucleus-to-plastid signalling. *Nature Communications* 10. 2629. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10518-0> Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Yule, G. (2014): *The Study of Language*. 5. Aufl. Cambridge: CUP.
- Zanoni, F. (2018): Code-Switching in CLIL: the Students' Perception. *EL.LE Educazione Linguistica Language Education* 7(2). 309-325.
- Zhao, B., Zhu, W., Mu, T., et al. (2017): Electrochemical Oxidation of EDTA in Nuclear Wastewater Using Platinum Supported on Activated Carbon Fibers. *International J. of Environmental Research and Public Health* 14(7). 819-829.
- Zydatiß, W. (2017): Scaffolding. In: Surkamp, C. (Hrsg.). 289-299.
- (2010a): Die Überprüfung fächerübergreifender transferfähiger Diskurskompetenzen im bilingualen Sachfachunterricht. In: Doff (Hrsg.). 258-272.
- (2010b): Scaffolding im Bilingualen Unterricht. Inhaltliches, konzeptuelles und sprachliches Lernen stützen und integrieren. *Unterricht Englisch* 106. 2-11.
- (2007): *Deutsch-Englische Züge in Berlin (DEZIBEL). Eine Evaluation des bilingualen Sachfachunterrichts an Gymnasien. Kontext, Kompetenzen, Konsequenzen*. R. MSU, Bd. 7. Frankfurt a. M.: Lang.
- (1997): *Umriss eines Spracherwerbskonzepts für den zweisprachigen Unterricht bilingualer Lerngruppen in der Berliner Grundschule. Gutachten für den Schulversuch "Staatliche Europa-Schule Berlin"*. Berlin: Senatsverwaltung für Schule, Jugend und Sport. (Überarbeitete Fassung erschienen als: *Bilingualer Unterricht in der Grundschule*. München: Hueber, 2000).

18 Anhang

18.1 Elektronischer Anhang

Dieser Publikation liegt ein elektronischer Anhang mit folgenden Inhalten bei (Screenshot aus dem Microsoft Explorer):

Name

-  Auswertung Definitionen
-  Concept Maps 2018
-  Digitaler Anhang_Modul 2018
-  Digitaler Anhang_Modul 2020 Typ A
-  Digitaler Anhang_Modul 2020 Typ C
-  Digitaler Anhang_Modul Sommer 2019
-  Fragebogen
-  Lehrfilm Englisch - A Case for Two - komprimiert
-  Leitfadeninterviews
-  Photo-LIKE-Material englisch
-  Worthäufigkeiten_indokumenten_hie_f-a_ona_en_vt_nt
- 
-  alle worte d en alle dateien_08 10 2021_3_anhang.xlsx
-  ausw_sus-feedback_fragebogen.mx20
-  Auswertung_Terminologie_anhang.mx20
-  MAXQDA2020 Code-Matrix-Browser_codeswitching_Farbe_mit_Zahlen.xlsx
-  MAXQDA2020 CodeSwitching Transfer Neologismen carbon-co2.xlsx
-  Modalnetze2018_anhang.xlsx
-  NUR nt en-wörter_anhang.xlsx
-  vocab profiler7_anhang.xlsx
-  Worthäufigkeiten_indokumenten_gesamt2_anhang.xlsx

18.2 Verwendete Software

AntConc

Cmap Tools 6.04

f4transkript

MAXQDA 2020 Analytics Pro

Microsoft Excel 2013

Microsoft Paint, Version 21H2

Microsoft Word 2013

VocabProfiler Web VP Classic v.4

18.3 Anhang A8: Artikel Brunnert/Tausch/Bohrmann-Linde (2020)

Der genannte Artikel ist online open access verfügbar (vgl. Literaturliste).

18.4 Anhang A9.1: Englisches Photo-LIKE-Material
(Übersetzung des deutschen Materials von Gökkuş neé Yurdanur 2020)

Sek. I Colour is (not) a characteristic material property

required previous knowledge → Introduction and part one: none | Part two: basic particle model

Introduction: Colour – a form of energy



Experiment

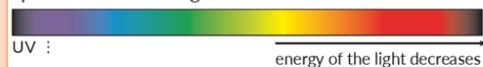
Observe four different beams of light after they have passed a prism: a) a beam from sun light, b) a light beam from a torch with a typical light bulb, c) a light beam from a torch with a green LED (light emitting diode), and d) a light beam from a UV-LED torch. Write down your observations.

A1 Fill in the gaps with the following words:

colours, form of energy, green (2x), higher, lower, perceive(s), prism, rainbow, red, spectral colour(s), spectrum, UV-LED torch, violet, white light

..... can be split with a into all of the The diagram on the right shows which white light consists of. Light is a

spectrum of white light



Violet light is in energy than light and light.

Red light is in energy than light.

The radiates light whose lacks all colours except (cf. the diagram on the right).

spectrum of the UV-LED torch



Colour - part one

Experiment: There are two solutions: The first one is an extract from green leaves, the second one is a β -carotene solution. Observe and write down the colours of the solutions a) in daylight, b) when being irradiated in the dark with a UV-LED torch, and c) when being irradiated in the dark with a green LED torch.

Observed colours:

light source	daylight	green light	UV light
green leaves			
β -carotene			

Further Experiments online: "Crying chestnut twig" and "Glowing marker pen".



A2 Decide whether the statements are true or false. Give reasons based on your observations in A1:

- The colour of an object does not depend on the light colour the object is irradiated with.
- When being irradiated with sunlight, objects absorb light. Accordingly, these objects can only show a colour that is contained in the sunlight spectrum.
- When being irradiated with light from the UV-LED torch, objects produce a luminous colour (fluorescence) by emitting light. This emitted light is contained in the light spectrum of the UV-LED torch light.
- A luminous colour is produced when substances transform high-energy light into low-energy light

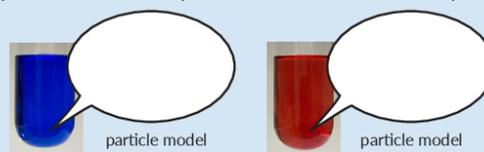
Colour - part two

Experiment: Irradiate each of the test tubes, which all contain the same substance in different solvents, with a UV-LED torch for one minute. Write down the resulting colours immediately after the irradiation.

Colour of the irradiated solutions:

xylene-solution	acetone-solution	ethanol-solution

A3 After the irradiation, all three solutions contain the same dissolved substance called merocyanine. This substance has been produced by supplying light energy. Draw particle models for the two solutions. Use a circle for each particle and label each circle with a letter (x, a, e, m) for the respective substance (xylene, acetone, ethanol, merocyanine).



A4 Observe the colour of the two solutions three minutes after you have switched off the lamps. Name the differences and then make suggestions how to explain these differences.

A5 "The colour of a substance is a characteristic property of this substance." Assess this statement by taking into consideration all experiments and analyses from this worksheet.

Sek. I

Photo-Blue-Bottle

A model experiment for matter- and energy-conversion

required knowledge	oxidation and reduction (gain and loss of oxygen)	composition of air	chemical equations	photosynthesis (biology, elementary level)
--------------------	---	--------------------	--------------------	--

The Photo-Blue-Bottle-Experiment

E1 Find different ways to set off a chemical reaction in the closed screw-top vial based on the material at hand (hot plate, torch with different light colours, UV torch). Once you can observe the formation of a blue substance in the yellow solution, you have been successful. Jot down your findings in a chart like the one on the right.

Hint: Colours within the visible light spectrum



energy form	colour; temp.; etc.	observation

Photo-Blue-Bottle: Y → B

Photo-Blue-Bottle: B → Y

E2 Read the following statements and decide whether they are true or false (in case you are undecided, write down a question mark (?)). Based on your findings in E1, give reasons for your choice. Plan experiments to clarify the statements which you marked with a question mark.

The chemical reaction Y(ellow Solution) → B(lue Solution) ...

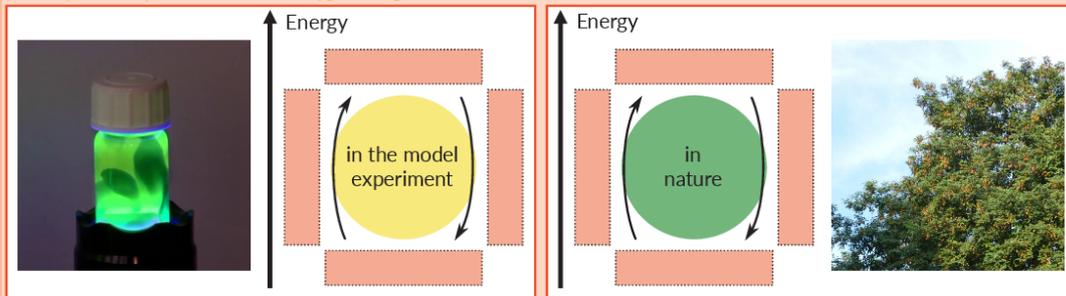
- ... requires energy supply.
- ... does not work with any given colour from the visible light spectrum.
- ... does not take place if there is no air above the solution.
- ... only takes place at temperatures above 5 °C.
- ... releases energy.
- ... does not require any air.

The chemical reaction B(lue Solution) → Y(ellow Solution) ...

- ... occurs if you shake the solution.
- ... takes place even though there is no air above the solution.
- ... does **not** take place if energy is supplied in the form of light.
- ... requires air.
- ... releases energy.
- ... requires only oxygen from the air.

Analysis: From Photo-Blue-Bottle to photosynthesis

A1 The reaction cycles Yellow → Blue → Yellow are a model for the natural cycle of photosynthesis and respiration. Fill in the boxes with these words: *blue solution, cellular respiration, high-energy substances, low-energy substances, photosynthesis, yellow solution, + oxygen, + light*



A2 Match the terms *oxidation* and *reduction* to the arrows and give reasons for your choice.

A3 In a Venn diagram, collect similarities and differences between the two processes (model experiment vs photosynthesis/cellular respiration).

A4 By creating a list of the model experiment's advantages and disadvantages, assess it.

Finished? An assignment for the quick ones:

A5 In a chart or in a mind map, collect all forms of energy you have already come across in your science classes. Add an application example ("In which process is this form of energy being used?"). Specify the function of the respective energy form. Add a title to your diagram.

Hint: When working with a mind map, use different colours for energy form, application, and function. Create a legend.

Sek. I

Photo-Blue-Bottle

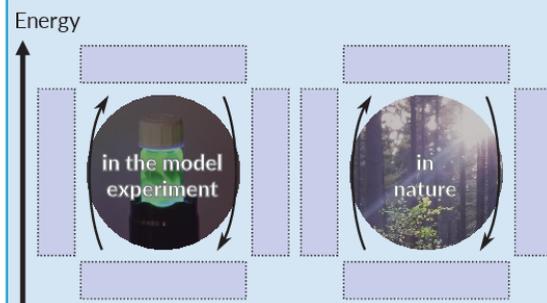
A model experiment for matter- and energy-conversion

required previous knowledge → oxidation and reduction (gain and loss of oxygen) | composition of air | chemical equations | photosynthesis (biology, elementary level)

The Photo-Blue-Bottle-Experiment

Analysis A

A1 Fill in the boxes with these words:
blue solution, cellular respiration, high-energy substances, low-energy substances, photosynthesis, yellow solution, + oxygen, + light



A2 Match the terms *oxidation* and *reduction* to the arrows and give reasons for your choice.

A3 In a Venn diagram, collect similarities and differences between the two processes (model experiment vs photosynthesis/cellular respiration).

Finished? An assignment for the quick ones:

A4|B3 In a chart or in a mind map, collect all forms of energy you have already come across in your science classes. Add an application example ("In which process is this form of energy being used?"). Specify the function of the respective energy form. Add a title to your diagram.

Hint: When working with a mind map, use different colours for energy form, application, and function. Create a legend.

Analysis B

E1 Find different ways to set off a chemical reaction in the closed screw-top vial based on the material at hand (hot plate, torch with different light colours, UV torch). Once you can observe the formation of a blue substance in the yellow solution, you have been successful.

Jot down your findings in a chart like this:

energy form	colour; temp.; etc.	observation

Hint: colours within the visible light spectrum



E2 Is the statement **T** rue or **F** alse?

Test your decision either by conducting or by suggesting an appropriate experiment.

- In order to take place, the reaction yellow solution → blue solution requires energy supply.
- The reaction BLUE → YELLOW will not take place if there is no air above the solution.
- The reaction cycle YELLOW → BLUE → YELLOW runs only two times.
- The reaction BLUE → YELLOW requires oxygen.
- The forward- and backward-reaction in the Photo-Blue-Bottle-experiment simulate the natural photosynthesis-respiration-cycle.
- The reaction cycle YELLOW → BLUE only takes place if the temperature is above 5 °C.

B1 Fill in the gaps with an appropriate term:
back reaction; cellular respiration; chemical reaction; energy; energy conversion; high-energy (2x); light energy; low-energy; model experiment; released; sugar; yellow

Photosynthesis is a process which comprises both and matter conversion (a While is being transformed into chemical energy, substances (i.e. carbon dioxide and water) are transformed into high-energy substances (i.e.) and oxygen is released. In the the yellow low energy solution is transformed into the blue solution by means of light energy. By shaking the is set off due to the contact between oxygen and the blue solution (oxidation). As a result, the blue solution is transformed back into the solution. Hereby the stored in the blue solution is released. This process simulates The energy from substances serves as an energy source for animals and plants, which need it for their growth.

B2 By creating a list of the model experiment's advantages and disadvantages, assess it.

Sek. II (Bio & Ch)

Photo-Blue-Bottle

A model experiment for the carbon cycle in inanimate nature

required knowledge → photosynthesis (bio, Sek. I) | biogeochemical cycles and flow of energy (bio, Sek. I) | chemical equations (chemistry, Sek. I) | photosynthesis (bio, Sek. II)

The P(hoto)-B(lue)-B(ottle)-Experiment

Analysis A

A1



Using the tutorial 'Photosynthese – ein Fall für Zwei: Teil 1', explain the colour changes of the PBB solution. Then describe the accompanying energy transformation during one reaction cycle (Yellow → Blue → Yellow).

A2 Give reasons why the PBB-experiment serves as a suitable model experiment for the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration.

A3 Assess the extent to which the PBB-model experiment serves as a simulation of the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration. Doing so, develop a set of criteria that help you create an overview of its *benefits* and *limits*.

Additional assignment for biology classes:

A4 Imagine you are a biology teacher for lower secondary classes and you want to use the PBB-model experiment. Reduce the complex cycles in the tutorial for your purpose (see also the diagrams in B1). Use the following terminology: *low-energy substance, high-energy substance, light, photosynthesis, cellular respiration, oxygen, yellow/ blue solution*.

E1 Using the provided material (hot plate, torch with different light colours, UV torch), explore how to drive a chemical reaction in the vial. This becomes evident when a blue substance generated in the reaction becomes visible *within the yellow solution*.



Contents:
3 chemicals
(EV^{2+} , PF^+ ,
EDTA*)
+ water
+ air

Hint: colours within the visible light spectrum



E2 Is the statement **T** rue or **F** alse? Test your decision by either conducting or suggesting an appropriate experiment.

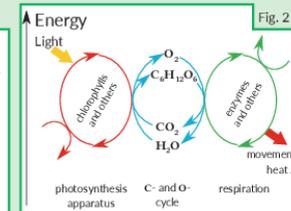
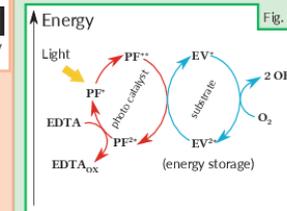
- In order to take place, the reaction Yellow (Solution) → Blue (Solution) requires supplying energy.
- The reaction Yellow → Blue does **not** work with any given light from the visible spectrum.
- The reaction Blue → Yellow requires **only** kinetic energy.
- The reaction cycle Yellow → Blue → Yellow runs only two times.
- The reaction Blue → Yellow requires oxygen.
- The PBB-reaction cycles correspond to the natural reaction cycles of photosynthesis and cellular respiration.
- The reaction Yellow → Blue only takes place if the temperature is above 5 °C.

Analysis B

B1 in the model experiment



in nature



Name the substances and cycles within the two figures (fig. 1: model experiment; fig. 2: photosynthesis/cellular respiration).

B2 Name all forms of energy involved within the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration. Then describe the conversion of energy during said processes.

B3 Explain the reasons why the PBB experiment constitutes a suitable model experiment for the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration. Then point out its limits.

Additional assignment for biology classes:

B4 There are different ways to model the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration. One possible way is depicted in fig. 2. Based on your previous knowledge and the findings in B3, develop fig. 2 further.

Sek. II

Photo-Blue-Bottle

A model experiment for energy conversion and energy storage in a light-driven concentration cell

required previous knowledge

galvanic cell

concentration cell

photosynthesis (biology; lower secondary classes)

NERNST equation (only necessary for E3)

P(hoto)-B(lue)-B(ottle) base experiment

PBB – Tutorial analysis

T1



The German tutorial 'Photosynthese – ein Fall für Zwei: Teil 1' contains a comparison between the natural processes within the photosynthesis/cellular respiration-cycles, and PBB model experiment. First, identify the corresponding cycle parts and the corresponding substances in the two cycles. Then mark low-energy and high-energy substances (draft a legend!).

T2 Following the tutorial, create a labelled sketch of the experimental set-up for the photoelectrochemical concentration cell. Give the redox-reactions for the substrate.

T3 Describe the two processes of energy conversion and energy storage taking place in the PBB-experiment.

T4 Explain the correlation between photosynthesis and the galvanic cell in the tutorial.

Finished? An assignment for the quick ones:

T5|E5 Point out the limits to the model experiment.

PBB – Energy conversion and energy storage

B1 Using the provided material (hot plate, torch with different light colours, UV torch), explore how to drive a chemical reaction in the vial. This becomes evident when a blue substance generated in the reaction becomes visible *within the yellow solution*.

Contents:
3 chemicals
(EV^{2+} , PF^+ ,
EDTA*)
+ water
+ air

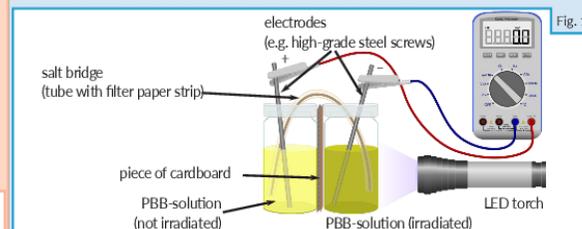
Hint: colours within the visible light spectrum



B2 Is the statement True or False?
Test your decision either by conducting or by suggesting an appropriate experiment.

- The chemical reaction YELLOW → BLUE requires warmth as a source of energy.
- The reaction BLUE → YELLOW requires light energy.
- The reaction cycle YELLOW → BLUE → YELLOW runs only two times.
- The reaction BLUE → YELLOW will not take place if there is no air above the solution.
- The reaction BLUE → YELLOW requires oxygen.
- The PBB-experiment is a model for the natural cycle of photosynthesis and cellular respiration.
- The blue solution is richer in energy than the yellow one.

E1 Photoelectrochemical concentration cell



Following figure 1, set up the experiment and switch on the LED torch. Observe voltage and colour for three minutes. Switch off the light and observe another three minutes. Name all forms of energy which are involved in the experiment.

E2 The following reduction is responsible for the build-up of voltage: $\text{EV}^{2+} + e^- \xrightarrow{\text{Light}} \text{EV}^+$. However, the ratio $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)}$ plays a decisive role. By using chemical equations, explain the chemical processes which take place at the two electrodes.

E3 The concentration cell shows a voltage of 200 mV. Calculate the ratio $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)}$ in the irradiated half-cell ($E^0(\text{EV}^{2+}/\text{EV}^+) = -0,45 \text{ V}$). Assume that the ratio in the other, not irradiated half-cell is $\frac{c(\text{EV}^{2+})}{c(\text{EV}^+)} = 10^{10}$. Afterwards, compare the ratio $\frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$ in the two half-cells and give reasons for the differences.

E4 Experiment E1 works with sunlight, too. Assess the suggested name 'solar accumulator' for the concentration cell. Then discuss why the production and storage of electrical energy from sun light is of utmost importance for our society.

Sek. II

Solvatochromism

The solutions of the *same* substance in *different* solvents differ in colour

required previous knowledge

intermolecular forces (IMFs)

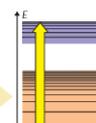
chemical equilibrium

electron energy diagram

light spectrum and light absorption

chemical polarity

molecular structure and colour

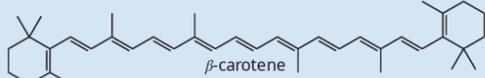


Basic experiment and analysis assignments for all groups

Group 1: Structure and colour

S1 Mark the chromophore as well as auxochrome(s) and anti-auxochrome(s) in the structural formulae of spiropyrane and merocyanine. Give reasons for the fact that the dissolved spiropyrane is colourless.

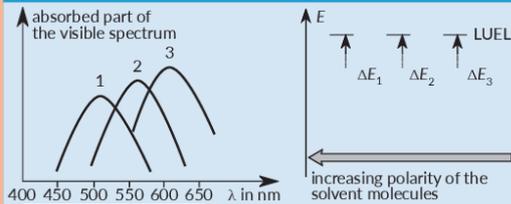
S2



The orange β -carotene absorbs blue light ($\lambda_{\text{max}} = 444 \text{ nm}$) and the blue merocyanine absorbs yellow light ($\lambda_{\text{max}} = 600 \text{ nm}$). Compare the length of the chromophore in the two molecules and deduce the influence of the auxochrome(s) on the light absorption.

S3 Draw a resonance structure of the given merocyanine zwitterion and assess which of the two resonance structures is more likely to be found in a polar solvent.

Group 2: Energy level diagram



E1 Assign the three absorption maxima of merocyanine to the three used solvents. Give reasons for your choice.

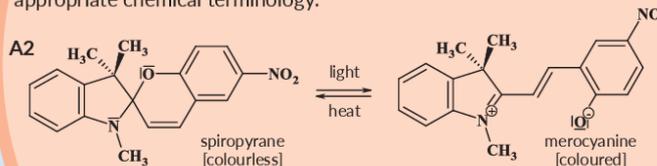
E2 With the help of E1, draw the highest occupied energy level HOEL for the merocyanine-molecule in each of the three solutions into the right diagram.

E3 Carry out some research into the concepts of *bathochromic* and *hypsochromic shift* as well as the concepts of *positive* and *negative solvatochromism*. By means of your findings, explain your observations.

Experiment

Dissolve 5 mg of spiropyrane in three different test tubes in 5 mL of xylene, acetone, and ethanol, respectively. Irradiate each of the three solutions with the violet LED torch for one minute. Note down all your observations and store the samples in a dark place.

A1 Write down the structural formulae of the three solvent molecules and compare their chemical polarities. Justify your findings with the appropriate chemical terminology.



C1 Formulate a chemical equilibrium constant for the spiropyrane-merocyanine-equilibrium.

C2 In the dark, chemical equilibria have been reached in the three different solutions. Estimate the ratio of the merocyanine molecules, which are responsible for the colour of the solution, in xylene and ethanol. Afterwards, formulate a rough mathematical relation between the two equilibrium constants ("bigger than"/"smaller than").

C3 Measure the time the spiropyrane-merocyanine-equilibrium in xylene needs to settle after switching off the violet LED torch. How much time will the same solution need at 0 °C and 50 °C? Propose a hypothesis and test it out by way of experiments.

A2 Identify the differences between the two molecules spiropyrane and merocyanine. Use the following attributes and explain your decisions: *molecular formula*, *chemical polarity*, *length of chromophore*, *molecule's planarity*.

A3 Develop a hypothesis for the explanation of the different colours of the three solutions.

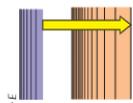
N1 Draw structural formulae showing the intermolecular interactions within the three different solutions. Doing so, include and name the intermolecular forces between a merocyanine-molecule and the respective solvent molecules.

N2 Look again at the solutions which have been stored in a dark place after the irradiation in the basic experiment. On the basis of the colours decide whether there is only spiropyrane within the solutions – or if there is some merocyanine, too.

N3 Formulate a 'The ..., the ...'-statement in order to point out the correlation between the polarity of the nano-environment, i.e. the solvent molecules, and the stabilization of the merocyanine-zwitterion.

Group 3: Chemical equilibrium

Group 4: Nano-environment



Photoluminescence
luminescent colours (fluorescence and phosphorescence)
molecular structure and colour

light spectrum and light absorption

electron energy diagram

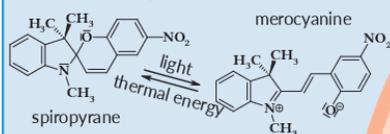
intermolecular forces (IMFs)

Sek. II
required knowledge

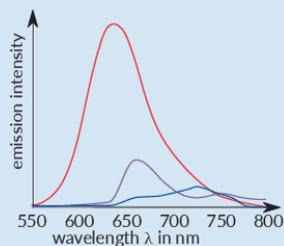
Basic experiment (E1) and analysis assignments (A1-A4) for all groups

Group S: Luminescence within a solution

E2 Dissolve 5 mg of spiropyrane in three different test tubes in 5 mL of xylene, acetone, and ethanol, respectively. Irradiate each of the three solutions with the violet LED torch in the dark for one minute. Look at the solutions in the daylight and identify the resulting colours. Note down all your observations.

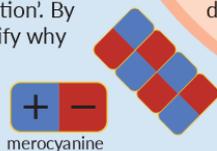


S1 Assign the three emission spectra of merocyanine to the three different solvents. Give reasons for your choice.



S2 Draw formulae showing the intermolecular interactions within three different solutions. Name the intermolecular forces between a merocyanine-molecule and the respective solvent molecules.

S3 Conduct some research regarding the concept of 'particle aggregation'. By means of your findings, justify why the three solutions show different fluorescence intensities.



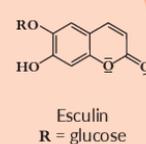
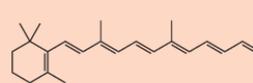
Group M: Luminescence within a matrix

E3 Place 5 g tartaric acid in two test tubes and heat them carefully with the roaring blue flame of a burner. As soon as you observe a highly viscous melt, add a) 1 mg of fluorescein, and b) 5 mg of esculin. Twist and turn the test tubes so that the melt spreads the inside wall and let it freeze. Then irradiate the samples with the violet LED torch in the dark at different temperatures: i) at room temperature, ii) at approx. 0 °C (use iced water), iii) at approx. 70 °C (use a hot water bath).

E1 Prepare the following solutions:

- approx. 1 mg of fluorescein sodium salt in 30 mL water,
- approx. 5 mg of aesculin in 30 mL water, and
- dissolve the content of a β -carotene capsule in 30 mL n-heptane. Irradiate the solutions in the dark with a violet LED torch and note down your observations.

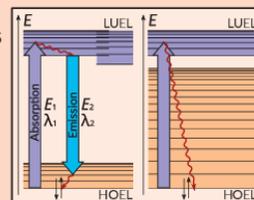
A1



Compare the structural features of the three molecules. Then assess to what extent intramolecular rotation and intramolecular vibration are possible within the respective molecule's chromophore.

A2 Conduct some research into the reasons why β -carotene does not show any fluorescence while chlorophyll does (refer to the German computer animation 'Ein Fall für Zwei'). Moreover, check to what extent your findings are applicable to your observations in E1.

A3 Compare the two given energy level diagrams and assign them to the β -carotene, the aesculin, and the fluorescein molecule. Give reasons for your decisions. *Hint:* The horizontal lines represent the allowed molecular vibrational states within the same energy level.



A4 The two following pairs are taken from the above energy level diagram on the left (cf. A3). Fill in the box with either '>' or '<':

$$E_1 \square E_2 \quad \lambda_1 \square \lambda_2$$



M1 Watch the German tutorial "Photolumineszenz". Assign the two luminescent phenomena from E3 to the technical terms 'fluorescence' and 'phosphorescence' and draw energy level diagrams in explanation of them.

M2 In comparison with the emitted photons during fluorescence, the ones emitted during phosphorescence have undergone a bathochromic shift ('red shift'). Explain this observation by means of your findings in M1.

M3 Explain why a cold sample phosphoresces longer than a warm one.

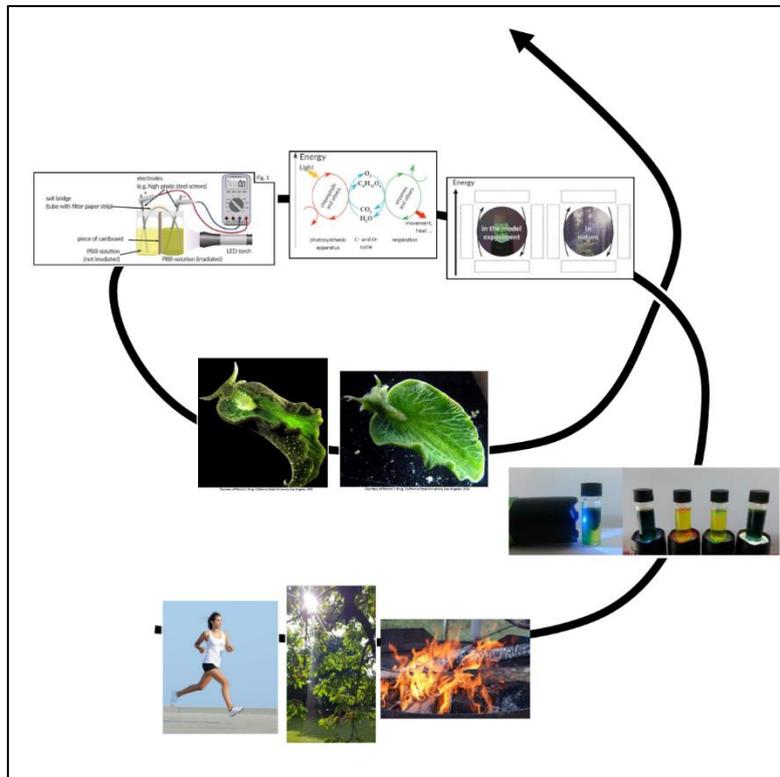
M4 Interpret the function of the tartaric acid in E3 by referring back to your observations.

18.5 Anhang A10.1: Modulentwurf aus der ersten Erprobung 2018

Modulplanung 2018: Tabelle

Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
Erkunden	Einstieg, Auseinandersetzung mit Vorwissen zum vorliegenden Thema (Bildimpulse Läuferin, Blattwerk/Sonne, Lagerfeuer)	3 Bilder, 2018_ws0, DIN A3-Blätter	1. EA, 2. GA, 3. Plenum
Erforschen	Experimentelles Entdecken der Abläufe; PBB-Modellexperiment wird von Schülern durchgeführt; Erarbeitung zentraler Aussagen aus dem Experiment; Prüfen weiterer Hypothesen, um Hin- und Rückreaktion zu thematisieren (chemische Gründe klären); Beginn, Zusammenhänge Experiment-Natur aufzudecken	Experimentiermaterial: 'Interaktionsbox', PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben, Glasperlen, Heizplatte, 2018_ws1	PA/GA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen I incl. integrierter Sicherung	Übertragung der experimentellen Ergebnisse in eine graphische Übersicht Erarbeiten: Gegenüberstellung Modellexperiment -- Natur; beim Ausfüllen sollen die Schüler die Möglichkeit haben, mit dem PBB-Experiment die Vorgänge noch einmal zu visualisieren Erarbeiten: Zu Grunde liegende Reaktionsgleichung Kohlenstoffdioxid + Wasser --Licht/Chl.--> Glucose + Sauerstoff, auch mit Formelgleichung Modellkritik anbahnen	2018_ws2, PBB-Lösung in Gläschen, Taschenlampen mit untersch. Lichtfarben, ggf. 2018_ws3 (Vertiefung mit Lückentext)	EA, PA, Plenum, Schüler-Experimente
Anpassen II incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Blauer Stoff enthält gespeicherte Energie; Konzentrationskette/Photogalvanisches Element (Lehrer-Demonstration oder Schülerexperiment)	2018_ws 4, Experimentiermaterial (vgl. 2018_ws 4)	GA/PA und Schülerexperiment
Anpassen III incl. integrierter Sicherung	Erarbeiten: Photokatalyse in Modellexperiment (Proflavin) und in der Natur (Chlorophylle) in Verbindung mit gekoppelten zyklischen Reaktionen - Rekonstruktion der Prozesse	2018_ws 5, "Photosynthese - Ein Fall für Zwei, Teil 1"	EA, PA, Plenum
Anwenden	Transfer des Erarbeiteten auf ein Naturphänomen, die Seeschnecke Elysia Chlorotica bzw. die Technologie (Vertical Gardening) -> Anwendung Photosynthese bei E. Chlorotica; Modellkritik bei V. Gardening: Benötigtes Licht für Photosynthese in Natur vs im Modellexperiment	Bildimpulse: Elysia Chlorotica, Vertical Gardening	EA, Plenum

Modulplanung 2018: Schleife



Materialien 2018: Fotos für den Abschnitt „Erkunden“

Quellen: für Läuferin und Feuer: Pixabay.com; für Kirschbaum: eigene Aufnahme



Materialien 2018: Worksheet 0 (ws0)

Photosynthesis and respiration - introduction

Assignment individual work:

Prepare a short description of your photo (write down only key words and notes). Speculate on the connection between your photo and our topic, too.

*individual work - Einzelarbeit
(to) speculate on sth. - to form an opinion about something without knowing all the details or facts (spekulieren)*

Photosynthesis and respiration - introduction

Assignment group work:

Prepare a group statement as to how your photos

- a) ... are related to each other
- b) ... are related to our topic.

In order to do so, present your photos to the others, take notes on the things you exchange, and discuss your findings. Write your statement on a DIN A4-sheet of paper and support it with explanations in key words.

(to) be related to sth. - connected with something/somebody in some way (im Zusammenhang mit etw. stehen; verbunden sein)

(to) support sth. - to back sth. up (etw. unterstützen)

Materialien 2018: Worksheet 1 (ws1)

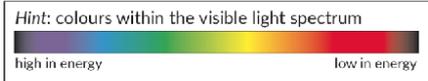
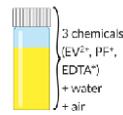
Name: _____ Date: _____

Photosynthesis and respiration – the photo-blue-bottle experiment

In order to explore the processes within photosynthesis and cellular respiration, the photo-blue-bottle-experiment will help us find out

- which processes there are
- under which conditions they take place
- and which benefits arise from them from them for animals and human beings

E1 Experiment: Using the provided material (hot plate, torch with different light colours, UV torch, glass beads), explore how to drive a chemical reaction in the vial. This becomes evident when a blue substance generated in the reaction becomes visible within the yellow solution. Jot down your findings in the chart below.



energy form	colour, temperature, etc.	observation

Materialien 2018: Worksheet 1 (ws1) – Fortsetzung 1

Photosynthesis and respiration – the photo-blue-bottle experiment

E2 Is the statement true or false? (pair work)

Prove or disprove the following hypotheses by conducting an experiment – or by suggesting what we should do to prove or disprove it. (And again, if you want to speak like a scientist, use the given phrases.) Document your experiments and your findings briefly in your folder (key words and sketches suffice).

Prepare a short overview of your findings that you can report to the class.

***hypothesis** - an idea or explanation of something that is based on a few known facts but that has not yet been proved to be true or correct (Hypothese)
prove – beweisen;
disprove – widerlegen*

Seven hypotheses

Hypothesis 1

In order to take place, the reaction YELLOW → BLUE needs energy supply.

***energy supply** – here: it needs energy (Energieversorgung)*

Hypothesis 2

The reaction YELLOW → BLUE does not work with any given light from the visible spectrum.

***any given light** – irgendein Licht*

Hypothesis 3

The reaction BLUE → YELLOW only needs kinetic energy.

***kinetic energy** /ki'netik/ – energy produced by movement (Bewegungsenergie)*

Hypothesis 4

The reaction cycle YELLOW → BLUE → YELLOW runs only two times.

***run** - verlaufen*

Hypothesis 5

The reaction BLUE → YELLOW needs oxygen.

Hypothesis 6

The reaction YELLOW → BLUE only takes place if the temperature is above 5°C

Hypothesis 7

The PBB-reaction cycles correspond to the natural reaction cycles of photosynthesis and cellular respiration.

***(to) correspond to sth.** – to match something, to be the same as something (entsprechen, übereinstimmen mit)*

Materialien 2018: Worksheet 2 (ws2)

Name: _____ Date: _____

Photosynthesis and respiration – the photo-blue-bottle experiment

A1 Fill in the boxes with these words: *blue solution, cellular respiration, high-energy substances (chemische Verbindungen mit hohem Energiegehalt), low-energy substances (chemische Substanzen mit niedrigem Energiegehalt), photosynthesis, yellow solution, + oxygen, + light.*



A2 Match the terms *oxidation* and *reduction* to the arrows and give reasons for your choice.

A3 If you know the substances that are needed and produced in nature, add their names and formulas.

A4 Explain why the natural processes can be called 'carbon cycle'.

Finished? Assignments for the quick ones

A5 Collect similarities and differences between the two processes.

A4 In a chart or in a mind map, collect all forms of energy you have already come across in your science classes. Add an application example ("In which process is this form of energy being used?"). Add a title to your diagram.

chart – Tabelle
application example – Anwendungsbeispiel

Materialien 2018: Worksheet 3 (ws3)

Name: _____ Date: _____

Photosynthesis and respiration – the photo-blue-bottle experiment

B1 Gap-filling activity - Fill in the gaps with an appropriate term:

back reaction (Rückreaktion); cellular respiration (Zellatmung); chemical reaction; energy; energy conversion (Energieumwandlung); high-energy (2x); light energy; low-energy; model experiment (Modellexperiment); released (emittiert, abgegeben); sugar; yellow.

Photosynthesis is a process which comprises both _____ and matter conversion (a _____). While _____ is being transformed into chemical energy, _____ substances (i.e. carbon dioxide and water) are transformed into high-energy substances (i.e. _____) and oxygen is released.

In the _____ the yellow low energy solution is transformed into the blue _____ solution by means of light energy. By shaking the _____ is set off due to the contact between oxygen and the blue solution (oxidation). As a result, the blue solution is transformed back into the _____ solution. Hereby the _____ stored in the blue solution is released. This process simulates _____. The _____ energy from _____ substances serves as an energy source for animals and plants, which need it for their growth.

(to) **comprise** – (to) consist of (umfassen; aus etw. bestehen)

matter conversion – Stoffumwandlung

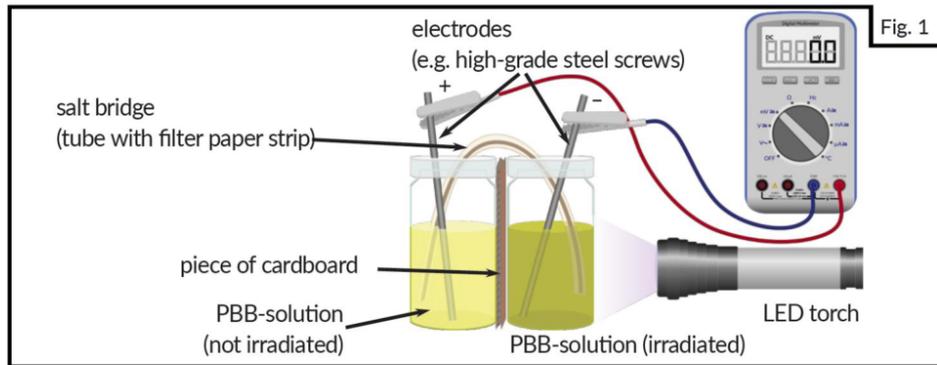
(to) **transform sth. into sth.** – etw. in etw. umwandeln

(to) **set off sth.** – to start a process or series of events (etw. in Gang bringen, etw. starten)

(to) **simulate sth.** – (etw. simulieren; etw. nachahmen)

Name: _____ Date: _____

Does the blue compound contain usable energy?
Energy conversion and energy storage in the photo-blue-bottle experiment



E1

Following fig. 1, set up the experiment and switch on the LED torch. Irradiate only one (to) irradiate – (to) vial! treat sth. with light

Observe the voltage and colour for three minutes. Switch off the light and observe another three minutes. Finally, find an answer in explanation of our guiding question (cf. guiding question – title). Leitfrage

E2

Now move the two vials gently to and fro on the table until the blue solution has turned gently – carefully to and fro – hin und her yellow again. Note down your observations. Find an explanation.

Reconstruction of the chemical processes within the PBB-experiment

Please have a look at the diagram in assignment 2. It demonstrates the chemical processes within the PBB-experiment. By means of the following assignments, you will be able to understand the relevant chemical reactions.

1. **Watch** the clip "Photosynthese, ein Fall für zwei" and **match** the following terms with the appropriate definition by connecting them with a line. (If matched correctly, there will form a word from 'light' to 'sacrificial electron donor' based on the letters in brackets. It has to be read backwards.)

light

The source that provides the energy for all the other reactions. (NO)

oxygen

This is the 'light catcher' that helps use sunlight in the reactions. It is the model substance for chlorophyll (/ˈklɒrəfɪl/). (RE)

yellow **photocatalyst**, PF⁺ (proflavine⁺)

This is the oxidized form of the photocatalyst. (OC)

yellow photocatalyst in an **excited** state, PF^{**} (proflavine^{**})

The substance that oxidizes the blue substance EV⁺ to colourless EV²⁺. (IS)

yellow photocatalyst, PF²⁺

The molecule that has just caught light energy. As a consequence, it can reduce other molecules and give them an electron. (VN)

handshake position

The substance which recycles PF²⁺ and reduces it to PF⁺. In this process, it is destroyed. (NE)

blue substance, EV⁺ (ethyl viologen⁺)

The model substance for carbon dioxide. It is reduced by the excited form of the photocatalyst. (E)

colourless substance, EV²⁺ (ethyl viologen²⁺)

The place in the cycle where PF⁺ gives one electron to the colourless substance EV²⁺. (_Y)

sacrificial electron donor (German: *Opferdonor*)

The model substance for sugar that is formed from the colourless substance. (GR)

Materialien 2018: Worksheet 5 (ws5) – Fortsetzung 1

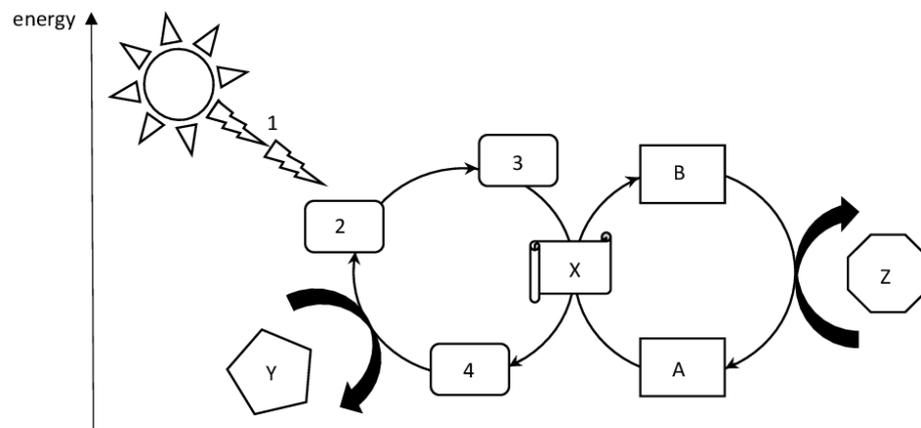
Annotation of important terms:

photocatalyst /'fəʊtəʊ'kætəlɪst/ -- Generally speaking, photocatalysis is a reaction which uses light to activate a substance which modifies the rate of a chemical reaction without being involved itself. And the photocatalyst is the substance which can modify the rate of chemical reaction using light irradiation. (Source: <http://www.greeneearthnanoscience.com/what-is-photocatalyst.php>)

excited state /ɪk'saɪtɪd steɪt/-- The condition of an atom or molecule after absorbing energy from exposure to light, electricity, elevated temperature, or chemical reaction, and which may be a necessary prelude to a chemical reaction or to the emission of light. (Source: <http://www.dictionary.com/browse/excited-state>)

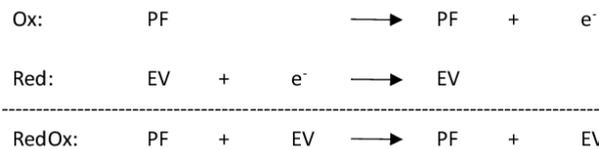
sacrificial electron donor /,sækrɪ'fɪl ɪ'lektɹən'dəʊnə(r)/-- A compound that gives electrons to another one. At the same time, it is destroyed. (to sacrifice sth /'sækrɪfaɪs/ – etw. opfern)

2. **Label** each term in task 1. with a **number** or **letter** in order to complete the reaction cycles.



