



BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

# **Verstehens- und Rezeptionsprozess von Repräsentationen im Kontext gewerblich- technischer Berufsbildung**

**Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Philosophie (Dr. phil.)**

in der  
**Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik**

der  
**Bergischen Universität Wuppertal**

vorgelegt von  
**Ralf Erlebach** aus Gera

Wuppertal, 29.05.2024



gewidmet meiner erst kürzlich und unter sehr tragischen Umständen verstorbenen  
Großmutter **Ursula „Ursel“ Erlebach,**

die wahrscheinlich von allen Menschen dieser Welt am stolzesten über die erfolgreiche  
Promotion war und diese emotional mit den Worten kommentierte:

*„Wer hätte das gedacht!  
Großmutter, die in den Nachkriegsjahren, damals,  
noch nicht einmal die Volksschule beenden konnte –  
und nun haben wir einen Doktor in der Familie!“*

# Curriculum Vitae

## **Berufstätigkeit:**

Seit 12/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Didaktik der Technik an der Bergischen Universität Wuppertal

06/2016 - 11/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl WTH/S an der Universität Leipzig

03/2015 - 03/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Sprachenzentrum der Friedrich-Schiller-Universität Jena

09/2012 - 03/2015 Sprachlehrkraft Deutsch als Fremdsprache am Sprachenzentrum der Friedrich-Schiller-Universität Jena

09/2011 - 03/2015 Wissenschaftliche Hilfskraft in der Koordination des Fachbereichs Deutsch als Fremdsprache am Sprachenzentrum der Friedrich-Schiller-Universität Jena

09/2009 - 09/2011 Studentische Hilfskraft für den internationalen Masterstudiengang der Abbe School of Photonics, Friedrich-Schiller-Universität Jena, ab 05/2011

Wissenschaftliche Hilfskraft

## **Akademische Ausbildung:**

10/2013 - 09/2016 Studium MA Deutsch als Fremd- und Zweitsprache, Friedrich-Schiller-Universität Jena

09/2009 - 10/2013 Studium BA Deutsch als Fremdsprache / Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, Friedrich-Schiller-Universität Jena

04/2004 - 03/2005 Austauschstudium in Japan

10/2001 - 05/2011 Studium Dipl. Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Gesamtnote: sehr gut

## **Stipendien:**

04/2004 - 03/2005 JASSO-Stipendium (Kurzzeitstipendien der japanischen Regierung)

## **Auszeichnungen:**

11/2024 FESTO-Posterpreis Technikdidaktiksymposium 2024, Darmstadt

06/2024 Best-Paper-Award in Silber, MINT-Symposium 2024, Nürnberg

# Veröffentlichungen und Publikationsorgane

## Publikationen dieses Promotionsvorhabens

1. Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). *Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung*  
erschienen in: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 38  
Review-Prozess: Herausgeber-Review, verblindet
2. Erlebach, R., & Frank, C. (2021). *Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen*  
erschienen in: Journal of Technical Education (JOTED), 9(2), 59–86  
Review-Prozess: Peer-Review, doppelt verblindet
3. Erlebach, R., & Frank, C. (2022). *Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen: Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview*  
erschienen in: Unterrichtswissenschaft, 50, 479–516  
Review-Prozess: Peer-Review, doppelt verblindet

Einbindung der Publikationen in den Manteltext:

Die oben genannten Publikationen sind in den Manteltext integriert, wobei Teil I des Manteltextes der Einleitung und der Darstellung der theoretischen Grundlagen und des Forschungsstandes dient. In Teil II wird die Entwicklung des Modells unter Integration der Publikationen 2 und 3 vorgestellt. Das Modell und somit beide Publikationen werden in Teil II im Rahmen der Validitätsbetrachtungen diskutiert. In Teil III liegt der Schwerpunkt darauf, den praktischen Nutzen des Modells anhand von Publikation 1 für die Planung von Lehr- und Lernprozessen aufzuzeigen und hierauf aufbauend weitere Anwendungspotenziale zu diskutieren. In Teil V werden übergreifend alle drei Publikationen zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

## **weitere Publikationen des Promotionskandidaten**

- Erlebach, R., & Hoch, J. (2017). *Digitalisierung in der berufsschulischen Ausbildung. Stand, Möglichkeiten und Entwicklungen* erschienen in: BAG-Report, 2017(2), 16–21
- Erlebach, R., & Frank, C. (2018). *Analyse und Klassifikation technischer Repräsentationen in Lehrbüchern* erschienen in: C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht. Normative und empirische Dimensionen* (Bd. 38, S. 695–698)
- Kahl, A., Frank, C., & Erlebach, R. (2021). *Eine kritische Untersuchung arbeitsschutzbezogener Lehrinhalte in Lehrbüchern metalltechnischer Ausbildungsberufe* erschienen in: *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 71(2), 86–96
- Erlebach, R., & Frank, C. (2023). *Adaptives Lernen in der Studieneingangsphase (ALiSe). Bedingungen und Konzeption des digitalen Selbstlernsystems* erschienen in: *Tagungsband zum 5. Symposium zur Hochschullehre in den MINT-Fächern*, 35–43
- Bring, P., Erlebach, R., Frank, C., & Naumann, J. (2023). *Absicherung der Studierfähigkeit in der Studieneingangsphase. Modellierung mathematischen Schulvorwissens* erschienen in: *Tagungsband zum 5. Symposium zur Hochschullehre in den MINT-Fächern*, 25–34
- Bring, P., Erlebach, R., Frank, C., & Naumann, J. (2024). *Einfluss mathematischen Schulvorwissens auf den Studienerfolg im ersten Fachsemester in ingenieurstechnischen Studienfächern* erscheint in: *Konferenzband zur 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023. 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023, Dresden*
- Klein, C., Bring, P., Volk, J., Hermle, P., Erlebach, R., & Frank, C. (2024). *Einfluss der User Experience bei der Erprobung eines adaptiven Lernsystems im ersten Fachsemester* erscheint in: *Konferenzband zur 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023. 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023, Dresden.*
- Volk, J., Erlebach, R., & Frank, C. (2024). *Absicherung der Studierfähigkeit. Konzeption der digitalen, adaptiven Lernumgebung „ALiSe“* erscheint in: *Konferenzband zur 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023. 17. Ingenieurpädagogische Jahrestagung 2023.*
- Bring, P., Erlebach, R., Frank, C. & Naumann, J. (eingereicht). *Defizite im Schulvorwissen digital aufarbeiten lassen. Kann das in Eigenverantwortung gut gehen? Konzept zur Evaluation der integrierten ALiSe-Selbstlernumgebung für Mathematik und Deutsch* erscheint in: T. van Treeck, B. Szczyrba, S. Hechemer, R. Hochmuth, N. Schaper (Hrsg.). *Prototyp Zukunft - Lösungen für eine transformative Lehre im Format Scholarship, Forschung und Innovation in der Hochschulbildung.*

- Schwarz, A., Erlebach, R., & Frank, C. (eingereicht). *Absicherung der Studierfähigkeit in der Studieneingangsphase. Modellierung sprachlichen Schulvorwissens*  
erscheint in: T. van Treeck, B. Szczyrba, S. Hechemer, R. Hochmuth, N. Schaper (Hrsg.). *Prototyp Zukunft - Lösungen für eine transformative Lehre im Format Scholarship, Forschung und Innovation in der Hochschulbildung.*
- Erlebach, R., Frank, C., & Naumann, J. (eingereicht). *Vorwissen als kognitive Anforderungen für das Lernen mit externalen Repräsentationen. Modellvalidierung mittels Analyse von Lehrbüchern metalltechnischer Ausbildungsberufe*  
erscheint in: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*

## Zusammenfassung

Das Promotionsvorhaben befasst sich mit dem „*representational dilemma*“ innerhalb der Didaktik der Technik: Sowohl zum selbstständigen Erwerb neuen Wissens als auch zum Lösen neuer Probleme bedarf es externaler Wissensträger, wie gesprochener oder geschriebener Sprache, mathematischen Symbolen oder grafischen Abbildungen. Diesen ist gemein, dass sie in ihrer Funktion auf etwas anderes verweisen: sowohl auf Dingliches wie zum Beispiel den Originalgegenstand, als auch auf Konzeptuelles, wie quantitative Abhängigkeiten oder kausale Wirkzusammenhänge. Um diese Repräsentationsformen – seien sie sprachlich-symbolischer oder piktorial-grafischer Natur – jedoch bestmöglich zu verstehen, ist domänen-spezifisches Vorwissen notwendig. Ebenso muss der „Leser“ dieser Repräsentationen mit deren Konventionen und Funktionen vertraut sein. Die durch das „*representational dilemma*“ aufgeworfene Frage lautet also: Wie also können Lernende aus externalen Repräsentationsformen Wissen gewinnen, wenn sie diese (aufgrund mangelnden Vorwissens) nicht vollständig verstehen können?

Daher soll für die Domäne Technik untersucht werden, welches Wissen im Rezeptionsprozess von Repräsentationen notwendig wird bzw. gezielt zu vermitteln ist, um Lernende dabei zu unterstützen, mit externalen Repräsentationen kompetent umzugehen und diese für den Wissenserwerb zu nutzen.

## Abstract

The doctoral thesis is concerned with the "representational dilemma" within the didactics of technology: both the independent acquisition of new knowledge and the solving of new problems require external knowledge carriers, such as spoken or written language, mathematical symbols, or graphic illustrations. What these representations have in common is that they refer to something else in their function: to something tangible, such as the original object, as well as to something conceptual, such as quantitative dependencies or causal relationships. However, in order to best understand these forms of representation - whether they are linguistic-symbolic or pictorial-graphic in nature - domain-specific prior knowledge is necessary. The "reader" of these representations must also be familiar with their symbols and functions. The question raised by the "representational dilemma" is therefore: How can a learner gain knowledge from external forms of representation if they cannot fully understand them (due to a lack of prior knowledge)? Therefore, for the domain of technology, the aim is to investigate what knowledge is necessary in the reception process of representations or should be specifically conveyed in order to support learners in dealing competently with external representations and using them to acquire knowledge.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Curriculum Vitae</b> .....	<b>IV</b>
<b>Veröffentlichungen und Publikationsorgane</b> .....	<b>V</b>
Publikationen dieses Promotionsvorhabens .....	V
weitere Publikationen des Promotionskandidaten .....	VI
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Teil I: Lernen mit Repräsentationen</b> .....	<b>1</b>
1. Problemkontext und Einleitung .....	1
1.1 Herausforderungen an Schnittstellen des Bildungssystems .....	2
1.2 Externale Repräsentationen als Bestandteil technischen Handelns.....	3
2. Stand der Forschung .....	5
2.1 Modelle zu Funktion und Funktionalität von Repräsentationen .....	5
2.1.1 Einzelrepräsentationen.....	5
2.1.2 Multiple Repräsentationen.....	7
2.1.3 Zusammenfassung Modellierungen.....	8
2.2 Kognitionspsychologischer Verarbeitungsprozess .....	9
2.3 Interventionsstudien zur Unterstützung der Repräsentationsverarbeitung .....	11
2.3.1 Einfluss des Vorwissens auf die Repräsentationsverarbeitung.....	12
2.3.2 Einfluss der Repräsentationsverarbeitung auf den Wissenserwerb.....	14
2.3.3 Einfluss (weiterer) Repräsentations- und Personenmerkmale .....	19
3. Forschungsdesiderat und Zielstellung.....	21
<b>Teil II: Modellentwicklung und -validierung</b> .....	<b>23</b>
4. Vorwissen bei der Rezeption von Repräsentationen .....	23
4.1 Artikel: Verarbeitungsprozesse bei Repräsentationen unter Berücksichtigung des Vorwissens (Erlebach & Frank, 2022) .....	24
4.2 Zwischenfazit .....	63
5. Modellierung technischen Vorwissens .....	63
5.1 Artikel: Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen (Erlebach & Frank, 2021) .....	64
5.2 Zwischenfazit .....	97
6. Modellvalidierung und Diskussion .....	97
6.1 Validität.....	97
6.2 Vorgehen .....	98
6.2.1 Sample-Strategie .....	98

6.2.2 Auswertung.....	99
6.3 Ergebnisse.....	100
6.4 Fazit zur Modellvalidierung.....	101
<b>Teil III: Praxisorientierte Anwendung.....</b>	<b>102</b>
7. ArTWin in der Planung von technischen Lehr- und Lernsettings .....	102
7.1 Artikel: Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung (Erlebach et al., 2020) .....	102
7.2 Zwischenfazit .....	135
8. ArTWin: Diskussion spezifischer Anwendungen im Bereich der Analyse technischer Repräsentationen .....	135
8.1 Anwendung auf Ebene einer konkreten Repräsentation oder Repräsentationseinheit ...	135
8.2 Anwendung auf Ebene von Repräsentationsformen .....	137
<b>Teil IV: Schlussbemerkungen.....</b>	<b>140</b>
9. Zusammenfassung des Dissertationsvorhabens.....	140
10. Rückblickender Ausblick.....	141
<b>Literatur .....</b>	<b>143</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>150</b>

# Teil I: Lernen mit Repräsentationen

## 1. Problemkontext und Einleitung

Prognosen sowie aktuelle Arbeitsmarktzahlen zeigen, dass ein langfristiger Engpass an qualifizierten Arbeitskräften für technische Berufe existiert (Brenke, 2010; Heidemann, 2012). So weist der aktuelle Ingenieursmonitor des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und des Instituts für Deutsche Wirtschaft (IW) trotz einer leichten Tendenz zur Entspannung für das 3. Quartal 2023 ein Verhältnis von 397 offenen Stellenangeboten auf 100 Arbeitssuchende aus (VDI & IW, 2024). Abbildung 1 stellt die langfristige Entwicklung dieses Verhältnisses in Relation zum 1. Quartal 2011 dar. Auch in der aktuellen Engpassanalyse des Bundesamtes für Arbeit (2023) werden für die beschäftigungsstarken Berufe, die i. d. R. einen Studienabschluss erfordern, Engpässe u. a. für Berufe

- in der Softwareentwicklung,
- in der Elektrotechnik,
- in der Architektur, Bauplanung und -überwachung sowie
- Lehrkräfte für berufsbildende Fächer

festgestellt. Ferner sind Engpässe u. a. für die Ausbildungsberufe

- in der Kraftfahrzeugtechnik,
- im Metallbau,
- in der Elektrotechnik,
- in der Elektroinstallation,
- in der IT-Systemadministration und Softwareentwicklung,
- in der Informations-, Telekommunikationstechnik sowie
- Aufsicht und Führung – Fahrzeug-, Luft-, Raumfahrt- und Schiffbautechnik

zu verzeichnen. Kurz gesagt: Es besteht ein Mangel an Ingenieur:innen und Fachkräften in allen technischen Berufszweigen.

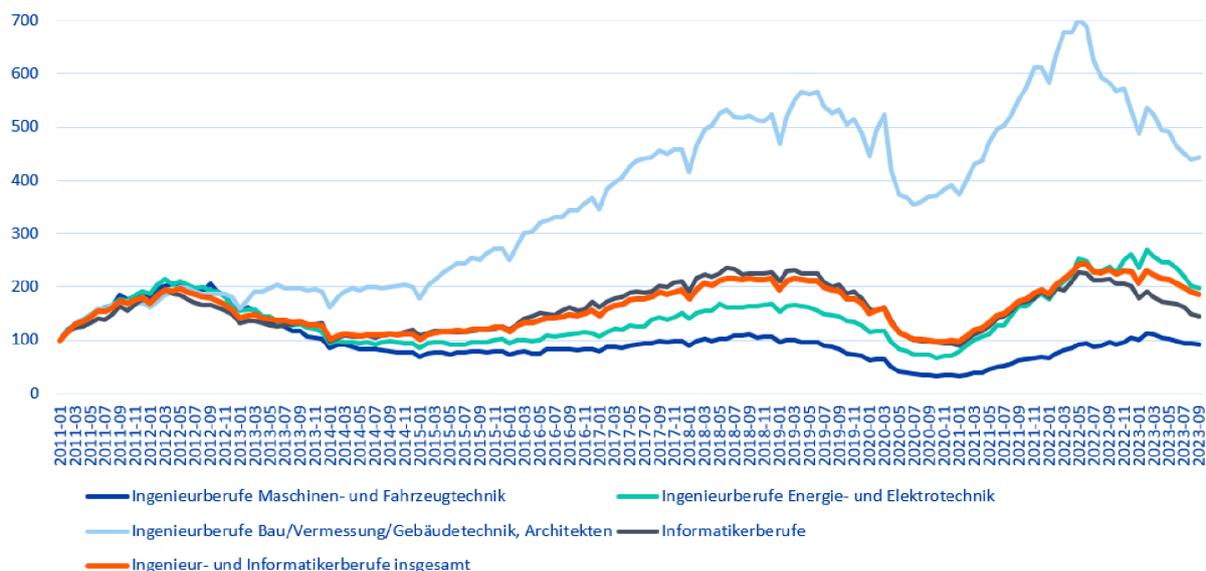


Abbildung 1: relative Entwicklung des Stellen-zu-Arbeitssuchenden-Verhältnisses für Ingenieurberufe, Q1 2011 dient als Vergleichsbasis (VDI & IW, 2024)

## 1.1 Herausforderungen an Schnittstellen des Bildungssystems

Diese gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen lenken den Blick auf die Bedingungen in den jeweiligen Ausbildungswegen. Hier zeigt sich, dass dem Bedarf im Arbeitsmarkt in den ingenieurwissenschaftlichen Studienfächern eine im Vergleich zu anderen Fachrichtungen hohe Abbruchquote entgegensteht – statistisch scheidet eine:r von drei FH-Studierenden aus seinem Bachelor-Studienjahrgang vorzeitig aus, an Universitäten betrifft es sogar fast jede:n Zweite:n von fünf Studienanfänger:innen (Heublein et al., 2014, 2022). Als häufiger Grund für einen Studienabbruch oder Fachwechsel werden dabei Leistungsprobleme genannt (Heublein et al., 2009).

Auch das Ausbildungssystem ist von der Problematik der Abbrüche betroffen, wenngleich sich die berichteten Abbruchquoten tendenziell etwas besser darstellen. So bricht in den Metall- und in den Elektroberufen nur jede:r Vierte bzw. Fünfte ab (Autorengruppe Bildungsberichterstattung, 2014). Als statistisches Indiz für einen Abbruch wird dabei häufig die Quote an Ausbildungsvertragsauflösungen herangezogen. Die Gründe für eine solche Vertragsauflösung sind jedoch wesentlich komplexer – in Befragungen von Auszubildenden wird eine Diskrepanz zwischen Leistungsvermögen und Leistungsanspruch häufig erst nach interpersonellen Problemen mit Ausbilder:innen oder Kolleg:innen sowie unzufriedenstellende Rahmenbedingungen auf der Arbeitsstelle und in der Berufsschule benannt (Piening et al., o. J., 2012; Rohrbach-Schmidt & Uhly, 2015; vgl. auch Uhly, 2015).<sup>1</sup> Dennoch sind leistungsbezogene Ursachen nicht zu vernachlässigen: Speziell die in der Ausbildung verbliebenen Gruppen an Auszubildenden im dritten und vierten Ausbildungsjahr berichten vermehrt von Überforderung und Sorgen um das Bestehen der Abschlussprüfung (Schuster, 2016). Ebenso zeigt sich, dass – im Gegensatz zu vielen anderen Berufsgruppen – in den technischen Berufsfeldern mit Ausnahme der Elektroberufe die Vertragsauflösungen mit zunehmender schulischer Vorbildung deutlich abnehmen (Autorengruppe Bildungsberichterstattung, 2016, Teil Tab. E4-7web). Daher kann vermutet werden, dass der Grad der Vorbildung entscheidend für den Verbleib in der Ausbildung und den Erfolg in dieser ist – und damit auch das für technische Berufe notwendige Vorwissen und die notwendigen Fähigkeiten zur Problemlösung und Überwindung von Verständnisschwierigkeiten.

Aus Sicht der Didaktik stellt sich somit die Frage, worin für angehende Fachkräfte und Ingenieur:innen<sup>2</sup> die Unterschiede zwischen der eigenen Leistungsfähigkeit und den Leistungsanforderungen im technischen Bereich begründet liegen. Einerseits kann man der Argumentationslinie folgen, dass unterschiedlich ausgeprägtes Vorwissen der Auszubildenden zu einer hohen Heterogenität in den Berufsschulklassen führt. Unter ungünstigen Rahmenbedingungen fördert dies das berichtete Gefühl der Unter- oder Überforderung der Lernenden. Zudem ist bekannt, dass speziell schulische Vorbildung in den Naturwissenschaften einen starken Prädiktor für den Erwerb fachlichen Wissens in der Ausbildung darstellt (Frank et al., 2016, 2017).

Andererseits liegt hinsichtlich der besonders in der fortgeschrittenen Ausbildung berichteten Sorgen um die eigenen Leistungen (Schuster, 2016) jedoch auch die Vermutung nahe, dass die schulischen Lerngelegenheiten und die für diese eingesetzten Lernmaterialien möglicherweise nur ineffektiv genutzt werden. Das führt dazu, dass das

---

<sup>1</sup> Ähnlich lesen sich die ausbilderseitigen Befragungsergebnisse: Noch vor Leistungsproblemen stehen Probleme mit Zuverlässigkeit oder mangelndem Engagement der Auszubildenden als Grund für eine Vertragsauflösung.

<sup>2</sup> Die im generischen Maskulinum bezeichneten Berufstätigen schließen weibliche Arbeitskräfte in diesem Berufsfeld ausdrücklich mit ein.

zu erlernende Wissen nur unzureichend erworben wird und zu Beginn der Ausbildung bestehende Vorwissensdefizite nicht abgebaut werden.

Das zu erlangende Wissen ist dabei im Lehrmaterial sowie in anderen externen Quellen in verschiedenen Formen dargestellt, u. a. als natürliche Sprache, in grafischer Form oder durch mathematisch-symbolische Notation. Diese Darstellungsformen werden im Folgenden als externe Repräsentation bezeichnet.

Oftmals liegen lernrelevante Informationen im zu bearbeitenden Material auf verschiedene Repräsentationsformen verteilt vor und die Zusammenhänge zwischen diesen müssen von Lernenden während der Verarbeitung aktiv erschlossen werden. Notwendig zum Lernen ist also die Fähigkeit, Wissen aus diesen externalen Repräsentationen zu entnehmen, in andere Repräsentationsformen zu überführen, diese zu manipulieren oder zwischen diesen inhaltliche Beziehungen zu erkennen. Eine solche Fähigkeit zur Manipulation, Überführung oder Verknüpfung von Repräsentationen wird als repräsentationale Kompetenz oder Repräsentationskompetenz bezeichnet (Kozma & Russell, 1997; Rau, 2017). Mit anderen Worten: Neben lückenhaftem Inhaltsvorwissen und ggf. motivationalen Aspekten führt speziell ein Mangel an repräsentationaler Kompetenz dazu, dass Lerngelegenheiten nur unzureichend genutzt werden und das darin angebotene Wissen nicht erfolgreich erschlossen wird. Im Umkehrschluss ist somit zu vermuten, dass Leistungsdefizite teilweise auch durch einen Mangel an Repräsentationskompetenz bedingt sind.

Im Hinblick auf die technische Ausbildung wird im Folgenden erläutert, warum Repräsentationskompetenz für das technische Handeln besonders bedeutsam ist und als Untersuchungsgegenstand gewählt wurde.

## 1.2 Externale Repräsentationen als Bestandteil technischen Handelns

Dass sich mangelnde Repräsentationskompetenz speziell in technischen Berufsfeldern als hinderlich erweist, lässt sich aus der Natur des zielgerichteten technischen Handelns heraus begründen: Technisches Handeln und technische Fertigkeiten zielen grundsätzlich auf das Lösen materieller Probleme mithilfe und durch die Entwicklung technischer Sachsysteme ab (Ropohl, 2009). Im Rahmen dieser Problemlöseprozesse spielen Repräsentationen eine entscheidende Rolle. Didaktische und bildungspolitische Akteure haben zum Teil bereits auf diesen Umstand reagiert. So spiegelt sich auf übergeordneter Ebene die Arbeit mit Repräsentationen u. a. in Lehrplananforderungen wie den VDI-Standards für den ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchs (VDI, 2007) sowie den amerikanischen *Next Generation Standards for Science in Education* (NGSS) (Quinn et al., 2012) wider.

Zur Funktion externaler Repräsentationen<sup>3</sup> im ingenieurstechnischen Handlungsfeld liegen bereits etliche empirische Evidenzen vor, welche zum einen deren spezifische Merkmale im **produktiven Gebrauch** unterstreichen. So wird konzeptuelles Verstehen durch eine Vielzahl an unterschiedlichen, im Problemlösungsprozess eingesetzten Repräsentationen unterstützt (Alabi et al., 2013). Als verbindende Kommunikationsmittel ermöglichen Repräsentationen bereichsübergreifende Arbeit von Ingenieur:innen und Entwickler:innen (Henderson, 1991) und integrieren verschiedene Aspekte von Funktionalität und Design (Juhl & Lindegaard, 2013). Es lässt sich feststellen, dass mit dem Übergang von einer Repräsentationsform der Problemstellung zur nächsten der

---

<sup>3</sup> z.T. in der Literatur auch als „*inscription*“ (Johri et al., 2013) oder als „Beschreibungsmittel“ (Schnieder & Schnieder, 2013) bezeichnet. Nicht in dem Begriff enthalten sind somit Abbildungen, die dekorativen bzw. illustrativen Zwecken dienen.

Grundstein zur weiteren Elaboration gelegt wird und damit ein Schritt hin zur Problemlösung stattfindet (McCracken & Newstetter, 2001; Moore et al., 2013).

Andererseits ist zugleich aus der einschlägigen Literatur bekannt, dass im **rezeptiven Gebrauch** der Einsatz multipler externaler Repräsentationen das Verstehen und somit den Wissenserwerb allgemein unterstützt. Dies kann jedoch nur stattfinden, wenn dem Nutzer die zugrundeliegenden Regeln und Symboliken sowie zum Verständnis notwendigen Konzepte und Wissensbestände verfügbar sind. Ferner ist davon auszugehen, dass ebenso die notwendigen Prozeduren für die grafische Verarbeitung dieser Repräsentationen internalisiert sein müssen. Das erfolgreiche Erschließen eines kohärenten Sinns zwischen den einzelnen, zur Verfügung stehenden Repräsentationen führt zu einer Ausbildung eines mentalen Modells und darüber hinaus zum Aufbau von Lösungsschemata. Diese orientieren sich nicht an Oberflächenmerkmalen des Problems, sondern an einem konzeptuell-orientierten Kategoriensystem aus (Anzai, 1991; Chi et al., 1981; Koedinger & Anderson, 1990; Kozma & Russell, 1997), welches als entscheidendes Charakteristikum von Experten-Wissen herausgearbeitet wurde.<sup>4</sup>

Es ist bekannt, dass der Erwerb repräsentationaler Kompetenz keineswegs einen Automatismus der Fachausbildung darstellt: Bowen und Roth (2002) konnten beispielsweise keine Parallelentwicklung zwischen einem vermehrten Einsatz von multiplen Repräsentationen in den Lehrmaterialien und der Fähigkeit der Lernenden, diese Angaben folgerichtig zu interpretieren, feststellen. Derartige Befunde werden gleichfalls mit festgestellten Schwierigkeiten im Umgang mit grafischen Repräsentationen in Lehrbüchern in der frühen Schulbiografie von Lernenden weiter untermauert (E. McTigue & Croix, 2010; E. M. McTigue & Flowers, 2011; Slough et al., 2010). Gleichzeitig geben Ergebnisse einer Befragung von Schüler:innen zum Lehrbuch des sog. „Karlsruher Kurs“ erste Hinweise, dass ein gut durchdachter Einsatz grafischer Repräsentationen abseits farbig-illustrierender Lehrbuchgestaltung auch von Schüler:innen als lernförderlich eingeschätzt wird (Starauschek, 2003).