3. **Mark** the photosynthesis part and the respiration part with a coloured pen.

4. This is the essential redox reaction of the PBB-experiment. Please **complete** it.



Materialien 2018: Worksheet 5 (ws5) – Fortsetzung 2

5. Based on your findings above, use the diagram below and **explain** the processes in nature. Use the words from the figure below, the following expressions, and further words (you can talk in either English or German):

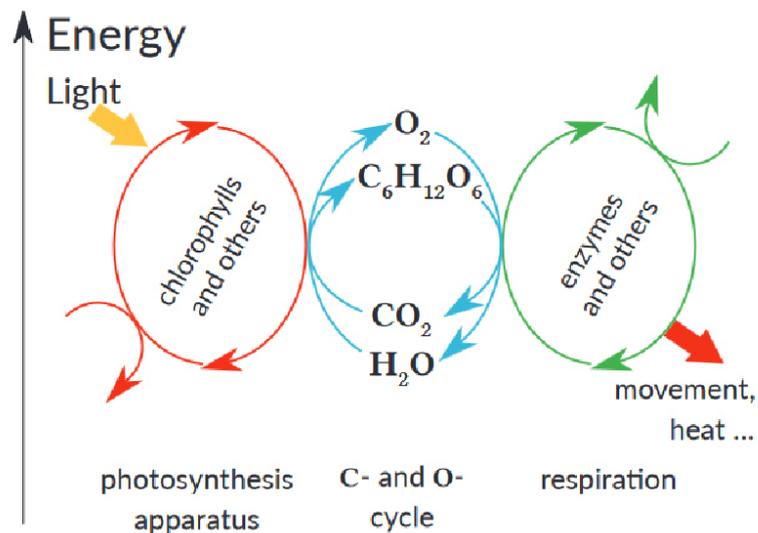
light-driven part / the part that is driven by light (lichtgetriebener Teil)
serves as photocatalyst (dient als)

low-energy Substanzen (Stoffe mit niedrigem Energiegehalt)
high-energy substances are fuels (... sind Antriebsstoffe)

energy transformation / energy is transformed (Energieumwandlung/ ~ wird umgewandelt)
matter transformation / matter is transformed (Stoffumwandlung/ ~ werden umgewandelt)

the energy-providing part / the part that provides energy
(der Teil, der Energie zur Verfügung stellt)

this part is located in plants
this part is located in animals or human beings



Materialien 2018: Bildimpulse

Vertical Pinkhouse

Online einsehbar unter:

<https://www.npr.org/sections/thesalt/2013/05/21/185758529/vertical-pinkhouses-the-future-of-urban-farming?t=1551029987451&t=1649954149432>

(eine E-Mail-Anfrage in Sachen Verwendung im Zuge der vorliegenden Arbeit an thesalt@npr.org vom 24.02.2019 blieb bis Fertigstellung der Dissertationsschrift unbeantwortet, weshalb ich das Foto lediglich verlinke und auch auf Seite 94 unkenntlich mache)

Elysia Chlorotica



Patrick Joseph Krug, California State University, Los Angeles, USA, hat mir erlaubt, diese und weitere seiner Fotos der Meeresschnecke im Zuge der Arbeit zu verwenden und abzdrukken (vgl. E-Mail vom 26.02.2022)

Materialien 2018: Scaffolding: Comparing and contrasting

Word bank: Comparing and contrasting

Similarities (Gemeinsamkeiten)

similarity between A and B; similarities between A and B

Comparisons (Vergleiche)

- a) Compared with the situation ten years ago, ... - Verglichen mit der Situation vor zehn Jahren
- b) In comparison with the US, the UK has ... - Im Vergleich mit der USA hat das UK...
- c) There is a fundamental difference between X and Y ... - Es gibt einen wesentlichen Unterschied zwischen X und Y ...
- d) On the one hand ..., but on the other hand ... - Einerseits ..., andererseits ...
- e) X is similar to Y in many ways because – X und Y sind in vielerlei Hinsicht ähnlich, da ...
- f) X is just as difficult as Y because – X ist ähnlich schwierig wie Y, weil ...

Contrasts (Gegensätze)

- g) X is different from Y in many ways because – X unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht von Y, da ...
- h) X and Y differ, which manifests in the fact that ... - X und Y unterscheiden sich, was sich darin manifestiert/zeigt, dass ...
- i) Even though ... / Although ... + main clause - Obwohl + Hauptsatz mit S-V-O
- j) Yet, ... / However, ... - jedoch, aber (used as "sentence adverbs")
- k) One variation between X and Y is (the fact that) ... - ein Unterschied zwischen X und Y ist (, dass)
- l) Despite having ..., X is different from Y because ... - Trotzdem X ... aufweist, ist X unterschiedlich, weil ...
- m) Contrary to photo A, photo B shows... / In contrast to photo A photo B shows... / Unlike A, it becomes evident in photo B that ... - Im Gegensatz zu Photo A zeigt Photo B
- n) It is true that ..., but ... - Zwar ..., aber ...
It is definitely wrong to claim that ..., but ... - Es ist zwar falsch zu behaupten dass, aber ...

Comparing and contrasting: Further examples

- o) The dog, like the cat, is a household pet. – Der Hund ist wie die Katze ein Haustier.
- p) The dog, unlike the cat, is dependent on its master – Im Gegensatz zur Katze ist der Hund abhängig von seinem Herrchen/Frauchen.
- q) Both the dog and the cat are good household cats, however, a dog requires more attention than a cat. – Sowohl Hund als auch Katze sind gute Haustiere, jedoch benötigt ein Hund mehr Aufmerksamkeit als seine Katze.

Giving examples

- 1) Let us consider, for example/instance, the fact that ... - Lasst uns zum Beispiel die Tatsache in Betracht ziehen, dass...
- 2) The village in the first photo is a striking example of a typical Native American village. – Das Dorf im ersten Photo ist ein bemerkenswertes Beispiel einer typischen Siedlung der amerikanischen Ureinwohner.
- 3) This scene depicted in the photo **serves to illustrate** the typical life in an English colony of the 17th century. -- Die auf dem Photo abgebildete Szene **veranschaulicht** das typische Leben in einer amerikanischen Siedlung/Kolonie des 17. Jahrhunderts.
- 4) The incident in Paris **serves to illustrate** the fact that terrorism manifests one of the key problems in contemporary Europe. – Das Ereignis in Paris veranschaulicht die Tatsache, dass Terrorismus eines der großen Probleme im zeitgenössischen/heutigen Europa darstellt.

Materialien 2018: Scaffolding: Laboratory equipment

Quellen: obiger Teil von oxfordlearnersdictionaries.com; Photos darunter: eigene Anfertigung

Laboratory equipment



glass beads



torch



vial, screw-lid vial



cristallization dish



hotplates

Hinweis: Die Rechte für einen Online-Abdruck des „Laboratory Equipments“ aus „Oxfordlearnersdictionaries.com“ liegen nicht vor, weshalb der Bereich des Arbeitsblattes weiß eingefärbt wurde. Die Seite kann online entsprechend aufgerufen werden; die übrigen Fotos sind vom Autor aufgenommen und bereitgestellt worden.

Materialien 2018: Scaffolding: word bank English-German

Word bank worksheet 1 -- English-German

English	pronunciation	German
(to) generate sth. (in sth.)	/ˈdʒenəreɪt/	erzeugen; (etw. in etw.) erzeugen
(to) screw a lid/top tightly on a jar	/skruː/	einen Deckel/Verschluss fest auf ein Glas schrauben
beaker	/ˈbiːkə(r)/	Becherglas
becomes evident	/bɪˈkʌmz ˈevɪdənt/	deutlich/offensichtlich werden
becomes visible	/bɪˈkʌmz ˈvɪzəbl/	sichtbar werden
cellular respiration	/ˈseljələ(r) ˌresp(ə)r ˈeɪʃ(ə)n/	Zellatmung
crystallizing dish	/ˈkrɪstələɪzɪŋ dɪʃ/	Kristallisierschale
drive a chemical reaction	/draɪv ə ˈkemɪkl riː ˈækʃn/	eine chemische Reaktion antreiben
flask	/flɑːsk/	Erlenmeyerkolben
glass bead	/glɑːs biːd/	Glaskügelchen
hotplate	/ˈhɒtpleɪt/	Heizrührer
hypothesis (sg.), hypotheses (pl.)	/haɪˈpɒθəsɪs/ pl. /haɪˈpɒθəsiːz/	Hypothese
light spectrum (light spectra (pl.))	/ˈspektrəm/ pl. /-trə/	Lichtspektrum
photosynthesis	/ˈfəʊtəʊ ˈsɪnθəsɪs/	Photosynthese
property of sth. (or: characteristic of sth.)	/ˈprɒpəti/, /ˌkærəktə ˈrɪstɪk/	Eigenschaft
respiration	/ˌresp(ə)r ˈeɪʃ(ə)n/	Atmung
screw lid	/skruː lɪd/	Schraubdeckel
solution	/səˈluːʃn/	Lösung
stopper	/ˈstɒpə(r)/	Stopfen
test tube	/ˈtest tjuːb/	Reagenzglas
test tube rack	/ˈtest tjuːb ræk/	Reagenzglasständer
torch (BE), flashlight (AE)	/tɔːtʃ/, /ˈflæʃlaɪt/	Taschenlampe
ultraviolet (UV)	/ˌʌltrə ˈvaɪələt/	ultraviolett (UV)
vial	/vaɪ(ə)/	Glasfläschen
visible light spectrum	/ˈvɪzəbl laɪt spektrəm/	Spektrum des sichtbaren Lichts

Materialien 2018: Scaffolding: word bank German-English

Word bank worksheet 1 -- German- English

German	English	pronunciation
Atmung	respiration	/ˌresp(ə)r ˈeɪʃ(ə)n/
Becherglas	beaker	/ˈbiːkə(r)/
deutlich/offensichtlich werden	becomes evident	/bɪˈkʌmz ˈevɪdənt/
Eigenschaft	property of sth. (or: characteristic of sth.)	/ˈprɒpəti/, /ˌkærəktə ˈrɪstɪk/
eine chemische Reaktion antreiben	drive a chemical reaction	/draɪv ə ˈkemɪkl riː ˈækʃn/
einen Deckel/Verschluss fest auf ein Glas schrauben	(to) screw a lid/top tightly on a jar	/skruː/
Erlenmeyerkolben	flask	/flɑːsk/
erzeugen; (etw. in etw.) erzeugen	(to) generate sth. (in sth.)	/ˈdʒenəreɪt/
Glasfläschen	vial	/vaɪ(ə)/
Glaskügelchen	glass bead	/glɑːs biːd/
Heizrührer	hotplate	/ˈhɒtpleɪt/
Hypothese	hypothesis (sg.), hypotheses (pl.)	/haɪˈpɒθəsɪs/ pl. /haɪˈpɒθəsiːz/
Kristallisierschale	crystallizing dish	/ˈkrɪstələɪzɪŋ dɪʃ/
Lichtspektrum	light spectrum (light spectra (pl.))	/ˈspektrəm/ pl. /-trə/
Lösung	solution	/səˈluːʃn/
Photosynthese	photosynthesis	/ˈfəʊtəʊ ˈsɪnθəsɪs/
Reagenzglas	test tube	/ˈtest tjuːb/
Reagenzglasständer	test tube rack	/ˈtest tjuːb ræk/
Schraubdeckel	screw lid	/skruː lɪd/
sichtbar werden	becomes visible	/bɪˈkʌmz ˈvɪzəbl/
Spektrum des sichtbaren Lichts	visible light spectrum	/ˈvɪzəbl laɪt spektrəm/
Stopfen	stopper	/ˈstɒpə(r)/
Taschenlampe	torch (BE), flashlight (AE)	/tɔːtʃ/, /ˈflæʃlaɪt/
ultraviolett (UV)	ultraviolet (UV)	/ˌʌltrə ˈvaɪələt/
Zellatmung	cellular respiration	/ˈseljələ(r) ˌresp(ə)r ˈeɪʃ(ə)n/

Materialien 2018: Scaffolding: speculating and hypothesizing / proving and disproving

Word banks

Vocabulary: speculating and hypothesizing

I kann mir insofern eine Verbindung vorstellen als dass ...	I can imagine that there is a connection in so far that ...
Es ist höchstwahrscheinlich, dass ...	It is highly probable that ...
Es gibt eine große Wahrscheinlichkeit <> geringe Chance, dass ...	There is a strong possibility <> a remote chance that ...
Angenommen, dass ...	Supposed that ...
	Assuming that ...
Wenn ..., dann ...	If ..., then (= conditional clauses type I)
Wenn du mich fragst...	If you ask me
Ich denke/nehme an	I think/suppose/assume/guess that ...

Vocabulary: proving and disproving

Aufgrund des Ergebnisses dieses Experimentes können wir schlussfolgern, dass...	According to the outcome of this experiment, we can conclude that ...
Auf Basis dieser Beobachtungen können wir sagen, dass...	Based on the observations in this experiment we can say that ...
Alle Hinweise/Beweise lassen annehmen, dass...	All the evidence suggests that ...
Das erklärt warum...	This explains why...
Wir können nun bestätigen, dass...	We can now confirm that...
Wegen der Ergebnisse im durchgeführten Experiment können wir die Hypothese X bestätigen	Owing to our findings in the conducted experiment, we can disprove / prove hypothesis XX because ...
Hypothese X kann bestätigt werden, weil...	Hypothesis X can be confirmed/proved because...
Die Vorstellung, dass ... muss aufgrund der Tatsache, dass... zurückgewiesen werden.	The notion that ... must be rejected/disproved due to the fact that ...

18.6 Anhang A10.4: Leitfaden Gruppeninterviews 2018

(Implizite) Fragestellung:

Wie bewerten die Schüler*innen der Feldstudie das Modul? Welchen Einfluss hat den Befragten zufolge die Unterrichtskonzeption. Genauer: Welchen Einfluss hat a) die Tatsache, dass es in englischer Sprache stattgefunden hat, b) die Komplexität des Themas Photochemie, c) die Tatsache, dass experimentiert wurde, und ggf. d) die Wahl der unterschiedlichen Sozialformen grob basierend auf dem Prinzip des kooperativen Unterrichts verwendet wurden?

Ebene der Fragestellung:

Kritik/Wertung (nach Stickel-Wolff 2011; quoted in https://www.f01.th-koeln.de/imperia/md/content/sozialarbeitplus/skript_interviewsqual_inhaltsanalyse.pdf)

 Concept Maps 2018 .

Leitfaden-Entwurf:

Leitfrage/Erzählimpuls	Memo	Konkrete weitere Impulse	Aufrechterhaltungsfragen bzw. -impulse
<p>0/1 (Einstieg) Ihr seid ja jetzt am Ende der EP und habt viel Unterricht erlebt. Erzählt doch mal, was für euch im Unterricht wichtig ist</p> <p>Mit welchen Erwartungen seid ihr in das bilinguale Chemiemodul gegangen?</p>	<p>Biographische Vorerfahrungen als Schüler_in mit Unterricht</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Zum Beispiel? - Könnt ihr das genauer beschreiben? - Gibt es eine konkrete Situation, die dir dazu einfällt?
<p>2 Hier ist eine Übersicht über die Dinge, die wir thematisiert haben und die Materialien und Experimente, mit denen wir gearbeitet haben. Erzählt doch mal, was ihr da gemacht habt und wie das für euch so war</p>	<p>Offene Frage. // Ansichtsmaterial reingeben, das zum zeitlichen Std.aufbau passt (Einstiegsphotos, Experimentiermaterial, Arbeitsblätter, Scaffoldingmaßnahmen, etc.) // Motivation in unterschiedlichen Phasen // Emotionale Aspekte // Aufdecken von Interessen, Problemen // Aufdecken, mit welchen Aspekten sich die SuS besonders befassen und in welcher Weise// In welcher Weise werden inhaltliche Aspekte bewertet?// In welcher Weise werden sprachliche Aspekte bewertet? // (gilt auch für Lehrerhandeln, Gestaltung der Lernumgebung, Handhabbarkeit und Aussagen des Versuches, ...)</p>	<p>Ihr habt euch zu unterschiedlichen Aspekten geäußert. Hiermit (hinweisen oder nennen) habt ihr euch noch nicht befasst.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Wie ging es dann weiter?

<p>2a Gab es Schwierigkeiten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aufdecken von Lernschwierigkeiten - Verbesserungsbedarf: Hilfemöglichkeiten/Scaffolding 	<p>Wie habt ihr sie überwunden? Was hätte dort geholfen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kannst du das an einer konkreten Situation festmachen? - Wie ging es den anderen? - X, Y, erzählt doch bitte auch von euren Erfahrungen
<p>2b Gab es etwas, das besonders wertvoll war?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Wurden ggf. Erwartungen erfüllt oder enttäuscht - Aufdecken von besonderen Lerngelegenheiten - Aufdecken von bedeutsamen, affektiv-emotionalen Faktoren 	<p>Mit wertvoll meine ich, ob etwas herausgestochen ist, eine Sternstunde sozusagen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - X, Y, erzählt doch bitte auch von euren Erfahrungen - Kannst du das genauer beschreiben?
<p>3 Das war ja bilingualer Chemieunterricht. Chemieunterricht fast nur in englischer Sprache. Lasst doch mal hören, wie das für euch so war.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Einengung auf die Sprache - (ähnliche Aspekte wie bei 3 und 4) 		<ul style="list-style-type: none"> - Wie war das beim Experimentieren? - Wie war das beim - Wie war das für dich, Schüler X? - Kannst du mir das etwas genauer beschreiben? - Kannst du mir das ausführlicher beschreiben?
<p>4 Angenommen, ihr könntet das Modul noch einmal mitmachen und ihr habt unbegrenzte Möglichkeiten. Was würdet ihr verändern?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Abschließende Bewertung in einer Art Feedback - Hier wird Kritik in konstruktiv geäußerter Weise deutlich - Rückgriff auf die Schwierigkeiten? 	<p>Nehmt auch gern noch einmal die Übersicht hier zu Rate.</p>	
<p>Abschluss Wir sind nun am Ende des Interviews angelangt. Jetzt habt ihr noch einmal die Chance, etwas loszuwerden. Vielen Dank für das Interview.</p>			

Transkriptionsregeln

Die Screenshots basieren auf: Peetz, M. K. (2019): Evaluation von Schülervorstellungen mithilfe von Animationen. Der Löseprozess von Zucker und Salz in Wasser. Diss. Oldenburg: Universität Oldenburg. S. 138f. Bei den Transkriptionen von Definitionen, z.B. in Kapitel 10.9, gelten weitere Transkriptionskennzeichen: Zusätzlich wurden teilweise Satzzeichen wie Klammern, Schrägstriche, Ampersands oder Ausrufezeichen nicht als Satzzeichen, sondern als Wörter transkribiert, da eine Auswertung zunächst über die Konkordanz AntConc (vgl. <https://www.laurenceanthony.net/software/antconc/>) angedacht war. Diese verarbeitet keine Satzzeichen. Teilweise sind Wörter nur anteilig geschrieben und mit mehreren großen X versehen. Dies ist dem ersten Angang geschuldet, in dem eine Aufnahme des zu definierenden Wortes, z.B. Chlorophyll, durch die Untersuchungsperson gekennzeichnet werden sollte. Es war zunächst angedacht, diese Worte bei Wortzählungen zu ignorieren

Zeichen	Bedeutung
I:	Interviewer spricht.
B:	Schülerin, Schüler, Studentin oder Student spricht.
L: / S:	Lehrkraft oder ein anderer Schüler der hereinkommt spricht.
(-)	Kurze Pause (bis ca. 3 Sekunden)
(10s)	Lange Pause (ab ca. 3 Sekunden) mit Angabe der ungefähren Dauer der Pause in Sekunden.
/	Abbruch eines Wortes oder Satzes.
(LACHEN)	In runden Klammern wird nonverbales Verhalten (z. B. Lachen, Räuspern, Husten) in Großbuchstaben dokumentiert.
[]	In eckigen Klammern werden Verweise auf Handlungen, Gegenstände oder Teile von Zeichnungen aufgeführt, worauf sich der Interviewer oder der/die Befragte zurzeit bezieht.
I: Text [[S: Text]] Text. bzw. B: Text [[I: Text]] Text.	Gleichzeitiges Sprechen von Interviewer und Befragtem bzw. Befragtem und Interviewer.
	Dialektfärbungen werden eingedeutscht (zerscht = zuerst; miaßn = müssen). Echte Dialektausdrücke jedoch bleiben und werden nach Gehör geschrieben.
	Verständnissignale des gerade nicht Sprechenden wie „mhm, aha, ja, ok, genau, ähm“ etc. werden nicht transkribiert. AUSNAHME: Eine Antwort besteht NUR aus „mhm“ ohne jegliche weitere Ausführung. Dies wird als „mhm (bejahend)“, oder „mhm (verneinend)“ erfasst, je nach Interpretation.
	Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden möglichst wortgenau ins Hochdeutsche übersetzt. Wenn keine eindeutige Übersetzung möglich ist, wird der Dialekt beibehalten, zum Beispiel: Ich gehe heuer auf das Oktoberfest.

Zeichen	Bedeutung
	Wortverschleifungen werden nicht transkribiert, sondern an das Schriftdeutsch angenähert. Beispielsweise „Er hatte noch so'n Buch genannt“ wird zu „Er hatte noch so ein Buch genannt“ und „hamma“ wird zu „haben wir“. Die Satzform wird beibehalten, auch wenn sie syntaktische Fehler beinhaltet, beispielsweise: „bin ich nach Kaufhaus gegangen“.
	Wort- und Satzabbrüche sowie Stottern werden geglättet bzw. ausgelassen, Wortdoppelungen nur erfasst, wenn sie als Stilmittel zur Betonung genutzt werden: „Das ist mir sehr, sehr wichtig.“ „Ganze“ Halbsätze, denen nur die Vervollständigung fehlt, werden jedoch erfasst und mit dem Abbruchzeichen / gekennzeichnet.
	Interpunktion wird zu Gunsten der Lesbarkeit geglättet, das heißt bei kurzem Senken der Stimme oder uneindeutiger Betonung wird eher ein Punkt als ein Komma gesetzt. Dabei sollen Sinneinheiten beibehalten werden.
(Text ?) (unv., Ursache)	Vermutet man einen Wortlaut, ist sich aber nicht sicher, wird das Wort bzw. der Satzteil mit einem Fragezeichen in Klammern gesetzt. Längere unverständliche Passagen sollen möglichst mit der Ursache versehen werden (unv., Handystörgeräusch) oder (unv., Mikrofon rauscht).
‘Taste’ ‘Funktion’	Tasten und Funktionen werden mit einfachen Anführungszeichen markiert.

Transkripte der durchgeführten Leitfadeninterviews (2018)

Diese Leitfadeninterviews wurden aus der MAXQDA-Datei  Leitfadeninterviews.mx20 extrahiert, die sich im elektronischen Anhang befindet. Dort sind auch weitere Bearbeitungen, wie die Codierbäume, zu finden.

Leitfadeninterview 1 (LF1)

- LF1 I: Danke erst einmal fürs Kommen. Das läuft jetzt folgendermaßen ab: Ich habe hier einen Leitfaden entworfen. Das heißt, ich stelle euch eine kurze Frage, beziehungsweise gebe euch einen Impuls und ihr sollt dann dazu Stellung nehmen, oder darüber sprechen. Ich werde nicht so viel nachfragen, vielleicht gucke ich auch einfach nur durch die Gegend (LACHEN), das ist ganz normal. Das muss man als Interviewer machen in dieser Situation, dass man sich ein bisschen zurücknimmt. Manchmal muss ich hier auch noch einmal ein bisschen genauer draufgucken, damit die Fragen so formuliert sind, dass ich euch nicht in eine Richtung lenke. Nur, dass ihr wisst, warum ich ein paar Sachen so mache. Gut, wir können ja einfach mal direkt anfangen. Und zwar seid ihr jetzt in der Klasse 10, also in der EP und habt ganz viel Unterricht und ganz viele Lehrer gesehen. Ihr seid im Prinzip Lehrer- und Unterrichtsexperten (LACHEN). Erzählt doch mal, was euch wichtig ist im Unterricht. (-)
-
- 2 B1: Also ich finde, dass ein abwechslungsreicher Unterricht gut ist, wo man zum Beispiel Einzelarbeit hat und Gruppenarbeit. Das ist für mich immer sehr wichtig.
-
- 3 B2: Ja, auch vor allen Dingen für stillere Schüler (LACHEN). Dass man so ein bisschen in den Unterricht einbezogen wird, wenn man nicht aufzeigt.
-
- 4 B3: Diese Balance, z.B. in Chemie, zwischen Aufgaben bearbeiten und experimentieren finde ich gut. (-)
-
- 5 I: Ich habe noch eine Nachfrage. Du sagtest, dass es wichtig für dich sei, einbezogen zu werden (spricht B2 an). Was bedeutet das für dich?
-
- 6 B2: Natürlich haben wir eine Bringschuld, also, dass wir von uns selbst aufzeigen sollen. Aber manche Lehrer beachten einen gar nicht wirklich, wenn man nicht Aufzeigt. Danach wird man dann halt auch benotet.
-
- 7 I: Mhm (zustimmend). „Einbezogen werden“ heißt dann was für dich? Wie verhält sich dann ein Lehrer, der sowas macht?
-
- 8 B2: Wenn ein Lehrer merkt, dass man es eigentlich kann, dass er einen zwischendurch auch einmal drannimmt.
-
- 9 I: Okay, das war für mich wichtig, das noch einmal kurz zu klären. Deswegen habe ich noch einmal nachgefragt. Danke für die Antworten. Abwechslung war eine große Sache, die ihr gesagt habt. Ist sonst noch etwas wichtig, was ihr jetzt noch nicht genannt habt? Abwechslung, Einbezogen werden waren zwei große Aspekte und dann habe ich unterbrochen und B2 noch ein paar Sachen gefragt.
-
- 10 B1: Allgemein ein gutes Arbeitsklima, das ist auch immer gut. Wenn man gut miteinander umgeht. (-)
-
- 11 B2: Ja (zustimmend).
-
- 12 I: Ok. Wie sieht das aus mit dem Chemieunterricht? Was ist für euch im Chemieunterricht wichtig?
-
- 13 B3: Wie schon gesagt, eben viel experimentieren und auch die Experimente, die man macht, auf die Umwelt beziehen. Sodass man nicht einfach Experimente macht, ohne zu wissen, warum man die überhaupt gemacht hat.
-
- 14 B2: Ja (zustimmend).
-
- 15 B1: Das würde ich auch sagen, dass alltagsnahe Experimente immer relativ interessant sind.

- 16 I: B2, du hast genickt. Magst du noch etwas anfügen?
-
- 17 B2: Nein, das war eigentlich alles.
-
- 18 I: Okay. Ihr seht hier auf dem Tisch habe ich eine Übersicht über die Dinge gemacht, die wir in der Reihe gemacht haben. Ich ordne das mal ein bisschen [verweist auf Materialien auf dem Tisch]. Wir haben bilingualen Chemieunterricht zu einem besonderen Thema gemacht. Links unten, von eurer Seite aus gesehen, geht es los und dann im Uhrzeigersinn hier bis zur letzten Stunde mit dem Tablet [zeigt auf die Materialien]. Sagt doch mal, was wir dazu gemacht haben und wie das für euch war. (-)
-
- 19 B1: Also wir haben ja zuerst diese Bilder bekommen und sollten gucken, inwiefern diese zu dem Thema passen. Wir sollten eigene Vermutungen oder Hypothesen aufstellen. Dann haben wir das in Gruppenarbeit besprochen und mit den Experimenten angefangen. Diese waren auch zu dem Thema.
-
- 20 B3: Wir sollten dann selbst versuchen, eine blaue Färbung der gelben Substanz zu bekommen. Danach sollten wir auch die Beobachtungen aufschreiben, also alles, was wir gemacht haben, um diese Färbung hervorzurufen [[B2:Ja]]
-
- 21 B2: Dann haben wir auch überlegt, wie das zustande gekommen ist und haben das dann auf die Photosynthese in der Natur bezogen.
-
- 22 I: Mhm (zustimmend). (-)
-
- 23 I. Wie war das Experimentieren für euch?
-
- 24 B2: Ich fand das sehr interessant, weil wir erst herausfinden mussten, wie man das Ergebnis erzielt. Wir hatten jetzt keinen Versuchsaufbau, wo wir Schritte befolgen mussten, sondern konnten einfach mal ausprobieren, wie man zu dem Ergebnis kommt.
-
- 25 I: Mhm (zustimmend). (7s)
-
- 26 I: Ich warte noch ein bisschen, vielleicht kommt ja noch etwas (LACHEN).
-
- 27 B3: Ich schließe mich da an, dass wir eben nicht nur auf das Endresultat hin experimentiert haben, sondern auch selbst den Weg dorthin herausfinden mussten.
-
- 28 I: Wie hast du das eingeschätzt, diesen Weg dorthin "herausfinden" wie du es nennst?
-
- 29 B3: Wir hatten ja verschiedene Materialien vorliegen [[I: Mhm (zustimmend)]]. Damit sollen wir ja dann versuchen, diese Färbung hervorzurufen [[I: Mhm (zustimmend)]] und meistens waren die Gegenstände auch selbsterklärend, z.B. mit Licht anstrahlen oder erhitzen. Trotzdem einfach zu gucken, bei welchem jetzt was rauskommt, fand
-
- 30 ich ziemlich interessant [[B1;B2: genau]].
-
- 31 B2: Man konnte auch oft variieren, zum Beispiel dass man guckt, welches Licht man am besten benutzt.
-
- 32 I: Ihr habt ja vorhin über diese Bilder gesprochen. Wie war da die Arbeitsphase ganz zu Beginn der Reihe für euch?
-
- 33 B1: Ich finde die Bilder waren recht selbsterklärend. Dann war das auch relativ leicht, weil man schon Vorwissen zur Photosynthese hat und auch die Eigenschaften von den Bildern kennt: Also z.B. das Feuer benötigt ja Sauerstoff. Das sind halt Dinge, die man alle schon mal mitbekommen hat. (-)
-
- 34 I: Wie war das für euch beide (spricht B2 und B3 an)?
-
- 35 B2: Man musste erst mal ein bisschen darauf kommen. Man hatte ja schon mal das Thema Photosynthese, aber muss sich dann erinnern, wie das nochmal ungefähr ablief.
-

- 36 B3: Zum Thema Zellatmung z.B. war es für mich auch ein bisschen schwerer die Zusammenhänge zu finden, weil ich mich damit nicht so gut auskannte wie mit Photosynthese. Im Endeffekt hat aber alles eigentlich gut geklappt.
-
- 37 I: Okay. Das war ja auch die erste englische Phase, genau (zustimmend). Dann kam das Experiment. Wie ging es dann weiter?
-
- 38 B1: Dann haben wir das Experiment ausgewertet und geguckt, wie man diese blaue Färbung erzählen kann. Dann haben wir das noch genauer ausgewertet mit dem Energiebedarf und so weiter. Dann haben wir das einmal aufgeteilt in das Modellexperiment und die Natur und haben dann auch Rückschlüsse gezogen.
-
- 39 B3: Ich glaube, da haben wir auch das erste Mal wirklich Photosynthese und Zellatmung verbunden. Wir haben diesen Zyklus analysiert, wo z.B. tiefe Energie oder hohe Energie herrscht. Dann haben wir diesen Zyklus aufgebaut mit Reduktion und Oxidation.
-
- 40 I: Wie war das für euch, als wir damit gearbeitet haben?
-
- 41 B1: Ich fand dieser Vergleich war sehr aufschlussreich, weil man geguckt hat, was in diesem Experiment gleich ist und was in der Natur gleich funktioniert. Das war interessant.
-
- 42 I: Mhm (zustimmend).
-
- 43 B3: Ich fand auch in dem Nachtest dann einfacher, mit Hilfe des Experimentes die Photosynthese und Zellatmung zu erzählen, oder zu erklären. Die Färbung der Substanz als Beispiel fand ich einfacher, als die Photosynthese.
-
- 44 I: B2 du hast dich jetzt erst mal ein bisschen zurückgehalten, möchtest du noch was dazu sagen?
-
- 45 B2: Ich fand es auch sehr erstaunlich, dass man einen eigentlich so komplexen Vorgang in der Natur damit so gut darstellen kann. Also mit einem Versuch, der eigentlich relativ einfach ist.
-
- 46 I: Okay, danke. Ich lege das Experiment mal zur Seite. Dann haben wir das Nächste, den Lückentext (verweist auf das Material auf dem Tisch). Damit haben wir auch gearbeitet.
-
- 47 B3: Beim Lückentext war es bei mir so: Am Anfang hatte ich noch richtige Schwierigkeiten, als noch alles nicht ausgefüllt war. Am Ende ging es dann ziemlich schnell voran, als ich zwei, drei Wörter schon eingefügt hatte.
-
- 48 B1: Ich fand das war auch machbar. Man hatte ja diese Begriffe, die man verwenden kann und dann konnte man sich das auch relativ schnell erschließen.
-
- 49 B2: Ja, ich fand auch gut, dass man dann nochmal alles wiederholt hat und nochmal in einem Zusammenhang hatte.
-
- 50 I: Okay. Ich merke gerade, dass ich es in die falsche Reihenfolge gebracht habe. Das spielt aber keine Rolle. Vorher haben wir noch dieses Experiment gemacht, mit dieser experimentellen Anordnung und diesem Messgerät [zeigt die Materialien]. Konzentrationszelle heißt das ja.
-
- 51 B1: Da haben wir dann die Energie in den unterschiedlichen Lösungen gemessen. Einmal mit blauer Färbung und einmal mit gelber Färbung. Wir haben dann festgestellt, dass der Energiegehalt in der blauen Lösung viel höher ist, als in der gelben Lösung.
-
- 52 B2: Ja (zustimmend).
-
- 53 I: War das aufschlussreich? Hat das Experiment eigentlich das geleistet, dass man sieht, der blaue Stoff hat eine höhere Energie als der gelbe Stoff?
-

- 54 B1: Also man wusste ja, dass die energiearmen Stoffe zu energiereichen Stoffen umgewandelt werden sage ich mal [[I: Mhm (zustimmend)]]. Dadurch hatte man halt den Beweis, dass das wirklich so ist. Das war dann sinnvoll, dass man das gemacht hat.
-
- 55 I: Okay. Wie ist das für die anderen beiden (spricht B2 und B3 an)?
-
- 56 B3: Wir haben ja auch vorher so eine Skala bekommen mit verschiedenen Einzeichnungen der Färbung und ob die hoch in der Energie sein sollten oder eben niedrig. Die Skala hat ja schon gezeigt, dass die Gelbe ziemlich mittig angeordnet war und die Blaue ziemlich hoch. Die Blaue sollte also auf jeden Fall höher in der Energie sein und das Experiment hat dies eben noch bestätigt.
-
- 57 B2: Ja, ich fand das auch gut. Vorher wird halt nur gesagt, dass in der blauen Flüssigkeit sozusagen mehr Energie ist. So konnte man das wirklich nochmal sehen und man wurde auch bestätigt.
-
- 58 I: Okay, Dankeschön. Zum Schluss gab es noch die Arbeit mit dem Tablet und dem Video.
-
- 59 B1: Da wurde ja der Prozess, der in dem Experiment abläuft oder auch in der Natur, relativ komplex erklärt. Es wurden die chemischen Stoffe eingebracht und was genau die Flüssigkeiten in dem Experiment symbolisieren und wie das zusammenhängt.
-
- 60 B2: Ich fand auch gut, dass man dann nochmal richtig geschaut hat, wie das in der Natur abläuft. Auch wenn es schon ein bisschen schwieriger wurde mit den ganzen Begriffen.
-
- 61 B3: Ich fand es auch noch gut, dass Sie das gleiche Experiment, was wir auch bearbeitet haben, dann in dem Video nochmal komplexer erklärt hatten. Dass wir eben nochmal genauer wussten, was da vor sich geht bei dem eigentlich einfachen Experiment.
-
- 62 I: Okay. Ihr habt jetzt noch nichts zu den Vokabelhilfen auf der linken Seite gesagt [verweist auf die Materialien]. Eine Vokabelhilfe, das Foto mit verschiedenen Materialien mit kurzen englischen Bezeichnungen, fehlt noch. Hier ist eine wordbank zum Vergleichen, hier ist eine zum Spekulieren und Aufstellen von Hypothesen und hier ist noch das Arbeitsblatt "Was ich gelernt habe" [verweist auf die Materialien]. Nur damit ihr wisst, was hier noch liegt. Möchtet ihr dazu noch etwas sagen?
-
- 63 B1: Die Vokabellisten waren relativ hilfreich. Man konnte damit gut arbeiten. Wenn man etwas nicht wusste, konnte man da gut nachgucken und hatte dadurch auch Inspiration für z.B. Diskussionen oder Vergleiche gefunden. Durch dieses "Was habe ich gelernt" hat man alles nochmal für sich reflektiert und geguckt, was wirklich wichtig ist und das nochmal aufgeschrieben.
-
- 64 B3: Bei den Sätzen um zu spekulieren, hatte ich in Englisch eher weniger Schwierigkeiten. Ich fand aber die Vokabelliste ziemlich hilfreich, als es um chemische Werkzeuge und alles ging. Da hatte ich manchmal Probleme.
-
- 65 B2: Das fand ich auch, weil man solche Vokabeln im eigentlichen Englischunterricht nicht lernt. Das fand ich schon gut.
-
- 66 I: Es gab ja immer eine Deutsch/Englisch und eine Englisch/Deutsch-Vokabelliste. War das bedeutsam für euch?
-
- 67 B1: Nicht unbedingt. Ich finde, wenn man auf diesen Zettel geguckt hat, konnte man gucken, ob man jetzt gerade im Englischen auf die Idee kommt. Wenn man nach einem deutschen Wort gesucht hat, hat man einfach auf der deutschen Seite geguckt. Das war kein Problem.
-
- 68 I: Mhm (zustimmend). Noch eine Sache hier vorne. Ich habe ja noch das Spektrum des weißen Lichtes in farbiger Form reingegeben [verweist auf das Material].
-
- 69 B1: Bei unserer Gruppe hat uns das schonmal auf die Idee gebracht zu gucken, welches Taschenlampenlicht zu dem Lichtspektrum passt. Dann haben wir schonmal geguckt, welches

Taschenlampenlicht eine hohe Energie und welches eine niedrige Energie hat. Dann konnte man schon mal Vermutungen für das Ergebnis aufstellen, wie es dazu kommt, dass es diesen Farbumschlag gibt.

-
- 70 B3: Ich denke auch, dass wir in der Gruppe so angefangen haben, dass wir geguckt haben, welche Farbe der Taschenlampe ist jetzt höher als die gelbe Energie. Wir wollten ja die Energie antreiben von dem Gelben und dann haben wir geguckt, welche Farbe die Taschenlampe hat, die höher als die gelbe Energie ist. [[I: Mhm (zustimmend)]]].
-
- 71 B2: Ich finde so konnte man auch gut ausprobieren, ob dann was passiert, wenn man Licht mit einer niedrigeren Energie benutzt, oder halt einer höheren.
-
- 72 I: Ok, vielen Dank. Gab es hier innerhalb der ganzen Reihe Schwierigkeiten für euch? (7s)
-
- 73 B1: Für mich jetzt nicht unbedingt. Vielleicht am Ende das Video, das wir angeguckt haben. Das war relativ schwierig, alles aufzufassen, mit den ganzen Chemikalien und was genau abläuft. Im Prinzip hatte man aber das Grundgerüst verstanden und dann war das auch kein großes Problem.
-
- 74 B3: Ich fand auch das Experiment am Anfang hat eine sehr große Hilfestellung für den Rest des Unterrichts gegeben, sodass man auch die naturellen Vorgänge gut verfolgen konnte.
-
- 75 B1: Ich würde mich da anschließen. (-)
-
- 76 I: Okay. Ihr habt jetzt über Schwierigkeiten gesprochen. Man kann sich ja auch anschauen, was besonders wertvoll war an einer solchen Reihe. Wie seht ihr das? Was war hier besonders wertvoll für euch?
-
- 77 B1: Ich würde sagen, definitiv das Experiment, weil man etwas selbst entwickeln konnte, z. B. wie man das Ergebnis erzählt. Das auszuwerten war auch relativ aufschlussreich, weil man das dann auf das Thema bezogen und dadurch gut verstanden hat.
-
- 78 B2: Ich fand auch das Experiment hilfreich und dann das Arbeitsblatt, wo wir direkt nebeneinander verglichen haben, was in dem Experiment und dann in der Natur abläuft.
-
- 79 I: Warum war das für dich wichtig, was ist der Grund? Du sagst, das hat einen hohen Wert für dich?
-
- 80 B2: So konnte man direkt vergleichen, was gleich ist und hat es besser verstanden, was da eigentlich abläuft.
-
- 81 I: Mhm (zustimmend).
-
- 82 B3: Ich fand auch das Ergebnis in der Natur gut, weil ich persönlich kann mir Sachen besser merken, wenn ich sie in der Realität anwenden kann und wenn ich weiß, wofür die eigentlich zu gebrauchen sind. Deswegen fand ich es gut, dass wir das in der Natur gut besprochen haben. Ich fand dazu das Arbeitsblatt mit dem Vergleich zwischen dem Modellexperiment und der Natur sehr gut.
-
- 83 I: Okay. Gibt es noch weitere Dinge, die wertvoll in diesem ganzen Kontext waren?
-
- 84 B1: Ich fand zum Beispiel auch diesen "Beweis" mit dem Energiegehalt, also als wir diesen gemessen haben und die Flüssigkeiten verglichen haben, relativ gut. Man hatte dadurch den Beweis, dass das Ergebnis des Experimentes richtig ist, oder dass man sieht, dass es so ist.
-
- 85 I: Ok (zustimmend).
-
- 86 B2: Ich fand auch, auf die Tests vorher und nachher bezogen, dass man da wirklich gesehen hat, dass man in den zwei Wochen wirklich einiges gelernt hat.
-
- 87 B3: Ich fand auch gut, diesen Versuch mit dem Herantasten an die Sache eigentlich. Dass man z.B. auch die Herdplatte benutzen konnte, um zu zeigen, was eben nicht das Experiment voranbringt. Um das nochmal komplett zu unterstützen, dass eben das Licht der Hauptfaktor dabei ist.
-

- 88 I: Okay. (-) Das Ganze war jetzt Chemieunterricht nicht in deutscher Sprache, sondern hauptsächlich in englischer Sprache - also bilingualer Chemieunterricht. Wie war das denn für euch?
-
- 89 B2: Also ich fand es zwischendurch ein bisschen schwer. Ich bin generell in Englisch nicht unbedingt die beste Schülerin (LACHEN). Ich fand aber schon, dass es hilfreich war, weil man sonst, außer im Englischunterricht, die Sprache eigentlich nicht wirklich anwendet. Dann fand ich das am Ende gar nicht so schlimm.
-
- 90 I: Habe ich dich jetzt richtig verstanden? Du sagtest, im normalen Englischunterricht wendet man die Sprache nicht so an? Ich habe das gerade nicht ganz verstanden.
-
- 91 B2: Doch, im Unterricht schon, aber sonst außerhalb des Unterrichts halt nicht so häufig [[I: Mhm (zustimmend)]]. So hat man auch gelernt, das außerhalb anzuwenden und Dinge zu umschreiben, wo man die Vokabeln nicht so genau weiß.
-
- 92 I: Alles klar, jetzt habe ich es richtig verstanden.
-
- 93 B1: Ich würde auch sagen, dass es definitiv mal etwas anderes war. Ich z.B. hatte nie bilingualen Unterricht. Naturwissenschaftliches Arbeiten auf Englisch war mal eine ganz gute Erfahrung.
-
- 94 B3: Ich finde Englisch auch als normalen Unterricht sehr interessant, aber dass man eben nur diese Alltagssprache behandelt, finde ich etwas eintönig. Deswegen fand ich es gut, auch mal in diesen chemischen Bereich in Englisch zu gehen. Auch wenn man mal später in anderen Ländern in naturwissenschaftlichen Räumen arbeiten möchte, ist das bestimmt sehr unterstützend.
-
- 95 I: Gut. Ich gucke jetzt mal wieder auf das Experiment. Wie war das Englischsprechen während des Experimentierens für euch?
-
- 96 B1: Eigentlich hat das gut funktioniert. Manchmal, wenn man z.B. auf die Schnelle ein Wort nicht wusste, was man sagen wollte, dann musste man erst mal in die Vokabelliste gucken. Wenn man es dann nicht gefunden hat, musste man sich etwas anderes überlegen. Dann war das ein bisschen schwierig, aber das ging auch ganz gut.
-
- 97 B2: Ich fand auch, es war ein bisschen ungewohnt. Nach einer Zeit hat man sich aber daran gewöhnt, dann ging das ganz gut.
-
- 98 B3: Ja, ich meine zwischendurch mal diese Vokabelfehler zu erwarten, war auch voraussichtlich. Im Endeffekt finde ich, hat es gut geklappt und wir haben uns eigentlich alle verstanden, was in den Experimenten so vor sich ging.
-
- 99 I: Okay. Jetzt habt ihr das Modul einmal durchlaufen. Wenn man den Fall konstruiert, dass ihr es nochmal machen könntet - Was würdet ihr an dem Modul, also an der kleinen Unterrichtsreihe, ändern? Also was würdet ihr daran ändern, damit es für euch beim nächsten Mal noch besser wird? (5s)
-
- 100 B1: Ich hätte jetzt keine wirkliche Idee. Ich fand das relativ gut aufgebaut, ich hätte daher keine Änderungsvorschläge.
-
- 101 B2: Mir fällt jetzt gerade eigentlich auch nichts ein.
-
- 102 B3: So spontan finde ich nichts wirklich fehlerhaft an der Reihe. Ich fand auch gut, dass das Experiment durchgehend zu der Reihe gepasst hat. Deswegen fand ich diese relativ einfach zu verstehen.
-
- 103 I: Wenn euch nachher noch etwas dazu einfallen sollte, einfach nochmal drauf eingehen. Wie bewertet ihr denn den Lernertrag? Wir haben uns ja jetzt sechs Stunden mit diesem großen Oberthema Photosynthese/ Zellatmung befasst. Vor diesem Hintergrund die Frage: Wie bewertet ihr den Lernertrag? Lernertrag - Klar, was ich damit meine? [[B1: Ja (zustimmend)]]
-

- 104 B1: Bei diesem Vortest hatten wir ja diese Concept- Map, die wir machen sollten. Man dachte, man weiß eigentlich relativ viel zur Photosynthese, aber dass man so im Detail aber doch wenig Ahnung hatte. Jetzt am Ende konnte man mit viel mehr Begriffen etwas anfangen und diese auch in den Kontext einordnen. Ich würde sagen, dass man schon sehr viel dabei gelernt hat.
-
- 105 B2: Ich finde auch, dass man am Anfang doch gemerkt hat, dass man gar nicht mehr so viel davon weiß und auch nicht alle Begriffe, die wir in dieser Concept- Map hatten, einbringen konnte. Am Ende haben wir die Begriffe häufiger im Unterricht benutzt und dann ging das einfacher.
-
- 106 I: Wie würdest du dann den Lernertrag bewerten (spricht B2 an)?
-
- 107 B2: Ich finde schon, dass wir in der Zeit ziemlich viel gelernt haben. Wir haben auch Wissen wiederaufgefrischt, das war ganz gut.
-
- 108 I: Gut, okay.
-
- 109 B3: Ich fand auch der Lernertrag war ziemlich hoch für sechs Stunden. Vor allem auch, weil mir das Thema, durch die ganzen Experimente verbunden mit dem Zettel mit dem Vergleich des Experimentes und dem naturellen Vorgang, relativ leichtgefallen ist. Deswegen fand ich das ziemlich gut.
-
- 110 I: Okay. Jetzt habt ihr das in der Klasse zehn durchgeführt. Würdet ihr das anderen Schülern auch in der Klasse zehn empfehlen? Sagen wir mal, die Neuner kommen jetzt in die Klasse zehn. Würdet ihr diesen Leuten die Reihe empfehlen?
-
- 111 B1: Ja, würde ich sagen. Bisher hatte man wenig zur Photosynthese und ich finde, es war jetzt nicht so kompliziert, dass man es nicht hinkriegen würde. Das ist dann ein ganz guter Einstieg, weil man schon mal ein Experiment macht und gute Eindrücke sammelt. Wenn man das dann später nochmal im Unterricht macht, weiß man schon relativ viel darüber.
-
- 112 B2: Ich denke auch, dass das in der zehnten Klasse ganz passend ist, weil man ein wenig Vorwissen schon hat und das wahrscheinlich noch in der Q-Phase auf jeden Fall gebrauchen kann.
-
- 113 B3: Ich schließe mich da an. Ich fand es jetzt für unsere Jahrgang ziemlich passend. Ich fand es auch sehr gut zu merken und sehr leicht. Deswegen würde ich es auch für Zehntklässler empfehlen.
-
- 114 I: Du sagst also, dass es für die zehnte Klasse passt. Kann man sich das vielleicht auch für Klasse acht, oder Klasse neun als bilinguale Reihe vorstellen? (-) Wenn ihr da nochmal an euch selbst denkt - Klasse acht, Klasse neun. Wäre das etwas für euch gewesen?
-
- 115 B2: Ich denke schon, dass es auch geklappt hätte, weil man da gerade mehr das Thema Photosynthese behandelt hat. Dadurch kann man es gut veranschaulichen. Ich denke, das würde auch klappen.
-
- 116 I: Es wird genickt, okay. (-) Ich weiß jetzt gar nicht mehr, ob ich das schon gefragt habe (LACHEN), weil ich schon ein bisschen müde bin ehrlich gesagt (LACHEN). Habe ich schon gefragt, ob ihr das Modul anderen empfehlen würdet? Habe ich das schon gefragt?
-
- 117 B1/B2: Ja (zustimmend).
-
- 118 I: Gut, entschuldigt. Dann sind wir jetzt am Ende angelangt. Gibt es noch etwas, das ihr loswerden wollt ganz zum Schluss?
-
- 119 B2: Nein, eigentlich nichts Spezielles (LACHEN).
-
- 120 I: Etwas „Unspezielles“ (LACHEN)?
-
- 121 B2: Nein, eigentlich auch nicht (LACHEN).
-
- 122 I: Ok, dann vielen Dank für das Interview und für eure Zeit.

Leitfadeninterview 2 (LF2)

- 1 I: Wenn ihr etwas Süßes haben möchtet, greift gerne zu. Ich werde euch ein paar Fragen stellen und ihr sollt etwas dazu erzählen bzw. darüber sprechen. Ich werde das nicht weiter kommentieren, sondern einfach nur zugucken (LACHEN). Das ist ganz normal, nicht wundern. Ich darf nicht so viel eingreifen. Dann fangen wir jetzt einfach mal an. Ihr seid ja jetzt am Ende der EP und habt schon ganz viel Unterricht gesehen - Ihr seid also Lehrer- und Unterrichtsexperten (LACHEN). Was ist für euch im Chemieunterricht wichtig?

- 2 B1: Dass man nicht nur Theorie, sondern auch etwas Praktisches macht. Chemie ist ja eines der praktischen Fächer und nicht so "Deutsch" sag ich mal, oder Mathe, wo man halt nur Theorie machen kann.

- 3 B2: Vielleicht auch, dass man sich durch Experimente an das Thema rantastet [[B3: Und sich Sachen so (-)]] erschließen kann.

- 4 I: Mhm (zustimmend). Das ist ja jetzt auf den Chemieunterricht bezogen. Gibt es etwas Konkretes, was das noch konkretisieren könnte? (7s) Oder gibt es eine konkrete Situation wo ihr denkt, ja, das ist eine Situation, die ist für mich wichtig für Chemieunterricht?

- 5 B2: Sicherheit würde ich behaupten [[B1 und B3 (LACHEN)]].

- 6 B1: Fragen stellen zu dürfen [[B2: Ja, genau]]. Aber das ist ja eigentlich klar.

- 7 B3: Ich finde auch, dass sich in Chemie oft Gruppenarbeiten anbieten. Man experimentiert ja auch nicht alleine [[B1 und B2: Ja (zustimmend)]]. Dass man auch immer diese Gruppenaustauschphasen hat [[B1: Ja, das finde ich auch gut]] [[B2: Genau]]. Dass man sein Wissen nochmal austauschen kann, ob man das jetzt richtig verstanden hat [[B1 und B2: Ja, genau]].

- 8 I: Wie ist das im Unterricht abgesehen vom Chemieunterricht? Was ist da wichtig für euch?

- 9 B2: Ich würde sagen, dass man nicht nur Frontalunterricht macht, sondern auch Austauschphasen hat. Dass man nicht nur eineinhalb Stunden dem Lehrer zuhört.

- 10 B1: Ja würde ich auch sagen. Dass nicht die ganze Zeit nur Informationen auf einen einprasseln, sondern man diese auch verinnerlicht [[B3: Oder auch mal eigenständig arbeitet]] [[B2: Genau, nicht nur Frontalunterricht]].

- 11 I: Ok. Ich habe hier jetzt ein paar Sachen hingelegt [verweist auf die Materialien auf dem Tisch], die im Prinzip unsere Reihe bzw. unser kleines Modul nachvollziehen lassen. Also das sind Materialien und Experimente, mit denen wir gearbeitet haben. Erzählt doch mal, was wir so gemacht haben und wie das für euch war.

- 12 B1: Am Anfang haben wir eben die drei Bilder bekommen. Dann sollten wir die erst mal beschreiben und wir haben auch schon die Überschrift zu unserem Thema bekommen. Wir sollten dann die Verbindung herstellen. Dann haben wir uns mit Experimenten an das Thema rangetastet [[B2: Ja, wir hatten ja mehrere Auswahlmöglichkeiten]] [[B3: Ja, was man dann machen konnte]]. Genau, mit den Glasperlen.

- 13 B2: Dann haben wir ja herausgefunden, dass das mit der Energie des Lichtes zu tun hat und das haben wir dann teilweise auch für die Natur übertragen.

- 14 B3: Als letztes haben wir uns ja diesen Film angeguckt, um die genau die chemischen (-) [[B1: Abläufe]] zu erfahren.

- 15 I: Genau, ihr habt gerade ein paar Stationen genannt. Wie war das für euch, in den jeweiligen Situationen, die ihr gerade skizziert habt?

- 16 B2: Ich fand das eigentlich relativ gut, weil wir ziemlich viel in Gruppenarbeit gemacht haben. Wir haben nie was alleine gemacht [[B1: Ja (zustimmend)]]. Man konnte sich immer austauschen und Ideen ergänzen und wieder anfangen.
-
- 17 B1: Ich fand gut, dass man erst so alleine seine Ideen dazu aufschreiben sollte [[B3: Ja (zustimmend)]] und dass man dann nochmal in Gruppen ging und die Ideen austauschte. Ich fand das Video war ein bisschen kompliziert [[B2 und B3: Ja (zustimmend)]]
-
- 18 B3: Man konnte es sehr schwer verstehen, weil da auch so viele Fachbegriffe dabei waren, die man auch im Film nicht unbedingt rausgehört hat. [[B1: Ja (zustimmend)]] [[B2: Ja, genau]].
-
- 19 B1: Aber sonst fand ich das alles gut [[B2 und B3: Ja (zustimmend)]].
-
- 20 I: Wollt ihr noch etwas zu dem Experiment an sich sagen? Diesem Photo-Blue-Bottle-Experiment, das hier vorne mit den Lampen und der Heizplatte liegt [verweist auf die Materialien auf dem Tisch].
-
- 21 B3: Ich fand das relativ gut, dass wir am Anfang relativ viele Möglichkeiten haben und wir dann aber [[B2: das austesten konnten]] ganz schnell gesehen haben, dass das ja nur mit Licht funktioniert. Dann konnte man damit nochmal rumexperimentieren und hat gesehen, dass das grüne und rote Licht z.B. nicht funktioniert.
-
- 22 B1: Ich fand auch gut, dass man verschiedene Versuche damit machen konnte [[B2: Ja, genau]]. Also mit Sauerstoff die Hypothesen dann belegen.
-
- 23 B3: Vor allen Dingen, dass man das dann nachher auch auf die Natur beziehen konnte [B1: Ja (zustimmend)]] [[B2: Ja, weil es so dann einfach war]].
-
- 24 I: Ok. Wie sieht das hier mit dem Bereich aus [verweist auf die Materialien]? Da haben wir einerseits dieses Messegerät und diese "Konzentrationszelle", so haben wir das genannt, benutzt. Wie war das denn für euch? Da habt ihr noch nichts zu gesagt, deswegen.
-
- 25 B2: Das hatten wir ja ziemlich kurz nur am Ende der Stunde. Man hat es zwar ein bisschen verstanden, aber man ist jetzt nicht tiefer darauf eingegangen. Das zu sehen war aber mal ganz gut.
-
- 26 B3: Damit haben wir ja bewiesen, dass in dem Blauen mehr Energie vorhanden ist, als in dem Gelben. Das war ja schon noch recht wichtig, weil wir ja von Anfang an davon ausgegangen sind, dass das Blaue energiereich ist.
-
- 27 B1: Das wiederum konnte man ja auch wieder auf die Natur übertragen, [[B2: Ja (zustimmend)]] also war das schon ganz wichtig.
-
- 28 I: Schön. Gab es Schwierigkeiten?
-
- 29 B3: Der Film war ein bisschen kompliziert [[B1: Ja, finde ich auch]]. Aber sonst eigentlich nicht [[B2: Nein]]. Auch mit dem englischen Wortschatz [[B1: Dachte ich auch. Da hatte ich erst so ein bisschen Angst, dass man nichts versteht. Eigentlich ging das aber]]. Das ging eigentlich ganz gut. Hätte ich auch nicht gedacht, dass man sich auch viele Wörter erschließen kann [B2: Mhm (zustimmend)]].
-
- 30 I: Ihr habt hier ja von Schwierigkeiten in verschiedenen Bereichen gesprochen. Was hätte euch geholfen, diese Schwierigkeiten zu überwinden?
-
- 31 B2: Vielleicht das mit dem Film nochmal ein bisschen vereinfachter zu machen.
-
- 32 B3: Oder auch generell mit der ganzen Klasse, dass jeder seine Ideen einwerfen kann. Ich glaube in der Gruppe hat man es ja auch besprochen und so wirklich viel geholfen hat das nicht, weil wir alle nicht so wirklich einen Plan hatten (LACHEN)
-
- 33 B1: Die Begriffe waren ein bisschen kompliziert, weil wir die noch nie gehört hatten. [[B2 und B3: Ja (zustimmend)]]

- 34 I: Ok, gut. Jetzt haben wir gerade über Schwierigkeiten gesprochen. Gab es denn etwas, was besonders wertvoll in dieser kleinen Unterrichtsreihe war?
-
- 35 B2: Ich hätte gesagt, dass das Experiment auf die Natur zu übertragen ist. Dass man das da wirklich rausstellt, dass das halt funktioniert.
-
- 36 B3: Wir hatten ja vorher in Bio schon ein bisschen über Photosynthese gesprochen, aber so richtig, dass mit energiearmen und energiereichen Stoffen, haben wir nie gemacht. Ich fand das Experiment hat das eigentlich sehr gut verdeutlicht.
-
- 37 B1: Ich fand das auch echt interessant, dass man das wirklich so stark auf die Natur [[B2 und B3: Ja, genau]] übertragen konnte.
-
- 38 B3: Das ist quasi 1:1, nur mit anderen Stoffen. Das ist schon ganz gut.
-
- 39 I: Da habe ich noch eine Nachfrage. Wann habt ihr das in Bio gemacht? Wisst ihr das noch?
-
- 40 B2: Das ist schon länger her, irgendwann in der Unterstufe [[B3: Siebte Klasse]]
-
- 41 I: Okay. Noch was anderes, was wertvoll war?
-
- 42 B2: Man hat halt schon ein paar Vokabeln gelernt, die man so nicht hatte. Man hat sie auch vertieft und bestimmte Redewendungen benutzt.
-
- 43 B1: Ich finde das Thema auch eigentlich ganz interessant. Das ist ja auch wichtig, weil es kommt ja überall vor.
-
- 44 I: Da auch noch eine kurze Nachfrage, weil du sagst, das Thema sei wichtig. Kannst du sagen, warum das deines Erachtens nach wichtig ist (spricht B1 an)? Die anderen können gerne ergänzen.
-
- 45 B1: Wenn man jetzt z.B. aus dem Fenster schaut: Photosynthese kommt halt im Leben überall vor. Und auch auf die Schule bezogen, denke ich, das Thema wird bald wiederkommen [[B2 und B3: Ja (zustimmend)]]. Deswegen ist das ganz praktisch.
-
- 46 B3: Auch weil das ja mit der Sauerstoffumwandlung zu tun hat, weil die Bäume ja dafür, dass wir atmen können, mitverantwortlich sind. Deswegen ist Photosynthese ja auch ein wichtiger Teil [[B2: Ja (zustimmend)]].
-
- 47 I: Wie ist das mit dem Thema Energie? Das ist ja auch enthalten. Ist das auch wichtig? (-)
-
- 48 B1: Ich denke schon, weil z.B. hatten wir ja auch Sonnenlicht und das kommt halt auch immer wieder vor.
-
- 49 B2: Das braucht man halt auch irgendwie [[B1: Ja (zustimmend)]] und man erkennt es dann auch wieder. Genau.
-
- 50 I: Das heißt, ihr braucht das Thema nur für den Unterricht?
-
- 51 B2: Ja kommt darauf an, was man später macht. Wenn man dann in die Richtung geht, braucht man es dann dafür auch [[B1, B3 und I (LACHEN)]]
-
- 52 I: In Ordnung. Das war jetzt bilingualer Chemieunterricht, also Chemieunterricht fast nur in englischer Sprache. Lasst mal hören, wie das für euch war.
-
- 53 B1: Ich fand es sehr interessant und mir hat es echt gut gefallen muss ich sagen. Wie wir vorhin schon gesagt haben, hatte ich erst ein bisschen Angst davor, dass ich das nicht verstehen würde. Eigentlich war aber alles recht klar und ja, mir hat es wirklich gut gefallen. Das war eine neue Erfahrung.
-
- 54 B2: Ich fand es auch ganz gut, dass wir teilweise ein bisschen ins Deutsche gewechselt sind. Wenn man nochmal irgendwie etwas klären wollte, oder etwas noch nicht richtig verstanden hatte, dass man das nochmal in der Muttersprache schnell verstehen kann.
-

- 55 B3: Ich habe ja auch bilingual schon seit der fünften Klasse und habe das ja auch noch in Bio und Erdkunde. Jetzt habe ich nur noch Erdkunde. Mit bilingual kannte ich mich da schon ein bisschen aus, aber in Chemie hat es mir nochmal besonders gut gefallen, weil mir generell Chemie auch mehr liegt als Bio oder Erdkunde.
-
- 56 I: Was ist mit euch (spricht B1 und B2 an)? Wollt ihr noch etwas dazu sagen?
-
- 57 B2: Wir waren ja auch bilingual bis zur Neunten. Ich habe es abgewählt, aber es war trotzdem nochmal eine Erfahrung, das in einem anderen Fach als Bio und Erdkunde zu haben.
-
- 58 B1: Ich finde aber auch, dass es viele identische Sachen zur Biologie gibt [[B2 und B3: Ja (zustimmend)]].
-
- 59 B3: Mit Bio ist es schon ähnlich, aber das habe ich jetzt auch nicht mehr. Ich habe das im Halbjahr abgewählt. Ich habe jetzt nur noch Erdkunde und damit höre ich auch auf. Trotzdem fand ich das Chemie-Modul echt gut [[B1 und B2: Ja (zustimmend)]], also als bilinguale Einheit.
-
- 60 I: Ok. Ihr habt gerade gesagt, das sei ähnlich wie Biologie. Könnt ihr das noch weiter ausführen?
-
- 61 B1: Ich würde sagen ein paar Begriffe. Wir hatten ja jetzt bilingual Biologie und da hatte man ja auch schon Photosynthese besprochen, also kurz angeschnitten. Daher kannte man schon ein paar Begriffe, oder auch (-) [[B3: Ich finde Photosynthese ist ja auch ein sehr biologisches Thema, deswegen konnte man das gut damit verbinden]].
-
- 62 B2: Ja, ich fand das auch ganz gut, weil Bio und Chemie hängen ja auch ziemlich eng zusammen. Deswegen würde es von den Vokabeln her auch eher Gemeinsamkeiten geben.
-
- 63 I: Ok. Wie ist das in Sachen Experimentieren und bilingualer Chemieunterricht? Wie war das für euch?
-
- 64 B3: In den Gruppenphasen haben wir jetzt nicht unbedingt immer Englisch gesprochen (LACHEN). Da hat man dann auch schonmal, weil es einfacher ist, auf Deutsch was gesagt. Insgesamt nach dieser „Deutung“ in Englisch konnte man das ja schon gut machen [[B2: Ja (zustimmend)]], weil wir ja auch schon lange Englisch haben.
-
- 65 I: Ok, gut. Jetzt habt ihr das Modul ja durchgeführt. Wir können uns folgenden Fall vorstellen: Stellt euch mal vor, ihr hättet unbegrenzte Möglichkeiten, das Modul zu verändern. Was würdet ihr machen?
-
- 66 B1: Ich würde das mit dem Video nicht mehr machen [[B2 und B3: Ja (zustimmend) (LACHEN)]]. Das fand ich eben am kompliziertesten, aber [[B2: Ich würde eigentlich ziemlich viel so lassen]] Ja, auch mit den Vokabelhilfen. Auch, dass man am Anfang erst in das Thema reinkommt, indem man Bilder hat, das fand ich echt gut als Einstieg.
-
- 67 B3: Wirklich so groß viel verändern würde ich nicht, weil mir hat es insgesamt schon ziemlich gut gefallen [[B1 und B2: Ja (zustimmend)]]. (8s)
-
- 68 I: Ok, jemand hat die Vokabelhilfen angesprochen. Würdet ihr da auch noch etwas verändern?
-
- 69 B3: Nein, würde ich nicht sagen. Die waren eigentlich alle ziemlich hilfreich [[B2: Und auch ausreichend]]. Auch ausreichend, genau. Man brauchte jetzt nichts über den Horizont hinaus.
-
- 70 I: Da habe ich nochmal eine Nachfrage. Gab es denn Situationen, wo man noch hätte noch mehr Vokabelhilfe haben können? Wie würdet ihr euch das vorstellen, wenn das der Fall wäre? (6s)
-
- 71 B3: Wenn man hätte etwas gebrauchen können, hätte man die ja vielleicht an den Rand legen können, also die Vokabeln. Und man hätte dann hingehen können, um sich welche zu holen [[B2: Ja, oder einfach zu fragen]] Ja gut, das kann man natürlich auch machen. Das wäre einfacher (LACHEN).
-
- 72 B1: Generell würde ich sagen, dass mir jetzt keine wirklich gefehlt haben [[B2 und B3: Nein (zustimmend)]]. Wenn wir eine nicht wussten [B2: oder wir haben uns dann auch mal ausgetauscht, also

wenn einer eine Vokabel nicht wusste und oft wussten die anderen dann auch etwas. Man hat sich auch gegenseitig viel geholfen.]].

-
- 73 I: Ok, gut. Jetzt sind wir im Prinzip schon am Ende des kurzen Interviews. Ihr habt jetzt noch einmal die Möglichkeit, etwas loszuwerden, das euch noch auf dem Herzen liegt. (6s)
-
- 74 B1: Eigentlich nichts [[B2 und B3: Nein]].
-
- 75 I: Ok. Würdet ihr das Modul anderen Schülern empfehlen?
-
- 76 B1: Ja (zustimmend).
-
- 77 B2: Ja, auf jeden Fall.
-
- 78 B3: Ja. Wenn man das nicht im Chemieunterricht macht, könnte man das eventuell beim Bio bilingualen Kurs anders einführen.
-
- 79 B1: Ich finde es aber gerade so interessant, dass man mal in Chemie bilingualen Unterricht macht. Bio, Erdkunde - Das kennt man. Chemie ist mal was Neues.
-
- 80 I: Ok. Zum Schluss: Wie bewertet ihr den Lernertrag? Das ist ja jetzt ein Thema für die Klasse 10 - Teilweise biologisch angehaucht, teilweise chemisch. Wie bewertet ihr da den Lernertrag für euch?
-
- 81 B3: Ich fand man hat das bei diesem Vorher- und Nachher-Test schon gut gemerkt [B2 und B1: Ja (zustimmend)]. Wenn ich jetzt im Nachhinein darüber nachdenke, was ich da geschrieben habe, war das schon einiges wo ich mir denke, das hat überhaupt keinen Sinn gemacht (LACHEN). Wenn man sich davor aber nicht so damit beschäftigt hat, dann keine Ahnung.
-
- 82 B1: Ich fand auch im Vortest hat man auch so richtig gemerkt: Am Anfang wusste man gar nicht, wo man anfangen sollte. Man hatte halt die Begriffe, aber wusste halt nicht [[B2: wo man anfangen sollte, ja. Da sind dann auch teilweise solche Pfeile entstanden, die einfach gar keinen Sinn gemacht haben - Oder doch Sinn gemacht haben, aber nicht zum Thema gepasst haben]].
-
- 83 I: Ok, dann vielen Dank.

Leitfadeninterview 3 (LF3)

- 1 I: Danke fürs Mitmachen. Ich stelle euch ein paar Fragen und möchte, dass ihr etwas dazu sagt. Einfach das, was ihr damit verbindet, oder was euch dazu einfällt. Ich werde das manchmal mit einer Nachfrage garnieren, manchmal aber auch nicht. Dann sitze ich hier einfach und es passiert nichts, das ist mein Job. Die erste Frage, mit der wir beginnen ist: Ihr seid ja jetzt in der Klasse 10, also in der EP und habt schon ganz viel Unterricht gesehen und erlebt. Ihr seid als also Lehrer- und Unterrichtsexperten. Was ist für euch im Unterricht wichtig? (5s)

- 2 B1: Für mich ist wichtig, dass der Unterricht eine gewisse Struktur hat. Also, dass man da jetzt nicht von A nach B irgendwelche Themen verfolgt, sondern die müssen schon aufeinander aufbauen.

- 3 B2: Ich finde auch ganz wichtig, dass man sieht, dass der Lehrer Kompetenz hat. Ansonsten, wenn ein Schüler merkt, dass ein Lehrer keine Kompetenz hat, dann kann man den Lehrer nicht als Lehrer wahrnehmen, sondern dann ist er fast schon auf einer Schülerebene.

- 4 B3: Für mich sollte der Unterricht abwechslungsreich sein. Dadurch ist man immer wieder motiviert mitzumachen, weil immer etwas Neues passiert.

- 5 I: Mhm (zustimmend). Kannst du ein Beispiel für einen abwechslungsreichen Unterricht nennen (spricht B3 an)?

- 6 B3: Zum Beispiel im Chemieunterricht, dass man Mal Theorie macht, aber das dann auch in der Praxis durchführt mit Experimenten. Dass das immer unterschiedlich ist.

- 7 I: Ok. Du hast gesagt, der Stoff soll aufeinander aufbauen (spricht B1 an). Kannst du sagen, was du damit meinst bzw. fällt dir eine konkrete Situation ein, wo das der Fall war?

- 8 B1: Beispielsweise, als wir Reaktionsgleichungen oder die Bohr-Gleichung gemacht haben. Das ist jetzt schon länger her, aber die Theorie dafür ist ja aufbauend auf den letzten Jahren.

- 9 I: Alles klar. Ihr habt jetzt gerade gesagt, was generell für euch im Unterricht wichtig ist und unterschiedliche Aspekte angesprochen. Wie ist das im Chemieunterricht? Was ist im Chemieunterricht wichtig für euch? (8s)

- 10 B3: Ich glaube, dass da gerade mein Punkt gut zu gepasst hat, also, dass es sehr abwechslungsreich ist. Wegen des Beispiels, Experimente und Theorie immer unterschiedlich.

- 11 B1: Das finde ich auch mit am Wichtigsten. Dass man da einen Ausgleich hat, zwischen Experimenten und Theorie. Nicht, dass man jetzt die ganze Zeit Experimente macht und keine Ahnung hat, was man da macht.

- 12 B2: Ich schließe mich da auch an. Ich glaube aber auch, dass man das mit den Experimenten nicht übertreiben sollte, sondern schon größtenteils Theorie. Am Abschluss, oder vor dem Themenbeginn kann man ein Experiment machen, damit man das mit der Realität verbinden kann und es nicht nur im Buch steht.

- 13 I: Ok, Dankeschön. Ihr sehr hier auf dem Tisch ein paar Materialien, die den Verlauf unseres Moduls skizzieren. Von euch aus gesehen links unten im Uhrzeigersinn nach rechts unten gehend [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Also hier sind einerseits die Materialien, aber auch die Experimente, die wir hatten. Erzählt doch mal, was wir so gemacht haben und wie das für euch war. (7s)

- 14 B2: Also sollen wir uns jetzt etwas aussuchen und dazu etwas erzählen?

- 15 I: Wie ihr mögt. Mir geht es darum, dass ihr guckt, was haben wir gemacht und wie war das für euch? Es geht nicht darum, Wissen abzufragen, sondern zu schauen, was haben wir gemacht und wie ist das für euch gewesen. (10s). Ich helfe euch mal anzufangen. Wir sind ja eingestiegen mit den drei Bildern. Da habt ihr eine kurze Einzelarbeit zu gemacht und euch dann zu dem Thema Photosynthese und Zellatmung

ausgetauscht. erinnert ihr euch dunkel? [[B1, B2 und B3: Ja (zustimmend)]]]. Wie war dieser erste Teil für euch?

-
- 16 B1: Ich fand das als Einstieg ganz gut, weil man da auch die Vorgänge in der Natur hat und sich das besser vorstellen kann. (5s)
-
- 17 B3: Da schließe ich mich B1 ein. Ich wusste zum Beispiel vorher nicht, was alles womit zusammenhängt. Deswegen fand ich das als Einstieg ganz gut, weil, wie B1 schon gesagt hat, mit der Natur, oder was wir Menschen brauchen und so weiter. (5s)
-
- 18 I: Ok. Dann ging es ja weiter. Zentral war das Experiment, das Photo-Blue-Bottle- Experiment. Wir haben unterschiedliche Experimente dazu gemacht und unterschiedliche Herangehensweisen. Wie war das denn für euch? (5s)
-
- 19 B2: Ich fand das sehr interessant, dass die unterschiedlichen Farben unterschiedliche Wirkungen auf die Substanz haben und, dass man bei dem Lichtspektrum bei den Farben unterscheidet mit der „Energiehaltigkeit“. Ich fand es auch sehr wichtig, dass man Zettel bekommen hat, wo die Vokabeln draufstehen, damit die direkt voran sind und man nicht lange überlegen muss, was zum Beispiel Atmung auf Englisch bedeutet. Dass man direkt auf dem Themengebiet auf Englisch sicher ist. (11s)
-
- 20 I: Das ist normal, wenn zwischendurch mal Pausen entstehen. Das ist kein Problem. Ihr könnt dann einfach weiter fortgehen, oder ihr bleibt beim Photo-Blue-Bottle- Experiment. Greift euch etwas raus, hier sind ja noch andere Elemente und sprecht darüber. Ihr macht das wirklich gut.
-
- 21 B1: Jetzt unabhängig von den Experimenten, hatten wir ja zwischendurch so eine „wordbank“, damit wir ein bisschen mit dem Vokabular vertrauter geworden sind. Das fand ich auch ganz gut, weil dann Wörter, die man noch nie gehört hat, aber eigentlich ganz simpel sind, vertrauter werden.
-
- 22 B3: Dann noch zu dem Experiment (-) Wie hieß das nochmal? Blue (-) [[I: Photo-Blue-Bottle-Experiment]]. Genau. Da fand ich gut, dass wir Sachen herausgefunden haben und danach dann Hypothesen bekommen haben, die wir dann nochmal testen sollten. Das fand ich sehr gut, weil dadurch haben wir dann den Versuch plus theoretischen Unterricht vereint. Das fand ich gut.
-
- 23 B2: Wenn man das insgesamt betrachtet stellt man fest, dass der Unterricht so aufgebaut war, dass man das erst komplett von außen betrachtet hat. Man hat Bilder bekommen von, zum Beispiel einer die läuft, und dann ist man weitergegangen und hat sich das im Experiment genauer angeschaut und letztendlich auf molekularer Ebene. Das ist eine schöne Herangehensweise, um das Thema genau zu besprechen. Also von groß nach klein (6s).
-
- 24 I: Dazu gehört unter anderem auch dieser Bereich hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Also, dass wir uns das Modellexperiment angeguckt haben und die natürlichen Prozesse. Möchtet ihr dazu noch etwas sagen? (6s)
-
- 25 B3: Ich fand interessant, dass - Also wir haben ja erst im Modellexperimentiert, was da passiert und dann fand ich spannend, dass das genauso in der Natur umgesetzt wird. Wir haben das ja mit Sonnenlicht getestet und nicht nur mit blauem Licht. Das hat ja dann auch geklappt und in der Natur hat es ja auch mit Sonnenlicht geklappt, das hatten wir ja vorher besprochen und haben dann unsere Hypothesen nachgewiesen.
-
- 26 I: Mhm (zustimmend). Wollt ihr auch etwas dazu sagen (spricht B1 und B2 an)? Oder etwas ergänzen? (-)
-
- 27 B1: Ich fand auch gut, dass wir das am Ende nochmal mit dem Sonnenlicht gemacht haben. Wir haben das ja letzte Stunde auch nochmal gemacht und da hatte man nochmal den Zusammenhang. Das war auch etwas Wichtiges.
-
- 28 I: Okay. Wie ging es dann weiter? Zwei Stationen hätten wir hier ja noch [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Einmal die Konzentrationszelle und das Messgerät und zum Schluss haben wir das Video auf
-

dem Tablet gesehen. Ich glaube, da waren aber nicht alle da [[B2: Ja, B3 war da]] Ok, der Teil ist nur für B3. Hierzu [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] könnt ihr aber auch noch etwas sagen, wenn ihr möchtet (spricht B1 und B2 an).

-
- 29 B2: Also mit dem Experiment haben wir dann nochmal unsere Hypothesen bestätigt, dass wir eine Substanz vorliegen haben, die energiereich oder energiearm ist. Je nachdem, ob energiereiches Licht darauf scheint, oder nicht.
-
- 30 I: War das einleuchtend, dass das Experiment das beweist?
-
- 31 B2: Ja (zustimmend).
-
- 32 B1: Ja, fand ich auch.
-
- 33 B3: Ja (zustimmend).
-
- 34 I: Gut. Dann noch zum Video zum Schluss.
-
- 35 B3: Da haben wir uns ja ein Video angeschaut. Das fand ich sehr anschaulich, weil da viele Abbildungen waren und man das noch leichter verstehen konnte. Wir haben ja auch zum Beispiel noch herausgefunden, dass ein Katalysator dafür sorgt, dass die Reaktion viel schneller läuft und dass wir einen Kohlenstoffkreislauf haben, weil Kohlenstoff immer vorhanden ist und nur umgewandelt wird.
-
- 36 I: Ok, vielen Dank. Gab es in dieser Reihe Schwierigkeiten für euch? (7s)
-
- 37 B3: Ich musste mich am Anfang erst mal ein bisschen "reinfinden". Nach einer Zeit ging es dann und dann kam ich immer mehr rein und dann fand ich es verständlich. (-)
-
- 38 B1: Bei mir war es ähnlich. Gerade bei dem Thema Bio, das ist etwas, was mir persönlich nicht zuspricht. Da musste man schon etwas ausholen, dass man dann wieder den Zusammenhang hat zwischen dem Thema. Wir hatten das ja schonmal.
-
- 39 I: Was ist mir dir (spricht B2 an)? Gab es für dich Schwierigkeiten?
-
- 40 B2: Ich fand am Anfang war der Zusammenhang zwischen Photosynthese und Zellatmung unklar, wie das zusammenhängen kann. Das sieht man wahrscheinlich auch bei meiner Mindmap. Ich habe Photosynthese und Zellatmung komplett getrennt in meiner Mindmap, weil ich überhaupt nicht den Zusammenhang zwischen den Themen verstanden hab. Nach und nach wurde es dann immer klarer, wie die zusammenhängen.
-
- 41 I: Mhm (zustimmend). Da habe ich noch eine Nachfrage. Bei deiner Mindmap sagst du, hast du es getrennt. War das in der ersten Mindmap, oder in der zweiten?
-
- 42 B2: In der ersten. In der zweiten dann nicht mehr, da hingen die logisch - hoffentlich (LACHEN) - zusammen.
-
- 43 I: Okay. Welcher Teil hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] hat denn dafür gesorgt, dass du sagst, die Dinge hängen logisch zusammen?
-
- 44 B2: Ich würde sagen das Lichtexperiment. Das war für mich einleuchtend für diesen Zusammenhang.
-
- 45 I: Okay. Wie ist bei euch (spricht B1 und B3 an)?
-
- 46 B3: Bei mir war es genauso wie bei B2. Ich habe die Zellatmung und die Photosynthese in der ersten Mindmap auch komplett getrennt. Dann fand ich das Experiment hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch], was wir mit den Taschenlampen gemacht haben, sehr einleuchtend. Dadurch haben wir den Kreislauf ausgefüllt, haben alles besprochen und dadurch habe ich dann auch herausgefunden, dass Photosynthese und Zellatmung beide zusammenhängen und alles ein Ablauf ist, der immer wieder vorkommt.
-

- 47 I: Ok, danke.
-
- 48 B1: Ich fand auch, dass der Versuch mit dem Photo-Blue-Bottle geholfen hat, beide Themen zu verknüpfen.
-
- 49 I: Ok, Dankeschön. Wir haben gerade über Schwierigkeiten gesprochen. Gab es denn etwas, das in dieser Reihe besonders wertvoll war? (7s)
-
- 50 B3: Also was ich wertvoll fand - Ich glaube, das hat B2 vorhin schon mal erwähnt - ist, dass man von groß zu klein gegangen ist, oder vom Äußeren immer kleiner geworden ist. Das fand ich gut, weil dann hatte man eine Vorstellung davon, was wo und wie passiert.
-
- 51 I: B2 nickt.
-
- 52 B2: Ja (zustimmend). (6s) Gibt es noch etwas Weiteres, das hier wertvoll war? (6s)
-
- 53 B1: Generell, dass man nochmal alte Themen "wiederbelebt" hat und sich das nochmal angeschaut und vertieft hat. Das hat sich schon gelohnt.
-
- 54 I: Ok, alles klar. Das war ja hier bilingualer Chemieunterricht - Zum ersten Mal für alle von euch. Chemieunterricht fast nur in englischer Sprache. Lasst mal hören, wie das für euch war.
-
- 55 B3: Zu Beginn war es neu für mich. Vor allem die chemischen Begriffe musste man lernen, aber dafür hatte man ja auch die Vokabelliste, was ich sehr gut fand. Deswegen hat das alles gut harmoniert und man konnte die Sätze plus die Begriffe anwenden und gut auf Englisch sprechen.
-
- 56 I: Mhm (zustimmend).
-
- 57 B2: Ich schließe mich da auch B3 an, dass man durch die Vokabelliste einen Wortschatz erhalten hat, den man auch benutzen konnte. Ich finde auch, dass man die Grundkenntnisse, die man sich bis zum zehnten Schuljahr angesammelt hat, auch anwenden konnte. Es war gar nicht so schwer auszudrücken, was man sagen wollte. Man müsste noch im chemischen Bereich mehr üben, Englisch zu sprechen, weil man eher in der Alltagssprache ist und nicht in der "chemischen Sprache", sage ich mal, im Englischen so sicher ist.
-
- 58 B1: Ich fand es auch von den Formulierungen her am Anfang recht simpel, zum Beispiel B2 und ich hatten ja vorher schon Biologie auf Englisch. Das hat einem schon gewissermaßen geholfen, sich da rein zu finden.
-
- 59 I: Wie war das während des Experimentes und dem Englischsprechen? Wie hat das denn geklappt?
-
- 60 B1: Ich persönlich fand es etwas anstrengend, weil man sich dann immer die Vokabeln anschauen musste. Man hat halt nicht so ein Tempo, wie man das sonst in Deutsch immer hatte.
-
- 61 I: Mhm (zustimmend).
-
- 62 B3: Ich fand es zwischendurch auch immer schwierig, weil man wusste, was man auf Deutsch sagen möchte, aber dann auf Englisch alles umzuformen, das war dann doch etwas schwieriger.
-
- 63 I: Hätte dir da etwas geholfen? Oder auch dir B1? Gibt es etwas, was euch geholfen hätte, um das leichter für euch zu machen? (6s)
-
- 64 B1: Ich glaube nicht. Man hätte zwar mehr Vokabeln geben können. Das hätte dann aber auch nicht geholfen, wirklich flüssig zu sprechen. Ich glaube das kommt dann wirklich mit der Übung.
-
- 65 B3: Da stimme B1 zu. Das kommt mit der Übung. Vielleicht war der Wortschatz einfach, den ich normalerweise habe, in dem Moment - vielleicht auch ein bisschen wegen dem Mikrophon etwas nervös - aber, sonst ging das. Das kam mit der Übung dann, wenn man das häufiger gemacht hat.
-
- 66 I: Okay. B2, was ist mit dir?
-

- 67 B2: Ich schließe mich auch komplett B1 und B3 an, dass uns einfach die Übung fehlt. Je mehr man die Fachbegriffe benutzt und auch Formulierungen nutzt und sich aushilft, dann wird man da auch sicherer und der bilinguale Chemieunterricht wird dann auch flüssiger würde ich sagen.
-
- 68 I: Mhm, interessant. Jetzt habt ihr das Modul einmal mitgemacht. Angenommen, ihr könntet das nochmal mitmachen und hättet die Möglichkeit, etwas hieran zu verändern. Was würdet ihr verändern "in einer besseren Welt"? (20s)
-
- 69 B1: Also, wenn man jetzt bei dem Thema Photosynthese und Zellatmung bleiben würde - Ich weiß nicht genau, was man da noch für Experimente machen könnte - Aber ich würde vielleicht noch ein ähnliches Experiment oder ein zweites Experiment dazunehmen. Ansonsten hat es mir eigentlich gefallen.
-
- 70 I: Kannst du sagen, was du damit meinst, ein ähnliches, oder ein zusätzliches Experiment? Ich glaube du hast da etwas im Hinterkopf, was du vielleicht noch erläutern könntest?
-
- 71 B1: Ich habe jetzt kein explizites Experiment, aber vielleicht wird einem an einem anderen Experiment der Zusammenhang klarer.
-
- 72 I: Der Zusammenhang zwischen was meinst du?
-
- 73 B1: Zwischen Theorie und Praxis.
-
- 74 I: Was meinst du mit Theorie und Praxis? Man kann da so viele Dinge mit verbinden, deswegen frage ich gerade.
-
- 75 B1: Die Thesen und Hypothesen, die wir zu Beginn aufgestellt haben, dass wir das dann noch einmal gründlich durch Experimente widerlegen können.
-
- 76 I: Okay. Ich verstehe das so, dass ein paar Thesen vielleicht nicht "nur" durch das Photo-Blue-Bottle-Experiment geprüft werden konnten? Da wünschst du dir Experimente, die die letzten Dinge noch abbilden.
-
- 77 B1: Ja, eigentlich schon.
-
- 78 I: Ok. Gibt es noch etwas anderes, was das Experiment sozusagen außen vor lässt? Also etwas, das man noch klären müsste?
-
- 79 B2: Ich fand, dass bei der Photosynthese klar war, dass Licht auf eine energiearme Substanz scheint und dadurch dann ein energiereicher Stoff entsteht. Für mich war dann die Zellatmung - Da hätte man vielleicht nochmal ein "Extra-Experiment" machen sollen, weil der Unterschied zwischen den Experimenten war nicht so klar. Man hatte das gleiche Experiment und hat damit nochmal die Zellatmung getestet. Da kam es dann zu Unklarheiten für mich.
-
- 80 I: Wie haben sich dann die Unklarheiten geklärt?
-
- 81 B2: Im Endeffekt dadurch, dass man dann einfach das chemisch genau besprochen hat. Da wurde dann klar, dass man den Sauerstoff braucht um wieder den energiereichen Stoff in den energiearmen Stoff umzuwandeln.
-
- 82 I: Ok, also du meinst dieses Energieschema mit dem beiden Kreisläufen? [[B2: Genau]] Das hat die beiden Aspekte zusammengebracht?
-
- 83 B2: Ja, weil vorher wusste ich nicht, warum wir gar keinen Sauerstoff darin haben wollen und was das nachweisen soll. Mit Photosynthese war es von Anfang an klar, aber mit Zellatmung waren Unklarheiten.
-
- 84 I: Würdest du jetzt sagen, dass das für dich jetzt klar ist?
-
- 85 B2: Ja, auf jeden Fall.
-