Zusammenfassend ist hervorzuheben, dass ein kompetenter Umgang mit Repräsentationen eine fundamentale Fertigkeit für das Lösen technischer Probleme sowie den Erwerb von Wissen darstellt. Repräsentationskompetenz ist somit eine Schlüsselrolle in der technischen Ausbildung zuzuschreiben. Gleichzeitig kann diese notwendige Kompetenz bei Noviz:innen nicht automatisch vorausgesetzt werden; sie sollte als Teil des zu erwerbenden Kompetenzspektrums stattdessen gezielt vermittelt werden. Diese als „*repräsentational dilemma*“ bezeichnete Interdependenz zwischen externalen Repräsentationen und Wissen lässt sich in den beiden zugespitzten Fragen formulieren (Ainsworth, 2008; Rau, 2017):

*Wie können Lernende mittels Repräsentationen, deren Inhalt oder Funktionsweise sie nicht vollumfänglich verstehen, erfolgreich Wissen erwerben?*

Konstruktiv und aus didaktischem Blickwinkel formuliert sich das so:

*Wie können Lernende befähigt werden, ihnen wenig vertraute repräsentierte Inhalte (besser) zu verstehen?*

---

<sup>4</sup> Diese wenig saliente, kognitive Diskrepanz zwischen Expert:innen und Noviz:innen führt dazu, dass Noviz:innen trotz Hilfestellungen nicht die Verarbeitungstiefe von Expert:innen erlangen können, und wird im Folgenden als „Experten-Novizen-Dilemma“ bezeichnet.

## 2. Stand der Forschung

Technische Repräsentationen sind in der Praxis von hoher Relevanz und werden von Expert:innen funktional genutzt. Im Rahmen von Lehr- und Lernprozessen ist zu beobachten, dass Lernende oftmals Schwierigkeiten bei der Nutzung technischer Repräsentationen haben und die in den Repräsentationen enthaltenen Informationen nur unzureichend dekodieren können. Im didaktischen Diskurs jedoch werden Repräsentationen, wie beispielsweise Abbildungen, als grundsätzlich lernwirksam begriffen, da sie in der Regel das Textverständnis erleichtern (Levie & Lentz, 1982). Tatsächlich stellt der Einsatz von Repräsentationen innerhalb von Lernprozessen ein fundamentales Prinzip dar. So fasst das von Mayer (1993) aufgestellte Multimedia-Prinzip, wonach Texte mit Abbildungen besser verstanden werden als illustrationlose Texte, eine empirisch gut untermauerte Befundlage zusammen. Das Multimedia-Prinzip gilt zudem auch dann, wenn die Abbildungen den Sachverhalt in abstrakter Weise wiedergeben (Eitel et al., 2013).

Die sich daraus ergebende Frage lautet: Warum entfalten die eigentlich als lernwirksam anerkannten Repräsentationen im Rahmen technischer Lehr- und Lernprozesse oftmals nicht die ihnen zugeschriebene Lernwirkung? Um dieser Frage nachzugehen, wird im Folgenden der Forschungsstand zu potenziellen Einflussfaktoren auf die Verarbeitung von Repräsentationen dargestellt. In der Literatur lassen sich drei Forschungslinien ausmachen, welche lange Zeit weitgehend voneinander getrennt betrachtet und im Folgenden hinsichtlich der zuvor aufgeworfenen Fragestellung synthetisiert erörtert werden: eine diskursive Forschungslinie zur Funktion und Funktionalität von Repräsentationen, eine kognitionspsychologische Forschungslinie sowie eine quantitative Forschungslinie um einzelne Interventionsstudien mit dem Ziel der Unterstützung der Repräsentationsverarbeitung.

### 2.1 Modelle zu Funktion und Funktionalität von Repräsentationen

Um der Frage nachzugehen, wodurch die Repräsentationsverarbeitung bei Lernenden gestört wird, und zu keinem Wissenserwerb führt, wird als Ausgangspunkt der zugrundeliegende Verarbeitungs- bzw. Lernprozess, wie in Abbildung 2 dargestellt, als einfaches Lern-Modell für die Repräsentationsverarbeitung betrachtet.

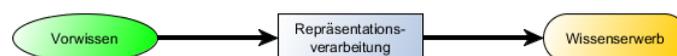


Abbildung 2: einfaches Lern-Modell für die Repräsentationsverarbeitung

Ziel ist es im Folgenden, Faktoren zu identifizieren und ggf. zu differenzieren, welche den erfolgreichen Wissenserwerb durch externale Repräsentationen beeinflussen. Dazu wird zunächst das DeFT-Framework von Ainsworth (2006) als das zentrale Modell für die Verarbeitung und den Einsatz von Repräsentationen herangezogen und ausgewertet. Abhängig davon, ob die Verarbeitung einer oder multipler Repräsentationen untersucht wird, beeinflussen verschiedene Aspekte sowie begleitende Faktoren die Repräsentationsverarbeitung. Daher wird zunächst der Blick auf eine einzelne Repräsentation gelegt, bevor der Verarbeitungsprozess multipler Repräsentationen in den Fokus genommen wird.

#### 2.1.1 Einzelrepräsentationen

Mit Blick auf die Verarbeitung einer einzelnen Repräsentation bietet das DeFT-Framework von Ainsworth (2006) eine nach den Kategorien Funktion (*function*), Aufgabe (*task*) und

Kontext (*design*) gegliederte Übersicht relevanter Variablen für die Beschreibung der Repräsentationsverarbeitung (siehe Abbildung 3).

Ainsworths Framework erweitert zum einen die einfache Verständnismodellierung durch Charakteristiken der Person und der Repräsentation, zu finden in der Kategorie „Aufgabe“. Konkret sind dies zum einen personenbezogene Merkmale wie Alter und (unter anderem mit diesem einhergehend) individuelle kognitive Unterschiede, zum anderen differenziert es das Vorwissen bezüglich domänenspezifischer Wissensbestände als auch Vorwissen und Arbeitserfahrungen mit der jeweils gegebenen Repräsentationsform weiter aus. Insbesondere mit der Auflistung möglicher Repräsentationsmerkmale stellt das Framework einen substanziellen Beitrag zur Erweiterung des oben dargestellten einfachen Lern-Modells zur Verfügung. Hierzu zählen Modalität bzw. die Frage nach dem Trägermedium, die konkrete Repräsentationsform (Typ, Dimensionalität, Grad an Animation) sowie das Abstraktionsniveau. Innerhalb des DeFT-Frameworks wird der Aspekt, ob die Repräsentation in den jeweiligen kontext-erzeugenden Begleittext integriert oder als eine abgegrenzte Einheit präsentiert wird, auch als ein Repräsentationsmerkmal klassifiziert, obgleich dieses Merkmal ebenso den Aspekt der konkreten inhaltlichen und gestalterischen Einbindung in der Kategorie „Kontext“ betrifft.

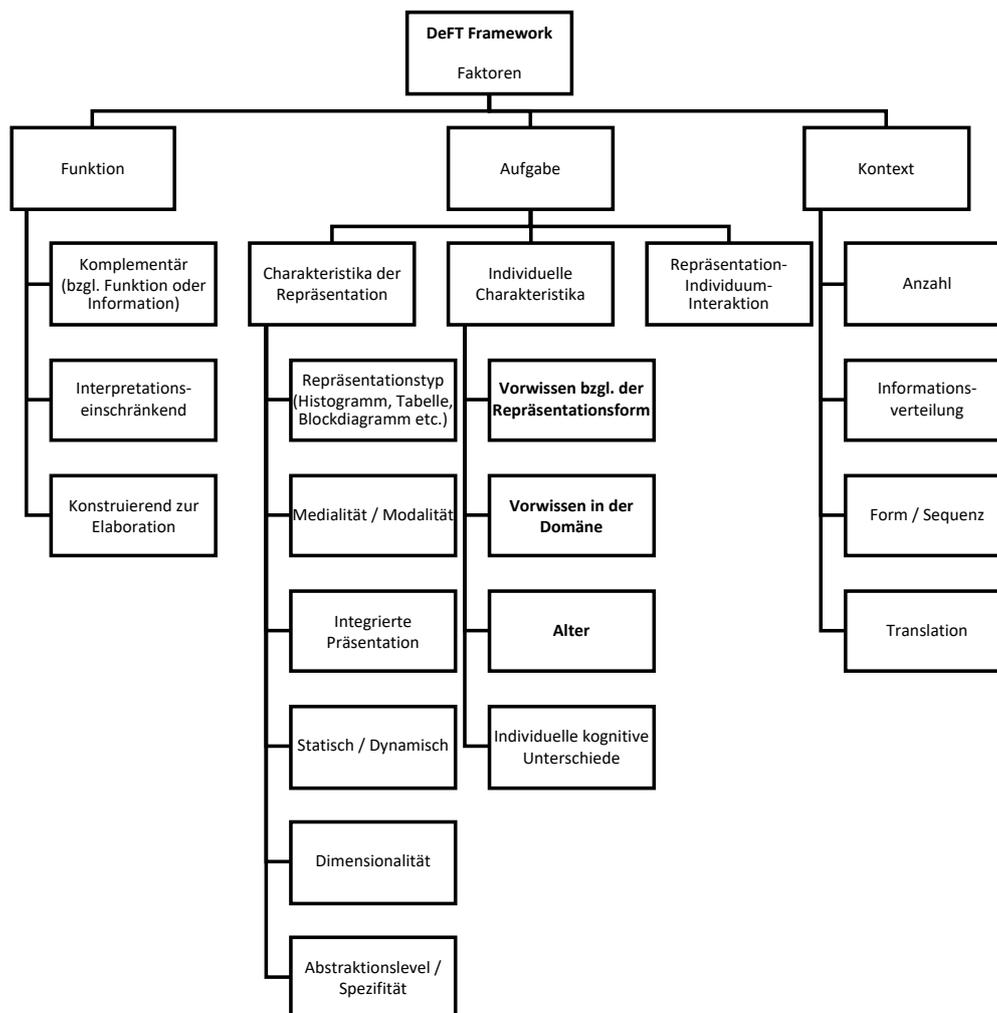


Abbildung 3: Übersichtliche Darstellung der Faktoren des Design-Function-Task-Frameworks (DeFT) nach Ainsworth (2006)

Zum anderen unterscheidet das Framework in der Kategorie „Kontext“ zwischen inhaltlichen Aspekten und Fragen der Gestaltung, wobei der Grenzbereich zwischen dem

Fokus auf eine Repräsentation und dem auf den Verbund mehrerer Repräsentationen und deren Zusammenspiel betreten wird. So tritt zu dem oben bereits dargestellten Aspekt, ob eine integrierte oder isolierte Präsentation vorliegt, der hinzu, in welcher Reihenfolge die Repräsentation in Bezug auf andere Repräsentationsformen dargeboten wird und wie viele Repräsentationen insgesamt eine solche Sequenz bilden.

Wesentlich entscheidender sind jedoch die inhaltlichen Aspekte des kontextuellen Verbundes von Repräsentationen, die im DeFT-Framework in der Kategorie „Funktion“ dargestellt werden. Hierbei ist zunächst die Verteilung von Informationen auf die verschiedenen Repräsentationen zu nennen. Vor dem Hintergrund dieser Informationsverteilung erfüllt jede einzelne Repräsentation eine oder mehrere der folgenden Funktionen:

- *komplementär*: Die Repräsentation unterstützt das Verständnis, durch die Erweiterung der vorhandenen Angaben aus dem Kontext mittels ergänzender Informationen (*inhaltliche Komplementarität*) oder indem sie der Rezipientin oder dem Rezipienten andere kognitive Verarbeitungswege anbietet (*prozedurale Komplementarität*).
- *einschränkend*: Die Repräsentation schränkt mögliche Ambiguitäten ein, indem beispielsweise durch eine grafische Darstellung Lage und Distanzen eindeutig festgelegt werden.
- *konstruierend*: Die Repräsentation ermöglicht dem Rezipienten, Zusammenhänge zwischen den gegebenen und als Vorwissen bestehenden Informationen zu erkennen und somit neues Wissen zu konstruieren.

Weiterhin wird in der Kategorie „Kontext“ der Aspekt betrachtet, inwieweit die einzelnen Repräsentationen explizit durch die Gestaltung des Kontextes bzw. durch ihre eigene Gestaltung zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Dies wird im DeFT-Framework unter dem Punkt „Translation“ zusammengefasst. Auf diesen Aspekt wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

### **2.1.2 Multiple Repräsentationen**

Speziell der kontextuelle Verbund von Repräsentationen unterstreicht, dass ein Einsatz multipler Repräsentationen im Lernprozess – auch wenn diese inhaltsgleich sein sollten – sich positiv auf den Wissenserwerb auswirken kann. Dies gilt besonders dann, wenn sie unterschiedliche kognitive Funktionen unterstützen, beispielsweise unterstützt eine Tabelle die Entnahme einzelner Daten, während ein Diagramm den Vergleich von verschiedenen Datenpunkten oder das Erkennen von Tendenzen unterstützt. Diese grundsätzliche Lernförderlichkeit geht jedoch mit zusätzlichen kognitiven Kosten einher, schließlich müssen Rezipierende durch das Integrieren und Verarbeiten mehrerer Repräsentationen ein erheblich höheres Maß an kognitiver Auslastung auf sich nehmen und riskieren so die Ausschöpfung der limitierten kognitiven Ressourcen ihrer Arbeitsgedächtnisse. Dieses Phänomen lässt sich didaktisch als Elaborationsthese bezeichnen: Durch das Überführen einer Problemstellung in eine andere Darstellungsform, werden die Ursachen der Verständnisschwierigkeiten durch Merkmale der angemesseneren Repräsentationsform ausgeglichen. Dieser Wechsel des Repräsentationssystems eröffnet, wie das DeFT-Framework theoretisch darlegt, der Person, die die Repräsentationen verarbeitet, andere kognitive Funktionen zu nutzen, welche die Elaboration des Problems unterstützen. Der gewonnene Vorteil durch diese Unter-

stützung amortisiert dabei die auf sich genommenen kognitiven Kosten. Mit anderen Worten: Das Zusammenspiel zwischen dem Gebrauch von Repräsentationen und erfolgreichem Wissenserwerb wird durch ein erfolgreiches Verknüpfen verschiedener Repräsentationsformen miteinander bestimmt, welchem das konzeptuelle Verstehen dann folgt.