- 86 I: Würdet ihr das auch sagen (spricht B1 und B3 an)?
-
- 87 B3: Ja (zustimmend).
-
- 88 B1: Dass wir nach dem Experiment nochmal auf theoretischer Weise besprochen haben und dann nochmal auf einer Abbildung, das hat alles noch einmal klarer gemacht fand ich.
-
- 89 I: Okay, gut. Würdet ihr das Modul anderen der Klasse zehn empfehlen? (15s)
-
- 90 B1: Was die Sprachkenntnisse angeht auf jeden Fall. Ich glaube vom Thema her auch eigentlich.
-
- 91 I: Kannst du noch etwas genauer sagen, was du meinst?
-
- 92 B1: Man könnte das auch machen, um die Englischkenntnisse zu verbessern und auch die bestimmten Fachbegriffe zu benutzen. Aber eben auch als Unterrichtsreihe, einfach wegen des Themas, das man das nochmal macht.
-
- 93 I: Danke. Wie sieht es bei euch beiden aus (spricht B2 und B3 an)?
-
- 94 B2: Ich schließe mich wieder B1 an. Nur finde ich es ganz wichtig, dass der Chemieunterricht nicht durch das Englische ersetzt wird. Also, dass man sagt, wir wiederholen jetzt - übertrieben gesagt - nochmal kurz die Grammatik, damit ihr euch alle grammatisch richtig im Chemieunterricht ausdrückt. Dass man da nicht zu stark abgreift und schon den Chemieunterricht beibehält.
-
- 95 I: Ok. War das hier der Fall, dass wir das hier so gemacht haben, wie du es gerade beschrieben hast?
-
- 96 B2: Nein, fand ich nicht. Ich würde aber sagen, dass die Gefahr bestünde, dass man da irgendwann mal zu stark vom Thema abschweift, deswegen.
-
- 97 I: Ok, danke.
-
- 98 B3: Also ich würde es auf jeden Fall empfehlen. Einerseits bessern wir unsere Sprachkenntnisse auf und dann vielleicht auch noch in einem Teil, wo wir nicht viele Vokabeln kennen. Außerdem wiederholen wir auch nochmal Themen, die wir in der Klasse Neun gemacht haben und bessern die nochmal auf und werden vielleicht sogar noch genauer.
-
- 99 I: Okay, danke. Wie würdet ihr dann den Lernertrag aus diesen Stunden bewerten? Lernertrag ist klar, was ich damit meine?
-
- 100 B2: Ja (zustimmend). (12s)
-
- 101 B1: Können Sie "Lernertrag" nochmal bitte für mich erklären? (LACHEN)
-
- 102 I: Klar, kein Problem. Wir haben ja jetzt drei Doppelstunden zu dem Thema gearbeitet. Die Frage ist: Inwiefern hat sich das gelohnt, diese drei Doppelstunden diesem Thema zu widmen? Habt ihr etwas gelernt in der Zeit? Ist das lohnenswert, diese Reihe zu machen? Was spricht dafür, was spricht vielleicht dagegen?
-
- 103 B2: Dafür spricht, bei dem Thema Photosynthese und Zellatmung, dass man das nochmal wiederholt und sich nochmal in anderen Aspekten damit auseinandersetzt. Was dagegen sprechen kann ist, dass das vielleicht nicht zum Vorherigen passt.
-
- 104 I: Wie war das für dich persönlich (spricht B2 an)? Meinst du, der Lernertrag war groß genug für dich in dieser Zeit?
-
- 105 B2: Ja schon, würde ich sagen, dass man da viel rausziehen konnte.
-
- 106 I: Wie ist das für die anderen?
-

- 107 B3: Ich würde auch sagen, dass der Lernertrag schon sehr gut war. Ich glaube nur, wir sind zu lange bei den Bildern geblieben. Man hätte sich in der Gruppe schnell absprechen können, was die mit dem Thema zu tun haben und eher auf die, wo es wirklich darauf ankommt, mehr darauf einzugehen. Die Bilder haben im Endeffekt einen kleinen Denkanstoß für das Thema gegeben, aber das nicht richtig erklärt. Ich hätte deswegen bei den Bildern nur fünf Minuten in der Gruppe oder vorne besprochen, was die Meinungen zu den Bildern sind und nicht dafür so viel Zeit verschwendet.
-
- 108 I: Mhm (zustimmend), danke.
-
- 109 B1: Ich habe auf jeden Fall was gelernt. Ich muss gestehen, ich wusste nicht mehr ganz genau, was Photosynthese ist. Ich wusste vielleicht, dass man dafür Chlorophyll benötigt und der in Pflanzen ist und, dass das grün ist. Der ganze Prozess, wie der verläuft, das wusste ich - ehrlich gesagt - nicht mehr. Deswegen fand ich es gut, dass wir das noch einmal anschaulich gemacht haben. Ich glaube jetzt, dass ich es mir merken werde, oder auch in zwei Jahren noch wissen werde.
-
- 110 I: Ok. Gibt es noch Ergänzungen von den anderen beiden (spricht B2 und B3 an)?
-
- 111 B3: Nein.
-
- 112 B2: Ja, ich würde noch ergänzen, dass der Prozess nicht klar war. Also, dass man in Bio einfach nur gelernt hat, bei den Pflanzen findet Photosynthese statt, aber man geht in Bio nie so richtig auf das Chemische ein. Das war einfach sehr interessant nochmal chemisch zu sehen.
-
- 113 I: Kann man sich vorstellen, dass das Experiment für den Biologieunterricht geeignet wäre? Da, wo man auch über die Photosynthese spricht?
-
- 114 B1: Ich würde sagen, man benötigt dafür Bio und Chemie. Es gibt ja auch das Fach Biochemie. Da könnte man sowas gut anwenden. Man braucht Biowissen und Chemie, weil wir hatten ja auch Oxidation und Reduktion. Das lernt man ja jetzt nicht gerade in Bio, sondern das haben wir ja eher in Chemie gemacht. Deswegen würde ich das für den Biochemieunterricht vorschlagen.
-
- 115 B2: Ich würde das auch eher Biochemie, oder Biologie zuschreiben. Man betrachtet ja eher weniger, was man für chemische Stoffe hat und Edukte und Produkte, oder was für Reaktionen vorliegen. Sondern eher den Ablauf und sich da eher mit biologischen Aspekten beschäftigt.
-
- 116 B3: Ich würde auch sagen, dass ein Teil Biologie und ein Teil Chemie ist. Den Teil bis zu dem Teil [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] könnte man noch in der Biologie arbeiten, aber ab da [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] finde ich, ist der größte Teil von der ganzen Unterrichtsreihe dann doch Chemie.
-
- 117 I: Um das noch einmal deutlich für das Mikrofon zu machen: Der Einstieg und das Photo-Blue-Bottle-Experiment mit den verschiedenen Hypothesen und den verschiedenen Energieformen wäre wichtig für Biologie bzw. einsetzbar. Ab dem Vergleich zwischen natürlichen Prozessen und Prozessen im Modellexperiment, da wird es chemisch und das würdest du der Chemie zuordnen [[B3: Ja (zustimmend)]]]. Nur, damit das Diktiergerät weiß, was passiert ist (LACHEN). Würdet ihr sagen, dass ist auch ein Thema für den bilingualen Unterricht in der Klasse neun, oder sogar schon früher? Das ist in englischer Sprache jetzt vermittelt worden das Thema.
-
- 118 B1: Ja, vielleicht über einen längeren Raum. Vielleicht gibt es ein paar Schwierigkeiten mit den Begriffen, aber ansonsten könnte ich mir das schon vorstellen.
-
- 119 B3: Ich könnte es mir auch in der achten oder neunten, eher in der neunten Klasse, vorstellen. Das ist auf jeden Fall machbar. Man hat ja die Vokabelliste. Vielleicht dauert es etwas länger, wie B1 schon gesagt hat, aber das Thema ist auf jeden Fall für Neuntklässler im englischen Bereich machbar.
-

- 120 B3: Ich stimme den beiden auch zu. Ich denke auch, dass man das anwenden könnte. Vielleicht weil es auch eine Abwechslung von der Unterrichtsreihe ist und dadurch die einen oder anderen motiviert, weil es mehr Spaß macht.
-
- 121 I: Vielen Dank. Wir sind jetzt am Ende des Interviews angelangt. Gibt es noch etwas, das ihr loswerden wollt?
-
- 122 B1: Ich muss sagen, mir hat es echt Spaß gemacht und ich würde es nochmal machen. Wenn mich jemand nochmal fragen würde, ich würde auf jeden Fall nochmal mitmachen.
-
- 123 B2: Ich würde auch nochmal als Schlusswort sagen: So am Ende des Jahres ist das in Ordnung, wenn man sowas macht. Mir persönlich hat es auch Spaß gemacht, deswegen kann ich es nur weiterempfehlen.
-
- 124 B3: Ich würde auch so ein Thema am Ende, wo es nicht mehr so wichtig ist - Also das Thema an sich ist schon wichtig - Es ist aber eigentlich nicht vorgesehen für das "Bildungssystem" würde ich mal sagen, weiß ich jetzt nicht [[I: Man kann das auf jeden Fall einbauen]], aber ich würde schon sagen, dass man das auf jeden Fall einbauen soll. Was noch sehr wichtig ist, dass die englische Sprache in der Schule viel zu wenig benutzt wird und, dass man die englische Sprache auch in andere Fächer einbaut, ist sehr wichtig, um generell die englische Sprache und die Aussprache zu beherrschen. Dass man Chemie und Englisch gleichzeitig macht, das finde ich sehr gut.
-
- 125 I: Vielen Dank für das Interview und für eure Zeit.

Leitfadeninterview 4 (LF4)

- 1 I: Es wird wie folgt ablaufen: Ich gebe euch eine Frage rein und ihr könnt dann darüber sprechen, also über den Impuls dieser Frage. Ich werde vielleicht nochmal etwas nachfragen, es kann aber auch sein, dass ich einfach nur hier sitze und nüchtern schaue. Das ist ganz normal und hat nichts zu bedeuten, sondern das ist meine Aufgabe. Ich möchte euch nicht in eine bestimmte Richtung leiten. Ihr seid ja im Prinzip am Ende der EP angelangt und habt ganz viel Unterricht gesehen - Ihr seid also Lehrer- und Unterrichtsexperten könnte man sagen. Was ist denn für euch im Unterricht wichtig?

- 2 B1: Das er auf jeden Fall abwechslungsreich ist – Also, dass nicht nur stumpf etwas an der Tafel erklärt wird und man selbst nichts zu tun hat. Im Chemie-, Physik- und auch Biunterricht sollten auch Experimente da sein, oder man mal (etwas macht? unv. da Husten), wo man sich auch selbst beschäftigen kann. Dass das dann etwas anderes ist, was man nicht so häufig macht.

- 3 B2: Genau. Ich glaube für mich gehört da auch auf jeden Fall Abwechslung dazu. Das ist glaube ich ziemlich wichtig - Vor allem auch vom Konzept. Also, dass man nicht z.B. jede Stunde Gruppen- oder Einzelarbeit macht, also je nach dem - Das war jetzt überspitzt gesagt, um das zu verdeutlichen. Ich würde auch sagen, von dem Unterricht her selbst, also in den Naturwissenschaften, dass man da Experimente macht. Und bei den Reihen dazu, dass man diese dann auch immer anders gestaltet.

- 4 B3: Ich finde den Unterricht auch immer gut, wenn er abwechslungsreich ist. Dass man eine Stunde mal was an der Tafel macht, das muss ja auch dabei sein. Nur, dass man zwischendurch auch mal Gruppenarbeiten hat, oder experimentiert. Das trägt zu einer guten Stimmung im Unterricht bei.

- 5 B1: Ich finde, dass das dann auch gut erklärt werden muss. Wenn das viele noch nicht verstanden haben, dass man - auch wenn die Stunde schon abgeschlossen ist - auch beim nächsten Mal nochmal das Thema aufgreift und erklärt. Damit das auch wirklich alle so gut wie möglich verstanden haben und das nochmal an Beispielen weiter erklärt wird.

- 6 I: Ok, gut. Das ist also der Blick auf den allgemeinen Unterricht. Ihr habt jetzt schon ein bisschen etwas über Chemieunterricht gesagt - Vielleicht könnt ihr das nochmal präzisieren. Was ist für euch im Chemieunterricht wichtig, damit man ihn als gelungen ansehen darf?

- 7 B2: Ich glaube vor allem eine Veranschaulichung. Es gibt ja viele Sachen, die auf der Molekularebene sind. Das ist vielleicht schwierig zu verstehen. Wenn man dafür Beispiele macht, oder Modellexperimente - So wie wir das gemacht haben, das hat mir sehr gut gefallen - dass man das dann übertragen kann auf die "richtige" Welt, die Natur, wie in unserem Beispiel mit der Photosynthese. Aber auch bei anderen Themen, z.B. beim Erfüllen der Oktettregel. Also, dass man immer Bezüge herstellt und vielleicht Modellexperimente macht.

- 8 B3: Das finde ich auch ganz wichtig.

- 9 B1: Dass man das auch richtig festhält, zum Beispiel in einer Tabelle - Also die Unterschiede und Gemeinsamkeiten. Um das noch einmal besser darzustellen und zu visualisieren.

- 10 I: Mhm (zustimmend), okay.

- 11 B2: Vielleicht auch noch eine Art "Probieren" - Also, dass man das auch mal selbst ausprobiert in einem gewissen Rahmen. So, dass man das erstmal selbst probiert und dann nachher die Ergebnisse zusammenträgt.

- 12 I: Kannst du kurz sagen, was du meinst mit "das Probieren" (spricht B2 an)?

- 13 B2: Also, dass man einen gewissen Rahmen zur Verfügung hat, ein paar Mittel. Dann soll man vielleicht einen Reaktionsvorgang versuchen durchführen, zu erläutern oder zu beweisen. Dass man dazu dann gewisse Mittel zur Verfügung bekommt, wie bestimmte Lösungen, Bunsenbrenner oder halt gewisse Mittel, um das durchführen zu können.

- 14 I: Mhm (zustimmend), okay.
-
- 15 B1: Sonst könnte es auch so sein, dass man eine Aufgabenstellung bekommt. Man nimmt die dann einfach nur an, hat aber gar nicht verstanden, was und warum man da macht. Wenn man, wie B2 schon gesagt, überlegen muss, dann weiß man auch, was passiert, wenn man zum Beispiel zwei Stoffe zusammenfügt. Dann kommt das raus, was wir erreichen wollen.
-
- 16 I: Für mich hört sich das so an, dass das dann auch um Experimente geht, die ihr dann insbesondere meint?
-
- 17 B2: Genau, ja, hauptsächlich die Experimente.
-
- 18 I: Ok, nur um das für mich nochmal klar zu haben, ob ich da richtig liege mit meinem Verständnis. Hier auf dem Tisch habe ich ja einiges aufgebaut, wie ihr sehen könnt. Es zeichnet das Modul nach - Links unten bei euch ist der erste Teil, hier oben sind die nächsten Teile mit dem Experiment und den Arbeitsblättern und so weiter [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Hier vorne sind die letzten Experimente und zum Abschluss das Tablet, das dann die letzte Einheit symbolisieren soll. Erzählt doch mal, was wir gemacht haben und wie das so für euch war.
-
- 19 B2: Erst mal haben wir ja nur das Oberthema gekannt, also nur die Überschrift mit Photosynthese und Zellatmung. Ich persönlich konnte mit Zellatmung gar nichts anfangen zu Beginn. Wir haben uns dann erst mit einigen Beispielen angenähert, wie mit dem Läufer, dem Feuer und dem Baum in der Sonne. Wir sind dann übergegangen auf das Modellexperiment. Das haben wir uns angeschaut und erst mal versucht, darin sicher zu werden und zu probieren - Also zu wissen, was da vorgeht und wie das abläuft. Dann sind wir übergegangen und haben versucht, das auf die Photosynthese und die Zellatmung zu übertragen. Wir wussten halt dann genau, wie das Modellexperiment funktioniert, sodass wir das relativ einfach auf die Photosynthese und Zellsatmung, also auf diesen Vorgang, übertragen können. Dann haben wir das nochmal durch die chemischen Vorgänge vertieft und auch noch mit dem Versuch, mit dem Messen des Stroms.
-
- 20 B1: Vor allem auch mit den Bildern, dass wir das direkt am Anfang gemacht haben, um die Zusammenhänge dazwischen zu zeigen. Da hat man schon gemerkt, wie viel, oder wie wenig, man eigentlich wusste. Bei der Concept-Map habe ich zum Beispiel gemerkt, mit den Begriffen konnte ich mit ein paar noch gar nichts anfangen. Im Laufe des Unterrichts habe ich dann gemerkt, dass ich ein paar sehr falsch zugeordnet habe. Hier konnte man dann sehen, was man für einen Wissenstand hat im Gegensatz zu den anderen. Dann konnte man nochmal sehen, ja (-) auf welchen Bezug das zurückzuführen ist.
-
- 21 B2: Vielleicht kann man ja auch generell im Unterricht - oder in Unterrichtsreihen - machen, dass man so einen Vorher - nachher- Vergleich macht. Ich fand die Concept-Map, obwohl ich meine andere gar nicht direkt vor mir liegen hatte, also da konnte ich sehen - Ich hatte manche Sachen falsch eingeordnet und musste viel nachschlagen. Das war halt nachher nicht mehr so, das war schon ein Erfolgserlebnis. Man hatte schon das Thema wirklich gut begriffen.
-
- 22 B3: Wir haben erst alle gedacht: "Wieso? Das hat doch nur was mit Biologie zu tun". Durch die ganzen Versuche konnte man sich das aber von einer chemischen Seite aus angucken. Das fand ich auch sehr spannend, auch mit diesen Beispielexperimenten.
-
- 23 B1: Es wurde auch immer konkreter - Zuerst war ja das Grobe, also welche Prozesse laufen überhaupt ab, wie ist das im Zusammenhang. Dann wurde zum Modellexperiment übergeführt, um nochmal das Grobe auf biologischer oder chemischer Ebene zu sehen und dann nochmals genauer mit den chemischen Reaktionen. Dass man genau gesehen hat, wie läuft das überhaupt ab auf chemischer Ebene.
-
- 24 I: Jetzt habt ihr schon zu einigen Teilen etwas gesagt. Wollt ihr noch etwas zu dem Experiment an sich sagen, also wie das für euch war? Es geht hier immer auch darum zu gucken, wie war das für euch?
-

- 25 B2: Wir hatten ja die verschiedenen Möglichkeiten die Farbe zu verändern, von gelb zu blau. Wir hatten Hitze und Licht und auch die kinetische Energie, also das Schütteln. Ich glaube wir haben erst einfach darauf los experimentiert, ohne darauf zu achten. Ich glaube, wir brauchten auch eine Zeit, um Ordnung zu finden. Wir haben erst das und dann das probiert - Vielleicht war das nicht so vorteilhaft. Vielleicht hätte man da strukturierter vorgehen sollen und erst die einzelnen Lichtarten probieren sollen. Mir war da auch noch nicht klar, dass die einzelnen Lichtformen, also die Spektralfarben, eine unterschiedliche Energie freisetzen können. Da habe ich nicht dran gedacht. Dann haben wir das probiert und es hat dann geklappt, aber wir hatten nur einen gröberen Eindruck - Also wir hatten noch nicht das Feine, dass durch das rote und das grüne Licht – (-) Dass dadurch die Verfärbung nicht zustande kommt.
-
- 26 I: Wie war das denn - Du hast es ja genannt - dieses "unstrukturierte Ausprobieren"? Wie war das für euch, diese experimentelle Phase?
-
- 27 B1: Also ich fand das am Anfang sehr gut, dass man erst mal alles ausprobieren konnte. Nur ohne Ordnung und ohne genau zu wissen, wie das so abläuft, war das schon ein bisschen schwer, das in den Zusammenhang zu stellen [[I: Mhm (zustimmend)]]. Nachher wurde das ja alles geordnet und wir hatten unterschiedliche Sachen ausprobiert - Manche hatten was mit der Heizplatte, manche mit dem Licht gemacht. Das haben wir nachher alles zusammengetragen und da wurde es deutlich, was wir überhaupt ausprobiert haben. Die unterschiedlichen Energieformen - Was funktioniert, was funktioniert nicht und was lässt die Farbe verändern. Dann wurde das etwas klarer.
-
- 28 B2: Ich glaube das Wichtigste war, dass wir das an der Tafel zusammengetragen und ordentlich protokolliert haben. Das mag vielleicht nervig für den ein oder anderen sein, aber es ist in dem Fall insofern wichtig, weil jeder vielleicht etwas anderes probiert hat. Dadurch wird es sehr klar. Hätten wir das nicht so genau gemacht, hätten wir vielleicht gar nicht gewusst, dass die anderen Lichtfarben das gar nicht zum Färben gebracht hätten, sondern hätten das nur allgemein gesagt, dass die Taschenlampe es umfärben kann - Aber das wäre ja dann relativ ungenau gewesen.
-
- 29 I: Ok. Hier liegen noch andere Dinge [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Wollt ihr dazu auch noch etwas zu sagen?
-
- 30 B3: Ich fand vor allem diesen Zettel, wo man nochmal alles in dem Lückentext zusammengefasst hatte, sehr gut. Vorher hatten wir ja verschiedene Fachbegriffe gelernt und wusste was die heißen, aber wusste nicht, in welchem Kontext diese jetzt zu den anderen Begriffen stehen. Dadurch wurde das nochmal klarer. Man hat in einem Satz eben nochmal gesehen, was zusammengehört, wo die Bezüge sind und was das zu bedeuten hat [[I: Mhm (zustimmend)]]. Als Zusammenfassung fand ich das sehr gut.
-
- 31 B2: Mir persönlich gefiel am besten der Zettel [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] mit den beiden Vergleichen, dem Kreislauf. Das wurde uns ja zu dem Zeitpunkt ausgeteilt, als wir uns relativ viel schon mit dem Modellexperiment auseinandergesetzt haben. Wir konnten also die Modellseite schon recht gut ausfüllen - Auch mit Oxidation und Reduktion. Dann war das im Prinzip nur noch Übertragen. Wir mussten natürlich auch noch einmal darüber nachdenken, was wohin kommt. Das fiel uns aber wesentlich einfacher, weil wir ja schon ungefähr gesagt hatten, wie diese Reaktion - auch in der Natur - abläuft.
-
- 32 I: Mhm (zustimmend), ok.
-
- 33 B1: Diesen Zettel "Was ich gelernt habe" fand ich auch sehr gut. Dort waren nochmal die wichtigen Begriffe, die man zum Beispiel auch im Lückentext verwendet hat. Man konnte nach jeder Stunde eintragen und für die nächste schon mal wusste, welche Begriffe man kann und was sie bedeuten. Man konnte die Prozesse, die ablaufen, nochmal beschreiben und hatte einen Rückblick, sodass man sich das besser merken konnte. Man konnte auch gegebenenfalls Fragen aufschreiben, die man hat, um zu sehen, ob die in den darauffolgenden Stunden beantwortet werden.
-
- 34 B2: Ich sehe das bei dem Zettel "Was ich gelernt habe" ähnlich. Ich finde grundsätzlich ist das eine super Idee, ich würde das auch so einsetzen, wenn ich Lehrer wäre. Nur würde ich das seltener machen. Ich
-

würde das vielleicht, wenn man so [[B3: ein Thema]] ja, so ein Teilthema erarbeitet hat - Ich denke, dass vielleicht manche auch die Lust verlieren, sowas auszuformulieren. Ich finde, sowas ist schon wichtig, so eine Zusammenfassung zu haben. Gerade, wenn man für Klausuren lernt, kann man sich das nochmal anschauen und hat einen Überblick. Das finde ich schon wichtig. Nach so einem Teilthema [[B3: Ja, weil nach jeder Stunde ist das dann zu viel]]. Ja, genau.

-
- 35 B3: Ich fand das auch gut, mit diesem Zettel - Jetzt war es zwar nach jeder Stunde - dass, wir immer nochmal aufgeschrieben haben, was wir gemacht bzw. gelernt haben. Das war sehr schön. Und auch, dass wir die ganzen Vokabeln bekommen haben, wo wir nochmal unser eigenes Englisch für Chemie nochmal lernen konnten. Dass wir in den Stunden Formulierungshilfen haben, weil das ist ja nicht mit unserem Englisch so einfach - also mit den ganzen chemischen Begriffen.
-
- 36 I: Okay. Um das für mich und die Mikrophone klar zu haben: Du sprichst also von diesen deutsch-englischen bzw. englisch- deutschen Vokabellisten? Und auch von den Redewendungen, die ich euch gegeben habe? Das meinst du alles? [[B3: Ja]]. Okay.
-
- 37 B3: Das war sehr hilfreich, dass man dort mal draufschauen konnte.
-
- 38 I: War das in ausreichendem Maße da?
-
- 39 B2: Ich finde vom Material her auf jeden Fall, das war auf jeden Fall ausreichend. Ich hätte mir vielleicht gewünscht - das war in einer Situation, da kann ich mich aber gar nicht mehr genau dran erinnern - dass wir vielleicht einmal ausformuliert hätten. Vielleicht kann man ja, wenn man so Reaktionen macht, dass man darunter vielleicht einen Text macht, den dann jeder einmal abschreibt. So kann man sich das dann einmal einprägen. Das kann man ja so ähnlich immer wieder anwenden - Oder oft. Vielleicht bleiben dann auch die Formulierungen im Kontext besser hängen. Es gibt ja auch Vokabeln, wo man immer den Kontext wissen muss.
-
- 40 I: Ja, wie seht ihr das [spricht B1 und B3 an], was B2 gerade sagte?
-
- 41 B3: Ich bin genau dieser Meinung.
-
- 42 B1: Mit dem Text abschreiben, das ist vielleicht gut, um sich das nochmal einzuprägen. Ich finde aber, wenn man jede Stunde einen kleinen Text abschreiben würde, um sich das besser einzuprägen, das wäre auf Dauer dann auch etwas langweilig [[B2: Muss ja nicht jedes Mal, ich meine ja nur grundsätzlich]]. Ja, zu jedem Thema vielleicht.
-
- 43 B3: Ja, dass man so nach dem Thema einmal alles zusammenfasst. Dass man die Ergebnisse von der ganzen Unterrichtsreihe, oder der Teilreihe, nochmal zusammenfasst und einmal einen Text dazu schreibt. Das hilft ja auch beim Lernen für Klausuren, dass man das einmal verständlich hat. Dann kann man sich das einmal schön durchlesen [[B2: Ja, man hat einen Überblick]]. Es ist ja sehr viel, wenn man sich jedes Experiment nochmal angucken muss für die Klausur. So hat man schön alles zusammengefasst, liest sich das einmal durch und hat dann schon mal grob das, was man braucht. Dann kann man halt, wenn man in einem Punkt nicht mehr sicher ist, guckt man sich das von der Stunde nochmal an und liest das nochmal.
-
- 44 B1: Ich finde, dass die Vokabellisten dennoch hilfreich sind, wenn man mal schnell einen Begriff braucht, zum Beispiel bei der Beschreibung eines Experiments. Wenn man genau wissen muss, was ist jetzt das Teil was ich brauche, wie heißt das - Wenn man das erst im Text suchen muss, dauert das vielleicht etwas länger. Wenn man direkt eine Vokabelliste hat, die noch alphabetisch geordnet ist, dann findet man das viel schneller und kann das sofort holen.
-
- 45 I: Ok. Eine Sache fehlt hier sogar noch fällt mir gerade auf - Das ist diese Übersicht mit den Gerätschaften, die würde noch dazugehören. Wollt ihr noch etwas zu der sogenannten "Konzentrationszelle" sagen? Das hatten wir auch eingesetzt.
-
- 46 B2: Das war ja für uns in diesem Modellexperiment eine Probe, glaube ich. Wir haben überprüft, ob wirklich die Energie umgewandelt bzw. gespeichert wurde. Vor allem nach und vor dem Versuch,
-

deswegen ist die eine Seite blau und die andere gelblich. Ich glaube, das war auch nicht schlecht, das zu machen, weil das die andere Seite widerspiegelt. Es war ja ein Modellexperiment und in der Natur gibt es ja auch Verbindungen mit mehr und weniger Energie gibt.

-
- 47 B1: Es zeigt auch nochmal, dass alle Ebenen verknüpft sind. Nicht nur die biologische, sondern auch die biologische und physikalische - mit dem Multimeter, das man da auch messen kann. Alles hängt zusammen und Photosynthese ist nicht nur ein biologisches Thema.
-
- 48 I: Mhm (zustimmend). B3, möchtest du noch etwas anfügen?
-
- 49 B3: Ich bin genau deren Meinung.
-
- 50 I: Okay. Dann haben wir hier noch das Tablet mit den Lehrfilmen und den Arbeitsblättern [veweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Wollt ihr dazu auch noch etwas sagen?
-
- 51 B1: Ich fand das mit dem Lehrfilm erstmal prinzipiell gut. Ich fand nur, dass man das - wenn man den Film nicht richtig verstanden hat - dass man das dann nicht so gut auf das Arbeitsblatt mit den chemischen Reaktionen anwenden konnte. Es wäre glaube ich besser gewesen, wenn man das nochmal an der Tafel wiederholt hätte und es klarer geworden wäre. Wenn man etwas mehr Zeit hätte - vielleicht nicht in der letzten Stunde - wäre es glaube ich besser gewesen, um das zu verstehen.
-
- 52 B2: Mir hat es sehr gefallen, dass der Kreislauf veranschaulicht wurde. Der wurde ja da erklärt. Dadurch war das einfacher einzusetzen, aber auch, um das so zu verstehen. Es wurde nämlich Schritt für Schritt erklärt, sodass man wusste, wo man anfangen soll. Es gibt ja manchmal so Sachen, wo man nicht weiß, wo man anfangen soll. Da wurde man direkt durchgeführt.
-
- 53 I: Mhm (zustimmend), okay. Der Film war in deutscher Sprache, oder? [[B2: Genau]]. Gab es irgendwo Schwierigkeiten in dieser Reihe für euch? (9s)
-
- 54 B2: Ich glaube zu Anfang fiel es mir schwer, die Zusammenhänge - nicht zwischen den drei Bildern [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] - sondern zum Oberthema zu finden. Ich wusste halt nicht, was "Zellatmung" war und konnte mit dem Begriff nichts anfangen. Deswegen konnte ich nicht sagen, was genau das Feuer und der Läufer damit zu tun haben. Ich wusste zwar, dass das die Ausgangsstoffe für die Photosynthese sind, aber nicht, dass das der Gegenpartner zur Photosynthese ist. Dann war das erst ein bisschen schwieriger, sich da rein zu finden. Das hat sich letzten Endes aber auch ergeben. Es war jetzt nicht so, dass ich gravierende Schwierigkeiten hatte.
-
- 55 B3: Ich fand es auch ein bisschen schwierig - man denkt halt bei den Begriffen erst so an biologische Sachen - das auf die Chemie zu übertragen. Das war dann auch ein Schritt, den man erst mal machen muss. Das war halt auch eigentlich ein bisschen schwieriger.
-
- 56 B1: Ich fand auch schwierig die Zusammenhänge herzustellen, aber es wurde auch durch die Gruppe, in der man gearbeitet hat, klarer. Jeder hatte sein eigenes Bild und konnte das erst mal fünf Minuten für sich alleine überlegen, was das bedeutet. Nachher konnte das dann alles zusammengetragen werden. Wenn man dann gesehen hat - da hatte z.B. einer noch einen Aspekt - den ich nicht hatte, da ist es klar geworden, wie diese beiden Bilder zusammenhängen. Durch die Gruppenarbeit wurde das deutlich klarer.
-
- 57 I: Mhm (zustimmend), okay. Wie wurden denn diese Schwierigkeiten beseitigt? Also zum Beispiel die Schwierigkeit des Verständnisses für die Zellatmung? Wie konnte das überwunden werden?
-
- 58 B2: Praktisch durch den Modellversuch. Wir hatten nämlich gesagt, dass es eine Hin- und Rückreaktion gibt. Die bilden ja ihre jeweiligen Partner und gehören mehr oder weniger zusammen für einen Kreislauf. Das hat mir dann geholfen. Ich habe das dann übertragen. Ich wusste ja, dass die Photosynthese ein Teil der Reaktion ist und das dann die Zellatmung das andere sein muss, damit das dann einen Kreislauf ergibt. Das hat mir geholfen, das auf der chemischen Ebene zu veranschaulichen.
-

- 59 B1: Man versucht auch die Begriffe im Kopf logisch zu verknüpfen und versucht, einen Rückblick auf die Bilder zu haben. Also was bedeutet zum Beispiel Sauerstoff in Bezug auf die Bilder - Der Läufer braucht das zum Atmen, das Feuer braucht das um angehen zu können. Dadurch wird das dann deutlich klarer, was man vorher vielleicht noch nicht wusste.
-
- 60 B3: Ich fand auch gut, dass wir das in Gruppenarbeit gemacht haben. So konnte man sich gegenseitig - wenn was nicht klar war - gut helfen, um darauf zu kommen, was das bedeutet oder wie was funktioniert.
-
- 61 I: Gab es weitere Schwierigkeiten? (7s)
-
- 62 B1: Ich glaube bei dieser Zuordnung - Wo wir die chemischen Begriffe - die "Photocatalyst" mit den ganzen Begriffserklärungen verbinden mussten. Da waren uns einige Begriffe, zum Beispiel PF+, nicht so bekannt und wir das mit der chemischen Erklärung nicht wussten. So konnten wir das nicht gut verbinden. Als wir das dann aber besprochen haben, wurde das deutlich klarer.
-
- 63 I: Mhm (zustimmend). Das waren dann Begriffe aus dem Lehrfilm, oder? [[B1: Ja]]. Ok. Jetzt haben wir gerade von Schwierigkeiten gesprochen. Gab es denn - im Gegensatz zu Schwierigkeiten - auch etwas, das besonders wertvoll war? Also man muss das jetzt nicht von Schwierigkeiten abgrenzen; auch diese Schwierigkeiten können wertvoll sein. Daher meine Frage nochmal anders: Gab es etwas, das besonders wertvoll war an dieser Reihe?
-
- 64 B2: Für mich war es einerseits erst das Ausprobieren. Als wir uns nachher ein gewisses Wissen angeeignet hatten - etwa ab der Mitte des Modellversuches - da konnte man sich eigenständig erschließen, was dann kommen musste, bei den anderen Fragen. Dann konnte man sich schon denken, was ungefähr passiert. Das war dann auch oft richtig.
-
- 65 B1: Für mich war vor allem wichtig der Bezug vom Modellexperiment mit den Vorgängen in der Natur, also der Photosynthese, wie das zusammenhängt. Und wie die Photosynthese mit der Zellatmung zusammenhängt. Was dort umgewandelt wird, wie das umgewandelt wird und wozu das umgewandelt wird, also dass man den Prozess in der Natur versteht.
-
- 66 I: Also diese Visualisierung auf dem Arbeitsblatt hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]?
-
- 67 B1: Ja, genau.
-
- 68 B3: In Biologie haben wir die Photosynthese in der sechsten Klasse durchgenommen, auch sehr ausführlich. Zellatmung haben wir nur mal kurz angesprochen. Das hat gut geholfen, nochmal darauf zurückzuschauen. Auch mit Experimenten das nochmal besser zu verstehen, weil wir haben das nur einmal angesprochen.
-
- 69 B2: Ja, ich glaube die Zellatmung wurde nicht so als Gegenpartner deutlich. Das hat man dann gar nicht so wahrgenommen, oder es wurde nicht deutlich erklärt. Sodass man wusste, dass das im Zusammenhang steht.
-
- 70 B1: Dass die Photosynthese durch Lichtenergie zustande kommt, das hatten wir schon in Biologie. Aber dass Bewegungsenergie oder Wärmeenergie das gar nicht beeinflussen können, oder nur sehr wenig, das wurde nicht erklärt. Das wussten wir aus dem vorherigen Unterricht gar nicht.
-
- 71 I: Was würdet ihr zu dem Vorschlag sagen, das Experiment - in deutscher Sprache - in der sechsten Klasse zu machen?
-
- 72 B3: Ich finde das eigentlich gut, dass so mit in das Thema - wenn man bei Zellatmung und Photosynthese ist - dass man dann einen Modellversuch macht, damit sich das die Kinder besser vorstellen können. Das man Beispielexperimente hat.
-
- 73 B2: Ich finde das für den Biologieunterricht ganz gut. Ich denke durch diesen Farbumschlag, ist das etwas faszinierendes, das Spaß macht. Was auch einen Anreiz schafft. Ob man das auf chemischer Basis schon

erklären kann in der sechsten Klasse, das ist dann doch komplex. Als Versuch das auszuprobieren, ist das glaube ich eine super Idee. Vor allem, wenn man den dann nochmal wiederholt, in der neunten oder zehnten Klasse, dann in Chemie. Da ist dann vielleicht nochwas in Erinnerung geblieben, oder man kommt schneller wieder rein.

-
- 74 B3: Man kann in der sechsten Klasse das Experiment einmal machen, vielleicht nicht auf chemischer Basis, nur biologisch. Vielleicht, ich weiß nicht, kann man den Sechsern das Thema anpassen. In der Zehnten kann man das Thema nochmal aufnehmen und vertiefen.
-
- 75 B2: Ich glaube, das gibt es ja auch in vielen Themen der Physik. Dass dann sowas wie "Elektrizität" in der Sechsten erst mal oberflächlich durchgenommen wird und nachher nochmal tiefgründiger besprochen wird.
-
- 76 I: Okay. Es hat gerade geschellt - Ich hätte noch ein paar Fragen. Wenn ihr jetzt allerdings gehen müsst, ist das für mich völlig in Ordnung.
-
- 77 B2: Von mir aus können wir noch weitermachen [[B1 und B3: Ja]].
-
- 78 I: Ok, dankeschön. Gab es noch etwas anderes, das wertvoll war? Bevor ich jetzt zum nächsten Punkt komme. (-). Okay, das war ja jetzt Chemieunterricht in englischer Sprache - also bilingualer Chemieunterricht. Wie war diese Art des Unterrichts denn für euch?
-
- 79 B2: Ich fand es war eine Umstellung, aber auch eine tolle Herausforderung. Mir hat es Spaß gemacht, auch einen Versuch auf Englisch zu formulieren. Vor allem, weil das Fach Englisch ist ja oft wie das Fach Deutsch auf analytischer Ebene, also sprachanalytisch. Das war Chemie hier nicht. Deswegen hat mir das auch so Spaß gemacht. Auch die englische Sprache noch einmal aus einem anderen Blickwinkel zu haben und auch diese speziellen Vokabeln. Das hat Spaß gemacht, auch wenn es vielleicht auf der einen oder anderen Sache schwieriger war, mit dem Formulieren, die Ergebnisse richtig mitzuteilen. Ich fand das war wirklich eine positive Erfahrung.
-
- 80 B1: Ich hatte etwas Angst, dass man, wenn man die Begriffe nicht weiß, man da sitzt und lange überlegen muss, was überhaupt ein Wort bedeutet. Wenn man jetzt zum Beispiel "chemische Reaktion" erklären muss. Dass man dann schon Vorwissen hatte, auch durch die Begriffe in der Concept-Map zu Beginn, hatte man einen Einblick was die bedeuten. Man kannte auch schon etwas über die Thematik aus dem Biologieunterricht, das man miteinbringen konnte. Es wurde auch verständlich erklärt und man hatte verständliche Begriffe. Es hat auch eigentlich jeder Partner verstanden, mit dem man geredet hat, weil alle ungefähr auf der gleichen Ebene waren mit der englischen Sprache und es verständlich war.
-
- 81 B3: Ich sehe das fast genauso. Ich fand es schwer, mit diesen chemischen Begriffen zu arbeiten, weil das eigentlich nicht in unserem Wortschatz ist. Dann damit zu arbeiten, war schwer. Daraus dann auch etwas zu erklären, fand ich ein bisschen kompliziert. Es hat aber auch eigentlich sehr viel Spaß gemacht ein Thema im Englischen durchzunehmen.
-
- 82 B2: Wobei ich sagen muss, dass viele Begriffe, wenn man sie aus dem Englischen hört, klar waren. Also man hätte sie nicht aktiv vom Deutschen ins Englische übersetzen können, aber wenn man sie auf Englisch hört, war es klar, weil es sich so ähnlich anhört. Ich glaube das war auch bei vielen Elementen, zum Beispiel Sauerstoff, Stickstoff oder Wasserstoff. Die haben ja auch dann das Elementsymbol, was ja dann auch auf Latein, beziehungsweise Englisch, halt ähnlich ist. Dadurch waren halt auch einige Sachen klar, zumindest fand ich das. Deswegen war es dann mit einigen Begriffen auch einfacher zu arbeiten.
-
- 83 B1: Ich hatte zum Beispiel noch gar keinen bilingualen Unterricht in Biologie oder Erdkunde. Es hat trotzdem sehr viel Spaß gemacht. Ich fand es hat auch - die Überwindung dann zu überbrücken, dass man wirklich auch im Unterricht was erklären konnte, oder an der Tafel bzw. Ihnen was zu erklären. Weil man nicht wusste, "Wie formuliere ich das?", "Gibt es ein anderes Wort, das genauer wäre?", "Kann ich das so sagen?", "Geht das?". Wenn man diese Überwindung geschafft hatte, war das schon ein gutes Gefühl.
-

- 84 I: Mhm (zustimmend), gut. Hätte man da vielleicht häufiger Sprachwechsel einbauen müssen als Lehrer? Heißt, hätte man häufiger ins Deutsche gehen müssen?
-
- 85 B1: Ich finde, das war schon so verständlich. Man hat verstanden, was erzählt wurde. Wir hatten ja auch viele dabei, die auch so mal was gesagt haben, die sich getraut haben. Ich fand nur, wenn das schwieriger gewesen wäre und sich nicht so viele gemeldet hätten - fast alle nur still rumsitzen würden - Dann hätte man ins Deutsche gehen müssen und das nochmal genauer erklären.
-
- 86 B2: Ich fand das eher gut so, eigentlich auch besser, als wenn wir ins Deutsche gewechselt wären. Es war vielleicht anfangs wie so ein Wurf ins kalte Wasser, aber es hat sich bezahlt gemacht. Ich fand das war nachher viel besser. Ich glaube es war auch beim ganzen Kurs so, dass man es besser verstanden hat und besser damit klar kam. Hätte man das peu a peu mit Deutsch gemacht, dann hätte es länger gedauert, überhaupt zu diesem Level mit dem Englisch zu kommen. Dass man damit so händeln kann.
-
- 87 I: Ok. Stellt auch mal den Fall vor, ihr könntet das Modul nochmal machen. Könntet das allerdings vorher verändern, nach euren Wünschen. Was würdet ihr verändern? (5s)
-
- 88 B3: Da wir ja nicht so viel Vorwissen mit Zellatmung und sowas hatte, fände ich es gut, wenn man da eine Stunde vorher, vielleicht auf Deutsch, schon mal was zu gemacht hätte. Das man das besser versteht während der Reihe. Das wird zwar in der Reihe dann klarer, aber dass man so ein Vorwissen hat.
-
- 89 B1: Genau, dass alle das gleiche Vorwissen haben und alle auf dem gleichen Wissensstand sind. Nicht, dass einer jetzt vielleicht ganz wenig hat, aber weiß, dass der andere sehr viel hat. Da kann man sich nicht so gut einbringen. Wenn alle den gleichen Wissensstand haben, kann man sich auch auf einem Level unterhalten.
-
- 90 B2: Ich hätte gesagt, dass man das Modul vielleicht insofern einbringt, dass man ein großes Überthema hat. Die Hälfte dann vielleicht auf Deutsch macht und dann irgendwann versucht einzusteigen und die andere Hälfte dann auf Englisch macht. Und dann macht man auf Englisch ein neues Thema weiter, weil man dann drin ist. Dann hat man ein Thema, wo man eine Basis hat, das ist dann einfacher. Vielleicht kann man dann auch öfter mal - vielleicht jede dritte Stunde - einen Vokabelüberbegriff an der Tafel machen. Dass man eine Ordnung macht und die Wichtigkeit der Vokabeln rausschreibt, welche ganz elementar für das Thema, oder generell für die Chemie, sind.
-
- 91 I: Ok. Wie bewertet ihr denn den Lernertrag aus diesen sechs Stunden, die wir hatten? Lernt ihr etwas? Ist das angemessen, oder ist das zu wenig?
-
- 92 B2: Ich werde da eher sehr viel von behalten, weil das etwas komplett anderes war. Ich denke, dass es mir dadurch in Erinnerung bleibt. Vor allem noch detailreicher als andere Sachen. Ich glaube, ich kann mich da auch länger dran erinnern. Vielleicht auch dadurch, dass es auf Englisch war. Dadurch ist das anders verknüpft. Auf jeden Fall glaube ich, dass mir das besser in Erinnerung bleiben wird, wie vielleicht ein anderes Thema.
-
- 93 B3: Man denkt halt dran, weil es halt mal was Besonderes war, eine Chemiestunde auf Englisch zu machen. Das bleibt besser (-), man erinnert sich besser daran, weil es halt etwas Besonderes ist.
-
- 94 B1: Ich werde das auf jeden Fall auch behalten, auch die Begriffe. Beim Test dachte ich eigentlich, ich müsste das können - Photosynthese, Pflanzen, Stoffumwandlung. Ich habe dann erst einmal gemerkt, wie wenig ich eigentlich darüber weiß. Das ist auch eben ein großes Thema, was man immer wieder braucht, das man immer wieder benutzen muss. Deswegen ist es gut, dass wir das schon gemacht haben. Ich werde da auch sehr viel von behalten.
-
- 95 I: Würdet ihr das Modul anderen empfehlen, die jetzt in der Klasse 10 sind, so wie ihr?
-
- 96 B2: Ich denke, das ist mal ein spannendes Thema. Vor allem kann man das wirklich in den Unterricht einbringen und wenn man sich damit auch genug beschäftigt, kann man da vielleicht auch eine Klausur drüber schreiben.
-

Ich denke, da ist einiges an Stoff da, was man in einer Klausur schreiben kann. Ich denke, da ist ein gutes Potenzial. Es ist ja auch nicht langweilig - Es war ja eine recht spannende Unterrichtsreihe.