Diese These wird auch durch das Lesh-Translation-Modell (siehe Abbildung 4, links) verdeutlicht (Lesh, 1981; Lesh & Doerr, 2003), welches dem Bereich Mathematik-Didaktik entstammt. Das Modell geht für die Domäne Mathematik von fünf Repräsentationssystemen aus, deren repräsentierte Inhalte im Rahmen von Problemlöseprozessen durch Repräsentationsübergänge aktiv ineinander überführt und miteinander verknüpft werden müssen. Diese betonten Übergänge sind dabei sowohl für die Ausbildung eines mentalen Modells des Problems als auch für das Vorgehen zur Problemlösung entscheidend (Lesh & Doerr, 2003). Ebenfalls liegen für den Fachbereich Physik mit dem Ebenen-Modell von Leisen (1998, 2005) sowie für den Fachbereich Chemie dem von Johnstone (1991) weitere fachspezifische, repräsentationale Kategoriensysteme vor, für die Domäne Technik fehlt eine derartige Kategorisierung bislang.

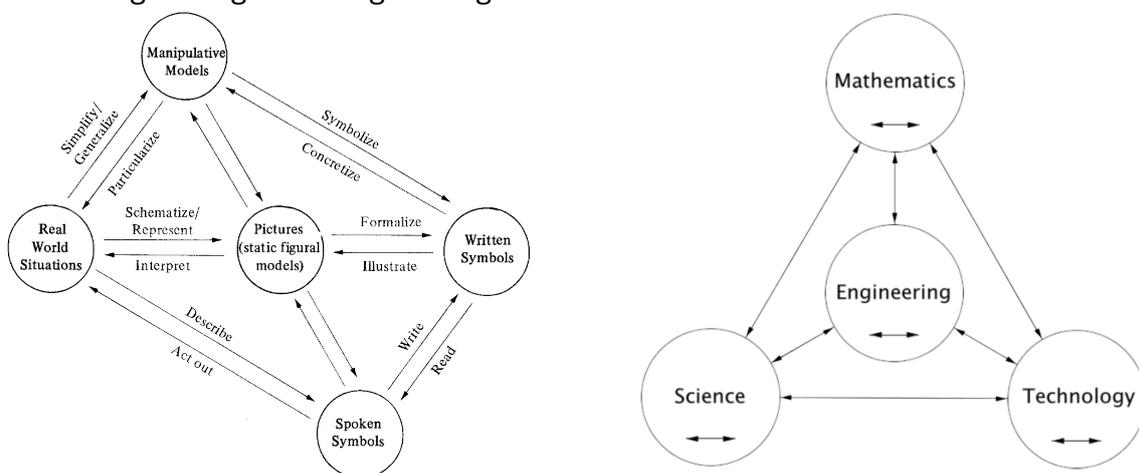


Abbildung 4: Lesh-Translation-Modell (li.) (Lesh, 1981) und STEM-Translation-Modell (re.) (Glancy & Moore, 2013)

Speziell für den Bereich der Technik ist dabei bereits bekannt, dass hinsichtlich der Repräsentationsformen noch eine weitere Schicht an Komplexität hinzukommt: Da Technik als Transdisziplin nicht nur auf facheigene Wissensinhalte und Darstellungsformen zugreift, sondern ebenso auf eine Vielzahl jener aus den entsprechenden Bezugswissenschaften (Ropohl, 2010), treten zu den innerdisziplinären zusätzlich *interdisziplinäre* Repräsentationsübergänge hinzu. Diese Verbindungen aus Technik, Naturwissenschaften und Mathematik/Informatik werden in Anlehnung an das Lesh-Modell durch Glancy und Moore (2013) im STEM-Integration-Modell<sup>5</sup> dargestellt, welches sowohl den Einbezug verschiedener Repräsentationsformen, als auch den der Bezugswissenschaften unterstreicht (siehe Abbildung 4, rechts).

### 2.1.3 Zusammenfassung Modellierungen

Aus den Modellierungen des DeFT-Frameworks sowie der Translations-Modelle lassen sich relevante Einflussfaktoren auf den Verarbeitungsprozess identifizieren, die sich aus den Verwendungskontexten ergeben. Namentlich sind dies die der Funktion und die der

<sup>5</sup> STEM bezeichnet im amerikanischen Bildungswesen mit *science, technology, engineering and mathematics* den interdisziplinären Ansatz der Technik.

benötigten Translationen im Verwendungskontext, sowie Merkmale der Repräsentationen und der Person. Ebenso wird durch das DeFT-Framework mit der Unterscheidung zwischen Sach- bzw. Domänen- sowie Repräsentationswissen das Vorwissen als Einflussfaktor ausdifferenziert. Das anfangs dargestellte einfache Lern-Modell der Repräsentationsverarbeitung kann somit, wie in Abbildung 5 dargestellt, um diese Einflussfaktoren erweitert werden.

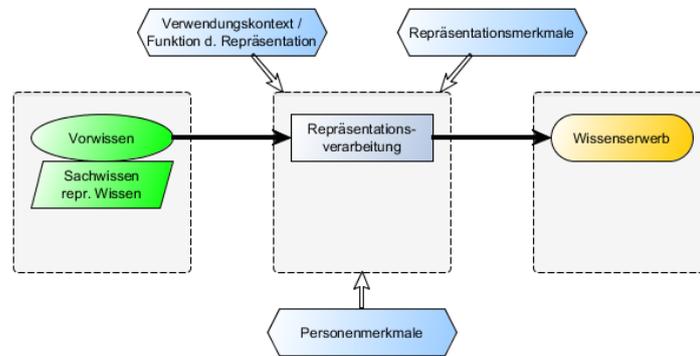


Abbildung 5: Um Einflussfaktoren erweitertes Modell der Repräsentationsverarbeitung

Um die Frage zu beantworten, unter welchen Umständen der Kontakt mit Repräsentation erfolgreich verläuft, muss geklärt werden, wie diese kognitiv verarbeitet werden. Daher bezieht sich dieses „wie“ nicht nur auf beobachtbare Handlungen, die im letzten Abschnitt dargestellt wurden – es sind vielmehr internale Vorgänge in den Fokus zu rücken, welche die kognitiven Wirkzusammenhänge erklären.

## 2.2 Kognitionspsychologischer Verarbeitungsprozess

Während das DeFT-Framework sowie die Translationsmodelle die eigentliche Verarbeitung von Repräsentationen als eine Black-Box betrachten und nicht näher aufzuklären, wird von der kognitionspsychologischen Forschungstradition gezielt die Prozesse bei der Verarbeitung untersucht. Zum Verständnis der Wirkmechanismen der Repräsentationsverarbeitung ist es somit notwendig, sich der Kognitionspsychologie zuzuwenden und die kognitiven Prozesse und deren Zusammenspiel mit dem mentalen Modell (Mayer, 1993; Scaife & Rogers, 1996) zu beleuchten.

Hierzu wird das Integrierte Modell des Bild- und Textverstehens (*IPTC, Integrated Model of Picture and Text Comprehension*, siehe Abbildung 6) von Schnotz und Bannert (2003) sowie von Schnotz (2014) herangezogen. Dieses Modell stellt einen Zusammenhang zwischen Vorwissen, Repräsentation und erworbenen Wissensbeständen her. Dazu modelliert es die Verarbeitungsschritte im Arbeitsgedächtnis in drei Ebenen:

- eine sensorische,
- eine oberflächenverarbeitende und
- eine tiefensemantische Ebene.

Zwischen jeder dieser Ebenen finden spezifische Prozesse statt: Während im Übergang von der sensorischen zur oberflächenverarbeitenden Ebene die Oberflächenmerkmale der Repräsentation identifiziert werden, erfolgt eine tiefensemantische Verarbeitung erst im Übergang zur tiefensemantischen Ebene, auf welcher propositionale Repräsentationen und das mentale Modell miteinander abgeglichen und verfeinert werden können.

Des Weiteren gliedert sich das Modell in zwei Verarbeitungsstränge. Dazu greift das Modell einerseits das Prinzip des Dual Codings (Paivio, 1990), des getrennten Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 2003, 2012) sowie die Cognitive Theory of Multimedia Learning

auf (Mayer, 2014), andererseits umfasst es in der oben dargestellten Verarbeitungsprozess bezüglich der drei Ebenen *Bottom-Up*- als auch *Top-Down*-Prozesse, d.h. daten-geleitete und vorwissensgeleitete Aspekte der Verarbeitung. Zu betonen ist dabei, dass – abgesehen von der sensorischen Ebene – die Inhalte nicht modalitätsspezifisch, also visuell versus auditiv aufgenommen, sondern durch das jeweils verwendete Kodierungssystem, deskriptional oder depiktional (Schnotz, 2001)<sup>6</sup>, differenziert werden. Die beide Verarbeitungswege stehen dabei jeweils in Korrespondenz. Diese kognitive Architektur ermöglicht es, sowohl die grundsätzlich positiven Effekte externaler grafischer Repräsentationen als auch die Schwierigkeiten im Umgang mit diesen durch Noviz:innen (aufgrund eines fragmentierten und oberflächenorientierten Vorwissens sowie fehlender tiefensemantischer Prozeduren etc.) zu erklären.

Aus dem Modell lässt sich ableiten, dass nicht nur für das Verarbeiten von deskriptionalen Inhalten Wissensbestände im *Top-Down*-Verfahren aktiviert werden (Lutjeharms, 2010; Verhoeven & Perfetti, 2008), sondern auch für die depiktionalen. Bei diesen handelt es sich einerseits um perzeptuelle Schemata, die eine Wiedererkennung realer Gegenstände in den Abbildungen ermöglichen (Dilworth, 2004; Schnotz, 2014), andererseits um kognitiv-räumliche Fähigkeiten (*spatial ability*) zum räumlichen Vorstellungsvermögen.

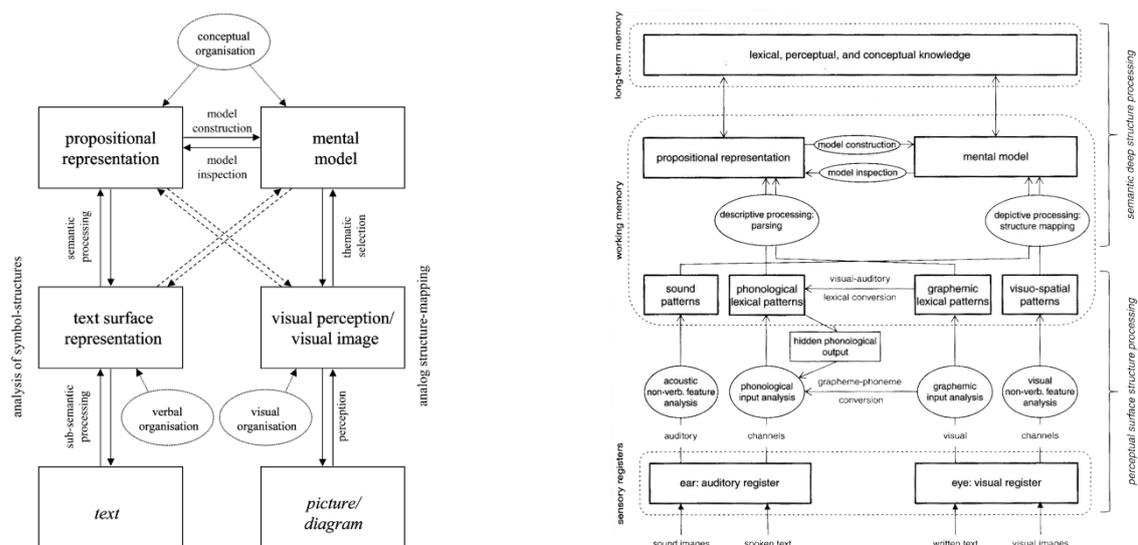


Abbildung 6: Vorläufige Form des IPTC nach Schnotz und Bannert (li.) (2003) und die aktuelle (re.) (Schnotz, 2014)

Als weitere Form von Schemata, welche zum Verständnis visueller Inhalte beiträgt, führt Schnotz eine Sammelkategorie „Weltwissen“<sup>7</sup> an, mithilfe dessen die abgebildeten Daten durch den Betrachter im tiefenstrukturellen Verarbeitungsschritt, dem *structure mapping*, in einen konzeptuellen Zusammenhang gebracht werden können (Schnotz, 2014). Diesen mentalen Voraussetzungen liegt dabei das Prinzip der kognitiven Gruppierung zugrunde: Wissensinhalte werden nicht nur als einfache mentale Bausteine, sondern auch als Kombination in Form von *Chunks* im Langzeitgedächtnis vorgehalten

<sup>6</sup> auch als „symbolisch“ und „analog“ (Schnotz & Mikkilä, 1991), „wörtlich“ bzw. „verbal“ und „bildlich“ (Brünken et al., 2005; Kürschner et al., 2006) bzw. weiter ausdifferenzierend in „verbalsprachlich“, „symbolisch“ und „bildlich“ (Nitz et al., 2012) oder auf Peirce zurückgehend als „symbolisch“ vs. „ikonisch“ (Peirce, 1906) bezeichnet

<sup>7</sup> Dieses „Weltwissen“ muss sich als Wissensbestände aus fachrelevanten, konzeptuellen Vorwissen und auch aus fachfremden Allgemeinwissen, welches ggf. in informellen Kontexten erworben wurde, vorgestellt werden.

und dem limitierten Arbeitsgedächtnis zur Verfügung gestellt. Dies reduziert den Umfang an notwendigen kognitiven Operationen und spart dadurch kognitive Ressourcen ein, welche so zur Verarbeitung anderer Elemente zur Verfügung stehen (Kalyuga & Sweller, 2005; Koedinger & Anderson, 1990; Sweller, 1994; Van Merriënboer & Sweller, 2005).

Während sich über dieses Modell der grundlegende Einfluss von Vorwissen auf die Arbeit mit Repräsentationen erklären lässt, ist es hinsichtlich der Frage zu konkretisieren, welche unter der Sammelkategorie „Weltwissen“ subsumierten Wissensbestandteile konkret für das Verarbeiten technischer Repräsentationen relevant sind. Es lässt sich jedoch aus den bisherigen, theoretischen Betrachtungen ableiten, dass neben Repräsentationswissen und Sachwissen aus dem jeweiligen Fachgebiet durchaus auch Wissensbestände anderer Domänen („Weltwissen“) abgerufen werden müssen. Zugleich ist davon auszugehen, dass diese Wissensbestände sowohl in deklarativer als auch – zumindest im Hinblick auf das Wissen bzgl. des Umgangs mit der Repräsentationsform ist dies evident – in prozeduraler Form<sup>8</sup> vorliegen.