-
- 97 B3: Nur dann fände ich es gut, wenn man vorher eine Biologiestunde opfert, dass man das Thema einmal vernünftig erklärt und sein Wissen noch einmal auffrischt.
-
- 98 B1: Ich würde es auch auf jeden Fall weiterempfehlen, weil es eine Abwechslung ist. Chemieexperimente macht man, man geht aber auch auf die Theorie ein und verknüpft das. Man kann seinen Horizont erweitern und das Wissen anwenden, weil man das später auch noch einmal braucht.
-
- 99 B2: Ich denke auch mit den Vokabeln - Also man muss sich das vorstellen wie ein riesiger Anbau noch dazu. Das war halt eine komplett andere Schiene, wo wir keine spezifische Vokabel konnten. Vielleicht sowas wie "oxygen" oder "nitrogen", sowas in der Richtung, aber die einzelnen Vorgänge und Begriffe, das kommt ja nicht vor. Das ist dann eine riesen Ergänzung dazu, ein großer Block.
-
- 100 I: Wie wäre es für jemanden in der neunten Klasse? Wenn ihr jetzt zurückdenkt, ihr hättet das Thema in der Klasse neun gehabt oder vielleicht sogar in der Klasse Acht. Wie würdet ihr das dann einschätzen, als bilinguales Modul?
-
- 101 B3: Also Acht wäre glaube ich zu früh. In der neunten Klasse bekommen ja die, die bilingual wählen, Biologie auf Englisch hinzu. Dann hat man ja auch die Biologiestunde auf Englisch. Das Thema könnte man auf Englisch anschließen, das würde sich gut anbieten. Nur achte Klasse wäre zu früh.
-
- 102 B2: Ich glaube Neunte ist gut, weil man da auch mit der organischen Chemie anfängt, mit den Kohlenstoffverbindungen und allem. Zucker gehört da ja zum Beispiel dazu. Dann kann man sich das besser vorstellen, wenn man schon mal ein paar Eigenschaften gesehen hat und dann wird das vielleicht auch schneller logischer und klarer, anstatt in der Achten. Ich glaube, dass die Neunte da besser ist.
-
- 103 B1: Ich kann mich da nur anschließen.
-
- 104 I: Gut, in Ordnung. Jetzt sind wir ganz am Ende und ihr habt die Chance, noch einmal was loszuwerden, bevor wir das Interview dann beenden. Was liegt noch auf euerm Herzen, wenn ich das so formulieren darf?
-
- 105 B2: Ich würde sagen, dass man sowas schon in den Chemieunterricht einbauen kann, also wirklich planmäßig, dass das da rein kommt. Ich glaube einfach, dass das mal - dadurch, dass das so anders ist - es bleibt besser in Erinnerung. Es ist auch "anderes" Lernen, wie ich finde. Dadurch, dass es auf sachlicher Ebene Lernen ist, aber auch mit der Sprache. Das ist eine Weiterentwicklung der Sprache. Es ist ja das Bilinguale. Ich finde, für so eine kurze Zeit kann das auch mal jemand, der nicht bilingual gewählt hat, machen. Ich glaube nicht, dass es so viele Schwierigkeiten bereiten wird. Wer Chemie versteht, wird das dann auch auf Englisch [[B3: Dann halt mal einmal eine Zusammenfasssstunde auf Deutsch, oder so, was man gelernt hat]] Ja, genau. [[B3:Das man das ganze Thema einmal reflektiert]] Genau.
-
- 106 B1: Das ist vielleicht auch eine Chance für die Schüler, die sich vielleicht nicht so häufig melden, im "anderen" Chemieunterricht, weil sie da mehr Vorwissen haben.
-
- 107 B2: Vielleicht auch Leute, die sprachlich eher begabt sind, können dann vielleicht auch leichter Sachen formulieren. Wenn sie dann das Thema auch noch verstehen, dann ist das auch nochmal was, wo sie dann einen Vorteil haben.
-
- 108 I: Du hast gerade gesagt, dass, wenn man das Thema macht, dass andere schon ein bisschen mehr Vorwissen haben. Welche Art von Vorwissen meinst du denn? [spricht B1 an]
-
- 109 B1: Ich meine das nur in Bezug auf das Thema "Photosynthese" [[I: Mhm (zustimmend), okay]] Wenn das jetzt anderer bilingualer Unterricht wäre, mit einem Thema, das man noch nicht hatte, dann ist das wahrscheinlich etwas schwieriger.
-
- 110 I: Ok. Gut, dann danke ich sehr herzlich für dieses Gespräch.

Leitfadeninterview 5 (LF5)

- 1 I: Ich habe ein paar Fragen und ihr antwortet das, was ihr dazu meint. Seid ruhig kritisch, aber auch "positiv" kritisch. Also das, was euch jeweils wichtig ist, sagt ihr. Das sind meistens Impulse. Ich lasse euch meistens erzählen und gucke dann ein bisschen - Ich muss mich zurückhalten und werde euch nicht leiten, oder in eine Richtung drängen. Deswegen wird das eher ein Impuls sein und ihr sprecht viel. So ist das gedacht. Okay, dann fangen wir an. Ihr seid ja jetzt in der EP, also Klasse zehn und habt schon ganz viele Lehrer und Unterricht gesehen - Ihr seid im Prinzip also Lehrer- und Unterrichtsexperten geworden. Erzählt doch mal, was für euch wichtig ist im Unterricht.

- 2 B1: Generell oder auf Chemie gesehen?

- 3 I: Erstmal ganz allgemein.

- 4 B2: Also ich finde generell wichtig, dass die Lehrer etwas auf die Schüler eingehen und dass die Lehrer die Schüler auch fordern. Also, dass man nicht alles nur platt an der Tafel anschreibt, sondern auch die Schüler mit richtig in den Unterricht bezieht.

- 5 B3: Die Lehrer sollten Spaß auf jeden Fall daran haben, weil als Schüler merkt man das, ob der, der gerade vor dir steht und versucht dir etwas zu erklären, das überhaupt richtig will. Das projiziert man auch ein bisschen. Wenn man Freude sieht, dann hat man meistens auch Freude daran.

- 6 B2: Ja, genau und dass die Lehrer auch darauf ab sind, uns weiterzubringen und uns zu fördern.

- 7 B1: Ja, irgendwie habt ihr alles gesagt.

- 8 B3: In naturwissenschaftlichen Fächern finde ich Experimente immer sehr gut. Also, wenn man nicht nur dasitzt und an die Tafel guckt, sondern auch was machen kann.

- 9 B1: Vor allen Dingen wird das dann auch mehr veranschaulicht. Dann kann man das auch besser nachvollziehen, was gerade besprochen wird.

- 10 B3: Und auch den Wechsel finde ich wichtig. Also, dass man Gruppenarbeit macht [[B2: Ja, das finde ich auch]], Experimente und das und das.

- 11 B2: Ja, dass man nicht immer so eintönigen Unterricht macht.

- 12 I: Mhm (zustimmend), okay, gut. Hier seht ihr eine Übersicht über die Dinge, die wir gemacht haben [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Es waren jetzt nicht alle immer da aus dieser Runde, aber fast immer. Ihr seht links unten, von euch ausgesehen, das war das, was wir zuerst gemacht haben. Dann geht das im Uhrzeigersinn einmal hier rum, über diese Experimente, hin zu dieser Tablet-Arbeit mit den Arbeitsblättern. Ich würde gerne Folgendes von euch hören: Erzählt doch mal, was wir gemacht haben und wie das so für euch war.

- 13 B2: Also jetzt hier anfangen [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]?

- 14 I: Da, wo ihr mögt.

- 15 B2: Hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] wurden uns die Bilder gegeben und dann sollten wir dazu aufschreiben, was wir sehen und was das mit dem Thema - also Photosynthese und Zellatmung - zu tun haben könnte. Und was die Bilder generell miteinander zu tun haben.

- 16 B1: Dann sollten wir, glaube ich, auch noch ein paar Sachen aufschreiben, was die miteinander zu tun haben und was eine Reihenfolge wäre von den Bildern und wie die zusammenhängen.

- 17 B2 und B3: Ja (zustimmend)

- 18 I: Mhm (zustimmend) - Und wie war das für euch, diese Phase in dieser ganzen Reihe?

- 19 B1: Am Anfang dachte ich erst "Ok, was hat mein Bild damit zu tun?". Ich war ein bisschen verwirrt (LACHEN). Als ich dann die anderen Bilder gesehen habe und ein bisschen darüber nachgedacht habe, hat das für mich schon alles Sinn ergeben.
-
- 20 I: Kannst du sagen, welches Bild deins war?
-
- 21 B1: Ich hatte das Bild [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Also, mir war klar, dass das was mit Photosynthese zu tun hat [[I: Mit dem Baum, ok]], aber so richtig nicht. Das wurde mir durch alles dann erst dann bewusst.
-
- 22 I: Mhm (zustimmend), ok.
-
- 23 B3: Also ich hatte die laufende Frau. Ich wusste da wirklich am wenigsten. Bei den anderen beiden konnte man sich das irgendwie denken, aber bei der Frau war das dann erst ein bisschen merkwürdig.
-
- 24 I: Okay. Möchtest du auch noch etwas zu dieser ersten Phase sagen (spricht B2 an)?
-
- 25 B2: Ja, ich hatte dieses Bild [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] [[I: Mit dem Feuer, okay.]]. Ja, ich fand das erst merkwürdig. Ich wusste nicht ganz, wie die Bilder miteinander zusammenhängen. Als wir uns dann zusammen darüber unterhalten haben und Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufgeschrieben haben, wurde das dann deutlich und hat auch Sinn ergeben.
-
- 26 I: Mhm (zustimmend), okay. Wie ging es dann weiter?
-
- 27 B1: Ich glaube, dann ging es weiter mit dem Experiment. (-) Wir haben halt diese Flüssigkeiten bekommen und eine Taschenlampe. Wir sollten dann gucken, was passiert, wenn man quasi die Flüssigkeit mit der Taschenlampe anstrahlt, mit den verschiedenen Farben.
-
- 28 B2: Ja, dann haben wir auch noch eine heizbare Platte bekommen und konnten auch nochmal herausfinden, was passiert, wenn man die Flüssigkeit in dem "Glasteilchen" erhitzt. Dann konnten wir halt anhand dieses kleinen "Schnipsels" [B1 und B3: LACHEN]] gucken, welche Art von Energie - oder ob's jetzt (-) hohe Energie ist oder niedrig. Das konnten wir dann auch noch prüfen.
-
- 29 B1: Ja, dann [[I: Mhm (zustimmend)]. Also du meinst diese farbige Übersicht der Lichtenergie, die mit der Farbe korreliert im Prinzip. Das war ja auch schon in schwarz-weiß auf dem anderen Blatt schon drauf. Nur einfach für das Mikrophon, damit das Mikrophon weiß, wo wir gerade sind. Ok, jetzt habe ich dich leider unterbrochen (spricht B1 an)]. Alles gut, ich wollte nur sagen, was daraus noch entstand. Wenn man das mit einem Licht mit hoher Energie angestrahlt hat, dann hat sich die Farbe verändert. Wenn man zum Beispiel UV-Licht benutzt hat, dann wurde die Farbe so - ich glaube das Endergebnis sollte blau sein - dunkelgrün, weil die Flüssigkeit ja gelb ist. Wir haben auch gemerkt, dass, wenn man das auf eine Herdplatte gestellt hat, dass es sich dann nicht verändert hat.
-
- 30 B3: Es ging halt ein bisschen schneller, aber auch nicht viel schneller.
-
- 31 B1: Wenn wir dann das Fläschchen geschüttelt haben - also nur, wenn da noch ein bisschen Luft drin war - dann hat sich das wieder zurückgefärbt. Wenn das alles bis obenhin voll war, dann hat es nicht zurückgefärbt.
-
- 32 B2: Als die Flüssigkeit noch gelb war, dann haben wir ja auch versucht zu schütteln. Da ist uns dann auch schon sofort aufgefallen, dass sich die Farbe nicht verändert.
-
- 33 I: Ok. Wie war das Experiment für euch? Auch diese Herangehensweise an das Experiment?
-
- 34 B3: Am Anfang war ich voll verwirrt, was das mit dem Thema zu tun hat. "Ja, das wird halt blau", dachte ich mir (LACHEN). Im Nachhinein, als wir das ein bisschen reflektiert haben, dann habe ich gut den Zusammenhang gesehen. Deswegen fand ich das sehr gut, um das zu veranschaulichen.
-

- 35 B2: Ja, für mich war es am Anfang auch etwas komisch, weil ich noch nicht so ganz wusste, wie das funktioniert. Also, wenn man mit der Lampe daran leuchtet, dass sich dann halt die Farbe verändert. Das Experiment, fand ich, hat mir richtig geholfen auch für die weiteren Schritte. Dass man das auch auf die Natur und so übertragen konnte.
-
- 36 B3: Ja (zustimmend).
-
- 37 B1: Ja, sehe ich eigentlich genauso.
-
- 38 I: Ok, wie war das Experimentieren für euch?
-
- 39 B3: Es war jetzt nichts, wo man - irgendwie mit einer Schutzbrille - auf viel achten musste. Es war eigentlich nur Anleuchten. Ich fand das aber trotzdem ganz spannend [[B1: interessant]]. Ja.
-
- 40 B2: Ja (zustimmend).
-
- 41 I: Könnt ihr sagen, was daran interessant für euch war an diesem Experiment?
-
- 42 B1: Wie sich jetzt die Flüssigkeit, einfach nur durch das Licht, verändert hat. Zum Beispiel, wenn man das geschüttelt hat, wie das dann wieder gelb wurde.
-
- 43 B2: Ja. Auch, wenn da kein Sauerstoff drin ist, dass das dann einfach nicht funktioniert, wenn man es wieder gelb kriegen möchte.
-
- 44 I: Warum war das denn interessant? Könnt ihr das erklären?
-
- 45 B3: Weil man strahlt einfach nur was an - Und es verändert sich. Das ist so [[B1: Einfach nur Licht, das ist]] [[B2: Das erwartet man nicht]] Ja. Man denkt, dass man da Chemikalien zusammenmischen muss und alles Mögliche [[B2: genau]]. Da strahlt man es einfach nur an und dann verändert sich die Farbe, das sieht man ja auch nicht sooft.
-
- 46 I: Möchtest du dazu noch etwas sagen? (spricht B1 an) [[B1: Nein, alles gut]]. Nicht, dass hier an dieser Stelle zu schnell weiterleite oder so etwas. Ok, interessant. Dann ging es - Vielleicht könnt ihr ja einen weiteren Aspekt herausgreifen - Ihr müsst nicht alles nehmen, aber ich freue mich natürlich, wenn ihr weiterhin sagt, das haben wir gemacht und das fanden wir so und so.
-
- 47 B2: Dieses Arbeitsblatt da vorne [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. Da war halt so ein Zyklus oder so ein Kreislauf. Wir haben mit Hilfe des Experimentes, was wir mit den kleinen Glasfläschchen und der Lösung gemacht haben, konnten wir durch unsere Beobachtungen diesen Kreislauf ausfüllen. Mit ein bisschen Nachdenken konnten wir das mit ein paar anderen Begriffen auf die Natur übertragen. Das fand ich gut, dass wir das mit dem Experiment auf die Natur übertragen konnten und dass wir das so gut und so schnell verstehen konnten.
-
- 48 B1: Das hat es sehr anschaulich gemacht.
-
- 49 B2: Dadurch konnte man auch viel besser verstehen, wie das eigentlich mit dem Licht funktioniert.
-
- 50 I: Ok. Was kam dann?
-
- 51 B3: Dann haben wir halt - wie soll ich das nennen - eine blaue Lösung und eine gelbe Lösung genommen [[I: Ich nenne einmal kurz wie das heißt - Eine "Konzentrationskette". Das lernt ihr nächstes Jahr. Entschuldigung, dass ich unterbreche, aber manchmal ist das dann leichter]]. Ja, dann wollten wir wissen, ob da jetzt in der Konzentrationskette mehr Energie ist, als in dem Vorherigen. Das haben wir mit einem - Ich weiß nicht genau wie das heißt - [[I: Nicht schlimm, einfach sagen]] Energiemesser [[I: Ja, genau]] wollten wir das herausfinden. Wir haben dann herausgefunden, dass in der blauen Lösung mehr Konzentrations (-) [[B2: Ja, dass die Energie darin höher ist]] Ja, genau.
-
- 52 I: Ok, genau.
-

- 53 B3: Das war eigentlich schon vorher ziemlich klar, weil man es mit Energie angestrahlt hat, um das noch einmal nachzuweisen.
-
- 54 I: Mhm (zustimmend). Hat das geklappt?
-
- 55 B3: Ja. Erst haben wir es zwar falsch gepolt (LACHEN), aber letztendlich hat es funktioniert.
-
- 56 I: Gut.
-
- 57 B2: Können wir auch noch etwas zu dem Blatt sagen [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]?
-
- 58 I: Ihr könnt zu allem etwas sagen (LACHEN).
-
- 59 B2: Da hatten wir einen Lückentext. Den fand ich auch nochmal richtig gut zur Wiederholung, weil da alles zusammengefasst war, was man wissen musste. Man musste dann das Wissen, was man gelernt hat, in den Text einbringen. Ich fand das gut, dass man am Ende eine komplette Übersicht hatte, was das bedeutet - Also, was dieser Farbumschlag jetzt bedeutet und wie das passiert, mit den Energien. Das fand ich richtig gut.
-
- 60 I: Mhm (zustimmend).
-
- 61 B3: Dann fand ich die Vokabelzettel immer sehr gut, weil mir meistens Begriffe oder Sätze gefehlt, da ich Chemie in Englisch noch nie gemacht hab. Daher fand ich die immer sehr gut, das hat sehr geholfen.
-
- 62 I: Wir hatten ja unterschiedliche - Einmal die "Deutsch-Englisch" und "Englisch-Deutsch" Vokabelhilfen. Und wir hatten noch "phrases" für Hypothesen und für Vergleiche sowie diesen Überblick mit Fotos von Geräten und Begriffen. Willst du deine Aussage dahingehend noch präzisieren (spricht B3 an), was du genau meinst?
-
- 63 B3: Ja, wenn wir zum Beispiel über das gesprochen haben, was passiert ist, dann haben die Zettel mit den Sätzen sehr gut geholfen. Meistens hat man das irgendwie in seinen eigenen Worten gesagt. Um das dann fachsprachlicher auszudrücken, haben die sehr gut geholfen. Natürlich die Vokabelkarten auch, weil ich nicht wusste, was ein "Glasfläschchen" auf Englisch heißt.
-
- 64 B1: Ich fand auch gut, dass hier zum Beispiel [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] draufsteht, wie man das ausspricht. Dass man das dann auch direkt mitlernt.
-
- 65 B2: Ich fand auch diese Sätze oder diese Anfänge von Sätzen auch richtig gut, sodass man auch die Ergebnisse gut präsentieren konnte. Auch, wenn man das noch nie wirklich auf Englisch gemacht hat.
-
- 66 I: Gut, schön. Hierzu habt ihr jetzt noch nichts gesagt [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] - Zu dem Tablet.
-
- 67 B2: Wir sollten uns ein Video auf dem Tablet angucken, auch über Photosynthese und Zellatmung. Es ging auch über den Kohlenstoffkreislauf und generell, wie diese Umwandlung stattfindet. Beim ersten Mal war das Video wirklich verwirrend, weil da so viele chemische Begriffe auf einmal waren, sodass man richtig überlegen und es sich behalten musste. Deswegen haben wir das Video zweimal angeguckt, sodass wir dann auch die Aufgaben auf dem Blatt relativ gut lösen konnten.
-
- 68 B3: Ich fand die Zeichnung hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] mit der Sonne und den Zahlen, die man dann beschriften sollte, sogar noch relativ einfach. Das wurde im Video sehr gut erklärt - Er meinte ja "da kommt das Licht hin" und so weiter. Die Begriffe dann zuzuordnen, fand ich dann schon schwieriger, weil ich manche Vokabeln auch nicht kannte. Wie B2 gesagt hat, wenn man sich das zwei- bis dreimal angeschaut hat, dann ging es.
-
- 69 B2: Ich fand das irgendwie andersherum. Ich fand die Zeichnung am Anfang viel komplizierter, weil da alles auf einmal kam und man sich wirklich anstrengen musste, das mitzukriegen. Danach haben wir erst diese Verbindungen gemacht, von den Begriffen und den Textabschnitten. Das fand ich dann einfacher.
-

- 70 I: Also habt ihr die Reihenfolge dann so festgelegt, wie ihr es wolltet?
-
- 71 B3: Ja, wir haben beides dann zwischendurch mal gemacht.
-
- 72 B2: Wir haben grob mit diesem angefangen [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] [[I: Mit dem Diagramm]], weil das im Video auch so gesagt wurde. Dann haben wir zwischendurch auch schon mal hier durchgelesen [verweist auf die Materialien auf dem Tisch], was dasteht und wenn wir Begriffe mitbekommen haben, die erklärt wurden, haben wir das dann schon verbunden. Grob haben wir halt erst auch das Diagramm gemacht und später verbunden.
-
- 73 B2: Vielleicht wäre es wirklich schlauer gewesen, wenn wir erst konstant verbunden hätten und dann das Diagramm gemacht hätten.
-
- 74 I: Naja, oder ich hätte das anders anordnen können. Das schien aber eine Schwierigkeit in dem Bereich zu sein.
-
- 75 B2: Ja, das war schon schwieriger zu verstehen.
-
- 76 I: Was hätte geholfen, um diese Schwierigkeiten zu überwinden?
-
- 77 B3: Also das Video an sich fand ich sehr gut, das war auch sehr gut erklärt. Die Zeichnung auch, aber ich fand die Begriffe hier [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] mit den Abkürzungen, zum Beispiel PF2+, verwirrend.
-
- 78 B2: Ich fand das Video auch gut. Nachdem man es ein paarmal geschaut hat, hat man es auch richtig gut verstanden. Alle Begriffe waren klar. Nur, wie B3 das schon gesagt hat, die Abkürzungen waren verwirrend. Da wussten wir dann manchmal nicht [[B3: Zuerst dachte ich: "Ok, plus ist Ausgangsform und dass zwei plus vielleicht aufgeregt ist, aber dann stand da noch plus Sternchen" Dann war ich raus]] Ja, genau.
-
- 79 B3: Ich weiß aber nicht genau, wie man das hätte anders machen sollen. Das sind glaube ich die offiziellen Abkürzungen - Die kann man ja nicht einfach ändern.
-
- 80 I: Ja, aber in einer "idealen Welt". Was hätte euch geholfen, um das zu verbessern?
-
- 81 B3: Auf jeden Fall andere Abkürzungen.
-
- 82 B2: Ja, genau, oder, dass man die Abkürzungen kurz erklärt, vielleicht darunter.
-
- 83 B3: Nachher wurde mir dann klar: "Ok, das ist [verweist auf die Materialien auf dem Tisch] die aufgeregte Form - sag ich mal - das gehört zu dem Kästchen und so weiter". Am Anfang fand ich das etwas verwirrend.
-
- 84 I: Nur, damit ich es richtig verstehe. Ihr meint, dass man bei, zum Beispiel "PF+" etwas anderes hinschreibt?
-
- 85 B3: Ja, genau. Ich dachte halt, dass "zwei plus" wäre die aufgeregte Form, aber das ist es ja nicht.
-
- 86 B2: Genau. Dann war da ja noch ein Sternchen, da wussten wir nicht, wie die Reihenfolge ist.
-
- 87 B3: Hat für mich auch wenig Sinn ergeben, dass das dann aufgeregte war und dann zurückreagiert hat und dass es dann PF2+ wird. Das fand ich verwirrend.
-
- 88 I: Mhm (zustimmend), ok. Wir hatten ja sechs Stunden Zeit. Ist die zeitliche Dimension vielleicht auch etwas, das man ändern könnte?
-
- 89 B2: Ich fand es vom zeitlichen Timing her eigentlich ganz gut. Man konnte gut mitkommen und sich trotzdem für die einzelnen Sachen Zeit gelassen, was ich auch wichtig finde bei den Experimenten. So
-

konnte man selbst noch einmal darüber nachdenken, wie das im Zusammenhang stehen kann. Ich fand das Zeitmanagement recht gut.

-
- 90 B3: Am Ende hatten wir ja nicht mehr so viel Zeit und wir konnten auch nicht alle Aufgaben wirklich beenden, zum Beispiel Aufgabe vier auf diesem Zettel [verweist auf die Materialien auf dem Tisch]. An sich finde ich das, was B2 gesagt hat, auch. Auch, dass wir die Experimente ganz in Ruhe durchgeführt und nachher auch darüber gesprochen haben.
-
- 91 I: Verstehe ich das so richtig, dass man am Ende ein bisschen mehr Zeit braucht, um diese Aufgabe mit dem Tablet zu machen und die Aufgaben zu durchdringen?
-
- 92 B2 und B3: Ja (zustimmend).
-
- 93 B2: Das mit dem Tablet, da war die Zeit wirklich knapp [[B3: Ja, wir sind ja auch nicht fertig geworden]]. Genau. Da vielleicht noch etwas mehr Zeit, sodass man sich das auch noch einmal in Ruhe zu Gemüte führen kann.
-
- 94 I: Okay. Gab es, abgesehen davon, andere Schwierigkeiten, die ihr benennen möchtet?
-
- 95 B2: Also ich hatte keine Schwierigkeiten mehr.
-
- 96 B3: Der Lückentext war jetzt nicht schwierig, aber am Anfang musste man sich diesen mehrmals durchlesen. Wirklich schwierig war er auch nicht.
-
- 97 B2: Am Anfang war ich etwas verwirrt, dass da eine Klammer gefehlt hat [[B3: Ja, mich auch]]. Da dachte ich dann, dass mein Englisch komplett den Bach runtergeht (LACHEN). Dann hat es dann doch Sinn gemacht.
-
- 98 I: Genau, das habe ich dann noch angefügt. Gut, dass du es sagst. (-) Sonst noch etwas? Du hast jetzt an Schwierigkeiten noch nichts gesagt. Möchtest du noch etwas anfügen (spricht B1 an)?
-
- 99 B1: Nein, ich habe das Meiste - das, was wohl schwierig war - nicht mitbekommen. Der Rest war eigentlich in Ordnung, also war nicht schwer.
-
- 100 I: Gut. Jetzt haben wir über Schwierigkeiten gesprochen. Gab es denn etwas, das besonders wertvoll in dieser kleinen Reihe war?
-
- 101 B3: Ich fand auf jeden Fall, das "Was ich gelernt habe", was wir immer bekommen haben, sehr gut. Dann konnte ich das zuhause nochmal reflektieren und meine Gedanken ordnen. Ich fand das sehr gut und es hat mir auch geholfen.
-
- 102 B2: Das hat mir auch gut geholfen. Ich fand es auch gut, dass wir das in einer relativ kleinen Zeitspanne - Also, dass die Stunden relativ nah aneinander lagen, weil man dann alles noch aus der letzten Stunde wiederholt hat, indem man etwas weitergegangen ist. Mit diesem Blatt hat man dann die Stunde abgeschlossen.
-
- 103 B3: Wie schon gesagt, die Experimente haben mir sehr geholfen.
-
- 104 B2: Ja, mir auch. Dass man das so übertragen konnte, fand ich richtig gut.
-
- 105 B1: Ich fand halt auch bei dem Zettel gut, dass man verstanden hat, was man überhaupt gelernt hat. Man sitzt halt im Unterricht und denkt sich "Ja, ok, wir haben das jetzt gemacht", aber dann in Ruhe merkt man, was das jetzt auch wirklich bedeutet mit den Experimenten und so weiter.
-
- 106 I: Was war an diesem Experiment wertvoll? Was an den Zetteln wertvoll war habt ihr, finde ich, schon klar beleuchtet. Das mit dem Experiment würde ich ganz gerne noch einmal nachfragen, was daran wertvoll war.
-

- 107 B1: Also man hat mit dem Experiment diesen Kreislauf, den wir dann besprochen haben, besser verstanden. Man hat verstanden, was da in dem Thema erst einmal vor sich geht und wie das funktioniert. Das Experiment hat das Ganze mehr veranschaulicht - Wenn man das nur theoretisch bespricht, weiß man das, aber mit dem Praktischen hat man das richtig verstanden und gemerkt, was da so passiert.
-
- 108 I: Mhm (zustimmend).
-
- 109 B2: Das würde ich auch so sagen.
-
- 110 B3: Ja (zustimmend).
-
- 111 I: Ok, gut. Das war ja jetzt Chemieunterricht in englischer Sprache, also bilingualer Chemieunterricht. Wie war das denn so für euch?
-
- 112 B3: Ich fand es am Anfang schwer, um ehrlich zu sein [[B2: Ja]]. Ich muss zugeben, dass ich in Chemie sowieso nicht so ein Ass bin und dann auch noch auf Englisch. Am Anfang fand ich es schwierig, aber man konnte die Sachen auch relativ gut umschreiben, bevor man die Begriffe wirklich kannte. Die Vokabelkarten, also alle, haben mir dann wirklich sehr geholfen. Im Nachhinein fand ich es auch gut, weil ich jetzt mehr Vokabeln kenne.
-
- 113 B2: Bei mir war das genauso. Am Anfang war ich sehr skeptisch, ob ich das alles so kann mit dem Englischen. Ich fand es auch am Anfang etwas verwirrend, die ganzen Sachen auf Englisch zu sagen, aber die Vokabellisten und Sätze haben uns dann richtig gut geholfen. Somit hat sich das dann immer mehr "eingeschweißt" sage ich mal, dass wir gut darüber reden konnten und das passende Vokabular hatten. Mir hat es geholfen kann ich nur sagen.
-
- 114 B1: Ich fand die ganze Reihe an sich eigentlich ziemlich gut. Ich hatte früher auch Bilingual, deswegen war ich das gewöhnt von Bio und wusste ein paar Sachen. An sich fand ich das auch mal ganz interessant.
-
- 115 I: Ok. Du hast ja am Anfang gesagt, dass es mit dem Englischen schwierig gewesen sei. Was war denn für dich schwierig? Kannst du das an einem Beispiel festmachen oder konkretisieren (spricht B3 an)?
-
- 116 B3: Zum Beispiel, wenn ich erklären wollte "das Glasfläschchen" oder "die Lösung im Glasfläschchen". Da wusste ich nicht was "Glasfläschchen" oder "Lösung" heißt und habe einfach "Flüssigkeit in der kleinen Flasche" gesagt. Das war erst schwieriger, aber mit den Vokabelkarten hat das dann gut gepasst. Ich glaube, das kommt auch davon, dass man Englisch zwar lernt, aber man spricht es nicht so durchgehend. Ich glaube das war am Anfang mehr schwierig für uns, sich wieder ins Englische richtig einzufinden. [[B1: Da war es ganz gut, dass die Amerikaner in dieser Zeit hier waren (LACHEN)]] Ja.
-
- 117 I: Ok. Ihr habt das Modul jetzt einmal durchlaufen. Wenn man sich den Fall einmal vorstellt, dass ihr das jetzt noch einmal machen könntet: Was würdet ihr daran ändern?
-
- 118 B3: Ich glaube gar nichts.
-
- 119 B2: Ich würde jetzt auch nicht viel daran ändern. Ich fand es eigentlich ganz gut. Man konnte das gut verstehen. Vielleicht am Ende etwas mehr Zeit, aber sonst würde ich nicht so viel daran ändern.
-
- 120 B1: Ja, sehe ich genauso.
-
- 121 I: Ok. Wenn ihr jetzt überlegt, dass wir uns sechs Stunden damit befasst haben im Bereich Chemie. Wie bewertet ihr denn den Lernertrag dieser kurzen Reihe? "Lernertrag" ist klar, was das ist? [[B2: Ja (zustimmend)]] Ok, also wie würdet ihr den Lernertrag bewerten? (6s)
-
- 122 B3: Also ich finde, dass ich in diesen sechs Stunden sehr viel über Photosynthese gelernt habe. Sogar manchmal mehr, als ich in sechs Stunden "normalem" Unterricht lernen würde - Kommt natürlich auf das Thema an, klar. Durch diese Kombination aus allem, also erst mal in das Thema "reingeworfen" zu werden und dann die Experimente, habe ich viel gelernt. Also ich sage jetzt nicht, dass ich 100% alles über Photosynthese weiß, aber auf jeden Fall viel, viel mehr als vorher.
-

- 123 B2: Ich fand auch, dass wir in den sechs Stunden sehr viel gelernt haben, wenn man das Revue passieren lässt. Wir wurden ja, wie B3 schon gesagt hat, einfach damit konfrontiert. Die meisten wussten, glaube ich, fast gar nichts über Photosynthese. Jetzt am Ende kann man halt sagen, dass man nach diesen sechs Stunden viel, viel mehr weiß. Nicht alles, aber man konnte es sich gut selbst erarbeiten mit Hilfe der Experimente. Ich fand das schon echt viel und gut, was wir da geschafft haben.
-
- 124 B1: Ich glaube auch diese Kombination aus dem Theoretischen und dem Praktischen hat auch am Meisten geholfen, dass man halt so viel gelernt hat.
-
- 125 I: Mhm (zustimmend), okay. Würdet ihr das Modul anderen empfehlen, die jetzt auch in der Klasse zehn, also in der EP sind? Zum Beispiel dem nächsten Jahrgang, der jetzt in die Klasse zehn kommt?
-
- 126 B2: Ich würde sagen schon. Es ist mal etwas anderes und man muss sich erst daran gewöhnen. Im Endeffekt, wenn man das alles so gemacht hat und durch mit diesem Modul ist, findet man das überhaupt nicht mehr schlimm. Mir hat es auch Spaß gemacht, auch wenn es anfangs etwas komisch mit dem Englischen war. Man hat sich da aber gut eingearbeitet und es ist auf jeden Fall einen Versuch wert.
-
- 127 B3: Vielleicht wenn man es sogar nur auf Deutsch macht - Vielleicht würde da sogar noch mehr rauskommen. An sich, wie das aufgebaut war, mit den Experimenten und allem, das kann man weitermachen [[B1: Ja, würde ich auch sagen]] Englisch oder Deutsch ist sogar relativ egal, weil mit den Vokabelkarten [[B2: Ja, ich glaube auch. Es wurde klar mit den Vokabelkarten, die haben dann geholfen]] Ja, genau.
-
- 128 I: Mhm (zustimmend), okay. Man könnte sich das ja auch so vorstellen, dass man das in der achten oder neunten Klasse als Bili-Modul durchführt. Wie würdet ihr das bewerten?
-
- 129 B2: Also jetzt die ganze Zeit oder nur in Abschnitten?
-
- 130 I: Nur dieses Modul. Nur das, was ihr auch kennengelernt habt.
-
- 131 B3: Ich glaube, das wäre nicht so schlimm. Man ist im Bilingualen sowieso die ganze Zeit in irgendwelchen anderen Themen mit Fachbegriffen drin. Deswegen wäre das nicht so schlimm, sondern eher gut, wenn man es einfügen würde.
-
- 132 B2: Ich finde das auch. Man muss jetzt nicht alles dafür wissen und der Stoff war jetzt auch nicht übertrieben schwer. Deswegen, würde ich sagen, ist es eine gute Idee, das auch den achten oder neunten Klassen anzubieten. Ich glaube, dass die das auch gut machen könnten. Als Hilfe hat man ja immer noch - Man kann ja auch etwas auf Deutsch fragen und hat diese Vokabelkarten und die Skizzen.
-
- 133 B1: Das einzige, was ich vielleicht generell verändern würde, ist, dass man diese Vokabelkarten noch eine Stunde vorher bekommt. Dass man sich Vokabeln schon einmal aneignen kann und von vorne herein richtig beobachten und notieren kann, was man gesehen kann. Das wäre das Einzige eigentlich.
-
- 134 I: Ja, schön. Ok. Dann sind wir jetzt am Ende angelangt. Ihr habt jetzt die Chance, nochmal selbst etwas loszuwerden, was vielleicht noch nicht angesprochen worden ist.
-
- 135 B2: Also ich habe glaube ich nichts mehr.
-
- 136 B3: Ich auch nicht.
-
- 137 B2: Ich kann nur sagen, dass mir das Spaß gemacht hat. Mir hat das gefallen und ich bin jetzt deutlich schlauer im Hinblick auf die Photosynthese (LACHEN).
-
- 138 B3: Ich fand es auch gut, die ganze Mischung aus allem.
-
- 139 B1: Man hat auch jetzt einen größeren Wortschatz. Ich glaube nicht, dass man die jetzt im Alltag benutzen wird, aber wer weiß, vielleicht braucht man die ja.
-
- 140 I: Ok, dann vielen Dank.

18.7 Anhang A10.5: Modalnetze und Concept Maps

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 Modalnetze2018_anhang.xlsx

Kommentar

In den Tabellenblättern „VT_unterrichtsseq“ und „NT_unterrichtsseq“ finden sich die Auswertungen der Concept Maps der Untersuchungsgruppe UNT 2018, in den Tabellenblättern „vt_europatag“ und „nt_europatag“ sind diejenigen der Gruppe EUR 2018.

18.8 Anhang A10.9: Start-Stop-Continue

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese MAXQDA 2020-Datei im elektronischen Anhang:

 ausw_sus-feedback_fragebogen.mx20

Kommentar

Eine Rückmeldung der Teilnehmenden aus den Untersuchungsgruppen 2018, UNT und EUR, wurde auf Basis eines offenen Start-Stop-Continue-Feedbacks erbeten. Die Rückmeldungen liegen hier in den Ordnern „2018 – Unterricht“ und „2018 – Eur“ vor.

Die Gruppen aus 2019, Hie und F-A, sowie die Gruppe Ona aus dem Jahr 2020 erhielten einen Fragebogen, mithilfe dessen die Rückmeldung erhoben wurde. Er ist abgedruckt in Anhang A11.2.

18.9 Anhang A11.1: Modulentwurf aus der Erprobung im Sommer 2019

Modulplanung 2019: Tabelle

	Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
Lernschleife 1	Erkunden	Einstieg, Vorwissen aktivieren	3 Bilder, ws 1, DIN A3-Blätter	1. EA, 2. GA, 3. Plenum
	Erforschen	Experimentelles Entdecken der Abläufe PBB-Modellexperiment wird von Schülern durchgeführt Erarbeitung zentraler Aussagen aus dem Experiment Prüfen weiterer Hypothesen, um Hin- und Rückreaktion zu thematisieren (chemische Gründe klären); Schülerexperimente	Experimentiermaterial, ws 2	PA/GA Plenum Schülerexperiment
	Anpassen	Abläufe innerhalb des Experiments klären	ws3	EA/PA
	Anwenden	Zusammenhänge Experiment-Natur aufzudecken Kreislauf im Zentrum; Vergleich Experiment-Natur	ws3 ws3	EA/PA, Plenum
Lernschleife 2	Erkunden	Problemaufwurf: Ist in der blauen Lösung Energie gespeichert?	Bildimpuls	Plenum
	Erforschen	Lichtgetriebene Konzentrationszelle	ws4, Experimentiermaterial	Schülerexperiment
	Anpassen	Experimentelle Ergebnisse auswerten	ws4	PA/Plenum
	Anwenden	Transfer auf andere Situationen der Energiekonversion (Verbrennungsmotor, Eisenbahn/Dampfmaschine)		Plenum
Lernschleife 3	Erkunden	Problemaufwurf: Welche Prozesse laufen ab, dass Lichtenergie als chemische Energie gespeichert werden kann?		Plenum
	Erforschen	Video-Exzerpt	Video, Smartphones/PCs	PA
	Anpassen	Photokatalyse in miteinander in Beziehung stehenden Kreisläufen erschließen; Untersuchung von Redox-Prozessen anhand der zentralen Reaktionsgleichung Wiederholung zentraler Aspekte	ws 5 ws 6	PA EA/PA
	Anwenden	Transfer auf Naturbeispiel Meeresschnecke <i>E. chlorotica</i>	ws 7	EA/PA

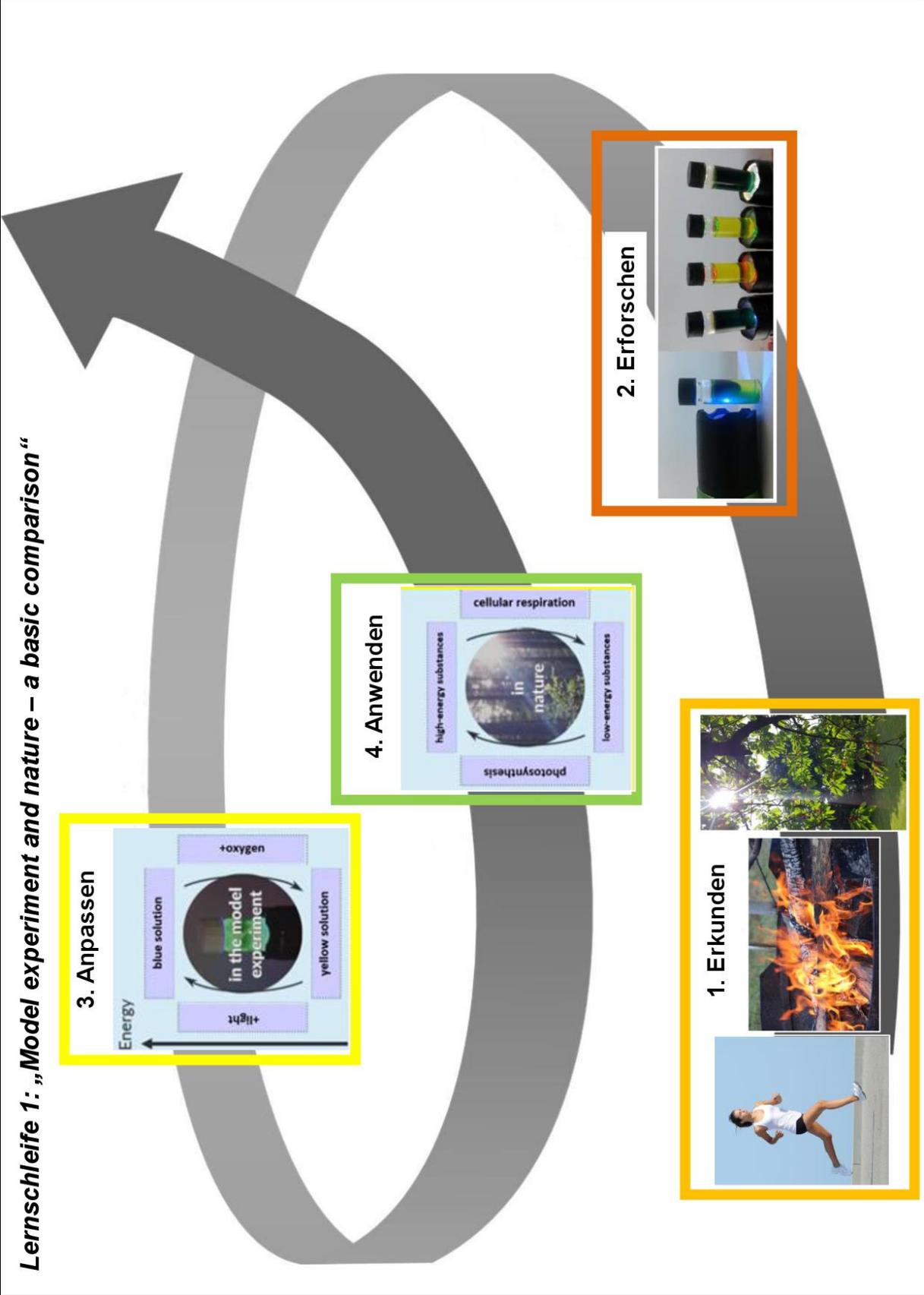
Materialien 2019 wie in 2018:

- Bildimpuls zum Erkunden in Lernschleife 1
- Scaffolding-Material (word banks)
- Epistemisches Schreiben (deutsch; im Sommer 2019 auch auf Englisch)

Hinweis zu den Bildquellen im Material:

- Lernschleife 1: Erkunden: siehe Modul 1; Erforschen, Anpassen, Anwenden: von Y. Gökkuş und M. W. Tausch zur Verfügung gestellt;
- Lernschleife 2: Erkunden: Screenshot aus dem Lehrfilm Ein Fall für zwei von M. W. Tausch, N. Meuter und M. Heffen; Bild Zuckerwürfel von Pixabay; Erforschen: zur Verfügung gestellt von N. Meuter und M. W. Tausch; Anwenden: Pixabay
- Lernschleife 3: Erkunden: Pixabay; Erforschen. Aus Lehrfilm Ein Fall für zwei von M. W. Tausch, N. Meuter und M. Heffen; Anwenden: von P. J. Krug, Los Angeles, USA, zur Verfügung gestellt (vgl. Elysia Chlorotica-Fotos allgemein in Modul 2018)

Lernschleife 1: „Model experiment and nature – a basic comparison“



Photosynthesis and respiration - introduction

| ws 1a

Assignment individual work:

Prepare a short description of your photo (write down only key words and notes). Speculate on the connection between your photo and our topic, too.

individual work – it means that you are expected to work on your own (to) speculate on sth. - to form an opinion about something without knowing all the details or facts

Photosynthesis and respiration - introduction

| ws 1b

Assignment group work:

Prepare a group statement as to how your photos

- a) ... are related to each other
- b) ... are related to our topic.