Abbildung 7 zeigt das um Verarbeitungsebenen sowie die Art des Vorwissens erweiterte Modell der Verarbeitung.

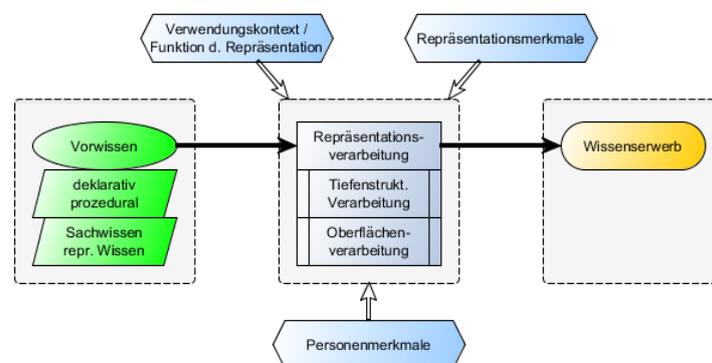


Abbildung 7: Um Verarbeitungsebenen sowie die Art des Vorwissens erweitertes Arbeitsmodell

### 2.3 Interventionsstudien zur Unterstützung der Repräsentationsverarbeitung

Inwieweit der Einfluss der zuvor theoretisch abgeleiteten Kontext- und Verarbeitungsfaktoren sowie des Vorwissens tatsächlich relevant ist, kann grundsätzlich über die Messung des Erfolgs bei der Repräsentationsverarbeitung empirisch geprüft werden. Hierfür können eine Vielzahl von Studien herangezogen werden, innerhalb derer die Repräsentationsverarbeitung im Rahmen von Interventionen external gesteuert und unterstützt wird. Motiviert sind derartige Untersuchungen in der Regel dadurch, praxisorientierte Interventionsmöglichkeiten zu untersuchen und deren Wirksamkeit zu belegen.

Der folgende Abschnitt widmet sich somit der Forschungslinie, die durch einzelne Interventionen kompensatorische Effekte hinsichtlich Vorwissen oder anderen Personenmerkmalen zu erzielen versuchen. Dies geschieht mit dem Ziel, aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen indirekt Rückschlüsse auf die Bedeutung der Einflussfaktoren abzuleiten. Konkret werden ausgehend vom in Abbildung 7 dargestellten Modell im Folgenden die empirischen Befunde aus Einzelinterventionen, die in den verschiedenen Verarbeitungsebenen des ITPC oder begleitende Repräsentations- und Personenmerkmale adressieren, wie nachstehend eingeordnet:

<sup>8</sup> Bezüglich der grundsätzlich anzunehmenden Wissensformen wird sich auf die ACT-R-Theorie (Anderson et al., 1997; Lebiere & Anderson, 2008), das KLI-Framework (Koedinger et al., 2012) sowie die Ausarbeitung zu technischem Wissen von McCormick (1997)

1. Einfluss des Vorwissens auf die Verarbeitung
2. Einfluss der Verarbeitung auf den Wissenserwerb
3. Einfluss weiterer Merkmale der Repräsentation und der Person

In der einschlägigen Literatur finden sich zahlreiche empirische Befunde, bei denen durch Variation externer Steuerung der Prozess der Verarbeitung und dessen Auswirkung auf den Wissenserwerb untersucht wurde. Diese Befunde sollen zunächst referiert und eingeordnet werden. Dabei ist gleichzeitig das erworbene Wissen darüber hinaus weitergehend zu qualifizieren. Schließlich wird der Forschungsstand hinsichtlich weiterer Faktoren, welche die Repräsentationsverarbeitung zusätzlich moderieren, dargestellt. Diese werden nach Merkmalen der Repräsentation selbst als auch nach Personenmerkmalen des Lernenden gegliedert.

### **2.3.1 Einfluss des Vorwissens auf die Repräsentationsverarbeitung**

In Bezug auf das Ausgangsproblem, unter welchen Umständen die Verarbeitung von Repräsentationen gelingt, stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Vorwissens. Cook (2006) stellt diesbezüglich die herausragende Bedeutung des Vorwissens nicht nur für den allgemeinen Lernprozess, sondern auch für grafik-relevante Prozesse des Auswählens und Integrierens grafischer Elemente und ihrer Bedeutung für den Lerngegenstand heraus. In Studien mit Direktvergleich „nur-Text“ zu „Text-mit-Grafik“ zeigt sich, dass Lernende mit höherem Vorwissen den Verarbeitungsprozess statistisch mit mehr Wissen, d.h. höheren Punktzahlen im Nachtest, abschließen als Lernende mit niedrigem Vorwissen (Mayer & Gallini, 1990). Ebenso zeigt sich in Studien, dass vorhandenes Vorwissen moderierend auf den Erfolg der Verarbeitung wirkt: Bei Lernenden mit niedrigem Vorwissen sind die Unterschiede im Wissenszuwachs deutlicher als bei solchen mit hohem Vorwissen ausgeprägt (Boucheix & Guignard, 2005; Mayer & Gallini, 1990) und die Ergebnisse beider Gruppen gleichen sich im Nachtest in diesen Studien nahezu an. Allerdings sind diese Ergebnisse ebenso u. a. von der Form der Repräsentation abhängig. Die Studien von Ollerenshaw, Aidman und Kidd (1997) sowie Boucheix und Guignard (2005) zeigen für Lernende mit niedrigem Vorwissen speziell bei dynamischen, animierten Repräsentationen einen deutlicheren Wissenszuwachs gegenüber jenen mit höherem Vorwissen. Gleichzeitig ergeben sich bezüglich des Vorwissens hinsichtlich der Frage, ob lediglich erinnerte Wissensinhalte (*recall*) oder das inhaltliche Verstehen (*comprehension*) abgefragt werden, differenzierte Effekte (Mayer & Gallini, 1990; Seufert, 2003): Während für das *recall* nur marginale Unterschiede zwischen geringem und hohem Vorwissen festzustellen sind, korreliert der Wissenszuwachs mit dem Vorwissen bei Fragen, die auf *comprehension* abzielen. Zusätzlich bricht bei Lernenden mit mittlerem Vorwissen die Leistung im *recall* gegenüber den anderen Gruppen ein, was damit begründet wird, dass Lernende mit niedrigem Vorwissen wohl keine Ressourcen zur Integration der Bild-Informationen aufwenden und sich aufs Auswendiglernen konzentrieren (Seufert, 2003).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das in den Studien erhobene domänen-spezifische, konzeptuell-deklarative Vorwissen die Verarbeitung von Repräsentationen moderiert, wobei sich differenzierte Ergebnisse hinsichtlich des Erwerbs konzeptuellen Wissens, der Qualität des zu erlangenden Wissens sowie der Merkmale der Repräsentation andeuten. Offen jedoch bleibt die Frage, auf welches Wissen im Einzelnen bei der Verarbeitung der Repräsentationen zugegriffen und welches Wissen im Besonderen in den verschiedenen Verarbeitungsebenen bedeutsam wurde.

Mangels dahingehender empirischer Studien und der Tatsache, dass diese Frage explizierende Theorien ausstehen, soll an dieser Stelle auf Grundlage des ITPC (siehe Abbildung 6 auf Seite 10) die bestehenden Vermutungen argumentativ untersetzt werden (vgl. hierzu auch Ullrich, 2011, S. 57ff). Zunächst ist dabei anzunehmen, dass für die Verarbeitung der Oberflächenstruktur der Repräsentation eher generisches Wissen benötigt wird. Während dies für symbolische Repräsentationsformen (natürliche oder formale Sprache) lexikalisches und syntaktisches Wissen sowie grundlegende Kenntnisse der verwendeten Zeichen und der üblichen Konventionen ist, dürften dies bei grafische Repräsentationen Wissensbestände sein, welche die Identifizierung der einzelnen Bestandteile, deren Benennung und Funktion innerhalb der Repräsentation sowie die Verortung der Repräsentation als solche ermöglichen. Ebenso ist prozedurales Wissen zum Ablesen von Werten, zum Ziehen von Vergleichen oder dem Abschätzen von Trends in den Daten notwendig. Diese Wissensbestände lassen sich in fachübergreifende, der Verarbeitung grafischer Repräsentationen zugehörige sowie domänenspezifische Wissensbestände einteilen und umfassen jeweils deklarativ-konzeptuelle, prozedurale sowie meta-kognitive Aspekte.

Im Gegensatz zur Verarbeitung der Oberflächenmerkmale spielen bei der tiefen-semantischen Analyse problem-adäquate Erschließungsstrategien eine entscheidende Rolle. Für den deskriptionalen Verarbeitungsstrang bedeutet dies die Interpretation des Textes hinsichtlich der eigenen Fragestellung und damit eine Sinnzuweisung, welche die gegebenen Informationen mit der eigenen Lebensweltlichkeit in Verbindung bringt (vgl. dazu Kintsch, 1988; Johnson-Laird, 1980; Mani & Johnson-Laird, 1982). Dazu ist relationales Wissen, welches den Inhalt des Textes mit außertextlichen Konzepten bzw. realen Entitäten verknüpft sowie pragmatisches Situationswissen<sup>9</sup> notwendig. Für den depiktional-grafischen Strang steht bei der tiefenstrukturellen Erarbeitung des mentalen Modells im *structure mapping* (Schnotz & Bannert, 2003) zunächst die holistische Erschließung zwecks Erkennens der gesuchten Wirkgefüge im Vordergrund. Dazu müssen die einzelnen Elemente der grafischen Darstellung zueinander in Relation gebracht, die Eigenschaften dieser Verbindungen und deren funktionale Bedeutung erschlossen werden. Auch hierbei ist relationales Wissen, welches die Repräsentation mit der Welt bzw. anderen Repräsentationen verbindet und deren enthaltenes Wissen angliedert, von entscheidender Bedeutung. Dieses relationale Wissen gliedert sich dabei in fachliches, konzeptuell-deklaratives Wissen sowie in einer allgemeineren Repräsentationskompetenz zuzurechnende Prozeduren, welche Lernende Sinnzusammenhänge suchen und finden lassen. Speziell für technische Repräsentationen ist hierfür domänenspezifisches Fachwissen um die benötigten Relationen und deren Bedeutung notwendig, was naturwissenschaftliche Grundlagen explizit einschließt. In Bezug auf Expert:innen sind es diese Wissensformen, welche als *chunks* vorliegend zu erwarten sind und *means-end*-Prozesse mit geringem kognitiven Aufwand in hohen Geschwindigkeiten ermöglichen.

Schließlich sind noch die zwischen mentalem Modell und propositionaler Repräsentation vermittelnden Prozesse der Modellkonstruktion und der Modellinspektion zu betrachten: Bei der Modellinspektion (*model inspection*) wird das mentale Modell in eine Proposition überführt. Diese Proposition kann lokale, modale, temporale oder kausale Aussagen über Elemente des mentalen Modells enthalten. Diese Aussagen können dann im Rahmen der Modellkonstruktion (*model construction*) auf Stimmigkeit mit der Situation, den

---

<sup>9</sup> Beispielsweise für natürliche Sprache das Wissen um Frames und Skripte (Schank & Abelson, 1975) bzw. um kulturelle Deutungsmuster (Altmayer, 2002).

Erwartungen an das Modell und der Realität hin überprüft und ggf. modifiziert in das mentale Modell zurückgeliefert werden. Dies geschieht mit dem Ziel, mentale Kohärenz herzustellen (Brünken et al., 2005). Neben dem oben erwähnten relationalen Hintergrundwissen bedarf es dabei zudem logisch-sprachlichen Wissens, d.h. die Fertigkeit, präzise diese Aspekte formulieren und manipulieren zu können: Das Bilden zulässiger Analogien und Metaphern sowie das Ziehen logischer Schlüsse sind dabei ebenfalls Bestandteil des Sprach-Bild-Wissens und erklären u.a. die kompensatorischen Effekte durch Sprachwissen bei der Lösung fachlicher Aufgaben (Frank et al., 2017).

Zusammenfassend können somit sowohl Repräsentationswissen sowie naturwissenschaftliches und technisches Fachwissen in jeweils deklarativer und prozeduraler Form als relevante Bereiche des Vorwissens angenommen werden (siehe Abbildung 7). Um diese Vermutung für technische Repräsentationen zu untersetzen, ist es notwendig, das für die Verarbeitung herangezogene Wissen zu ermitteln. Dazu sind eine Erhebung und eine Kategorisierung der Operationen notwendig, welche bei der Verarbeitung technischer Repräsentationen ausgeführt werden. Um diesbezüglich weitgehende Vollständigkeit auf dem Untersuchungsgebiet zu erlangen, müssen dazu typische technische Repräsentationen erhoben und geeignet kategorisiert werden, da darüber hinaus anzunehmen ist, dass die zur Verarbeitung herangezogenen Operationen und Wissensbestände von Merkmalen der Repräsentation abhängig sind.

### **2.3.2 Einfluss der Repräsentationsverarbeitung auf den Wissenserwerb**

Als ein weiterer Punkt sind die empirischen Befunde zur kognitiven Verarbeitung grafischer Repräsentationen abseits der Frage des Vorwissens darzustellen. Hierzu kann an die zentralen Aussagen der oben dargestellten Lesh-Translation- und STEM-Translation-Modelle angeknüpft werden, welche die Annahme treffen, dass durch einen multiplen sowie interdisziplinären Einsatz von Repräsentationen Sachverhalte im problemlösenden Prozess elaboriert und dadurch besser verstanden werden. In den explorativen Studien von Alabi et al. (2013), von Juhl und Lindegaard (2013) sowie von Moore et al. (2013) werden diese Annahmen im produktiven Gebrauch von Repräsentationen im Rahmen technischen Problemlösens empirisch bestätigt. Darüber hinaus liegen auch unter dem Vorzeichen des rezeptiven Gebrauchs zahlreiche Einzelbefunde vor, die übereinstimmend positive Effekte einer aktiven Verknüpfung von Repräsentationen auf den Wissenserwerb belegen. Diese werden im Folgenden in Abhängigkeit der drei Ebenen des Integrierten Modells der Text- und Bildverarbeitung (siehe Abbildung 6 auf Seite 10) aufgeführt: Die Verarbeitung kann sich dabei auf die Zuordnung oder Identifikation von Oberflächenmerkmalen fokussieren, tiefenstrukturell-kausale Zusammenhänge herausarbeiten oder generell auf einen durch den Lernenden zu findenden Zusammenhang zwischen den gebotenen Darstellungsformen erstrecken. Letzteres gilt für den Befund durch Schwonke, Bertholt und Renkl (2009): Bereits nach einer allgemeinen „How to use“-Instruktion<sup>10</sup> erzielten Lernende bessere Lernergebnisse hinsichtlich konzeptuellen und prozeduralen Wissens als ohne. Die Ergebnisse dieser experimentellen Studie werden durch *eye tracking*-Untersuchungen gestützt (Kothiyal et al., 2014; Majumdar et al., 2014; O’Keefe et al., 2014).

Ebenso zeigen sich bei didaktischen Maßnahmen des expliziten Aufeinander-Beziehens von Repräsentationen durchgehend positive Lerneffekte. Dabei deutet sich die

---

<sup>10</sup> Als *how to use*-Instruktionen bezeichnen die Autoren die der Verarbeitung vorangestellte, allgemeine Erklärung, dass zwischen Text und grafischer Repräsentation Beziehungen bestehen und die Lernenden aufgefordert werden, diese eigenständig zu entdecken und zu nutzen.

Effektivität im Besonderen bei einem Mindestmaß an kognitiver Aktivierung an, einfaches Zuordnen mittels Drag-and-Drop ist nicht ausreichend (Bodemer & Faust, 2006; Johnson, Butcher, et al., 2014) Ebenso reicht es nicht aus, die sich durch eine statische Beschriftung auf eine spontane Aktivität des Lernenden zu verlassen (Bodemer et al., 2004). Auch andere Formen des Verweises auf bedeutsame Oberflächenmerkmale, wie das Einfärben von Schaltkreisen (Reisslein et al., 2015) oder die Verwendung eines *signaling agents*<sup>11</sup> (Johnson et al., 2013) liefern Belege positiver Lernleistungen, z.T. jedoch nur unter der Bedingung bei geringem Vorwissens. Diese Ergebnisse werden durch die qualitative Zusammenfassung von Rosenberg bestätigt (2007), wobei sich diese Beobachtungen auch auf andere Domänen der Physik übertragen lassen.

Mittels *relating aids*<sup>12</sup> für Oberflächenmerkmale als auch durch *prompted self-explanations*<sup>13</sup>, welche im Gegensatz dazu die tiefenstrukturelle Dimension eines Repräsentationswechsels adressieren, weisen Berthold & Renkl (2009) die Unabhängigkeit und Additivität bzgl. der Ausbildung konzeptuellen Wissens beider Maßnahmen nach. Diese Unabhängigkeit wird durch die qualitativen Befunde von Mautone und Mayer (2007) bestätigt.

*Prompted self-explanations* führen dabei zu einem signifikant besseren konzeptuellen, wirken jedoch nicht positiv auf prozedurales Wissen (Berthold et al., 2011; Berthold & Renkl, 2009). Ein positiver Effekt beim gezielten bzw. offenen *prompted self-explaining* ist darüber hinaus nur dann zu beobachten, wenn die Lernenden weder ein zu niedriges, noch zu hohes Niveau an Vorwissen mitbringen (Seufert, 2003). Einen gegenteiligen Befund für Lernende mit niedrigem Vorwissen finden Boucheix und Guignard (2005), wobei dargebotene *signaling cues*<sup>14</sup> grundsätzlich sowohl das Verständnis als auch die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erklären, signifikant positiv beeinflussen. Dieser Effekt zeigt sich besonders dann, wenn Lernende die Lerngeschwindigkeit bestimmen können. Rau und Scheines (2012) weisen darüber hinaus nach, dass eine Intervention mittels *prompted self-explanations* lediglich in Settings mit mehreren Repräsentationen Wirkung entfaltet und Ainsworth und Loizou (2003) können eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der produzierten Selbsterklärungen und dem Lernerfolg feststellen.

Bezüglich des konzeptuellen und prozeduralen Aspektes des Lernerfolges kommt Scheid (2013; 2011) zu dem konträren Ergebnis, dass ein Adressieren von repräsentationalen Zusammenhängen im Physikunterricht durch sog. *representational activating tasks*<sup>15</sup> prozedurales, nicht jedoch konzeptuelles Wissen fördert. Unter Einsatz desselben Aufgabenpools stellt Hettmannsperger einen generellen Zuwachs an repräsentationalen Fähigkeiten fest, der jedoch nicht durch das Adressieren gängiger Fehlvorstellungen bei

---

<sup>11</sup> Als *signaling agent* oder *animated pedagogical agent* wird von den Autoren eine virtuelle Figur innerhalb einer computergestützten Lernumgebung bezeichnet, welche den Lernenden durch Zeigen oder Gesten auf relevante Oberflächenmerkmale hinweist.

<sup>12</sup> Mittels *relating aids* werden Lernende durch Farbmarkierungen und Flackern auf korrespondierende Elemente in verschiedenen Repräsentationen aufmerksam gemacht.

<sup>13</sup> Unter *prompted self-explanations* werden Aufforderungen zur Verbalisierung von Wissenszusammenhängen verstanden, welche sich dem Lernenden aus der Verarbeitung multipler Repräsentationen ergeben.

<sup>14</sup> *Signaling cues* stellen verbale oder grafische Hinweise auf das Zusammenwirken von Oberflächenstrukturen dar, wobei diese jedoch bereits einen Teil des auszubildenden mentalen Modells abbilden, in dem z.B. der Fokus auf die unterschiedlichen, in Getrieben auftretenden Geschwindigkeiten gelenkt wird.

<sup>15</sup> *Representational activating tasks* stellen als Sonderform der kognitiven Aktivierung die Arbeit mit Repräsentationen in den Fokus und sind somit Aktivitäten, welche die Oberfläche als auch deren Tiefenstruktur der Repräsentationen adressieren.

Schüler:innen in der Domäne, d.h. durch zusätzlichen konzeptuellen Input mittels dieser Repräsentationen, beeinflusst wird (Hettmannsperger et al., 2011, 2015).

Obwohl die positiven Effekte auf konzeptuelles Wissen innerhalb der Literatur weitgehend Konsens sind, bleiben Fragen nach der Tiefe desselben offen. Diese sind nicht zuletzt den unterschiedlichen Konzeptualisierungen innerhalb der Studien geschuldet. Gleiches gilt ebenso für die Frage nach dem notwendigen Vorwissen: Es wurde lediglich konzeptuelles, nicht aber repräsentationales Vorwissen als unabhängige Variable bzw. als Kovariate in die Untersuchungen einbezogen. Die Effekte auf prozedurales Wissen und somit auf Schemata zur Problemlösung sind als inkonklusiv zu bezeichnen. Insbesondere im Fachbereich Technik müssen Konzeptualisierungen technischen Wissens sowie technischer Repräsentationen noch vorgenommen werden. Die umfangreiche Befundlage dieses Abschnitts lässt sich in der folgenden Tabelle zusammenfassen:<sup>16</sup>

Autoren, Jahr	Domäne: Gebiet	Intervention / Design	relevante Befunde
<b>generelle Ansätze</b>			
Schwonke et. al., 2009	Mathematik: Stochastik	„How to use“- Instruktion / Pre-Posttest Eye-Tracking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernende sind sich kaum sich der Funktion grafischer Repräsentationen bewusst</li> <li>• Aufforderung zur Integration von Text und Bild verbessert Lernergebnis signifikant, nicht jedoch visuelle Aufmerksamkeit</li> </ul>
Kothiyal et. al., 2014	Physik: Pendel	dynamische Lernumgebung / Eye-Tracking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorgehen des erfolgreichen Lernenden zeichnet sich durch gezielte Hin- und Rückbewegung des visuellen Fokus zwischen verschiedenen Repräsentationsformen aus</li> </ul>
Majumdar et. al., 2014	Physik: Pendel	dynamische Lernumgebung / Eye-Tracking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernende verbleiben vorzugsweise in einer der gebotenen Repräsentationsformen</li> </ul>
O’Keefe et al., 2014	Chemie: Ideales Gas	dynamische Lernumgebung / Eye-Tracking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• visuelle Transitionen zwischen Repräsentationen fördern Lernen</li> <li>• transitionsspezifische Unterschiede zwischen Verstehen und Transfer beobachtbar</li> </ul>
Scheid, 2013; Scheid et al., 2011	Physik: Strahlenoptik	<i>representative activating tasks</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aktives Adressieren der Arbeit mit Repräsentationen fördert prozedurales, jedoch nicht konzeptuelles Wissen</li> </ul>
Hettmannsperger et al., 2011; Hettmannsperger et al., 2015	Physik: Strahlenoptik	<i>representative activating tasks</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aktives Adressieren der Arbeit mit Repräsentationen fördert Repräsentationskompetenz, mindert aber nicht domänenspez. Fehlvorstellungen</li> </ul>

<sup>16</sup> Die kognitionspsychologisch fundierte Unterteilung nach Oberflächen- und Tiefenstruktur hat tatsächlich erst mit den beiden Überblicksartikeln von Scheiter, Richter und Renkl (2018) sowie Renkl und Scheiter (2017) in den Instruktionsdiskurs Einzug gehalten.

Autoren, Jahr	Domäne: Gebiet	Intervention / Design	relevante Befunde
<b>Adressieren der Oberflächenverarbeitung</b>			
Johnson et al., 2014	Physik: elektrische Schaltungen	<i>Labeling</i> - Abstraktheit bei Schaltungen/ 2x2-Design Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interaktives <i>Labeling</i> begünstigt nahen Transfer (ferner Transfer nicht sign. besser) ggü. statischen Labels bzw. keinen Beschriftungen</li> <li>• statische Labels bei Problemlösen sogar ggü. fehlenden Beschriftungen hinderlicher</li> </ul>
Bodemer, Faust, 2006	Technik: Wärmepumpe, Physik: Kinematik	<i>Referencing</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mentale Referenz führt zu besten Lernleistungen</li> <li>• interaktives <i>Labeling</i> (nur) bei hohem Vorwissen bzw. Bekanntheit der Repräsentationsart vorteilhaft</li> </ul>
Bodemer et al., 2004	Technik: Pumpe, Statistik: ANOVA	<i>Referencing</i> vs. Integriertheit / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interaktives <i>Labeling</i> führt zu besseren Lernleistungen als Zuordnung bzw. mentalem Referenzieren</li> <li>• Effekt bei integriertem Format geringer als bei <i>split-source</i></li> </ul>
Reisslein et al., 2015	Physik: elektrische Schaltungen	Farbcodierung phys. Größen / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernende mit farbkodierten Schaltplänen lösen Probleme besser und schneiden im Posttest besser ab</li> </ul>
Johnson et al., 2013	Physik: elektrische Schaltungen	<i>Signaling</i> vs. <i>Animated Pedagogical Agent</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sign. bessere Lernleistung mit <i>Animated Agent</i> bei Lernenden mit geringem Vorwissen</li> <li>• nicht-sign. geringere Leistung unter <i>Signaling</i>- und <i>Animated Agent</i>-Bedingung bei Lernenden mit hohem Vorwissen ggü. Kontrollgruppe</li> </ul>
Rosenberg, 2007	Physik: div. Bereiche	Farbcodierung von Werten / Literatur- Review	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kodierungsschemata hilfreich beim Lernen und fördern Selbstbild der Lernenden</li> </ul>
Berthold, Renkl, 2009	Mathematik: Stochastik	<i>Relating Aids</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• konzeptuelle Lernleistung bei <i>relating aids</i> besser als ohne bzw. Arbeit nur mit einer Repräsentationsform</li> <li>• keine Auswirkung auf prozedurales Wissen</li> <li>• <i>relating aids</i> reduzieren berichteten <i>cognitive load</i></li> </ul>
<b>Adressieren der tiefensemantischen Verarbeitung</b>			
Berthold, Renkl, 2009	Mathematik: Stochastik	<i>Self Explanation- Prompts</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Self Explanations-Prompts</i> führen zu besserem konzeptuellem Verständnis, aber geringeren prozeduralen Wissen</li> <li>• Effekt von <i>Relating Aids</i> und <i>Self Explanation-Prompts</i> unabhängig voneinander (nahezu additiv)</li> </ul>
Mautone, Mayer, 2007	Geografie: Geschwindigkeit im Gewässer	<i>Signaling</i> vs. <i>Cognitive Aids</i> / Qualitative Analyse von Erklärungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Signaling</i> führte zu sign. mehr relationalen Aussagen</li> <li>• <i>Cognitive Aids</i> führten zu sign. mehr kausalen Aussagen</li> <li>• Keine weiteren Haupteffekte</li> </ul>

Autoren, Jahr	Domäne: Gebiet	Intervention / Design	relevante Befunde
Berthold et al., 2011	Steuerrecht: Zinsschranke	<i>Self Explanation Prompts</i> / Qualitative Analyse der Notizen Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Self Explanation Prompts führen zu mehr und detailreicheren Erklärungen</li> <li>• tieferes konzeptuelles Verständnis</li> <li>• aber weniger Repräsentationswechsel (Rechnungen) bei <i>Self Explanation Prompts</i></li> </ul>
Seufert, 2003	Bio-Chemie: Transferrin und Vitamin C	direktive vs. nicht-direktive <i>Self Explanation Prompts</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• direktive Hilfe für TN mit mittlerem und hohem Vorwissen für Fakten-Erinnerung am effektivsten, für niedriges Vorwissen keine Hilfe optimal</li> <li>• bzgl. Verständnis direktive und nicht-direktive Hilfe etwa gleichermaßen förderlich, für mittleres und niedriges Vorwissen sogar sign. besser als keine Hilfe</li> </ul>
Boucheix, Guignard, 2005	Technik: Zahnradgetriebe	<i>Signaling</i> vs. Animation vs. Kontrolle / Pre-Immediate- Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Signaling</i> bei hoher und freier Geschwindigkeit mit positivem Effekt auf Verständnis, Transfer und Erklärleistung im Immediate-Test (bei langsamen Geschwindigkeiten Abwesenheit von <i>Signaling</i> besser)</li> <li>• nur bei selbstgesteuerter Geschwindigkeit führt <i>Signaling</i> im Posttest zu effektiver Lernleistung</li> </ul>
Ainsworth, Loizou, 2003	Biologie: Blutsystem	<i>Self Explanation Prompts</i> / Pre-Posttest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl der generierten Self Explanations korreliert mit Posttest-Ergebnis</li> <li>• Anzahl der Wörter sowie aufgebrauchte Zeit korrelieren negativ mit Ergebnis</li> </ul>

Tabelle 1: Übersicht über Befunde zur Repräsentationsverarbeitung

Im Überblick lässt sich somit feststellen, dass der Einsatz multipler Repräsentationen besonders dann positive Wirkungen hat, wenn durch eine externe Steuerung die Verknüpfung der unterschiedlichen Inhalte sichergestellt wird. Dabei fallen jedoch die Effekte auf den Wissenserwerb je nach Art der Steuerung und des erworbenen Wissens unterschiedlich aus, was sich unter anderem aus der Additivität einiger, aber nicht aller Effekte ergibt. Die Unterschiede in den jeweiligen Steuerungsmechanismen ergeben sich dabei aus der Frage, ob Oberflächen- oder Tiefenstrukturen der Repräsentationen adressiert werden. Somit kann das Arbeitsmodell zur Verarbeitung von Repräsentationen um die direkte Wirkung externer Steuerung auf die Kategorien des erworbenen Wissens – deklaratives und prozedurales Wissen – erweitert werden (siehe Abbildung 8).