(to) be **related to** sth. - connected with something/somebody in some way

In order to do so, present your photos to the other group members. Take notes on the other members' presentations. Finally, discuss your findings. Write your group statement on a DIN A3-sheet of paper and support it with explanations in key words.

(to) **support sth.** – to back sth. up with further information like reasons or explanations

Name: _____ Date: _____ | ws 2

Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle model experiment

In order to explore the processes within photosynthesis and cellular respiration, the Photo-Blue-Bottle experiment will help us find out

- which processes there are
- under which conditions they take place
- and which benefits arise from them for animals and human beings

E1 Experiment: Using the provided material (hot plate, torch with different light colours, UV torch, glass beads), explore how to drive a chemical reaction in the vial. This becomes evident when a blue substance generated in the reaction is visible within the yellow solution. Jot down your findings in the chart below.



source of energy	energy form	temperature, light colour, etc.	observation
<i>hot plate</i>			

1. Discuss which insights the PBB experiment offers. Refer to your observations. Then create a statement on the experiment's benefits.
2. Which aspects are still unclear? Which questions still have to be resolved?

Material Modul Sommer 2019: ws 2 (Fortsetzung)

Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle experiment

E2 Is the statement true or false? (pair work)

Prove or disprove the following hypotheses by conducting an experiment – or by suggesting what we should do to prove or disprove it. (And again, if you want to speak like a scientist, use the given phrases.) Document your experiments and your findings briefly in your folder (key words and sketches suffice).

Prepare a short overview of your findings that you can report to the class.

hypothesis - an idea or explanation of something that is based on a few known facts but that has not yet been proved to be true or correct

to prove sth. – to show that sth. is true <> **to disprove sth**

a sketch – a simple picture that is drawn quickly and that does not have many details
suffice – to be enough for sb./sth.

Seven hypotheses

Hypothesis 1

In order to take place, the reaction YELLOW → BLUE needs energy supply.

energy supply – here: it needs energy

Hypothesis 2

The reaction YELLOW → BLUE works with any given light from the visible spectrum.

Hypothesis 3

The reaction BLUE → YELLOW only needs kinetic energy.

kinetic energy /ki'netik/ – energy produced by movement

Hypothesis 4

The reaction cycle YELLOW → BLUE → YELLOW runs only two times.

Hypothesis 5

The reaction BLUE → YELLOW needs oxygen.

Hypothesis 6

The reaction YELLOW → BLUE only takes place if the temperature is above 5°C.

Hypothesis 7

The PBB-reaction cycles correspond to the natural reaction cycles of photosynthesis and cellular respiration.

(to) correspond to sth. – to match something, to be the same as something

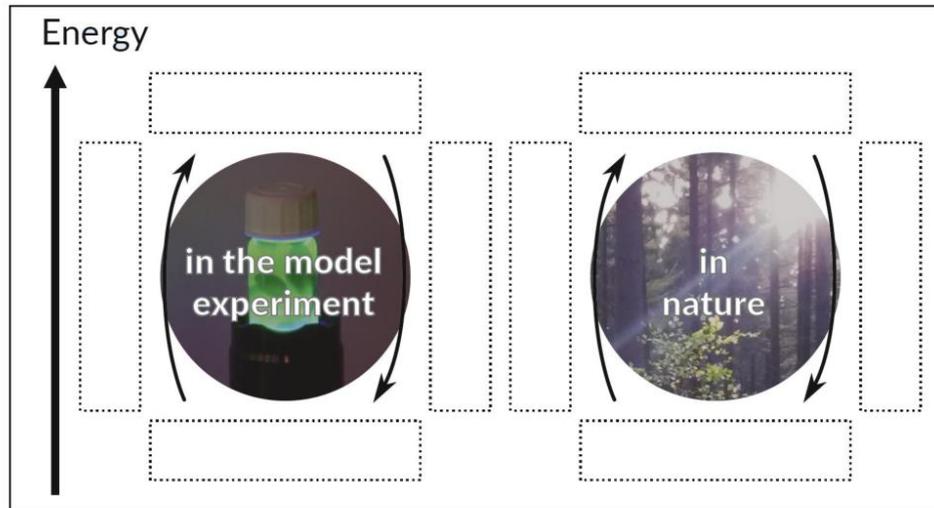
Name: _____ Date: _____ | ws 3

Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle experiment

A1a What happens in the model experiment?

First, **fill in** the boxes **for the model experiment** with these words: *yellow solution, blue solution, + oxygen, + light*.

Second, check your work with a partner and **describe in full sentences** what happens in the model experiment.



A1b What happens in nature?

First, together with a partner, **fill in** the boxes **for the model experiment** with these words: *cellular respiration, high-energy substances (chemical compounds rich in energy, low-energy substances (chemical compounds low in energy), photosynthesis*.

Second, **describe** the processes in nature using full sentences.

A2 Match the terms *oxidation* and *reduction* to the arrows and give reasons for your choice.



A3 If you know the substances that are needed and produced **in nature**, add their names and formulas.



A4 Explain why the natural processes can be called 'carbon cycle'.

Material Modul Sommer 2019: ws 3 (Fortsetzung)

A5 Defining features of model experiment and natural processes

Choose either assignment A5a or A5b:

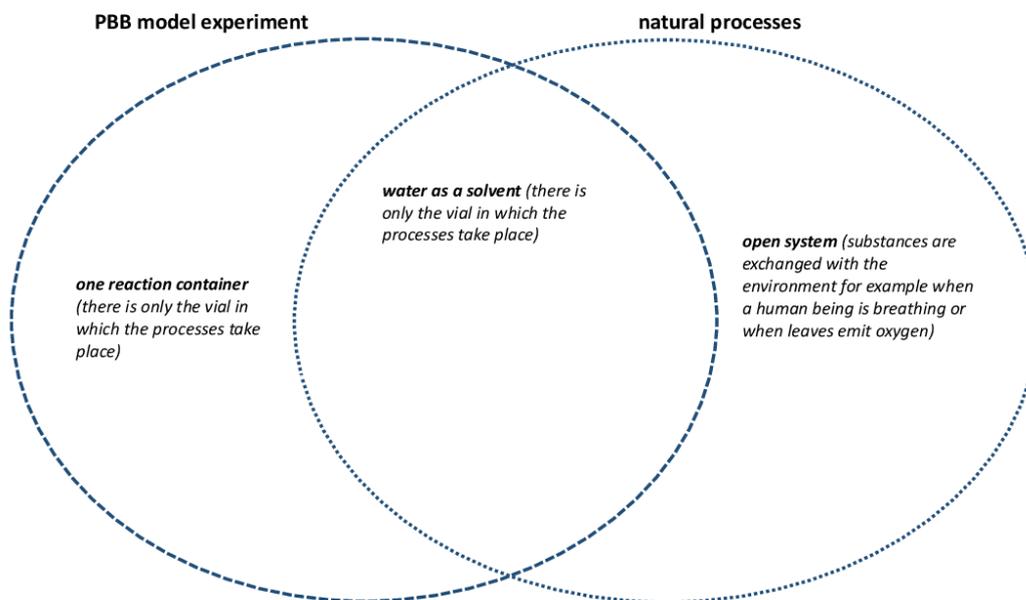


A5a Together with a partner, **fill** the aspects **in** a diagram like the one below and **give reasons** for your choice. If they are realized in both processes, add them in the overlapping part. If they only belong to one process, put them in one of the other parts. (In case you cannot fill in an aspect, feel free to put it aside, please.)

more than one reaction container; coloured compounds, gases, water as a solvent, matter cycle, oxygen uptake (oxidation), oxygen release (reduction), energy storage, light, energy transformation, matter transformation, closed system, photocatalysis, redox reaction.

solvent – a substance, especially a liquid, that can dissolve another substance, i.e. the substance is taken up by the liquid and becomes a part of it

Then evaluate the benefits and shortcomings of the model experiment.



A5b Together with a partner, collect similarities and differences between model experiment and natural processes. Use the aspects from **A5a** in your comparison.

Finished? Assignments for the quick ones



A6 Collect all forms of energy you have already come across in your science classes. Add an example of a process or of an application in which this form of energy is being used.

application – the practical use of something, especially a theory, discovery, etc.

Lernschleife 2: „Energy storage in the blue compound“

3. Anpassen

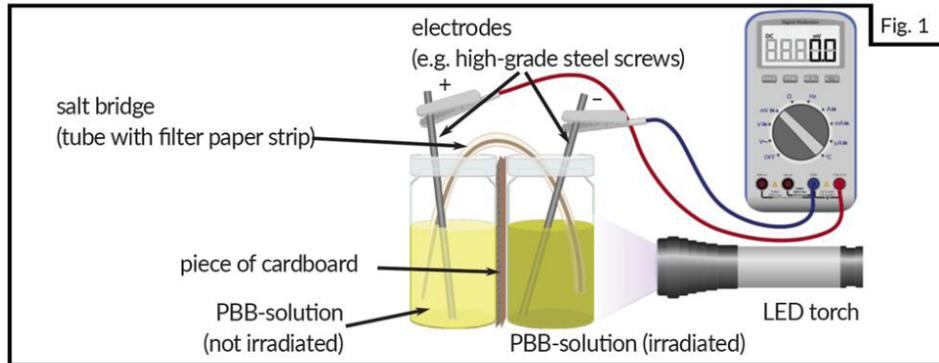
4. Anwenden

1. Erkunden

2. Erforschen

Name: _____ Date: _____ | ws 4

Does the blue compound contain usable energy?
Energy conversion and energy storage in the photo-blue-bottle experiment



E1 Conduct an experiment above

- Following fig. 1, set up the experiment.
- Now write down the voltage before irradiation in the table below.
- Then switch on the blue light of the torch. Irradiate only one vial! Observe the voltage and colour for three minutes and write down your observations in the table in steps of 30 seconds.
- Switch off the light and observe for another three minutes.

(to) irradiate – (to) treat sth. with light



E2 Now move the two vials gently to and fro on the table until the blue solution has turned yellow again. Note down your observations. Find an explanation.

gently – carefully
 to and fro – backwards and forwards

time / min	colour of solution in irradiated vial	voltage / mV
0	yellow	
0:30		
1:00		
1:30		
2:00		
2:30		
3:00		
(after shaking)	yellow	



E3 Find an answer in explanation of the guiding question in the title. Say how the experiment has helped you find a solution.

Name: _____ Date: _____ | ws 5

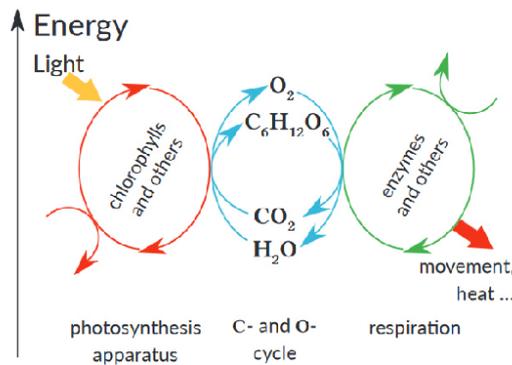
Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle experiment

In the model experiment, there are three compounds in the PBB solution: There is **ethyl viologene**, which changes its colour from pale yellow to blue. Furthermore, there is the photocatalyst **proflavine**, which is yellow. Finally, there is the colourless compound **EDTA**, which helps regenerate proflavine.



- A1 a)** Watch the clip extract (“Ein Fall für Zwei, Teil 1”, 2:03-3:33) and say what it deals with.
b) Watch the extract again. Describe the role the **photocatalyst proflavine** plays in the model experiment.

A2 Describe the diagram together with a partner. Then analyse and explain the processes. Pay special attention to the chlorophylls.



WORD BANK A2

Description:

on the left there is ... / in the middle there is ... / on the right there is ...
 (yellow) arrow
 (to) form a cycle / (to) touch each other / (to) be connected to one another

Explanation/analysis

light-driven part
 serves as photocatalyst

low-energy substances
 high-energy substances are fuels for ...

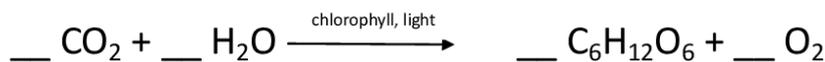
energy is transformed
 substances/matter are/is transformed

the energy-providing part / the part that provides energy

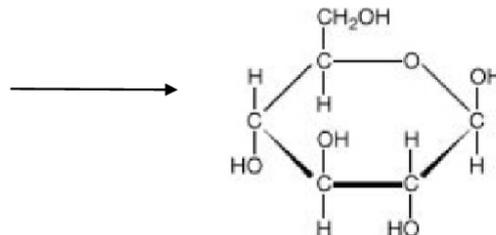
this part is located in plants

this part is located in animals or human beings

A3 Balance the chemical reaction by adding the coefficients ([,kæu'ɪfjənts], i.e. the factors in front of the formulae).



- A4 a)** Draw the structural formulae of all compounds (glucose is already given). **b)** Examine the oxidation number of all chemically bound atoms in the structural formulae. **c)** Identify which atoms are reduced (oxidation number is decreased) and which are oxidized (the oxidation number is increased).



A5 Comment on this statement: “Just as a house is built with bricks, a glucose molecule is built with water molecules and carbon dioxide molecules. Thus, you can say that carbon dioxide is stored in glucose.”

Name: _____ Date: _____ | ws 6

Text production:

Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle experiment

Choose either of the assignments

B1a Compositon

Write a text about the processes in the experiment and in nature using these words. You must, however, add further words to complete your text appropriately.

photosynthesis – to consist of – energy conversion (the act of changing one energy form from one form to another)– matter conversion (the act of changing a substance from one form to another) – to transform sth. into sth – compound(s) - respiration

simulated by PBB experiment – (to) irradiate sth. with sth. (to shine sth. on sth.) – model substance - forward reaction – back reaction

carbon cycle – carbon atom – to be chemically bound – glucose (C₆H₁₂O₆) – carbon dioxide (CO₂) – forward

B1b Gap-filling activity

Fill in the gaps with an appropriate term:

atoms; back reaction; carbon cycle; chemical reaction; energy; energy conversion; high-energy (2x); light energy; low-energy; PBB model experiment ; release (stop holding sth.); repetitive; respiration; sugar; yellow.

Photosynthesis is a process which comprises both _____ and _____ matter conversion (a _____). While _____ is being transformed into chemical energy, _____ substances (carbon dioxide and water) are transformed into the high-energy substance _____ (a concrete example would be glucose). Furthermore, oxygen is released.

(to) **comprise sth.** – (to) consist of
matter – a substance of a particular sort
conversion – the act of changing sth. from one form to another

In the _____ the yellow low energy solution is transformed into the blue _____ solution by means of light energy. This process simulates photosynthesis. By shaking the blue solution, the _____ is set off due to the contact between oxygen and the blue solution (oxidation). As a result, the blue solution is transformed back into the _____ solution. Hereby the _____ stored in the blue solution is released. This process simulates _____. The _____ energy from _____ substances serves as an energy source for animals and plants, which need it for their growth.

(to) **transform sth. into sth.** – to change sth. into sth
 (to) **set off sth.** – (to) start a process or series of events
 (to) **simulate sth.** – (to) create particular conditions that exist in real life using computers, models, etc., usually for study or training purposes

The connected processes of photosynthesis and respiration can be called a _____: carbon _____ are chemically bound in both carbon dioxide (CO₂) and sugars (for example glucose, C₆H₁₂O₆). The one carbon compound, carbon dioxide, is transformed into the other, glucose, only to be transformed back again. This takes place in a _____ sequence of forward reaction and back reaction, which form a cycle.

atomic bonds form a chemical connection between atoms, thus they are **chemically bound** to one another

Name: _____ Date: _____ | ws 7

Photosynthesis and respiration – the Photo-Blue-Bottle experiment

The sea slug *Elysia chlorotica*

The green sea slug *Elysia chlorotica* [iˈlɪziə ˈklɔːrɒtɪkə] depicted below can be found along the east coast of the United States, including the states of Massachusetts, Connecticut, New York, New Jersey, Maryland and Florida. It can also be found as far north as Nova Scotia, Canada. This species most commonly lives in salt marshes, pools and small, shallow rivers, at depths of 0 m to 0.5 m. *Elysia chlorotica* can grow up to 60 mm in length but they are more commonly found between 20 mm to 30 mm in length. They feed on algae such as *Vaucheria litorea*.

A juvenile slug, prior to feeding on algae, is brown with tiny red spots. Furthermore, it has been reported that adult slugs occasionally appear grey in colour with very small white or red spots scattered over the body. (Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Elysia_chlorotica; adapted RB)

A1 Based on the text above and your knowledge gained in previous lessons, **create an interview with an expert** who calls *Elysia chlorotica* a “solar-powered sea slug”. Use technical terminology from the last lessons.

While planning your interview, include these points:

- How this sea slug becomes green.
- Its habitat and a connection to the slug’s colour.
- The expert’s quotation.
- The multiple benefits arising from the green colour.

slug – a small creature with a soft body and no legs that moves very slowly. Slugs are similar to snails but they have no shell.

salt marsh – an area of open land near a coast that is regularly flooded by the sea

pool – a small area of still water, especially one that has formed naturally

algae [ˈældʒiː] or [ˈælgɪː] – very simple plants, such as seaweed, that have no real leaves, stems or roots, and that grow in or near water

a **juvenile** animal or plant is young

specimen – an example of something, especially of a plant or an animal



Figure 1. A specimen of an adult *E. chlorotica* (courtesy of Patrick J. Krug, California State University, Los Angeles, USA)

18.10 Anhang A11.2: Anschreiben, Erhebungsinstrument „Definieren“, Erhebungsinstrument „SuS- und LuL-Einstellung“

Dies sind nun die Anschreiben und Untersuchungsinstrumente, die ab 2019 Anwendung finden. Es sind so genannte Paper-Pencil-Fragebögen. Sie finden sich auch im elektronischen Anhang im Ordner  Fragebogen .

Anschreiben



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



DIDAKTIK DER CHEMIE

Wuppertal, im XXXXXXXX

Liebe/r XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX,

vielen Dank noch einmal für Ihre Bereitschaft, das Material einzusetzen und zu evaluieren.

So stelle ich mir den Einsatz der Fragebögen vor.

1. Zum Vortest-Fragebogen für Schüler*innen:
Bitte lassen Sie die Schüler*innen den Fragebogen vor dem Modul ausfüllen. Zunächst in englischer Variante, dann in deutscher Variante. Am besten an zwei unterschiedlichen Tagen.
Die Erklärungen sollen in ganzen Sätzen erfolgen.
2. Zum Nachtest-Fragebogen:
Wie oben, nur nun nach dem Modul, am besten einen Tag danach.
3. Zum Schüler*innen-Fragebogen:
Bitte lassen Sie diesen direkt im Anschluss an das Modul ausfüllen.
4. Zum Lehrer-Fragebogen:
Bitte füllen Sie diesen direkt im Anschluss an das Modul aus.

Es ist hilfreich, wenn Sie insgesamt die Tage notieren, an denen Sie die Fragebögen eingesetzt haben und in welchem Zeitraum das Modul ausgeführt wurde.

Herzlichen Dank und viele Grüße

Rainer Brunnert



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



DIDAKTIK DER CHEMIE

Wuppertal, im XXXXXXXX

Lieber Schüler*innen am XXXXXXXXXXXX,

an der Chemiedidaktik in Wuppertal erforschen wir bilingualen Unterricht, um den Unterricht zu aktualisieren und das Lernen für Schüler*innen zu verbessern.

Vielen Dank, dass Sie an der Erprobung des bilingualen Modules teilnehmen – ohne Sie wäre unsere Forschung nicht möglich.

Bitte füllen Sie zunächst diese erste Seite aus. Danach gibt es dann zwei Fragebögen – Ihre unterrichtende Lehrkraft weiß genau Bescheid. Die Umfragen sind alle anonym. Das ist uns wichtig. So können Sie gewiss sein, dass niemand erfährt, wer was eingetragen hat. Das ist der Grund dafür, dass Sie unten kurz einen Code erstellen, den Sie bitte auf jeden Fragebogen schreiben.

Viele Grüße aus Wuppertal

Prof. Dr. Michael W. Tausch und Rainer Brunnert

1. Bitte füllen Sie kurz aus:

Heutiges Datum: _____ Ihr Alter: _____

Ihre Jahrgangsstufe: _____ Ihre Muttersprache: _____

Ihre **Vorerfahrungen** mit bilingualem Unterricht (bitte ankreuzen und ggf. erläutern)

- keine
- Teilnahme am bilingualen Zweig deutsch/englisch
seit: _____; Unterrichtsfächer: _____
- Teilnahme an bilingualen Einheiten deutsch/englisch im
normalen Unterricht (Bitte kurz präzisieren: Fach, Thema,
Häufigkeit, Dauer der Einheit):

2. Bitte erstellen nun Sie einen Code, den Sie auch für spätere Fragebögen nutzen:

Der Code besteht aus den ersten drei Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter, den letzten drei Buchstaben des Vornamens Ihres Vaters und dem Tag, an dem Sie geboren wurden. Anschließend fügen Sie ein W (weiblich), M (männlich) oder X (keine Angabe) an.

Beispiel:

- Vorname der Mutter: Annemarie
- Vorname des Vaters: Franz
- Geburtstag: 01. Juli
- Schüler M Resultierender Code: ANNANZ01M

Ihr neunstelliger Code hier: _____

Vortest- und Nachtest-Fragebogen Englisch für die Schüler*innen

Modul bilingualer Unterricht Vortest-Fragebogen für Schüler*innen, Teil 1

Date: _____ Your code here, please: _____

Please explain these terms in English. Use complete sentences, please.

1. carbon cycle

2. chlorophyll

3. energy conversion

4. glucose

5. light

6. matter conversion

7. photocatalyst

page 1 of 2

8. photosynthesis

9. (cellular) respiration

page 2 of 2

Vortest- und Nachtest-Fragebogen Deutsch für die Schüler*innen

Modul bilingualer Unterricht Vortest-Fragebogen für Schüler*innen, Teil 2

Datum: _____ Code bitte hier:: _____

Bitte erklären Sie diese Begriffe in vollen Sätzen in deutsch.

1. Kohlenstoffkreislauf

2. Chlorophyll

3. Energieumwandlung

4. Glucose

5. Licht

6. Stoffumwandlung

7. Photokatalysator

Seite 1 von 2

8. Photosynthese

9. (Zell-) Atmung

Seite 2 von 2

Schüler*innen-Fragebogen nach dem Durchführen des Bili-Moduls

Schüler*innen-Fragebogen nach dem Durchführen des Bili-Moduls

Datum: _____, Code: _____

Bitte fülle diesen Fragebogen aus. Wir interessieren uns dafür, wie du das Modul einschätzt und haben uns dafür ein paar Fragen überlegt, die verschiedene Bereiche abdecken. **Vielen Dank für das fleißige Ausfüllen!**

1 - Was berichtest du deinen Freunden, wenn sie dich nach dem Modul fragen?

2 - Berichte, wie es für dich war, Chemie in englischer Sprache zu lernen.

3 - Beurteile, wie gut du die Inhalte in Englisch verstanden hast. Was hättest du gebraucht, um noch erfolgreicher zu lernen?

4 - Ist dir der Chemieunterricht schwerer oder leichter gefallen als im Vergleich zu vorherigen Themen?

5 - Erläutere, was dir Freude gemacht hat und warum.

6 - Erläutere, was du ändern würdest und warum.

Seite 1 von 2

7 - Wann hast du englisch gesprochen und wann hast du ins Deutsche gewechselt?

8 - Warum hast du die Sprache gewechselt? Schildere kurz die Situation.

9 - FACH-Bezug: Auf welches chemische Vorwissen konntest du zurückgreifen?

10 - SPRACH-Bezug: Auf welches sprachliche Vorwissen aus dem Englischunterricht konntest du zurückgreifen?

11 - Als Hausaufgabe wurde das Blatt „Was ich schon gelernt habe“ (bzw. „What I have learned“) eingesetzt. Kommentiere diese Hausaufgabe kurz.

12 - Raum für weitere Anmerkungen und Anregungen sowie Fragen:

Noch einmal ganz herzlichen Dank für die Teilnahme! *Prof. Tausch u. Rainer Brunnert, Wuppertal*

Seite 2 von 2

Lehrer*innen-Fragebogen nach dem Durchführen des Bili-Moduls

Lehrer-Fragebogen zum bilingualen Modul

Vorab: Zur Person und zu Erfahrungen mit bilinguaem Unterricht:
Welche Fächer unterrichten Sie, wie lange sind Sie im Dienst und wie sehen Ihre Vorerfahrungen zum bilingualen Unterricht aus?

1 Wann haben Sie das Modul eingesetzt und wie viele Unterrichtsstunden (45') haben Sie darauf verwendet?

2 Welche Elemente des Moduls haben Sie genutzt, welche ggf. weggelassen oder angepasst?

3 Welche Vorzüge sehen Sie?

4 Welche Probleme sehen Sie und welchen Verbesserungsvorschlag können Sie dazu machen?

Seite 1 von 4

5a Wie schätzen Sie das Modul insgesamt ein?

5b- Inhaltliche Relevanz?

5c - Sprachliche Relevanz?

5d – Lernertrag?

5e – Lernfreude? Lehrfreude?

5f - Ort des Einsatzes angemessen (Einführungsphase in die Oberstufe)?

Seite 2 von 4

5g - Verhältnis zeitlicher Aufwand und inhaltliches Lernen?

5h - Würden Sie das Modul noch einmal einsetzen?

6 Einschätzung des SchülerInnen-Verhaltens:

6a - Wie wurden die Inhalte angenommen? Wo gab es inhaltliche Probleme?

6b - Wie haben die SchülerInnen das bilinguale Lernen in englischer Sprache aufgenommen? Wie haben sie sich an neue Vokabeln und Redewendungen gewöhnt? Wo gab es Probleme und wie sind sie damit umgegangen bzw. wie würden Sie in Zukunft damit umgehen?

7 Wann haben Sie Sprachwechsel vorgenommen?

8 Warum haben Sie die Sprache gewechselt? Schildern Sie bitte kurz die Situation.

9 Finaler Kommentar: Was berichten Sie einem Kollegen, einer Kollegin von diesem Modul?

10 - Raum für weitere Anmerkungen und Anregungen sowie Fragen:

**Noch einmal ganz herzlichen Dank für Ihre Teilnahme
und Ihre Bemühungen in unserer Sache!**

Herzliche Grüße aus Wuppertal – Prof. Dr. Michael W. Tausch und Rainer Brunner

18.11 Anhang A12.1: Modulentwurf aus der Erprobung 2020

Modulplanung 2020: Tabelle

	Abschnitt	Inhalte	Medien und Materialien	Sozialform
The sea slug	Einstieg	Besprechung der Konferenzeinladung	Konferenzeinladung, Smartboard	EA, Plenum
	Erarbeitung	Erarbeitung zu Hintergründen der Meeresschnecke anhand einer Fotografie und eines Informationstextes	ws "Background information 1" und zugehörige "Assignments", Smartboard	EA
	Sicherung	Zusammenführen der Erarbeiten, Besprechung von Schwierigkeiten, Klären von Fragen		Plenum
Chlorophyll	Einstieg	Recap, Gemeinsamer Blick auf die Weiterarbeit		EA, Plenum
	Erarbeitung 1 mit Zwischensicherung	Erarbeitung zu Hintergründen des Pigments Chlorophyll mit Experimenten und Textimpuls, Fokus 1: Role of chlorophyll, step 1 and 2; anschließende Zwischensicherung ähnlich der Sicherung oben	ws "Background information 2"; Material: Prisma, Taschenlampen mit weißem Licht, weißes Papier, ws "White light - an experiment"	EA, Schülerexperiment, Plenum
	Erarbeitung 2	Erarbeitung zu Hintergründen des Pigments Chlorophyll mit Experimenten und Textimpuls; Fokus 2: Role of chlorophyll, step 3	ws "Background information 2"; Material: Taschenlampen mit wechselbaren Lichtfarben, PBB-Lösung in Fläschchen	EA, Schülerexperiment, Plenum
	Sicherung	Zusammenführung des Erarbeiteten, Erörterung von Fragen und Schwierigkeiten, Ausblick auf die		EA, Plenum
Photocatalysis & Poster Production	Einstieg	Recap, Gemeinsamer Blick auf die Weiterarbeit		Plenum
	Erarbeitung 1 mit Zwischensicherung	Erarbeitung zur Photokatalyse, Fokus Proflavin im Modellexperiment mit einem Lehrfilm; anschließend Zwischensicherung gemäß obigen Sicherungsphasen	ws "Background information 3", iPads, Video als Download, Filmtranskript	EA, Plenum
	Erarbeitung 2 mit Zwischensicherung	Erarbeitungen zum Photokatalysator Chlorophyll auf Basis der Erkenntnisse über Proflavin; anschließend Zwischensicherung gemäß obiger Sicherungsphase	ws "Background information 3", iPads, Video als Download, Filmtranskript	EA, Plenum
	Überleitung	Besprechung zur Phase der Postererstellung		Plenum
	Poster Production	Poster- und Vortragsvorbereitung (je ein Lernprodukt je Schüler*in), Dokumentation des Lernprodukts durch Videographie	Farbiger Karton, Filzschreiber, iPad	EA/PA

Kommentar zum Material

Neben dem aufgeführten Material erhalten die SuS auch word banks wie in Modul 2018 bzw. 2019 zum Comparing and contrasting, Speculating and hypothesizing, sowie zum Proving and disproving. Ferner finden die SuS eine knappe Übersicht zum Thema Concept Mapping, das online vom Schreibzentrum der Universität Frankfurt a. M. zur Verfügung gestellt wird. Dieses Material findet sich der Vollständigkeit halber im digitalen Anhang, Ordner  Digitaler Anhang_Modul 2020 Typ A .

Modulübersicht 2020 – Orientierung am Planungsraster für eine Kompetenzaufgabe (nach Hallet 2012)

Kompetenzziele	Die Lernenden können aus den im Materialpaket angebotenen Informationen eine Präsentation zur Meeresschnecke E. Chlorotica halten und dabei die zentralen Leitfragen beantworten (Grünwerden; Energiebedarfsdeckung per lichtinduzierter Prozesse; Verortung des Kohlenstoffkreislaufs in dem Tier)
Themen, Inhalte	Aufarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs in der belebten Natur anhand eines kuriosen Tieres; Erarbeitung der chemischen Prozesse bei der Photosynthese und Zellatmung; Erkundung von Lichtfarben und ihrer spezifischen Wirkung; Bedeutung des Chlorophylls als Photokatalysator
Input: Texte, Bilder, Materialien	Materialpaket bestehend u.a. aus: Einladungsschrift, Hintergrundtext 1 „Sea slug“, Hintergrundtext 2 und Experiment „Chlorophyll“, Experiment „Prism/Weiβes Licht als Produkt additiver Farbmischung“, Hintergrundinfo 3
Genres	Produktiv: Präsentation in deutscher oder englischer Sprache (Poster an sich in Englisch); Rezeptiv: Sachtexte, Bildtexte, Experimente; wissenschaftliches Video „A Case for two“ zum Photo-Blue-Bottle-Experiment (incl. Transkript)
Sprachliche Mittel (Struktur, Lexik)	Themenspezifisches Vokabular zu oben genannten Themen und Inhalten; zusammenhängendes Sprechen im Zuge eines strukturierten Fachvortrags; aktive Teilnahme an Unterrichtsgesprächen über (photo-) chemische Fachinhalte
Teil(kompetenz) aufgaben, Übungen	Sinnentnehmendes Lesen und Hören/Sehen mit Selektion relevanter Informationen; Aufbau einer Concept Map mit neuen Wissensanteilen, Vorbereitung eines strukturierten Vortrags zur Beantwortung der Kernfragen, monologisches Sprechen vor einem imaginären Fachpublikum aus dem Bereich der Chemie
Scaffolding-Angebote	Texte sind annotiert, Glossar, Karten mit Aufgabenlösungen, Concept Map zum Aufbau eines themenspezifischen, vernetzten Vokabulars (dazu: Hilfestellung zum Erstellen von Concept Maps), bilinguale bzw. monolinguale Wörterbücher; word bank: oxidation, reduction; für die Aushandlungsprozesse: comparing and contrasting, giving examples, (dis)proving, hypothesizing
Aufgabeninstruktion	Die zentrale Aufgabe wird in Verbindung mit dem Konferenz-Einladungsschreiben vermittelt; weitere Aufgaben zur Textrezeption und –produktion werden in Verbindung mit dem Material ausgehend

KOGNITIVE PROZESSE
Rolle einer Person in der Wissenschaft einnehmen; die für die Präsentation relevanten Informationen aus dem Materialpaket zusammenstellen und in Concept Map vernetzend sammeln; relevantes Fachvokabular identifizieren und in die Textproduktion einbinden; Erkenntnisse aus den Experimenten zum Thema Licht (Lichtfarbe und Wirkung; Aufspaltung weißen Lichts) erschließen und integrieren
SPRACHLICH-DISKURSIVE PROZESSE
Fachvokabular aus Glossar, Texten und Video-Clip (vgl. Materialpaket) für die Beantwortung der Leitfragen zusammenstellen und für das Poster sowie für die Präsentation nutzen (auf <i>prompts</i> , eingebettet in mdl. Sprachproduktion)
INTERAKTIONALE PROZESSE
In Plenums- bzw. Partnerarbeitsphasen die Erkenntnisse aus den Experimenten bzw. aus dem Video aushandeln; die Präsentation auf Basis von <i>prompts</i> in englischer oder deutscher Sprache durchführen

OUTCOME, PRODUKTE, LERNERTEXTE
Posterbeitrag bei wissenschaftlicher Konferenz zur Meeresschnecke Elysia Chlorotica (Poster bei allen SuS auf Englisch; ein Teil hält einen deutschen Vortrag, der andere einen englischen)

Material Typ A 2020

A conference on Elysia Chlorotica

Table of Contents

Conference Invitation	1
Conference Invitation – Your Preparations	2
Background information 1: The sea slug <i>Elysia chlorotica</i>	3-4
Background information 2: Which role does the pigment chlorophyll play?	5-7

Appendix

Glossary	appendix page1
Comparing and Contrasting	appendix page 2
Speculating/hypothesizing & proving/disproving	appendix page 3

A Conference Invitation

Scientific Conference:
“*Elysia Chlorotica* – a sea slug with spectacular characteristics”



Figure 1. A specimen of an adult *E. chlorotica*
(courtesy of Patrick J. Krug, California State University, Los Angeles, USA)

You are invited to take part in a small conference on *Elysia Chlorotica* which lives in lakes and rivers. As a chemist who knows much about energy conversion and chemical transformation you are asked to present a talk on this topic:

“How does *Elysia Chlorotica* survive without ever taking in any food? Provision of energy based on light-induced chemical reactions.”

In the following lessons, you are going to prepare and present a conference poster in answer to this question.

Assignment:

Describe the animal and write down your ideas about how it survives without taking in any food such as plants or prey. Make a sketch, too. (Write in the exercise book, please.)

Annotations:

energy conversion – It is the process of transforming one energy form into another energy form; a chemical reaction is accompanied by energy conversion as they take place at the same time

chemical transformation (matter conversion) – It is the process of forming products from educts in a chemical reaction. The products have different properties than the educts. A chemical transformation are accompanied by energy conversion.

prey – An animal, a bird, etc. that is hunted, killed and eaten by another

A Conference Invitation – Your Preparations

You have already talked with a friend of yours about this topic. Some questions have appeared, which you have written down as you want to cover them in your presentation, but you are aware that you will probably change them for your poster:

- *How has the animal become green?*
- *How does it survive without eating anything?*
 - o *What is the function of the green pigment in the slug?*
 - o *Which light-induced reaction(s) take(s) place?*
 - o *Which role does light play?*
- *Why do some experts say that 'a carbon cycle' takes place in Elysia Chlorotica?*

You already have some ideas about how this slug provides energy. You have asked some of your team members to conduct some research and they have come across the following material for you.

Assignment:

Browse through the material to get an overview. Have a look at the assignments, too.

Then start working on the material and the assignments. Feel free to ask for help whenever needed.

Background information 1
The sea slug *Elysia chlorotica*

The green sea slug *Elysia chlorotica* [ɪˈlɪziə ˈklɔːrɒtɪkə] depicted on p. 1 can be found along the east coast of the United States, including the states of Massachusetts, Connecticut, New York, New Jersey, Maryland and Florida. It can also be found as far north as Nova Scotia, Canada. This species most commonly lives in salt marshes, pools and small, shallow rivers, at depths of 0 m to 0.5 m. *Elysia chlorotica* can grow up to 60 mm in length but it is more commonly found between 20 mm to 30 mm in length.

A juvenile slug, before feeding on algae, has translucent skin which is slightly brown with tiny red spots. When it feeds on algae such as *Vaucheria litorea*, it turns green because the algae's chloroplasts are inserted in cells belonging to the slug. As a consequence, the slug is now equipped with chloroplasts which contain the green pigment chlorophyll. The chloroplasts are not digested. They remain in the slug's cell and are used by the slug to perform photosynthesis: The low-energy compound carbon dioxide (CO₂(aq)), and water (H₂O(l)) are transformed to the high-energy compound glucose (C₆H₁₂O₆ (aq)) and the by-product oxygen (O₂(g)). Chlorophyll serves as a photocatalyst, that is, it is a catalyst which is activated by sunlight. Chlorophyll is the reason why the light-induced chemical reaction, the formation of glucose, can take place at all. This is actually the same process as in photosynthesis in plants which also results in the production of the high-energy compound glucose. Glucose is a carbohydrate. When the slug performs cellular respiration, glucose reacts with oxygen from the air to form carbon dioxide and water. Enzymes of the slug's body enable this process. Some experts call *Elysia chlorotica* a "solar-powered sea slug".

Since the slug does not have a protective shell or any other means of protection, it also uses the green color obtained from the algae as a camouflage against predators. By taking on the green color from the chloroplasts of the algal cells, the slugs are able to blend in with the sea bed beneath them, helping them improve their chances of survival. However, they can occasionally appear reddish or greyish in colour, which is thought to depend on the amount of chlorophyll throughout the slug's body.

(Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Elysia_chlorotica; adapted RB)



slug – a small creature with a soft body and no legs that moves very slowly. Slugs are similar to snails but they have no shell.

salt marsh – an area of open land near a coast that is regularly flooded by the sea

pool – a small area of still water, especially one that has formed naturally

algae [ˈældʒiː] or [ˈælgɪː] – very simple plants, such as seaweed, that have no real leaves, stems or roots, and that grow in or near water

translucent – allowing light to pass through but not completely clear

a **juvenile** animal or plant is young

specimen – an example of something, especially of a plant or an animal

compound – a substance formed by a chemical reaction of two or more elements in fixed amounts relative to each other

by-product – a substance that is produced during the process of making or destroying something else

light-induced – caused by light.

carbohydrate – a compound such as sugar or starch that consists of carbon, hydrogen and oxygen. Carbohydrates provide chemical energy which the body can use to produce heat or other forms of energy.

camouflage – the way in which an animal's colour or shape matches what is around or near it and makes it difficult to see

predator – an animal that kills and eats other animals

Assignments

The sea slug *Elysia chlorotica*

1. Write down the word equation and the chemical equation of the simplified chemical reactions that take place in the sea slug. Add conditions like catalysts on the arrows, too.
2. Go through the text again and mark up the low-energy substances and the high-energy substances. Then, mark them up in the equations above, too.
3. Explain why photosynthesis is an endergonic process and cellular respiration an exergonic process.
4. Mark up the chemically bonded carbon atoms in educts and products and explain why photosynthesis and cellular respiration form a 'carbon cycle'.
5. Based on the text and the assignments above, improve your a concept map and add further aspects.
6. Turn to the first two pages (Conference Invitation / Preparation) and describe how your initial ideas have changed (Write in the exercise book; you may want to use a different colour for your reflections.). Then answer the questions for your poster presentation in key words. If need be, add further aspects to your collection

word equation – a chemical reaction expressed in words

chemical equation – a chemical reaction expressed in chemical formulas

endergonic – a reaction in which energy is absorbed

exergonic – a process in which energy is released

chemically bonded – strong chemical bonds are the intramolecular forces that hold atoms together in molecules; the atoms are chemically bonded.

initial idea(s) – the idea(s) you had about a topic before getting further pieces of information

Background information 2
Which role does the pigment chlorophyll play?

Chlorophyll is a pigment in chloroplasts. It can be found in green plant cells such as the ones in tree leaves, leaves of grass, or algae. In the process of photosynthesis, it serves as a photocatalyst as it absorbs light and makes chemical reactions possible which would otherwise not take place. So without chlorophyll, there would not be photosynthesis as we know it.

pigment - a substance that exists naturally in people, animals and plants and gives their skin, leaves, etc. a particular colour

Now the slug has eaten chloroplasts and integrated them in its body. As a consequence, it has integrated the pigment chlorophyll in its body and can perform photosynthesis. If the snail was not green, it would not be able to perform photosynthesis. The slug lives in shallow pools and lakes. It can easily absorb sun light there and the photocatalyst can be activated.

Assignments:

Chlorophyll absorbs light. However, one question remains: **Which type of light does the activation of the photocatalyst need?** Go through the next steps and develop an answer to the question.

Step 1: Your ideas, your hypothesis:

Write down your hypothesis in your folder, then work on the next steps.

Step 2: Explore the nature of white light:

Work on **Worksheet 1** to find out more about the nature of white light. Write observations in your folder.

Step 3: Perform a model experiment:

Take a vial filled with Photo Blue Bottle (PBB)-solution (cf. Figure 2). The solution consists of a yellow photocatalyst, proflavine (PF), colourless ethyl viologene (EV), and there is another compound (EDTA) that regenerates the photocatalyst. The PBB-experiment simulates photosynthesis: When irradiated by light, a blue substance is formed. This is similar in photosynthesis: When irradiated with light, sugar is formed. Therefore, the blue compound can be called a model sugar.

Experiment: Using different light colours generated by the torch, find out how to start a chemical reaction in which you produce the blue substance. (You can shake the vial to start the back reaction blue -> yellow). Write down your observations and answer the question above.

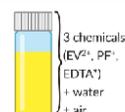


Figure 2: a vial with PBB-solution

hypothesis (pl.: hypotheses) - an idea or explanation of something that is based on a few known facts but that has not yet been proved to be true or correct

vial - a small glass container with a lid or screw-lid

irradiate sth. - to expose sb./sth. to radiation such as light

forward reaction (→) and back reaction (←) are opposites

Assignments 2

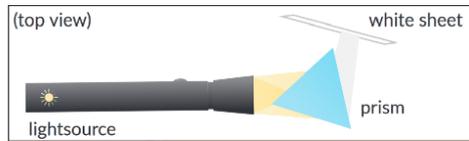
Which role does the pigment chlorophyll play?

1. Based on the text and the assignments above, improve your concept map and add further aspects.
2. Turn to the first two pages (Conference Invitation / Preparation) and describe how your initial ideas have changed (Write in the exercise book; you may want to use a different colour for your reflections.). Answer the questions for your poster presentation in key words and, if necessary, add aspects to your collection.

Material Typ A 2020 - Fortsetzung

Introductory experiment:

Observe four different beams of light after they have passed a prism: a) a beam from sun light, b) a light beam from a torch with a typical light bulb, c) a light beam from a torch with a green LED (light emitting diode), and d) a light beam from a UV-LED torch.



Write down your **observations** here:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

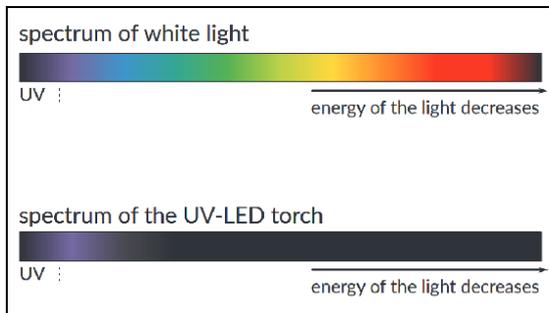
.....

A1 Gap-filling activity

Fill in the gaps with the following words:

colours, form of energy, green (2x), higher, lower, perceive(s), prism, rainbow, red, spectral colour(s), spectrum, UV-LED torch, violet, white light.

_____ can be split with a _____ into all _____ of the _____. The diagram on the right shows which _____ white light consists of. Accordingly, when all colours of light are mixed, the human eye _____ white. Light is a _____.



Violet light is _____ in energy than _____ light and _____ light. Red light is _____ in energy than _____ light. The _____ radiates light whose _____ lacks all colours except _____ (cf. the diagram on the right).

Background information 3

Type A

How does photocatalysis work? A deeper understanding of photosynthesisWhat is the ground state and what is the excited state?

Molecules in compounds are usually in the ground state. This is almost always the case.

When energy is added from outside, the molecule absorbs this energy and the level of energy is increased: The molecule is lifted on a higher energy level and is in the excited state. It has different properties in the excited state. A molecule in the excited state is marked with an asterisk (*).

ground state – the lowest energy level a molecule can have; this is usually the case

excited state – a higher energy level a molecule can be lifted in; the molecule has different properties when being on this level; after being in this state, the molecule falls back into the ground state

Proflavine (PBB) and chlorophyll (nature) are photocatalysts**Focus on proflavine**

Proflavine in the PBB experiment is a model substance for chlorophylls in nature. If you understand the role of proflavine and how it works in the experiment, you will also understand the role of chlorophylls in nature.

1. Watch the clip “A case for two – part one 0:00-4:00” and explain how proflavine (PF) is elevated from the ground state to the excited state. The clip can be downloaded here:

<https://gigamove.rz.rwth-aachen.de/d/id/teJpeampUbXsra>



2. Explain what happens if proflavine is in the excited state and which reaction it sets off (-> Help box on the right.). Would you say that it is a typical catalyst? Give reasons. (Watch the relevant film parts again and/or read the transcript)
3. Explain why ethyl viologene turns from colourless to blue – and back to colourless again.
4. Explain how PF helps energy conversion and chemical transformation take place.

Help:

sth. reduces sth. = sth. gives an electron to sth.

sth. oxidizes sth. = sth. removes an electron from sth.

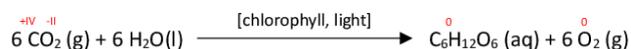
to be reduced = to acquire/get an electron

to be oxidized – to lose an electron

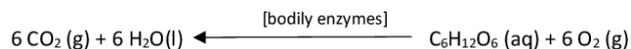
*a reduction = the process of acquiring electrons/an electron
an oxidation = the process of losing electrons/an electron*

Focus on chlorophyll

1. Have a look at what you learned about proflavine and apply this knowledge to chlorophyll.
2. Below there is the simplified reaction between carbon dioxide and water to form glucose and oxygen. Based on the oxidation numbers, say where oxidation and where reduction take place (only atoms whose oxidation number changes are considered). Then explain the role of chlorophyll and say how it differs from the workings of proflavine.



(And the back reaction takes place with enzymes in the body, a process which the body uses to generate energy in the form of heat or movement.)



3. Finally, add the findings to your concept map in and then start preparing your poster and the presentation.

Material Typ A 2020 – Fortsetzung

“Photosynthesis – A Case for Two, part one.” (Transcript)

Where is the connection between the colour green and life on earth? Life on earth depends on a light-driven chemical reaction called photosynthesis. The colour green and several further colours of the rainbow are key factors in it.

00:40 “Interview Prof Dr Tausch”

In photosynthesis, the low-energy carbon compound carbon dioxide from the atmosphere is chemically converted into high-energy carbon compounds such as sugars. This reaction is driven by sunlight. Chlorophylls – the green pigments in leaves – serve as photocatalysts. This means that they act as the mediators between photons - small energy packets of light - and electrons in molecules. In fact, if chlorophylls were not green, if they were not coloured at all, they would not be able to interact with photons – in other words, they would not be able to interact with sunlight. This is due to the fact that only coloured compounds absorb visible light. Apart from chlorophylls, there are further coloured compounds which are involved in photosynthesis. These are green, yellow, and red pigments, which belong to the substance class of carotenoids. We can say: photosynthesis is a case for two, for chlorophyll and carotene.

01:45 “In the lab”

Scientists have created simple lab experiments simulating the natural cycle of photosynthesis and respiration. Experiments help to understand basic processes more easily. A blue compound is generated when blue light shines on the yellow solution. This blue compound is generated from a colourless substance which is a model compound for carbon dioxide in the natural processes. The yellow substance in the solution is a model compound for chlorophylls in nature. It serves as photocatalyst in this model experiment.

2:31 “Explanations using diagrams”

The photocatalyst molecule is electronically excited by absorbing a photon containing a suitable amount of energy. Thereby, an electron in the molecule is lifted from a lower energy level into a higher energy level. Then the excited electron is transferred to one molecule of the colourless compound. As a result, the molecule is being reduced. This process is repeated over and over again and a molecule from the colourless compound is reduced in each cycle. The more molecules are reduced, the greater the change in colour: Little by little, the formerly colourless substrate turns blue. A part of the absorbed light energy has thus been converted in chemical energy and is stored in the reduced, blue substrate.

If the light source is switched off and oxygen from air is added, it reacts with the blue substrate and it is reduced. As a consequence, the substrate turns colourless again.

3:41 “The importance of the light colour”

In the lab experiment, the light-driven reaction generating the blue substrate only works with blue light. The reason is that only a photon from blue light contains enough energy to excite electrons from the photocatalyst

molecule. Photons from green or red light are not able to do this because they contain too small amounts of energy.

4:03 “The back reaction and the role of oxygen”

The solution changes its colour from blue into yellow again only if air is introduced into the solution, for example by shaking. Thereby, the blue substance, which has formed when the solution has been irradiated with blue light, oxidizes. The molecules of the substance are oxidized and transformed back again into molecules which appear colourless. The colour of the solution turns back from blue to yellow.

4:27 “Natural processes explained using diagrams”

Similarly, some products of natural photosynthesis, for instance sugars, are oxidized in animal cells with oxygen from air into carbon dioxide, which has the starring role in photosynthesis. The energy stored in the products of photosynthesis is released during this process and made available for the organisms.

4:50 “Further experiments: photogalvanic concentration cells”

However, is there any usable energy stored in the blue substance? Let's put this question to nature by conducting the following experiment: Here you can see a photogalvanic concentration cell. Both half cells contain said solution. The half cell on the right will not be irradiated. It is connected to the positive pole. The half cell on the left is connected to the negative pole of the voltmeter. It will be irradiated to form the blue substance. This electrochemical device is a concentration cell.

As a result of generating the blue substance, voltage is produced in the concentration cell, it increases until a constant level is reached and remains unchanged even if the irradiating light is switched off. The voltage decreases when atmospheric oxygen is introduced by shaking the half cell. All of these observations provide evidence for the fact that light energy has been converted into chemical energy, and that it has been stored in the reduced substance until its re-oxidation.

5:45 “Conclusion”

If you let sunlight shine on the solution, you will see that this model experiment even works outside the lab. Sunlight is the driving force behind life. It provides energy for living organisms in processes whose key roles are taken on by coloured substances. The Photo-Blue-Bottle experiment simulates the essential processes of energy conversion and chemical reaction types within photosynthesis and respiration.

Material Typ A 2020 - Fortsetzung

Glossary

English	Example
1 (to) generate sth. (in sth.)	to cause something to exist
2 (to) screw a lid/top tightly on a jar	to fasten something by turning it or twisting it
3 algae (uncountable, pl.)	very simple plants, such as seaweed, that have no real leaves, stems or roots, and that grow in or near water
4 becomes visible	if something is visible, it is able to be seen
5 by-product	a substance that is produced during the process of making or destroying something else
6 carbohydrate	a compound such as sugar or starch that consists of carbon, hydrogen and oxygen. Carbohydrates provide chemical energy which the body can use to produce heat or other forms of energy.
7 carbon	a chemical element that exists in its pure form as diamond or graphite, and is an important part of other substances such as coal and oil, as well as being contained in all plants and animals; it consists of carbon atoms.
8 carbon dioxide	the gas formed when carbon is burned, or when people or animals breathe out: carbon dioxide emissions; carbon dioxide consists of carbon dioxide molecules
9 catalyst	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself
10 cellular respiration	Cellular respiration is a set of metabolic reactions and processes that take place in the cells of organisms to use the chemical energy stored in nutrients such as glucose. The chemical energy is used to produce heat or to maintain processes in the body that need energy. Along the way, the low-energy products carbon dioxide and water are produced.
11 chemical energy / potential energy	the energy stored by something because of its position (as when an object is raised), because of its condition (as when something is pulled or pushed out of shape), or in chemical form (as in fuel or an electric battery)
12 chemical equation	a chemical reaction expressed in chemical formulas
13 chemical transformation / matter conversion	the act of transforming educts into products in a chemical reaction, whereby also energy conversion takes place; the product properties differ from the educt properties
14 chemically bonded	strong chemical bonds are the intramolecular forces that hold atoms together in molecules; the atoms are chemically bonded.
15 chlorophyll	the green substance in plants (and animals) that takes in light from the sun to help them grow; more specifically, it is found in chloroplasts; it serves as a photocatalyst and is of the utmost importance in photosynthesis
16 chloroplast	one of the parts in a plant cell that contain chlorophyll and where energy provided by light from the sun is turned into food by photosynthesis
17 compound	a chemical substance in which two or more elements are chemically bonded to each other: Salt is a compound of sodium and chlorine. Many fertilizers contain nitrogen compounds.
18 dissolve	(of a solid) to be absorbed by a liquid, especially when mixed, or (of a liquid) to absorb a solid: dissolve two spoons of powder in warm water
19 educt / reactant	a substance that is part of a chemical reaction; products are formed from educts/reactants
20 element / chemical element	a simple substance that cannot be reduced to smaller chemical parts; it consists of only one kind of particles, i.e. carbon only consists of carbon atoms
21 endergonic	a reaction in which energy is absorbed because it takes more energy to start the reaction than what you get out of it
22 energy	the power from something such as electricity or oil that can do work, such as providing light and heat:
23 energy conversion	the act or process of transforming one form of energy into another one while the total energy of the process remains constant (cf. the law of conservation of energy)
24 exergonic	a process in which energy is released; in exothermic processes, energy in the form of heat/thermal energy is released
25 glucose	a type of sugar that is found in plants, especially fruit, and supplies an important part of the energy that animals need
26 heat	the energy stored in warm things

Material Typ A 2020 - Fortsetzung

27 hypothesis (sg.), hypotheses (pl.)	an idea or explanation for something that is based on known facts but has not yet been proved:
28 irradiate	to treat sth. with light or other types of radiation
29 irradiation	the act of treating sth. with light or other types of radiation
30 kinetic energy	energy that an object or system has because it is moving
31 light colour	The visible spectrum consists of different light colours whose mixture is white. The different light colour are marked by different wave lengths and, thus, different amounts of energy.
32 light energy	light energy is a form of radiant energy: just as sound and heat, light energy contains energy in the form of continuously repeating patterns of waves
33 light ray; ray of light	a narrow beam of light travelling in a straight line from its place of origin
34 light-induced	caused by light
35 low-energy	compound such as water or carbon dioxide contain low levels of energy, which is why they are called low-energy compounds
36 oxygen	a chemical element that is a gas with no smell or colour. Oxygen forms a large part of the air on earth, and is needed by animals and plants to live.
37 photocatalyst	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself; in order to do so, it absorbs light
38 photosynthesis	the process by which a plant uses the energy from the light of the sun to produce its own food
39 pigment	a substance that exists naturally in people, animals and plants and gives their skin, leaves etc. a particular colour; chlorophyll is an example of a naturally occurring green pigment
40 pool	a small area of still water, especially one that has formed naturally
41 product	a substance formed in a chemical reaction
42 respiration	the act of breathing
43 salt marsh	A salt marsh or saltmarsh is a coastal ecosystem in the coastal zone between land and open saltwater or brackish water that is regularly flooded by the tides.
44 sea slug	a small, soft creature living in the water
45 slug	a small, soft creature, like a snail without a shell, that moves very slowly and often eats garden plants
46 solution	a liquid into which a solid has been mixed and has dissolved: an aqueous solution of salts; copper sulphate in solution (= dissolved in water)
47 specimen	a typical example of sth.
48 spectral colours	The visible spectrum consists of different colours with different wavelengths and, thus, different energy levels. These are called spectral colours or light colours.
49 spectrum	The set of colours into which a beam of light can be separated, or a range of waves, such as light waves or radio waves:
50 thermal energy	the energy stored in heat
51 to breathe, to respire	to move air into and out of the lungs: It is so airless in here -- I can hardly breathe.
52 torch (BE), flashlight (AE)	a small light that is held in the hand and usually gets its power from batteries :
53 translucent	allowing light to pass through but not completely clear
54 vial	a small glass bottle, especially one containing liquid medicine
55 visible light spectrum	The set of visible light colours into which a beam of white light can be separated.
56 wavelength	Different light colours have different wave lengths. The shorter the wavelength, the more energy the wave contains. In the visible spectrum, violet has the shortest wavelength, whereas red has the longest wavelength.
57 word equation	a chemical reaction expressed in words

Material 2020 Typ C

Auf den Folgeseiten finden sich die leicht veränderten Seiten nach Typ C

Es wurde das Glossar angepasst und auf einer Seite auch der Arbeitsauftrag (Anfertigung eines englischen Posters bei Konzeption und Halten einer Präsentation in deutscher Sprache). Diese veränderten Seiten finden sich auch im digitalen Anhang im Ordner

 [Digitaler Anhang_Modul 2020 Typ C](#)

How does photocatalysis work? A deeper understanding of photosynthesis

What is the ground state and what is the excited state?

Molecules in compounds are usually in the ground state. This is almost always the case.

When energy is added from outside, the molecule absorbs this energy and the level of energy is increased: The molecule is lifted on a higher energy level and is in the excited state. It has different properties in the excited state. A molecule in the excited state is marked with an asterisk (*).

ground state – the lowest energy level a molecule can have; this is usually the case (Grundzustand)

excited state – a higher energy level a molecule can be lifted in; the molecule has different properties when being on this level; after being in this state, the molecule falls back into the ground state (angeregter Zustand)

Proflavine (PBB) and chlorophyll (nature) are photocatalysts

Focus on proflavine

Proflavine in the PBB experiment is a model substance for chlorophylls in nature. If you understand the role of proflavine and how it works in the experiment, you will also understand the role of chlorophylls in nature.

1. Watch the clip “A case for two – part one 0:00-4:00” and explain how proflavine (PF) is elevated from the ground state to the excited state. The clip can be downloaded here:

<https://gigamove.rz.rwth-aachen.de/d/id/teJpeampUbXsra>



2. Explain what happens if proflavine is in the excited state and which reaction it sets off (-> Help box on the right.). Would you say that it is a typical catalyst? Give reasons. (Watch the relevant film parts again and/or read the transcript)
3. Explain why ethyl viologene turns from colourless to blue – and back to colourless again.
4. Explain how PF helps energy conversion and chemical transformation take place.

Help:

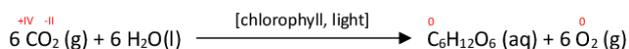
*sth. reduces sth. = sth. gives an electron to sth.
sth. oxidizes sth. = sth. removes an electron from sth.*

*to be reduced = to acquire/get an electron
to be oxidized – to lose an electron*

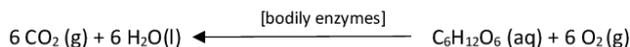
*a reduction = the process of acquiring electrons/an electron
an oxidation = the process of losing electrons/an electron*

Focus on chlorophyll

1. Have a look at what you learned about proflavine and apply this knowledge to chlorophyll.
2. Below there is the simplified reaction between carbon dioxide and water to form glucose and oxygen. Based on the oxidation numbers, say where oxidation and where reduction take place (only atoms whose oxidation number changes are considered). Then explain the role of chlorophyll and say how it differs from the workings of proflavine.



(And the back reaction takes place with enzymes in the body, a process which the body uses to generate energy in the form of heat or movement.)



3. Finally, add the findings to your concept map in German and then start preparing your poster in English and the presentation in German.

Material 2020 – Geänderte Seiten Typ C - Fortsetzung

Glossary German-English		
German	English	Example
1 Algen	algae (uncountable, pl.)	very simple plants, such as seaweed, that have no real leaves, stems or roots, and that grow in or near water
2 atmen	to breathe, to respire	to move air into and out of the lungs: It is so airless in here -- I can hardly breathe.
3 Atmung	respiration	the act of breathing
4 aufschrauben; einen Deckel/Verschluss fest auf ein Glas schrauben	(to) screw a lid/top tightly on a jar	to fasten something by turning it or twisting it
5 bestrahlen	irradiate	to treat sth. with light or other types of radiation
6 Bestrahlung	irradiation	the act of treating sth. with light or other types of radiation
7 Bewegungsenergie	kinetic energy	energy that an object or system has because it is moving
8 Blattfarbstoff, Pigment	pigment	a substance that exists naturally in people, animals and plants and gives their skin, leaves etc. a particular colour; chlorophyll is an example of a naturally occurring green pigment
9 chemisch gebunden	chemically bonded	strong chemical bonds are the intramolecular forces that hold atoms together in molecules; the atoms are chemically bonded.
10 chemische Energie	chemical energy / potential energy	the energy stored by something because of its position (as when an object is raised), because of its condition (as when something is pulled or pushed out of shape), or in chemical form (as in fuel or an electric battery)
11 chemische Verbindung	compound	a chemical substance in which two or more elements are chemically bonded to each other: Salt is a compound of sodium and chlorine. Many fertilizers contain nitrogen compounds.
12 Chlorophyll	chlorophyll	the green substance in plants (and animals) that takes in light from the sun to help them grow; more specifically, it is found in chloroplasts; it serves as a photocatalyst and is of the utmost importance in photosynthesis
13 Chloroplast	chloroplast	one of the parts in a plant cell that contain chlorophyll and where energy provided by light from the sun is turned into food by photosynthesis
14 durchsichtig	translucent	allowing light to pass through but not completely clear
15 Edukt	educt / reactant	a substance that is part of a chemical reaction; products are formed from educts/reactants
16 Element / chemisches Element	element / chemical element	a simple substance that cannot be reduced to smaller chemical parts; it consists of only one kind of particles, i.e. carbon only consists of carbon atoms
17 endergonisch	endergonic	a reaction in which energy is absorbed because it takes more energy to start the reaction than what you get out of it
18 Energie	energy	the power from something such as electricity or oil that can do work, such as providing light and heat:
19 Energieumwandlung	energy conversion	the act or process of transforming one form of energy into another one while the total energy of the process remains constant (cf. the law of conservation of energy)
20 erzeugen; (etw. in etw.) erzeugen	(to) generate sth. (in sth.)	to cause something to exist
21 Exemplar (einer Tierart o.Ä.)	specimen	a typical example of sth.
22 exergonisch	exergonic	a process in which energy is released; in exothermic processes, energy in the form of heat/thermal energy is released
23 Glasfläschen	vial	a small glass bottle, especially one containing liquid medicine
24 Glucose	glucose	a type of sugar that is found in plants, especially fruit, and supplies an important part of the energy that animals need
25 Hypothese	hypothesis (sg.), hypotheses (pl.)	an idea or explanation for something that is based on known facts but has not yet been proved:
26 Katalysator	catalyst	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself
27 Kohlenhydrat	carbohydrate	a compound such as sugar or starch that consists of carbon, hydrogen and oxygen. Carbohydrates provide chemical energy which the body can use to produce heat or other forms of energy.
28 Kohlenstoff	carbon	a chemical element that exists in its pure form as diamond or graphite, and is an important part of other substances such as coal and oil, as well as being contained in all plants and animals; it consists of carbon atoms.
29 Kohlenstoffdioxid	carbon dioxide	the gas formed when carbon is burned, or when people or animals breathe out: carbon dioxide emissions; carbon dioxide consists of carbon dioxide molecules
30 Lichtenergie	light energy	light energy is a form of radiant energy: just as sound and heat, light energy contains energy in the form of continuously repeating patterns of waves
31 Lichtfarbe	light colour	The visible spectrum consists of different light colours whose mixture is white. The different light colour are marked by different wave lengths and, thus, different amounts of energy.
32 lichtinduziert;	light-induced	caused by light
33 Lichtstrahl	light ray; ray of light	a narrow beam of light travelling in a straight line from its place of origin
34 lösen, auflösen	dissolve	(of a solid) to be absorbed by a liquid, especially when mixed, or (of a liquid) to absorb a solid: dissolve two spoons of powder in warm water
35 Lösung	solution	a liquid into which a solid has been mixed and has dissolved: an aqueous solution of salts; copper sulphate in solution (= dissolved in water)
36 Meeresschnecke	sea slug	a small, soft creature living in the water
37 Nebenprodukt	by-product	a substance that is produced during the process of making or destroying something else
38 Photokatalysator	photocatalyst	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself; in order to do so, it absorbs light
39 Photosynthese	photosynthesis	the process by which a plant uses the energy from the light of the sun to produce its own food
40 Produkt	product	a substance formed in a chemical reaction
41 Reaktionsgleichung	chemical equation	a chemical reaction expressed in chemical formulas
42 Salzwiese	salt marsh	A salt marsh or saltmarsh is a coastal ecosystem in the coastal zone between land and open saltwater or brackish water that is regularly flooded by the tides.

Material 2020 – Geänderte Seiten Typ C - Fortsetzung

43 Sauerstoff	oxygen	a chemical element that is a gas with no smell or colour. Oxygen forms a large part of the air on earth, and is needed by animals and plants to live.
44 Schnecke	slug	a small, soft creature, like a snail without a shell, that moves very slowly and often eats garden plants
45 sichtbar werden	becomes visible	if something is visible, it is able to be seen
46 Spektralfarben	spectral colours	The visible spectrum consists of different colours with different wavelengths and, thus, different energy levels. These are called spectral colours or light colours.
47 Spektrum	spectrum	The set of colours into which a beam of light can be separated, or a range of waves, such as light waves or radio waves:
48 Spektrum des sichtbaren Lichts	visible light spectrum	The set of visible light colours into which a beam of white light can be separated.
49 Stoffumwandlung	chemical transformation / matter conversion	the act of transforming educts into products in a chemical reaction, whereby also energy conversion takes place; the product properties differ from the educt properties
50 Taschenlampe	torch (BE), flashlight (AE)	a small light that is held in the hand and usually gets its power from batteries :
51 Teich	pool	a small area of still water, especially one that has formed naturally
52 Wärmeenergie	thermal energy	the energy stored in heat
53 Wärmeenergie	heat	the energy stored in warm things
54 Wellenlänge	wavelength	Different light colours have different wave lengths. The shorter the wavelength, the more energy the wave contains. In the visible spectrum, violet has the shortest wavelength, whereas red has the longest wavelength.
55 wenig chemische Energie enthaltend	low-energy	compound such as water or carbon dioxide contain low levels of energy, which is why they are called low-energy compounds
56 Wortgleichung	word equation	a chemical reaction expressed in words
57 Zellatmung	cellular respiration	Cellular respiration is a set of metabolic reactions and processes that take place in the cells of organisms to use the chemical energy stored in nutrients such as glucose. The chemical energy is used to produce heat or to maintain processes in the body that need energy. Along the way, the low-energy products carbon dioxide and water are produced.

Glossary English-German

English	German	Example
1 (to) generate sth. (in sth.)	erzeugen; (etw. in etw.) erzeugen	to cause something to exist
2 (to) screw a lid/top tightly on a jar	aufschrauben; einen Deckel/Verschluss fest auf ein Glas schrauben	to fasten something by turning it or twisting it
3 algae (uncountable, pl.)	Algen	very simple plants, such as seaweed, that have no real leaves, stems or roots, and that grow in or near water
4 becomes visible	sichtbar werden	if something is visible, it is able to be seen
5 by-product	Nebenprodukt	a substance that is produced during the process of making or destroying something else
6 carbohydrate	Kohlenhydrat	a compound such as sugar or starch that consists of carbon, hydrogen and oxygen. Carbohydrates provide chemical energy which the body can use to produce heat or other forms of energy.
7 carbon	Kohlenstoff	a chemical element that exists in its pure form as diamond or graphite, and is an important part of other substances such as coal and oil, as well as being contained in all plants and animals; it consists of carbon atoms.
8 carbon dioxide	Kohlenstoffdioxid	the gas formed when carbon is burned, or when people or animals breathe out: carbon dioxide emissions; carbon dioxide consists of carbon dioxide molecules
9 catalyst	Katalysator	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself
10 cellular respiration	Zellatmung	Cellular respiration is a set of metabolic reactions and processes that take place in the cells of organisms to use the chemical energy stored in nutrients such as glucose. The chemical energy is used to produce heat or to maintain processes in the body that need energy. Along the way, the low-energy products carbon dioxide and water are produced.
11 chemical energy / potential energy	chemische Energie	the energy stored by something because of its position (as when an object is raised), because of its condition (as when something is pulled or pushed out of shape), or in chemical form (as in fuel or an electric battery)
12 chemical equation	Reaktionsgleichung	a chemical reaction expressed in chemical formulas
13 chemical transformation / matter conversion	Stoffumwandlung	the act of transforming educts into products in a chemical reaction, whereby also energy conversion takes place; the product properties differ from the educt properties
14 chemically bonded	chemisch gebunden	strong chemical bonds are the intramolecular forces that hold atoms together in molecules; the atoms are chemically bonded.
15 chlorophyll	Chlorophyll	the green substance in plants (and animals) that takes in light from the sun to help them grow; more specifically, it is found in chloroplasts; it serves as a photocatalyst and is of the utmost importance in photosynthesis
16 chloroplast	Chloroplast	one of the parts in a plant cell that contain chlorophyll and where energy provided by light from the sun is turned into food by photosynthesis
17 compound	chemische Verbindung	a chemical substance in which two or more elements are chemically bonded to each other: Salt is a compound of sodium and chlorine. Many fertilizers contain nitrogen compounds.
18 dissolve	lösen, auflösen	(of a solid) to be absorbed by a liquid, especially when mixed, or (of a liquid) to absorb a solid: dissolve two spoons of powder in warm water
19 educt / reactant	Edukt	a substance that is part of a chemical reaction; products are formed from educts/reactants
20 element / chemical element	Element / chemisches Element	a simple substance that cannot be reduced to smaller chemical parts; it consists of only one kind of particles, i.e. carbon only consists of carbon atoms
21 endergonic	endergonisch	a reaction in which energy is absorbed because it takes more energy to start the reaction than what you get out of it
22 energy	Energie	the power from something such as electricity or oil that can do work, such as providing light and heat:

Material 2020 – Geänderte Seiten Typ C - Fortsetzung

23 energy conversion	Energieumwandlung	the act or process of transforming one form of energy into another one while the total energy of the process remains constant (cf. the law of conservation of energy)
24 exergonic	exergonisch	a process in which energy is released; in exothermic processes, energy in the form of heat/thermal energy is released
25 glucose	Glucose	a type of sugar that is found in plants, especially fruit, and supplies an important part of the energy that animals need
26 heat	Wärmeenergie	the energy stored in warm things
27 hypothesis (sg.), hypotheses (pl.)	Hypothese	an idea or explanation for something that is based on known facts but has not yet been proved:
28 irradiate	bestrahlen	to treat sth. with light or other types of radiation
29 irradiation	Bestrahlung	the act of treating sth. with light or other types of radiation
30 kinetic energy	Bewegungsenergie	energy that an object or system has because it is moving
31 light colour	Lichtfarbe	The visible spectrum consists of different light colours whose mixture is white. The different light colours are marked by different wave lengths and, thus, different amounts of energy.
32 light energy	Lichtenergie	light energy is a form of radiant energy: just as sound and heat, light energy contains energy in the form of continuously repeating patterns of waves
33 light ray; ray of light	Lichtstrahl	a narrow beam of light travelling in a straight line from its place of origin
34 light-induced	lichtinduziert;	caused by light
35 low-energy	wenig chemische Energie enthaltend	compound such as water or carbon dioxide contain low levels of energy, which is why they are called low-energy compounds
36 oxygen	Sauerstoff	a chemical element that is a gas with no smell or colour. Oxygen forms a large part of the air on earth, and is needed by animals and plants to live.
37 photocatalyst	Photokatalysator	a substance that makes a chemical reaction happen faster without being changed itself; in order to do so, it absorbs light
38 photosynthesis	Photosynthese	the process by which a plant uses the energy from the light of the sun to produce its own food
39 pigment	Blattfarbstoff, Pigment	a substance that exists naturally in people, animals and plants and gives their skin, leaves etc. a particular colour; chlorophyll is an example of a naturally occurring green pigment
40 pool	Teich	a small area of still water, especially one that has formed naturally
41 product	Produkt	a substance formed in a chemical reaction
42 respiration	Atmung	the act of breathing
43 salt marsh	Salzwiese	A salt marsh or saltmarsh is a coastal ecosystem in the coastal zone between land and open saltwater or brackish water that is regularly flooded by the tides.
44 sea slug	Meeresschnecke	a small, soft creature living in the water
45 slug	Schnecke	a small, soft creature, like a snail without a shell, that moves very slowly and often eats garden plants
46 solution	Lösung	a liquid into which a solid has been mixed and has dissolved: an aqueous solution of salts; copper sulphate in solution (= dissolved in water)
47 specimen	Exemplar (einer Tierart o.Ä.)	a typical example of sth.
48 spectral colours	Spektralfarben	The visible spectrum consists of different colours with different wavelengths and, thus, different energy levels. These are called spectral colours or light colours.
49 spectrum	Spektrum	The set of colours into which a beam of light can be separated, or a range of waves, such as light waves or radio waves:
50 thermal energy	Wärmeenergie	the energy stored in heat
51 to breathe, to respire	atmen	to move air into and out of the lungs: It is so airless in here -- I can hardly breathe.
52 torch (BE), flashlight (AE)	Taschenlampe	a small light that is held in the hand and usually gets its power from batteries :
53 translucent	durchsichtig	allowing light to pass through but not completely clear
54 vial	Glasfläschen	a small glass bottle, especially one containing liquid medicine
55 visible light spectrum	Spektrum des sichtbaren Lichts	The set of visible light colours into which a beam of white light can be separated.
56 wavelength	Wellenlänge	Different light colours have different wave lengths. The shorter the wavelength, the more energy the wave contains. In the visible spectrum, violet has the shortest wavelength, whereas red has the longest wavelength.
57 word equation	Wortgleichung	a chemical reaction expressed in words

18.12 Anhang A13.2: Fragebogen

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese MAXQDA 2020-Datei im elektronischen Anhang:

 ausw_sus-feedback_fragebogen.mx20

Kommentar

Die Auswertungsarbeiten mithilfe von Excel 2013 sind im Ordner  Fragebogen hinterlegt.

18.13 Anhang A13.8.2: Anregungen SuS (Konkretisierungen)

Konkretisierung der methodisch-didaktischen SuS-Anregungen: Beispiel für codierte Segmente

Nr.	Code	Segment
1	unt05	Arbeitsgruppen von SuS bilden lassen nicht immer in den gleichen Gruppen zu arbeiten
2	unt13	Arbeitsgruppen von SuS bilden lassen Das eigene Bilden von Gruppen kann produktiv sein.
3	ona05	Mehr Gruppenarbeit Ich würde mehr Gruppenarbeit integrieren (obwohl das durch Corona nicht möglich ist)
4	unt05	Austauschphasen nach Einzelarbeit mehr Austauschphasen nach Einzelarbeit
5	eur01	Experimente arbeitsteilig erarbeiten Aufteilen von Aufgaben auf die verschiedenen Arbeitsgruppen
6	f-a32	Experimente arbeitsteilig erarbeiten An mehreren Experimenten arbeiten
7	coc07	Mehr Experimente Mehr Experimente
8	eur05	Mehr Experimente Man könnte jedoch damit anfangen mehr Experimente durchzuführen, weil mir gerade der Versuch von gestern gut gefallen hat
9	hie44	Mehr Experimente Mehr Praxis -> mehr Spaß
10	unt10	Mehr Experimente mehrere Experimente / Versuche zu machen. Meiner Meinung nach, kann man am besten Lernen, wenn man es in der Praxis angewendet hat / sieht.
11	unt15	Mehr Experimente Man hätte während dieser Unterrichtsreihe zwar ein oder zwei weitere Experimente machen können, aber die Experimente, die wir gemacht haben, waren sehr spannend.
12	coc14	spannendere Experimente spannendere Experimente.
13	coc16	spannendere Experimente Neues Experiment -> PBB war nicht das spannendste.
14	hie20	Weniger Schreibaufgaben weniger Schreibaufgaben
15	ona01	Weniger Textarbeit Weniger Textarbeit
16	eur02	Keine Sprachwechsel Es wäre vielleicht hilfreich in einer Sprache (Englisch) zu bleiben und nur gelegentlich ins Deutsche zurückzukehren. Davon hätten die Schüler mehr, da auch ich gekommen bin um mein wissenschaftliches Englisch anzuheben.
17	f-a40	Mehr Sprachwechsel Themen nochmal auf Deutsch besprechen
18	hie06	Keine Sprachwechsel Weniger Wechsel NICHTLESBAR Deutsch / Englisch
19	ona09	Keine Sprachwechsel entweder ganz auf Englisch oder ganz auf Deutsch und keinen Wechsel, da ich es nicht so gut fände alles in Englisch zu erarbeiten und dann in Deutsch zu präsentieren.

18.14 Anhang A13.8.2_A1: Übersicht Anregungen SuS

Übersicht über die Anregungen aus SuS-Antworten (codierte Segmente aus den sechs EF-Lerngruppen 2018-unt, 2018-eur, 2019-coc, 2019-f-a, 2019-hie und 2020-ona; die Grundlage der 2018er-Gruppen sind frei formulierte Antworten aus Evaluationsbögen; die Grundlage aller anderen Lerngruppen sind die Antworten zu Frage sechs im offenen Fragebogen)

Anregung / Änderungswunsch	unt	eur	coc	f-a	hie	ona	Anregung / Änderungswunsch	unt	eur	coc	f-a	hie	ona
„Was habe ich gelernt“-Bögen modifizieren	2	0	0	0	1	0	Mehr Experimente	2	1	1	0	1	0
Aufgaben anpassen	1	1	4	1	2	0	spannendere Experimente	0	0	2	0	0	0
Fachvokabular gemeinsam sichern	1	0	0	0	0	0	Umgang mit Video anpassen -> z.B. gemeinsam besprechen	2	3	0	0	0	0
Fragerunde zum Themenabschluss	1	0	0	0	0	0	Einsatz von Lehr-Lern-Material	4	4	3	0	1	0
Gemeinsame Besprechung von Inhalten	2	0	0	0	0	0	Weniger Arbeitsblätter	0	1	9	0	0	0
Umgang mit Video anpassen -> z.B. gemeinsam besprechen	2	3	0	0	0	0	Ökologie	0	1	9	0	0	0
Unterrichtsstruktur: Z.shang PBB-Natur früher	1	0	0	0	0	0	Freiwilligkeit bei Exp. Farbzerlegung	0	0	0	0	0	1
Inhaltlich-didaktisch	10	4	4	1	3	0	Lernendenautonomie	0	0	0	0	0	1
Chemiespezifischen Fokus ausbauen	0	2	0	0	1	0	Beendete Chemithemen kurz auf Englisch vertiefen	1	0	0	0	0	0
Inhaltlich-fachlich	0	2	0	0	1	0	Teilnahme auf freiwilliger Basis	0	0	2	0	0	0
Arbeitsgruppen von SuS bilden lassen	2	0	0	0	0	0	Wunsch: Wdh. in Q1/Q2 mit mehr Chemiefokus	0	0	0	0	1	0
Austauschphasen nach Einzelarbeit	1	0	0	0	0	0	Zeitpunkt des Moduls ändern	0	0	0	0	1	0
Experimente arbeitsteilig erarbeiten	0	1	0	1	0	0	Schulorganisation	1	0	2	0	2	0
Fachvokabular gemeinsam sichern	1	0	0	0	0	0	Beendete Chemithemen kurz auf Englisch vertiefen	1	0	0	0	0	0
Keine Sprachwechsel	0	1	0	0	1	1	Chemie nur auf Deutsch	0	0	0	0	1	0
Mehr Experimente	2	1	1	0	1	0	Keine Sprachwechsel	0	1	0	0	1	1
Mehr Gruppenarbeit	0	0	0	0	0	1	Mehr Sprachwechsel	0	0	0	1	0	0
Mehr Sprachwechsel	0	0	0	1	0	0	Sprachorientierung	1	1	0	1	2	1
spannendere Experimente	0	0	2	0	0	0	Fachvokabular gemeinsam sichern	1	0	0	0	0	0
Weniger Schreibaufgaben	0	0	0	0	1	0	Vokabellisten dt.-engl. ausbauen	2	0	2	0	1	0
Weniger Textarbeit	0	0	0	0	0	0	Sprachdidaktik	3	0	2	0	1	0
Methodisch-didaktisch	6	3	3	2	3	2	Mehr Zeit	0	0	1	1	0	1
Aufgaben anpassen	1	1	4	1	2	0	Unterrichtsreihe ein wenig lang	1	0	0	0	0	0
Gestaltung von Lehr-Lern-Materialien	1	1	4	1	2	0	Sonstiges	1	0	1	1	0	1
Arbeitsgruppen von SuS bilden lassen	2	0	0	0	0	0							
Fragerunde zum Themenabschluss	1	0	0	0	0	0							
Freiwilligkeit bei Exp. Farbzerlegung	0	0	0	0	0	1							
Umgang mit Video anpassen -> z.B. gemeinsam besprechen	2	3	0	0	0	0							
Schülerorientierung	5	3	0	0	0	1							

18.15 Anhang A13.8.2_A2: Geclusterte Änderungsvorschläge; Totale Zahlen je Lerngruppe

Kategorie	unt	eur	coc	f-a	hie	ona	summe
Einsatz von Lehr-Lern-Material	4	4	3	0	1	0	12
Gestaltung von Lehr-Lern-Materialien	1	1	4	1	2	0	9
Inhaltlich-didaktisch	10	4	4	1	3	0	22
Inhaltlich-fachlich	0	2	0	0	1	0	3
Lernendenautonomie	0	0	0	0	0	1	1
Methodisch-didaktisch	6	3	3	2	3	2	19
Ökologie	0	1	9	0	0	0	10
Schülerorientierung	5	3	0	0	0	1	9
Schulorganisation	1	0	2	0	2	0	5
Sprachdidaktik	3	0	2	0	1	0	6
Sprachorientierung	1	1	0	1	2	1	6
Sonstiges	1	0	1	1	0	1	4

18.16 Anhang A14.2.1: Lemmatisierungsarbeiten mit Excel 2013

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 alle worte d en alle dateien_08 10 2021_3_anhang.xlsx

Kommentar zum Tabellenblatt „Gesamtfundstellen“

Hier ist das gesamte Vokabular aller Vor- und Nachtests in deutscher und englischer Sprache der Untersuchungsgruppen F-A, Hie und Ona versammelt.

In einem ersten Schritt wurden die Worthäufigkeiten aus MAXQDA 2020 mithilfe der Abfrage „Worthäufigkeiten“ in eine Excel 2013-Tabelle übertragen. Für jeden Test jeder Untersuchungsperson wird die Häufigkeit angegeben, mit der jedes Wort vorkommt. Die ursprünglich vorliegenden Einträge werden durchgesehen und ein geglätteter Begriff von diesem Ursprungswort abgeleitet. Beispielsweise werden grammatisch abgewandelte Wörter in Singular-, Infinitiv- oder Nominativ-Form zurückgeführt, um einen Eintrag daraus zu generieren. Auch Rechtschreibfehler werden korrigiert. Zudem werden Kommentare aus der Transkription getilgt. So wurden dort teilweise Satzzeichen wie Klammern oder Bindestriche als Worte direkt mittranskribiert, weil eine zunächst verwendete Software, AntConc, die Satzzeichen getilgt hat. Überdies werden Umlaut-Punkte getilgt, so dass z.B. an Stelle von „ä“ stets „ae“ geschrieben wurde. Auf diese Weise werden die vorkommenden Worte lemmatisiert und können in der Excel-Tabelle klar untereinander angeordnet werden. So werden die vorkommenden Inhaltswörter identifiziert. Der folgende Screenshot aus der o.g. Datei, Tabellenblatt „Gesamtfundstellen“ zeigt den geglätteten Begriff „zelle“, der jeweils auch auf falsch geschriebenen („zell“) oder flektierten Wörtern („zellen“) basiert (das Tabellenblatt wurde nach der dritten Zeile geteilt, so dass nach Zeile 3 Zeile 1687 folgt):

JY1691		X	✓	fx
	A	B		C
2				
3		gegläutteter begriff	ursprungswort	
1687		zelle	zell	
1688		zelle	zelle	
1689		zelle	zellen	

Insgesamt wurden mehr als 2100 Ursprungswörter in Spalte C durchgesehen, wovon etwa 1700 Inhaltswörter verblieben, die wiederum zu geglätteten Begriffen in Spalte B gruppiert wurden. Wie im Fall des Wortes „Zelle“ oben gibt es oftmals mehrere Ursprungswörter für einen Begriff. Die Gesamtzahl der geglätteten Begriffe wurde nicht ermittelt.