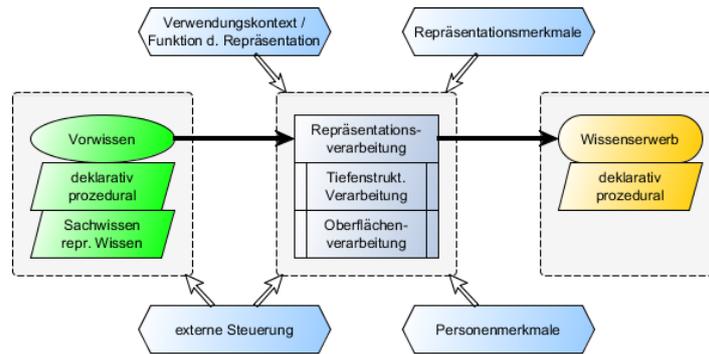


Abbildung 8: vollständiges Modell der Repräsentationsverarbeitung einschließlich moderierender Einflussfaktoren

### 2.3.3 Einfluss (weiterer) Repräsentations- und Personenmerkmale

Der dritte Schwerpunkt beleuchtet die empirischen Befunde zu bedeutsamen Merkmalen der Repräsentation und der Person. Diese werden entsprechend dem DeFT-Framework aus dem theoretischen Teil gegliedert dargestellt und hinsichtlich der Befunde diskutiert. Hinsichtlich der **Repräsentationsmerkmale** werden durch das bereits dargestellte Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens die Effekte, die auf Modalität bzw. Medialität zurückzuführen sind, sowie die allgemeinen lernförderlichen Effekte (Ginns, 2005; Herrlinger et al., 2016) ausreichend erklärt. Ebenso sind die Erkenntnisse zu den Effekten einer integrierten Präsentation durch die Cognitive Load Theory (CLT), genauer durch den *temporal* bzw. *spatial contiguity effect* sowie den *split attention effect*, bereits gut gesichert (Chandler & Sweller, 1992; Ginns, 2006; Mayer & Moreno, 1998). Die Unterschiede zwischen animierten und statischen Repräsentationsformen sind ebenfalls umfassend erforscht (Boucheix & Guignard, 2005; Boucheix & Schneider, 2009; Höfler & Leutner, 2007; Tversky et al., 2002), die Erkenntnisse sind aber für das Forschungsvorhaben nur von nachgeordneter Relevanz.<sup>17</sup>

Hingegen scheinen die Positionen zum repräsentationalen Abstraktionsgrad nicht abschließend geklärt zu sein. Während sich gegenwärtig das Prinzip der Situierung als didaktischer Ausgangspunkt im Rahmen eines kompetenzorientierten Unterrichts durchsetzt und daher für den Umgang mit Repräsentationen ein induktives Vorgehen wie das von Fyfe (2014) vertretene *concretness fading* theoretisch naheliegt, widersprechen dem die vorliegenden empirischen Befunde von Johnson, Butcher, Ozgul et al. (2014), Johnson, Reisslein und Reisslein (2014) sowie Berthold und Renkl (2009): Bei höherer Abstraktion erzielten die Probanden höhere oder zumindest ebenso gute Ergebnisse wie die, die mit Repräsentationen konkreteren Inhalts arbeiten. Auch die Reihenfolge der Bearbeitung „konkret zu abstrakt“ war der entgegengesetzten Richtung (zuerst abstrakt, dann konkret) unterlegen. Ebenso ermitteln Imhoff, Scheiter und Gerjets (2012) keinen Unterschied zwischen abstrahierenden Strichzeichnungen und fotorealistischen Computergrafiken. Und auch durch Mason et al. (2013) werden keine Leistungsunterschiede im unmittelbaren Leseverstehen wissenschaftlicher Texte mit konkreten oder abstrakten Illustrationen festgestellt, jedoch deuten die Ergebnisse der Eye-Tracking-Studie auf eine tiefere Verarbeitung bei abstrakten Abbildungen hin. Gleichzeitig stellen die Autoren heraus, dass im verzögerten Nachtest lediglich die Gruppe mit den konkreten Abbildungen gegenüber der Gruppe ohne Abbildungen im Text signifikant besser abschneidet, beim Einsatz abstrakter Abbildungen wurde das Signifikanzkriterium hingegen nicht erreicht. Larsen und Naumann (1992) berichten damit einhergehend von einer

<sup>17</sup> Im Rahmen des Dissertationsvorhabens wird sich auf statische Repräsentationen beschränkt.

höheren Erfolgsquote und geringerer Fehlerrate, wenn (erfahrene) Systemanalytiker:innen mit einer konkreteren statt einer abstrakteren Form von Datenflussdiagrammen arbeiten.

Diese Inkonkludenz lässt sich aufgrund des sehr unterschiedlichen Aufbaus der einzelnen Studien nicht eindeutig aus der empirischen Datenlage klären. Als mögliche Einflussfaktoren sind Art und Grad des Vorwissens, Art und Zeitpunkt der Wissens-erhebung sowie die Interaktion zwischen Repräsentation und Kontext, d.h. die konkrete Funktion der Repräsentation, denkbar. Um die Frage zu klären, welche Faktoren von Relevanz sein könnten, ist eine größere Befundlage komparativer, empirischer Studien notwendig.

Bezüglich der **Funktion** sowie dem **Gebrauchskontext** sind die Aussagen aus dem DeFT-Framework hinsichtlich der Relevanz der ausgewiesenen Faktoren zu überprüfen und um ermittelte Faktoren zu erweitern. Ferner ist unter Zuhilfenahme der in der Literatur berichteten Interaktionen zwischen Repräsentation und Person eine Operationalisierung relevanter Operationen wie z.B. Informationsentnahme, Verknüpfung, Transfer oder Umformung vorzunehmen, welche an die oben skizzierte Klassifizierung technischer Repräsentationen anknüpft.

Diese Kategorisierung ist dabei nicht nur an den Vorwissensbeständen, auf die diese verweist, sondern ebenso an Repräsentationsmerkmalen auszurichten, welche die Verarbeitung beeinflussen. Schließlich ist in einem nachgelagerten Schritt die Informationen zum Kontext des Repräsentationseinsatzes bzw. zu den jeweiligen Funktionen, welche die Repräsentation erfüllt, als eine für die Verarbeitung relevante Einflussvariable zu berücksichtigen.

Auf der Ebene der **Personenmerkmale** liefert das DeFT-Framework die Einflussfaktoren Alter, Vertrautheit in der Domäne, Vertrautheit mit der Repräsentationsform sowie individuelle Unterschiede. Während das Personenmerkmal „Alter“ für das vorliegende, an Erwachsenen ausgerichtete Forschungsvorhaben eine stark untergeordnete Rolle spielen wird, ist die Vertrautheit mit der Domäne in Form von deklarativen, konzeptuellen sowie problem-lösendem, prozeduralem Vorwissen von zentraler Bedeutung und bereits oben dargestellt worden. Darüber hinaus ist die Vertrautheit mit der Repräsentationsart eine entscheidende Wissenskomponente (Kragten et al., 2013), jedoch mangelt es, abgesehen von der statistischen Untersuchung von Kragten et al., an empirischen Studien zu dieser Frage. Dies stellt somit – vor allem im Hinblick auf das Repräsentationale Dilemma – ein zentrales Desiderat dar, welches im Rahmen dieses Vorhabens untersucht werden soll.

Bezüglich individueller Unterschiede sind in erster Linie die bereits im letzten Abschnitt erwähnten *spatial abilities* zu nennen. Diese werden unterschieden in mentales Transformieren visueller Objekte (*spatial visualization*) und Rotation zweidimensionaler Figuren in kurzer Zeit (*spatial relation*) (Carroll, 1993; vgl. Höffler, 2010; McGee, 1979). Als perzeptuellen Schemata unterliegen diese ebenso dem Experten-Novizen-Dilemma (Chi et al., 1981; Jee et al., 2009; Schnotz et al., 1993): Eine hohe *spatial ability* ermöglicht hierbei durch das Freihalten kognitiver Ressourcen eine bessere Lernleistung (Mayer & Sims, 1994), niedrige *spatial abilities* führen tendenziell zu fehlerhafter Rezeption von grafischen Repräsentationen (Hegarty & Sims, 1994; Hegarty & Steinhoff, 1997). Die Befundlage legt zudem nahe, dass räumliche Fähigkeiten besonders für das Verarbeiten statischer, weniger für animierte Repräsentationen benötigt werden. Dabei lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen *spatial visualization* und *spatial relation* feststellen, ebenso scheint *spatial ability* keinen Einfluss darauf zu haben, ob deklaratives oder

prozedurales (Inhalts-)Wissen erworben wird (Höffler, 2010). Weiterhin sei darauf verwiesen, dass diese räumlichen Fähigkeiten durch die Arbeit mit Repräsentationen – auch im Speziellen mit technischen Repräsentationen – erworben bzw. verbessert werden können (Miller & Halpern, 2013; Olkun, 2003; Uttal et al., 2013) und somit als eine Sonderform von Vorwissen betrachtet werden können, durch deren Training sich zumindest kurzzeitig gender-spezifische Unterschiede verringern und die Leistungen in Physik verbessern lassen (Miller & Halpern, 2013).

Schließlich sei noch erwähnt, dass zum personenmerkmalsbezogenen Konzept der *spatial abilities* die der kognitiven Stile und der Lernstile hinzutreten. Während Lernstile in der Literatur höchst kontrovers diskutiert werden und die für den Bereich Technik relevanten Befunde inkonkudent sind (Felder & Silverman, 1988; Höffler et al., 2010; Klein, 2003; Ollerenshaw et al., 1997), liegen signifikante Befunde u. a. für die kognitive Stil-Dichotomie „Verbalisierende vs. Visualisierende“ vor: So sind Visualisierende beim Lernen mit statischen Bildern ggü. Verbalisierende im Vorteil und können besser mit statischen Bildern als mit Animationen lernen, wenn Erklärungen in Textform gegeben werden. Werden diese jedoch auditiv erklärt, so lernen sie besser mit Animationen (Höffler et al., 2010; Höffler & Schwartz, 2011). Diese durch die Modalität moderierte Interaktionen werden mittels Dual-Coding/CTML sowie CLT erklärt (Koć-Januchta, 2016). Kognitive Stile sind daher als mögliche Faktoren, die sich auf repräsentationale Verarbeitungsstrategien auswirken, in Betracht zu ziehen.

### **3. Forschungsdesiderat und Zielstellung**

Ausgehend von der Frage, warum sich Repräsentationen in Lernkontexten entgegen den allgemeinen Annahmen nicht als lernwirksam erweisen, wurde in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben,

1. welche Repräsentations- und Personenmerkmale im Sinne von Einflussfaktoren als relevant für die Repräsentationsverarbeitung angenommen werden,
2. welche kognitiven Verarbeitungsschritte innerhalb des Modells des Integrierten Bild- und Textverstehens grundsätzlich welche Arten des Vorwissens voraussetzen sowie
3. welche Wirkung diverse Formen Interventionen zur repräsentationalen Verarbeitung auf den Erwerb unterschiedlicher Formen des Wissens haben.

Die Aufbereitung des Forschungsstandes hat gezeigt, dass bisher insbesondere Personen- und Repräsentationsmerkmale sowie Wirkung externer Steuerung durch Interventionen untersucht worden sind. Dabei besteht hinsichtlich des Einflusses externer Steuerung auf den Verarbeitungsprozess eine durchweg als gesichert zu betrachtende empirische Befundlage. Ebenso ist die theoretische Fundierung des Verarbeitungsprozesses mit dem ITPC hinreichend geklärt und wird durch die Ergebnisse bisheriger empirischer Studien nicht in Frage gestellt.

Dagegen besteht hinsichtlich des Personenmerkmals Vorwissen, besonders für die Verarbeitung im depiktionalen Zweig, ein offenes Forschungsdesiderat. Dieses Desiderat ist angesichts der eingangs dargestellten gesonderten Herausforderungen bei technischen Repräsentationen innerhalb des technischen Handlungsfeldes genauer zu betrachten.

Auch auf übergeordneter, fachübergreifender Ebene ist dies angezeigt, da zum einen die Aufklärung des repräsentationalen Dilemmas einen Fokus auf das Vorwissen um Repräsentationen sowie deren repräsentierte Inhalte erfordert und zum anderen eben dieses Vorwissen entgegen der auf Basis der theoretischen Grundlagen anzunehmenden

Erwartungen sich empirisch nicht einheitlich als prädiktiver Faktor erweist (vgl. Tab. 2 in Erlebach & Frank, 2022, S. 500f). Hier besteht also eine entscheidende Lücke im Forschungsstand.