In den **Spalten I bis FH** befindet sich das Extrakt aus MAXQDA 2020. In jedem Dokument (Vortest und Nachtest Englisch bzw. Deutsch) ist nun das Vorkommen jedes Wortes vermerkt. Es kann somit ermittelt werden, ob das Wort überhaupt verwendet wurde, und wenn ja, in welcher Häufigkeit. Die Vor- und Nachtests werden durch Excel-Berechnungen in Beziehung gesetzt, so dass ermittelt wird, welches Wort neu im jeweiligen Nachtest verwendet wird. Diese Prüfungen finden in den **Spalten FS bis JI** statt. In diesen Spalten bedeutet eine „0“, dass das Wort weder im Vor- noch im Nachtest vorkommt. Eine rosafarbene leere Zelle besagt, dass das Wort schon im Vortest vorkommt. Eine rosa hinterlegte Zahl hingegen besagt, dass das Wort in dieser Anzahl neu im Nachtest verwendet wird. In manchen Fällen wurde ein „x“ in Zellen notiert. Es findet sich dann, wenn es verschiedene Schreibungen („Ursprungswörter“) des geglätteten Begriffes gibt und eine dieser Schreibungen bereits in einem Vortest vorkam, eine andere Schreibung hingegen erst im Nachtest auftaucht. So wird dann die Alternativschreibung nicht als neu verwendetes Wort gezählt, so dass der geglättete Begriff nicht als neu verwendet angerechnet wird. Diese Aufarbeitungen und Darstellungen erlauben also Einblicke in die neu verwendete Lexik. Diese Darstellung zeigt nicht auf, wann Vokabular sowohl im Vor- als auch im Nachtest verwendet wird. Hier wird nun ein Beispiel zur Analyse des Wortes „colour“ anhand eines Screenshots angeführt:

	B	C	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA
1			prüfung en f-a									f-a en
2	geglätteter begriff	ursprungswort	9	12	23	29	32	40	47	49	summe	begriffe en nur nt
270	colour	color	0	0		0	0	0	0	0		
271	colour	colors	0	0	0	0	0	0	0	0		
272	colour	colour			0	0	0	0	1		1	colour
273	colour	colours	x	x	0	0	0	0	0	0		
274	colour	coulor	0	0	0	0	0	0	0	0		

Zunächst einige Worte zur Orientierung: Das Tabellenblatt ist geteilt. Die Teilung beginnt nach Zeile 2 und nach Spalte C. Der Ausschnitt zeigt die Zeilen 1 und 2 sowie 270 bis 274. Ebenfalls sind die Spalten B und C sowie Spalten HR bis IA zu sehen. In Zellen B270 bis B274 findet sich der geglättete Begriff „colour“, der auf mehreren Ursprungswörtern basiert (vgl. Zellen C270 bis C274). Nun wird analysiert, ob das Wort „colour“ in den englischen Nachtests der Untersuchungsgruppe F-A vorkommt: Die Probanden der Gruppe F-A finden sich in den Zellen HR9 bis HY9. In den jeweiligen Spalten darunter finden sich die Analyseergebnisse in Bezug auf jedes Ursprungswort aus Spalte C. Das Ursprungswort „color“ wird von Proband*in 23 bereits im Vortest Englisch verwendet, wie das leere rosafarbene Feld anzeigt. Die Nullen in den anderen Zellen der Zeile 270 zeigen an, dass dieses Wort in keinem anderen Vor- oder Nachtest vorkommt. Das Ursprungswort „colors“ findet sich nirgendwo (es kam also bei einer Versuchsperson aus einer anderen Untersuchungsgruppe vor), Gleiches gilt für „coulor“ (Zelle C274). Das Wort „colour“ (Zelle C272) wird von den Personen 9 und 12 bereits im Vortest verwendet (leere rosafarbene Zellen), wobei Person 47 es erstmals im Nachtest nennt, und zwar einmal (rote 1 in rosafarbener Zelle). Die Pluralform „colours“ (Zelle C273) wird ebenfalls von den Personen 9 und 12 verwendet, und zwar lediglich im Nachtest – die hier zunächst stehenden Zahlen wurden vom Autor durch ein „x“ ersetzt. Auf diese Weise wird deutlich gemacht, dass die Personen 9 und 12 bereits im Vortest das Wort „colour“ verwendet haben, wenn auch in anderer Schreibweise (hier: Einzahl). Die Zeichen „x“ werden beim Aufsummieren in Spalte HZ nicht berücksichtigt, so dass auch spätere Aufsummierungen nicht tangiert werden. Für die Analyse des Wortes „colour“ bleibt festzuhalten, dass es in Bezug auf die berücksichtigte Untersuchungsgruppe nur einmal neu verwendet wird. Dies wird in Zelle HZ272 vermerkt und in Zelle IA272 wird der geglättete Begriff „colour“ aufgeführt.

In den Spalten JM bis JY wird aufgeführt, wie häufig die jeweils neuen englischen bzw. deutschen Begrifflichkeiten pro Untersuchungsgruppe jeweils auftauchen. Diese Zusammenschau wurde auf Basis der Zwischenergebnisse in den Spalten GO/GP, HO/HP, HZ/IA (vgl. oben auch das Beispiel „colour“), IK/IL, IW/IX und JI/JJ zusammengestellt, denn in diesen werden die neu verwendeten Wörter und die Anzahl der Neuerwendungen automatisch eingblendet.

Kommentar zum Tabellenblatt „Anzahl Probanden mit Fundstelle“

Die Berechnungsbasis bis Spalte KB entspricht derjenigen des Tabellenblatts „Gesamtfundstellen“. Von **Spalte KD bis NI** werden die Ergebnisse der **Spalten FS bis JI** weiter aufgearbeitet. Hier wird die Anzahl der Proband*innen ermittelt, bei denen die englischen oder deutschen Begriffe neu verwendet werden. Die Berechnungsergebnisse finden sich in dem Tabellenfeld, das die **Spalten PL2 bis TB mit den Zellen 2 bis 1704** aufspannen: Sie sind aufgeschlüsselt nach Proband*in und Vor- bzw. Nachtest Englisch oder Deutsch. Eine alphabetische Übersicht findet sich im Tabellenblatt „Tabelle1_new_words“.

18.17 Anhang A14.2.1_A1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 vocab profilers7_anhang.xlsx

Kommentar zu Tabellenblatt „vocabprofile“

Aus der Datei  **Auswertung_Terminologie_anhang.mx20** werden alle englischen Test-Transkripte jeder Untersuchungsperson in den VocabProfiler Web VP Classic v.4 eingegeben, alle Tippfehler getilgt und somit individuelle Vokabelprofile erstellt. Dazu werden Wortfehler, Art der Fehler (z.B. Neologismen, Kodewechsel, falsches englisches Wort) und chemische Formeln identifiziert.

Aus der Datei  **alle worte d en alle dateien_08 10 2021_3_anhang.xlsx** und dem dortigen Tabellenblatt „Gesamtfundstellen“ werden alle neuen englischen Wörter extrahiert, Duplikate getilgt und per Vocab Profiler Web VP Classic v.4 untersucht. Daraus werden auch tabellarische Übersichten über diejenigen neuen Worte erstellt, die zu Fach- und Bildungsvokabular gehören (vgl. Spalten FT bis GJ, aber auch Tabellenblatt „Bild_Fachs_Summe“). Hieraus werden Vorschläge für englische Wörter abgeleitet, die weder in den Definitionen vorgegeben werden, noch den Charakter von Kognaten haben. Aus der Vorauswahl (vgl. Zellen GM1 bis GM15 bzw. GM23 bis GM31) ergeben sich die fünf Begriffe Zielbegriffe (vgl. Zellen GM43 bis GM47).

18.18 Anhang A14.4.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese MAXQDA 2020-Datei im elektronischen Anhang:

 **Auswertung_Terminologie_anhang.mx20**

Kommentar

Die Ergebnisse in Kapitel 14.4 und 14.6 werden auf Basis dieser Datei zusammengestellt.

18.19 Anhang A14.5.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 **NUR nt en-wörter_anhang.xlsx**

Kommentar

In der Datei finden sich die Daten für die Darstellungen in Kapitel 14.5.2.

18.20 Anhang A14.6.1: Code Switching, Neologismen, Transfer

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 **MAXQDA2020 Code-Matrix-Browser_codeswitching_Farbe_mit_Zahlen.xlsx**

Kommentar

In der Datei finden sich die Daten für die Darstellungen in Kapitel 14.6.1 und 14.6.2. Im Folgenden finden sich Listen der L2-Einflussphänomene. Per Konsultation der MAXQDA 2020-Datei

 Auswertung_Terminologie_anhang.mx20

im elektronischen Anhang ist eine Kontextualisierung der Segmente, die in den folgenden Tabellen aufgeführt sind, möglich. Gerade in den ersten Tabellen sind die Segmente kurz, denn die jeweiligen Worte verdeutlichen das betrachtete Einfluss-Phänomen klar. Die Segmentlängen in der Tabelle zum spezifischen Transfer, Stichwort Kohlenstoff, sind umfangreicher gewählt, damit auch dieses Phänomen verständlich wird.

Code-Switching

Dokumentname	Code	Segment
NT_D_Hie_07	code switching	3 Bei einer energieumwandlung wird eine energy in eine andere umgewandelt. zb. Lich -> Wärme.
NT_D_Hie_13	code switching	Energyumwandlung
NT_D_Hie_13	code switching	Lichtenergy
NT_D_Hie_13	code switching	Energy
NT_D_Hie_17	code switching	Glucose ist ein monosacharride
NT_D_Hie_17	code switching	reaction
NT_D_Hie_19	code switching	Photocatalyst
NT_D_Hie_22	code switching	by
NT_D_Hie_22	code switching	reaction
NT_D_Hie_24	code switching	Energyherstellung
NT_D_Hie_36	code switching	Sonnenlicht energy
NT_D_Hie_52	code switching	chem. energy
NT_D_Hie_52	code switching	energy
NT_D_F-A_09	code switching	for
NT_D_F-A_12	code switching	Energy
NT_D_F-A_23	code switching	reaction
NT_D_F-A_23	code switching	Energy
NT_D_F-A_23	code switching	energy
NT_D_F-A_23	code switching	Energyträger
NT_D_F-A_23	code switching	reaction
NT_D_F-A_23	code switching	backBINDESTRICHreaction
NT_D_F-A_23	code switching	Energy
NT_D_F-A_40	code switching	dioxide
NT_D_F-A_40	code switching	Chlorophyll ist ein Photocatalyst.
NT_D_F-A_40	code switching	energy
ona01_nt_d_anagerd	code switching	Atmosphäre
ona03_nt_d_juliev	code switching	reaction
ona03_nt_d_juliev	code switching	Component
ona07_nt_d_nicerg	code switching	Licht Energy
ona07_nt_d_nicerg	code switching	chemische Energy
ona07_nt_d_nicerg	code switching	mehr Energy
ona07_nt_d_nicerg	code switching	LichtLEERZEICHENenergy

Wortneuschöpfungen

Dokumentname	Code	Segment
NT_D_Hie_24	Wortneuschöpfung im Deutschen	Anfangsstoff
NT_D_Hie_36	Wortneuschöpfung im Deutschen	Sonnenlicht energy
NT_D_Hie_52	Wortneuschöpfung im Deutschen	physikalischer Energie
ona06_nt_d_melhan	Wortneuschöpfung im Deutschen	Lichtern

Transfer

Dokumentname	Code	Segment
NT_D_Hie_11	Transfer aus EN	eine Form der Energie
NT_D_Hie_13	Transfer aus EN	Form von Energy
NT_D_Hie_17	Transfer aus EN	Photosyntheses
NT_D_Hie_30	Transfer aus EN	reich in Energie
NT_D_Hie_30	Transfer aus EN	arm in Energie
NT_D_Hie_35	Transfer aus EN	thermalener Energie in chemische Energie.
NT_D_Hie_42	Transfer aus EN	3 Bei der Energieumwandlung wechseln energiereiche zu energiearmen Stoffen und andersherum.
NT_D_Hie_50	Transfer aus EN	4 Ein hochenergetischer Zucker.
NT_D_Hie_52	Transfer aus EN	5 Form von Energy kann jeh nach „Farbe“ anders mit energy „gefüllt“ sein
NT_D_F-A_23	Transfer aus EN	eine viele energy Substanz
NT_D_F-A_23	Transfer aus EN	wenig EnergyLEERZEICHENSubstanz
NT_D_F-A_23	Transfer aus EN	wenig Energy Substan
NT_D_F-A_29	Transfer aus EN	WellenBINDESTRICTeilchenBINDESTRICTDualität
ona06_nt_d_melhan	Transfer aus EN	Hierbei werden größere Moleküle in kleinere heruntergebrochen
ona07_nt_d_nicerg	Transfer aus EN	Form von Energy

Transfer ‚Kohlenstoff – Kohlenstoffdioxid‘ analog zu ‚carbon – carbon dioxide‘

Dokumentname	Code	Segment
NT_D_Hie_13	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt das Atmen. Menschen atmen Sauerstoff ein und Kohlenstoff wieder aus, Pflanzen atmen Kohlenstoff ein und Sauerstoff aus, so entsteht ein Kreislauf.
NT_D_Hie_13	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt das Atmen. Menschen atmen Sauerstoff ein und Kohlenstoff wieder aus, Pflanzen atmen Kohlenstoff ein und Sauerstoff aus, so entsteht ein Kreislauf.
NT_D_Hie_20	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Pflanzen nehmen Kohlenstoff auf und produzieren Glukose. Sie atmen Sauerstoff aus und Menschen atmen dieses ein und stossen Kohlenstoff aus.
NT_D_Hie_20	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Pflanzen nehmen Kohlenstoff auf und produzieren Glukose. Sie atmen Sauerstoff aus und Menschen atmen dieses ein und stossen Kohlenstoff aus.
NT_D_Hie_42	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Im Kohlenstoffkreislauf findet Oxidation und Reduktion statt. Hier wird Wasser, Sauerstoff und Kohlenstoff verarbeitet.
NT_D_F-A_23	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 Ist ein Kreislauf in dem Kohlenstoff in jeder reaction eine wichtige Rolle spielt. (Dann Skizze)
ona07_nt_d_nicerg	Transfer aus EN: "carbon = carbon dioxide"	1 ständiger Kreslauf bei dem Kohlenstoff auf genommen und abgegeben wird

18.21 Anhang A14.7.1/14.10.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 Worthäufigkeiten_indokumenten_gesamt2_anhang.xlsx

Kommentar zu Tabellenblättern „Tabelle1“ bis „Tabelle5“

Hier werden die lemmatisierten Extrakte aus MAXQDA 2020 zusammengestellt und aufgearbeitet. Auch finden sich hier Screenshots aus dem Online-Tool VocabProfiler. Die Extrakte aus MAXQDA 2020 befinden sich in folgendem Ordner, der insgesamt sechs Excel-Tabellen enthält:

 Worthäufigkeiten_indokumenten_hie_f-a_ona_en_vt_nt

18.22 Anhang A14.8.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese MAXQDA 2020-Datei im elektronischen Anhang:

 Werne2019_Auswertung_Terminologie_anhang.mx20

Kommentar

Die Ergebnisse in Kapitel 14.8.1ff und 14.10 werden auf Basis dieser Datei zusammengestellt.

18.23 Anhang A14.10.1: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Datei im elektronischen Anhang:

 Worthäufigkeiten_indokumenten_gesamt2_anhang.xlsx

Kommentar zu Tabellenblatt „ausweichstrategien“

In **Anhang A1_14.2.1** wird eine Auswahl an Wörtern zusammengestellt, die bezüglich ihrer englischen und deutschen Versprachlichung durch Versuchspersonen analysiert werden können. Die Übersichten in diesem Tabellenblatt stellen die Ergebnisse bezüglich der Untersuchungsgruppe Ona zusammen. Sie

werden in Tabellenblatt „piechart_auswstrat“ visualisiert und in Tabellenblatt „Tabelle6“ gruppiert in Unterkategorien dargestellt.

18.24 Anhang A15.3: Verweis auf Auswertungsarbeiten (elektronischer Anhang)

Der folgende Kommentar bezieht sich auf diese Excel-Dateien im elektronischen Anhang,

die sich in Ordner  Auswertung Definitionen befinden:

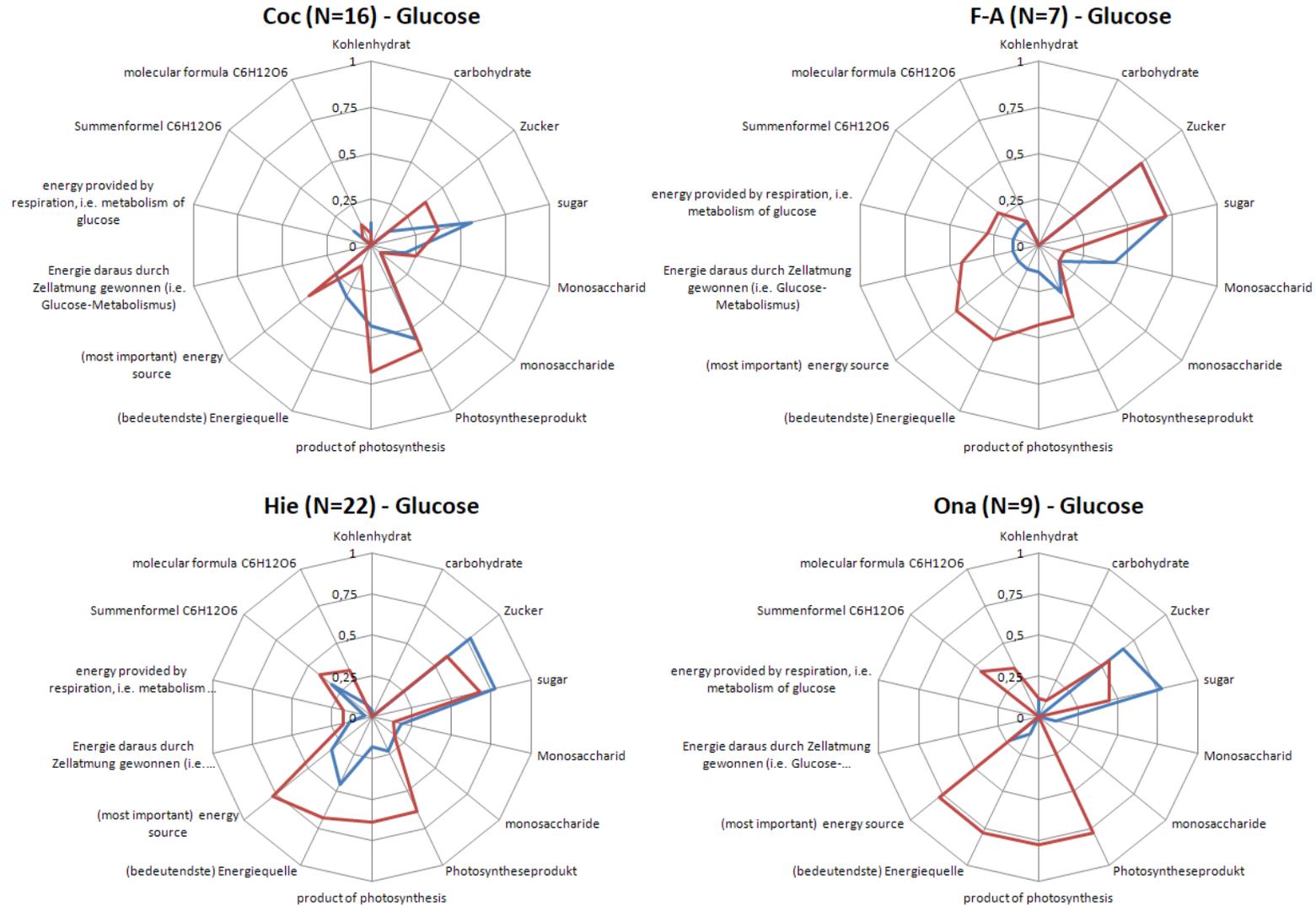
-  11Co19_Chlorophyll_v1.xlsx
-  11Coc_Glucose_v1.xlsx
-  11Coc_kohlenstoffkreislauf_v1.xlsx
-  11Coc_light_v1.xlsx
-  11Coc_Photokatalysator_v1.xlsx
-  11Coc_Photosynthese_v1.xlsx
-  11Coc_Zellatmung_v1.xlsx
-  EPHie19_chlorophyll_v1.xlsx
-  EPHie19_glucose_v1.xlsx
-  EPHie19_kohlenstoffkreislauf_v1.xlsx
-  EPHie19_licht_v1.xlsx
-  EPHie19_Photokatalysator_v1.xlsx
-  EPHie19_Photosynthese_v1.xlsx
-  EPHie19_zellatmung_v1.xlsx
-  ona2020_chlorophyll_v2.xlsx
-  ona2020_glucose_v1.xlsx
-  ona2020_kohlenstoffkreislauf_v1.xlsx
-  ona2020_light_v1.xlsx
-  ona2020_Photokatalysator_v1.xlsx
-  ona2020_Photosynthese_v1.xlsx
-  ona2020_zellatmung_v1.xlsx

Kommentar

Im ersten Tabellenblatt finden sich die Auswertungsarbeiten, im zweiten die Visualisierungen in Spinnen- bzw. Netzdiagrammen. Die Auswertungen der Gruppe F-A und der Gruppe Hie findet sich jeweils in den Excel-Dateien EPHie.

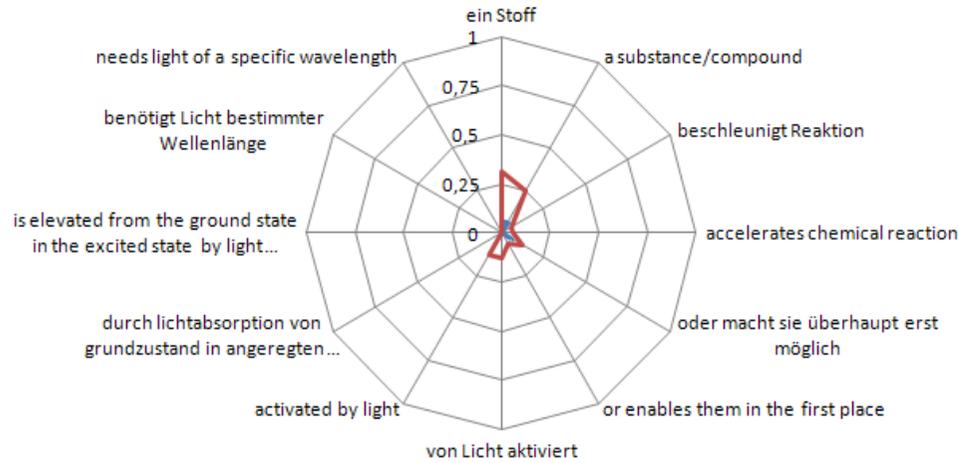
18.25 Anhang A15.4: Weitere Netzdiagramme und Beschreibungen

Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Glucose (Vortest blau – Nachtest rot)

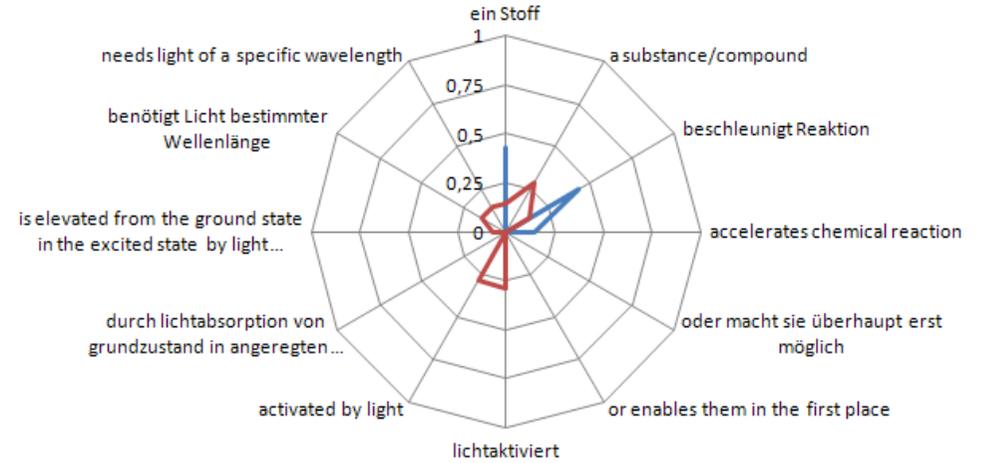


Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Photokatalysator (Vortest blau – Nachtest rot)

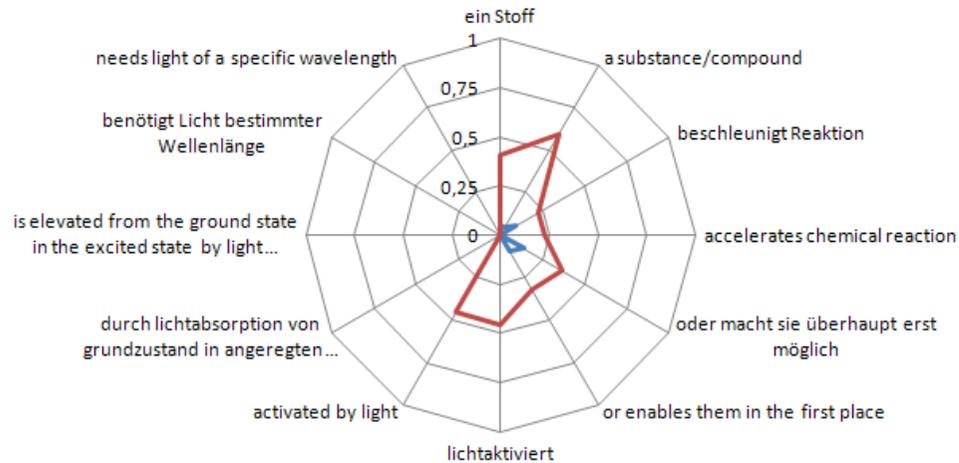
Coc (N=16) - Photokatalysator



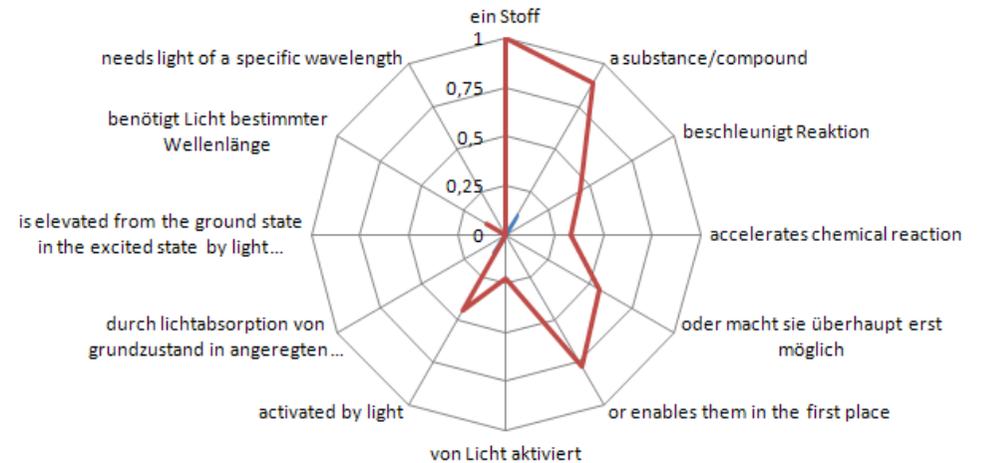
F-A (N=7) - Photokatalysator



Hie (N=22) - Photokatalysator

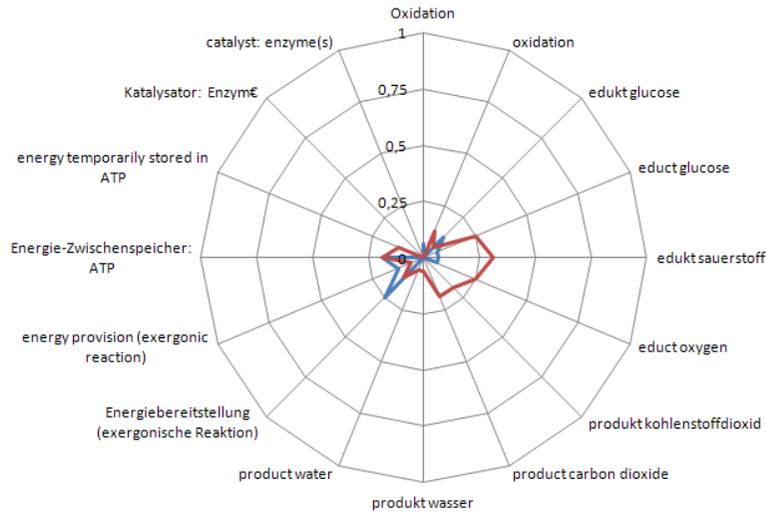


Ona (N=9) - Photokatalysator

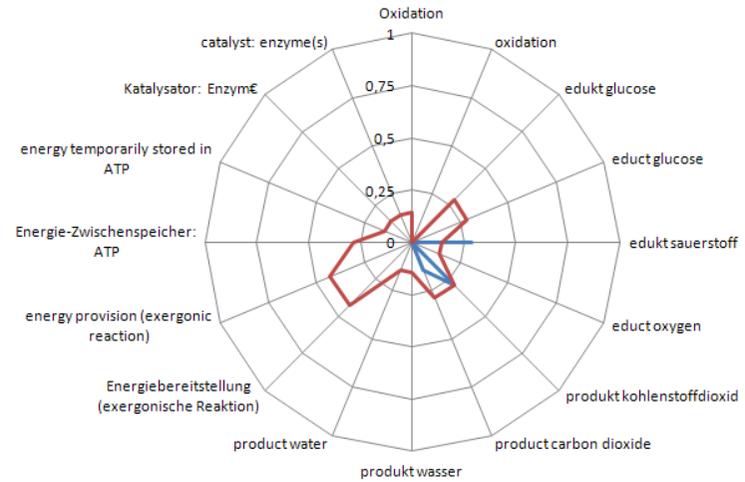


Inhaltliche Auswertung der Gruppen Coc, Hie, F-A und Ona; Fokus: Zellatmung (Vortest blau – Nachtest rot)

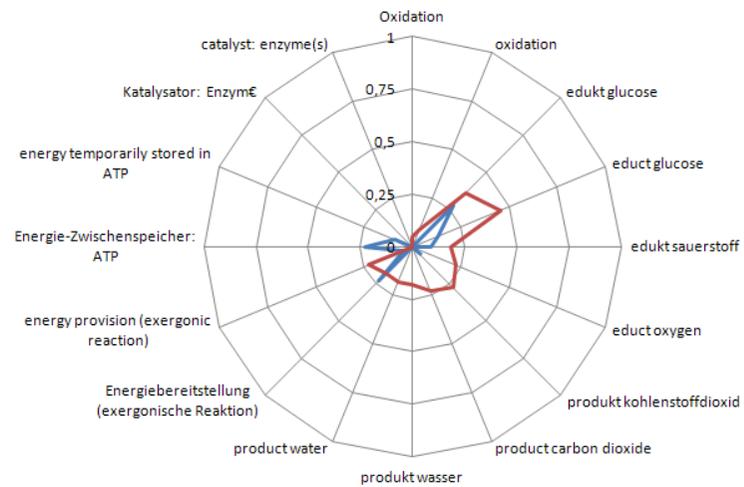
Coc (N=16) - Zellatmung



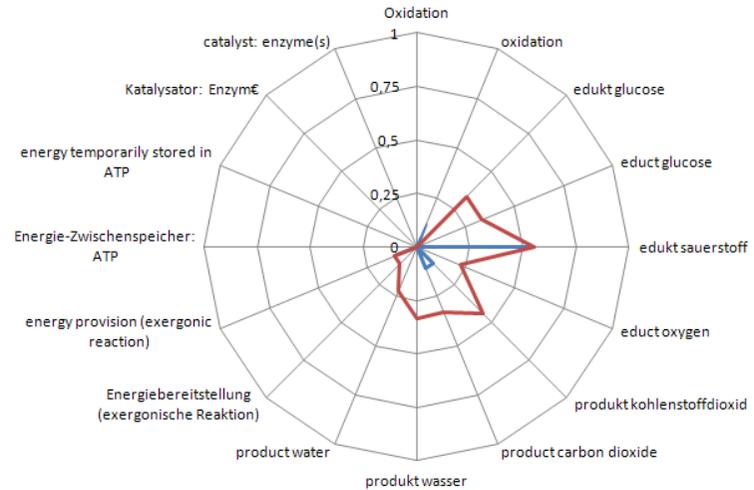
F-A (N=7) - Zellatmung



Hie (N=22) - Zellatmung



Ona (N=9) - Zellatmung



Kommentare zu den Netzdiagrammen

Glucose

In den Gruppen herrscht mehrheitliches Vorwissen im Bereich Zucker vor. Der Aspekt bedeutende Energiequelle ist zudem bei Coc und, mit leichten Abstrichen, Hie vertreten. Nur bei Coc tritt auch die Bedeutung Photosyntheseprodukt in den Vordergrund, bei F-A wird, mit leichten Abstrichen, auch die Verbindung zum Aspekt Monosaccharid hergestellt.

Die Zunahmen im Nachtest betreffen die Bereiche Photosyntheseprodukt und Energiequelle für die Gruppen Hie, F-A und Ona, teils mit leichten Abstrichen. Vereinzelt sind Zunahmen im Bereich Zellatmungsprodukt (F-A) und Summenformel (Ona) augenfällig, wobei sie etwas unter dem Mehrheitswert von 0,5 bleiben. Teilweise liegen im Vergleich VT zu NT Abnahmen vor, z.B. bei Coc den Bereich sugar. Es fällt auf, dass der Bereich Energie aus Zellatmungsprozessen wenig vertreten bleibt. Überdies sind die Bereiche Zucker stets sehr stärker ausgebildet als die alternativen, eher rein fachsprachlichen Begriffe Kohlenhydrat oder Monosaccharid.

Die Werte für die deutschen bzw. englischen Entsprechungen eines Konzeptanteils sind meist nicht identisch hoch, aber etwa im gleichen Bereich zu verorten. Deutliche Unterschiede treten vereinzelt auf. Im VT betrifft dies die Bereiche Photosyntheseprodukt (Coc und Hie) und Zucker (Coc). Im Nachtest betrifft es bei Coc die Bedeutung Energiequelle.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Zuwächse besonders in den Bereichen **Photosyntheseprodukt** und **Energiequelle** liegen. Die englischen und deutschen Entsprechungen weisen meistens vergleichbare Werte auf, wobei vereinzelt deutliche Asymmetrien zu verzeichnen sind.

Photokatalysator

Bei allen Gruppen ist das Vorwissen sehr gering ausgeprägt. Zuwächse liegen in den Bereichen Stoff (alle Gruppen, mit Abstrichen bei Coc und mit größter Ausprägung bei Ona), Lichtaktivierung (mit Abstrichen: Hie, Ona und, mit weiteren Abstrichen, F-A), Ermöglichung chemischer Reaktionen (Ona, und, mit Abstrichen, Hie) und der Beschleunigung von Reaktionsabläufen (mit Abstrichen Ona und F-A).

Die Werte für die deutschen und englischen Entsprechungen von Konzeptanteilen sind meist ähnlich hoch, wobei wiederum auch deutliche Unterschiede zu bemerken sind. Sie betreffen den Aspekt der Beschleunigung (F-A und Hie, jeweils NT), den Stoff (F-A, NT) oder die Ermöglichung von chemischen Reaktionen sowie die Lichtaktivierung (jeweils Ona, NT).

Es bleibt festzuhalten, dass bei wenig Vorwissen hauptsächlich Zuwächse im Bereich **Stoff** und, mit deutlichen Abstrichen, **Lichtaktivierung** zu verzeichnen sind. Das Netzdiagramm der Gruppe Ona eine relativ größere Ausprägung von Wissensanteilen auf. Die englischen und deutschen Entsprechungen weisen meistens vergleichbare Werte auf, wobei vereinzelt deutliche Asymmetrien zu verzeichnen sind.

Zellatmung

Die Vorwissensanteile fallen sehr gering aus. Nur einmal herrscht mehrheitliches Wissen vor, und zwar bzgl. des Konzeptanteils Sauerstoffs (Ona). Bei allen Gruppen wächst der Konzeptanteil Glucose, allerdings wird er nie von mehr als knapp der Hälfte der Versuchspersonen genannt. Vereinzelt merkliche Zuwächse, d.h. bei Nennung von etwa einem Drittel der Proband*innen, sind bei Energiebereitstellung (F-A), Produkt Wasser und Produkt Kohlenstoffdioxid (jeweils Ona) zu vermerken. Insgesamt bleiben die Zuwächse auf einem sehr geringen Niveau und viele Konzeptanteile bleiben von diesen Zunahmen unberührt.

Die Werte für die deutschen und englischen Entsprechungen von Konzeptanteilen sind von vereinzelt deutlichen Asymmetrien geprägt (z.B. Sauerstoff bei Gruppe Ona, VT und NT).

Es bleibt festzuhalten, dass sehr wenig Vorwissen vorliegt und dass auch die Zuwächse eher **marginal** sind. Wenn sie vorliegen, betreffen sie die Edukte Glucose und Sauerstoff und das Produkt Kohlenstoffdioxid. Das Verhältnis der Werte von englischen und deutschen Entsprechungen weist vereinzelt deutliche Asymmetrien auf.

18.26 Anhang AX: Übersichtstabellen zu Untersuchungsgruppen und Erhebungen

Tabelle zu Proband*innen

Gruppe	Jahr und Zyklus	Teilnehmende	auswertbare Rückmeldungen ⁵⁸
UNT	2018; 1 (vgl. Kap. 10)	16	16
EUR	2018; 1 (vgl. Kap. 10)	8	8
COC	2019; 2 (vgl. Kap. 11)	18	16
HIE	2019; 2 (vgl. Kap. 11)	23	22
F-A	2019; 2 (vgl. Kap. 11)	9	7
ONA	2020; 3 (vgl. Kap. 12)	17	9

Tabellen mit Probandinnen und Erhebungsschwerpunkten

Gruppe	Sichtweise auf das BU Chemie-Modul				Darstellung in Kapitel
	Erhebungsmethode				
	LF	S-S-C ⁵⁹	Fragebogen		
UNT	x	x			10.9 (LF), 13.1-13.2 (S-S-C); 13.11-13.12
EUR		x			13.1-13.2; 13.11-13.12
COC			x		13.1-13.8; 13.11-13.12
HIE			x		13.1-13.8; 13.11-13.12
F-A			x		13.1-13.8; 13.11-13.12
ONA				x	13.1-13.8, 13.10-13.12

Gruppe	Inhaltlicher Lernzuwachs		
	Erhebungsmethode		Darstellung in Kapitel
	Concep Map	Definieren EN/DE	
UNT	x		10.6-10.8
EUR	x		10.6-10.8
COC		x	16
HIE		x	16
F-A		x	16
ONA		x	16

⁵⁸ Wenn nicht anders angegeben.

⁵⁹ Start-Stop-Continue-Feedbackverfahren.

Fortsetzung

Gruppe	Sprachlicher Lernzuwachs		
	Erhebungsmethode Definieren	Untersuchung Typ A vs. Typ C	Darstellung in Kapitel
UNT			
EUR			
COC			
HIE	x	x	14.1-7
F-A	x	x	14.1-7
ONA	x	x	14.1-7, 14.8-10

Gruppe	Doppelte Sachfachliteralität		
	Erhebungsmethode Definieren	Untersuchung Typ A vs. Typ C	Darstellung in Kapitel
UNT			
EUR			
COC			
HIE	x	x	14.5, 14.6
F-A	x	x	14.5, 14.6
ONA	x	x	14.5, 14.6, 14.9

Gruppe	Untersuchung Instruktion nach Typ A bzw. C			
	Erhebungsmethode Definieren	Sprachlicher Lernzuwachs	Sprachwechsel	Glossareinträge
UNT				
EUR				
COC				
HIE	x	14.1, 14.3, 14.5	14.6	
F-A	x	14.1, 14.3, 14.5	14.6	
ONA	x	14.1, 14.3, 14.5	14.6	14.9

Fortsetzung

Gruppe	Sprachwechsel			
	Erhebungsmethode			Darstellung in Kapitel
	LF	Fragebogen	Definieren EN/DE	
UNT	x			10.10
EUR				
COC		x		13.9
HIE		x	x	13.9, 14.6
F-A		x	x	13.9, 14.6
ONA		x	x	13.9, 14.6

18.27 Curriculum Vitae

Für die Online-Publikation getilgt; auf Anfrage erhältlich.

18.28 Publikationen

(Digitale) Bücher

- Bohrmann-Linde, C., Brunnert, R., und Kiesling, E. (in Vorbereitung) (Hrsg.): Handreichung für den Bilingualen Chemieunterricht. Bamberg: Buchner. (Arbeitstitel; ebenfalls Mitarbeit als Autor)
- Brunnert, R., Harsch, G., und Heimann, R. (2009): Organic chemistry goes bilingual. Bilingualer Chemieunterricht. Ein bilinguales Modul zum Einstieg in die organische Chemie nach dem PIN-Konzept. Münster: Schöningh.

Artikel

- Brunnert, R., Bohrmann-Linde, C., Meuter, N., et al. (2018): The Fascinating World of Photochemistry. *Educación Química* 29(3). 108-117.
- Brunnert, R., Gökkuş née Yurdanur, Y., und Tausch, M. W. (2019): Towards Artificial Photosynthesis in Science Education. *World J. of Chemical Education* 7(2). 33-39.
- Brunnert, R., Tausch, M. W., und Bohrmann-Linde, C. (2020): Paving the way for curriculum innovation through participatory action research in bilingual chemistry and bilingual biology lessons at German secondary schools: Results from a survey among teachers concerning their material demands. *Action Research and Innovation in Science Education* 3(1). 17-23.

Posterbeiträge zu Tagungen

- Brunnert, R., Gökkuş née Yurdanur, Y., und Tausch, M. W. (2018): The carbon cycle in animate nature. Ein photochemisches Modul für den bilingualen Chemieunterricht. Karlsruhe: GDCh-FGCU-Tagung. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/mitarbeiter/rainer_brunnert/rb-poster-jun-2018.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Brunnert, R., Kiesling, E., und Bohrmann-Linde, C. (2019): Bioethanol im bilingualen Chemieunterricht per classroom translanguaging. Aachen: GDCh-FGCU-Tagung/WIFO. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/mitarbeiter/rainer_brunnert/Aachen_2019_-_Poster_Rainer_final_v1.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.
- Kiesling, E., Brunnert, R., und Bohrmann-Linde, C. (2019): Bioethanol im bilingualen Chemieunterricht mithilfe der Methode Bilingual Poster Production. Aachen: GDCh-FGCU-Tagung/WIFO. Online: https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/mitarbeiter/rainer_brunnert/Poster_Elli_neu_v1.pdf Letzter Zugriff: 14.01.2022.

Lehr-Lern-Material

- Das **in dieser Arbeit erarbeitete und im Anhang aufgeführte** Material wird zu gegebenem Zeitpunkt auf der Wuppertaler Chemiedidaktik-Seite veröffentlicht werden.
- Die **Filme** "Ein Fall für zwei - Teil 1" (Heffen/Tausch) und "Ein Fall für zwei - Teil 2" (Grandrath née Zückert/Meuter/Tausch) wurden für eine englischsprachige Zielgruppe aufgearbeitet und es sind „A case for two - part 1“ sowie „A case for two - part 2“ entstanden. Die zugehörigen Transkripte sind auf Anfrage erhältlich. Links: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/movies-videos/photoredox-reactions/photosynthesis-a-case-for-two-part-1-of-2/> sowie <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/movies-videos/photoredox-reactions/photosynthesis-a-case-for-two-part-2-of-2/> Letzter Zugriff jeweils: 14.01.2022.
- Das **Photo-LIKE-Material** (Gökkuş née Yurdanur) wurde für eine englischsprachige Zielgruppe adaptiert. Link: <https://chemiemitlicht.uni-wuppertal.de/en/gr-material-bundles/experimental-kits/photo-like/> (Letzter Zugriff: 14.01.2022)