Als eine der Ursachen lässt sich die Tatsache ausmachen, dass in den bisherigen Frameworks – DeFT (Ainsworth, 2006), ITPC (Schnotz, 2014) oder auch der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014) – zwar Vorwissen explizit vorgesehen und berücksichtigt ist, jedoch keine Konkretisierung dieses essentiellen Faktors vorgenommen wird. Folglich variieren auch die Methodiken der Vorwissenserhebungen, und somit die Aussagekraft der jeweiligen Ergebnisse, stark – so wird dieses z.T. über Selbstauskünfte durch Befragungen, aber auch durch differenzierte Leistungstests erhoben.

Der Fokus auf das Vorwissen ist besonders aus Sicht der Didaktik von hohem Interesse, da Vorwissen im Gegensatz zu anderen Personenmerkmalen wie Intelligenz oder Motivation, sich verhältnismäßig einfach auch in größeren Lerngruppen aufbauen und etablieren lässt. Dabei bietet sich die Einschränkung, sich ausschließlich mit rezeptiven Verarbeitungsprozessen zu beschäftigen, nicht nur aufgrund der rezeptiven Natur des Repräsentationalen Dilemmas an, auch wird die Entnahme von Informationen aus Repräsentationen – neben deren kommunikativen Einsatz sowie der Fähigkeit zur fachlichen Argumentation – in den Bildungsstandards der Naturwissenschaften als eigenständiges Bildungsziel aufgefasst (Ziepprecht et al., 2017). Nicht zuletzt lässt sich zudem argumentieren, dass der rezeptive Gebrauch von Repräsentationen eine größere didaktische Herausforderung darstellt, da sich Kompetenzdefizite bei der Produktion von Repräsentationen unmittelbar in den Repräsentationen als Lernendenprodukt selbst widerspiegelt, während der rezeptive Lernprozess zunächst unsichtbar „in den Köpfen“ der Lernenden stattfindet. Die Problemursachen im Umgang mit Repräsentationen sind daher weitaus schwerer zu erkennen. Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es, das Repräsentationale Dilemma besser zu verstehen, Möglichkeiten zu eröffnen, dieses innerhalb der Forschung aufzuklären und diesem in der Unterrichtspraxis besser zu begegnen. Bezüglich der aufgezeigten Forschungslücke zur Verarbeitung technischer Repräsentationen leitet sich folgende übergeordnete Fragestellung ab:

*Welches Vorwissen ist für die Verarbeitung und das Verständnis technischer Repräsentationen notwendig und wie lässt sich dieses erfassen?*

In Bezug zu dieser Fragestellung ergibt sich das Ziel des Dissertationsvorhabens, ein Modell zur Beschreibung des für die Verarbeitung technischer Repräsentationen benötigten Vorwissens zu entwickeln, zu validieren und dessen Anwendbarkeit im Rahmen der Planung von Lehr- und Lernprozessen aufzuzeigen.

## **Teil II: Modellentwicklung und -validierung**

Wie sich aus dem Forschungsstand ergibt, ist der Verständnisprozess technischer Repräsentationen in einen komplexen Kontext aus Einflussfaktoren und Gelingensbedingungen eingebettet. Um das Repräsentationale Dilemma untersuchen zu können, sind daher die entsprechenden Bedingungen zu definieren und Einfluss nehmende Faktoren durch geeignete Methoden zu kontrollieren. Ein entscheidender, aber bisher unzureichend konzeptualisierter Faktor ist hierbei das Vorwissen, das für die Verarbeitung einer Repräsentation benötigt wird. Durch die bislang etablierten Frameworks wird keine detaillierte Beschreibung des Faktors Vorwissen geleistet; ebenso liegen bislang keine Überblicksarbeiten zu Vorwissen bei der Repräsentationsverarbeitung vor. Die inkonsistente empirische Befundlage zum Einfluss des Vorwissens zeigt jedoch eindeutig die Notwendigkeit auf, den Faktor Vorwissen zu differenzieren. In dieser Arbeit wird daher ein Modell zur domänenspezifischen Beschreibung des für die Verarbeitung von technischen Repräsentationen benötigten Vorwissens entwickelt und validiert.

In der oben vorgestellten Publikation wurde hierfür repräsentationsspezifisches Wissen in Abhängigkeit vom Repräsentationstyp herausgearbeitet. Hierfür erfolgte eine vertiefte Analyse des Prozesses der Repräsentationsverarbeitung und ein systematisches Review des Kenntnisstands zu kognitiven Prozessen in Oberflächen- und Tiefenstruktur und der jeweiligen Wechselwirkung zu inhaltlichem Vorwissen.

Anschließend wird sich in der zweiten Publikation der inhaltlichen Spezifika für die Domäne Technik gewidmet und eine geeignete Beschreibung technischen Wissens erarbeitet, die einerseits inhaltlich zwischen technischem Wissen und Wissen aus Bezugswissenschaften und andererseits hinsichtlich lernpsychologisch-didaktischer Merkmale abgrenzt. Das entwickelte Modell des technischen (Vor-)Wissens dient als Instrument zur Erfassung des zur Verarbeitung von Repräsentationen notwendigen Vorwissens.

Abschließend werden die Funktionalität und Validität des durch die theoretische Ableitung in den ersten beiden Publikationen erarbeiteten Instrumentes mittels einer Analyse der in technischen Lehrbüchern enthaltenen Repräsentationen diskutiert. Eine tiefergehende Betrachtung von Lehrmaterial bietet sich dafür besonders an, da sich dadurch Personen- und Prozessmerkmale weitgehend ausschließen und somit kontrollieren lassen. Zudem bieten Lehrbücher aus dem Bereich der gewerblich-technischen Ausbildung einen hohen Grad an Authentizität bezüglich tatsächlich in den Klassenräumen und Lernprozessen der Auszubildenden zu verarbeitenden Repräsentationsformen und Inhalten.

Die Publikationen werden einzeln jeweils kurz inhaltlich vorgestellt und deren Erkenntnisse sowie sich ergebende Fragestellungen durch ein (Zwischen-)Fazit zusammengefasst und dann im Rahmen der Validitätsbetrachtung des Modells diskutiert.

### **4. Vorwissen bei der Rezeption von Repräsentationen**

Die erste Publikation befasst sich mit der Frage, welches Inhaltsvorwissen und welches Wissen über die Repräsentationsform notwendig ist, um sich den Inhalt einer konkreten Repräsentation erschließen zu können. Dies betrifft sowohl Wissen, was unmittelbar benötigt wird, um die Repräsentation grundsätzlich verstehen zu können, als auch Hintergrundwissen, welches für eine tiefere Elaboration und Verknüpfung der Inhalte hilfreich ist. Hierzu werden anhand des Modells des integrierten Text-Bild-Verstehens (Schnotz, 2014) die kognitive Verarbeitung in Abhängigkeit der Repräsentationsform nachvollzogen und mit Befunden aus der metakognitiven Didaktik zur Repräsentations-

verarbeitung (Kaiser & Kaiser, 2018) abgeglichen. Mittels eines systematischen Literaturreviews wird die uneinheitliche Befundlage bezüglich des Einflusses von Inhaltsvorwissen herausgearbeitet und aufgrund der damit verbundenen Erkenntnisse vorgeschlagen, die Top-Down-Prozesse des Inhaltsvorwissens bei der Verarbeitung von Repräsentationen stärker in den Fokus von Untersuchungen des Repräsentationalen Dilemmas zu rücken.

Ziel und Fragestellungen der Publikation lauten daher:

- Welche kognitiven Prozesse werden in Bezug auf die kognitive Verarbeitung von Repräsentation in Abhängigkeit der jeweiligen Repräsentationsform beschrieben?
- Auf welche Art des Vorwissens wird dabei zurückgegriffen?
- Welche Schwierigkeiten treten bei der Repräsentationsverarbeitung auf?

#### **4.1 Artikel: Verarbeitungsprozesse bei Repräsentationen unter Berücksichtigung des Vorwissens (Erlebach & Frank, 2022)**

**Quelle:** Erlebach, R., & Frank, C. (2022). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen: Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview. *Unterrichtswissenschaft*, 50, 479–516. DOI: 10.1007/s42010-022-00143-0



# Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen

## Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview

Ralf Erlebach  · Carolin Frank

Eingegangen: 12. August 2021 / Überarbeitet: 25. Dezember 2021 / Angenommen: 1. Februar 2022 /  
Online publiziert: 18. März 2022  
© Der/die Autor(en) 2022

**Zusammenfassung** Die Arbeit mit externalen Repräsentationen stellt für Lernende eine ernstzunehmende Herausforderung dar. Empirische Befunde zu den verschiedenen Interventionsmöglichkeiten auf der Grundlage von Material- und Instruktionsdesign bzw. metakognitiver Strategien im Hinblick auf unterschiedliche Eingangsvoraussetzungen zeichnen jedoch kein einheitliches Bild von der Lernförderlichkeit. Daher wird eine eingehende Betrachtung der Rezeptionsprozesse unter Zuhilfenahme des Integrierten Modells für Text-Bild-Verstehen (ITPC) vorgenommen mit Fokus auf die kognitiven Anforderungen, die während des Bearbeitungsprozesses an die Lernenden gestellt werden. Aus einem anschließenden systematischen Literaturreview zu den empirischen Befunden zum Einfluss unterschiedlicher Arten des Vorwissens auf das Verstehen wird ein Framework zur Untersuchung dieser kognitiven Anforderungen entwickelt. Abschließend werden Implikationen für die Planung und Einbindung externaler Repräsentationen in den unterrichtlichen Lernprozess in Kürze dargestellt.

**Schlüsselwörter** Externale Repräsentation · Repräsentationskompetenz · Repräsentationales Dilemma · Vorwissen · Integriertes Modell des Text-Bild-Verstehens (ITPC)

---

Ralf Erlebach (✉) · Carolin Frank  
Lehrstuhl Didaktik der Technik, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Deutschland  
E-Mail: [ralf.erlebach@uni-wuppertal.de](mailto:ralf.erlebach@uni-wuppertal.de)

Carolin Frank  
E-Mail: [cfrank@uni-wuppertal.de](mailto:cfrank@uni-wuppertal.de)

## Role of prior knowledge in learning with external representations

Theory-based derivation and systematic literature review

**Abstract** Working with external representations poses a serious challenge for learners. However, empirical findings on different intervention options based on material and instructional design or metacognitive strategies regarding different entry requirements do not reveal consistent findings about their learning facilitation. Therefore, the reception processes based on the Integrated Model for Text-Picture-Comprehension (ITPC) is considered in detail focusing on the cognitive demands placed on learners during reception processes. Subsequently, a systematic literature review of empirical findings on the influence of different types of prior knowledge on comprehension is conducted and from its findings a framework for examining these cognitive demands is developed. Finally, implications for planning and incorporating external representations into the instructional learning process are briefly presented.

**Keywords** External representation · Representational competence · Representational dilemma · Prior knowledge · Integrated model of text-picture-comprehension (ITPC)

### 1 Einleitung

Die Rezeption und lernförderliche Informationsentnahme aus grafischen Beschreibungsmitteln, mathematischen Formeln oder anderen externen Repräsentationen bereitet Schülerinnen und Schülern häufig Schwierigkeiten (vgl. Renkl und Scheiter 2017). Als externe Repräsentation wird dabei jede Darstellungsform bezeichnet, die auf einen Gegenstand verweist oder einen Sachverhalt referiert (vgl. Ainsworth 2008). Dabei treten in Lehr-Lern-Kontexten üblicherweise Kombinationen aus geschriebener oder gesprochener Sprache und einer oder mehreren weiteren externen Repräsentationen auf. Als empirisch gut gesichert gilt, dass der Einsatz multipler externer Repräsentationen grundsätzlich lernförderlich ist (Levie und Lentz 1982; Peeck 1993). Dies gilt auch für den Einsatz abstrakter Darstellungen (Eitel 2016). Diese Lernförderlichkeit ist darin begründet, dass die zusätzlichen Repräsentationen, die zum Verstehen notwendigen kognitiven Prozesse gezielt unterstützen, Sachverhalte verdeutlichen und aufklären oder direkt als Ausgangspunkt mentaler Konstruktionstätigkeiten dienen (Ainsworth 2006). Die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Darstellungsformen erfolgreich wechseln und solche hinsichtlich enthaltener Zusammenhänge manipulieren zu können, ist in der Literatur unter dem Begriff „Repräsentationale Kompetenz“ (Ainsworth 1999; Kozma und Russell 1997) zu finden. Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass Lernende das Lernpotenzial multipler Repräsentationen nur dann ausschöpfen, wenn bei ihnen die hierfür benötigte Repräsentationskompetenz ausgeprägt ist (vgl. Eitel et al. 2020; Renkl et al. 2013; McElvany et al. 2012).

Empirische Erkenntnisse legen nahe, dass die Förderung von Repräsentationskompetenz einen größeren Einfluss auf den Erwerb von Inhaltswissen hat als inhaltliches Vorwissen in der untersuchten Domäne selbst (Nitz et al. 2014a; vgl.

auch Nitz et al. 2014b, 2012). Zugleich ist bekannt, dass inhaltliches Lernen im Fachunterricht nicht zwangsläufig mit einem Erwerb repräsentationaler Kompetenz einhergeht (Bowen und Roth 2002). Aus diesem Grund fordern Nitz et al. (2014a) den Einbezug „eines expliziten repräsentationalen Fokus beim Lehren und Lernen“ als Qualitätsmerkmal von Lehr- und Lernprozessen (Nitz et al. 2014a, S. 14). Sich mit geeigneten Strategien zum Einsatz von Repräsentationen vertieft zu beschäftigen, erscheint somit notwendig. Dies ist umso relevanter, da Lehrkräften oftmals die Schwierigkeiten, welche Lernende bei der Verarbeitung der dargebotenen Repräsentationen erfahren, nicht bewusst sind (McElvany et al. 2012). Für Lehrkräfte ist es demzufolge eine erhebliche Herausforderung, die Text-Bild-Integration bei konkreten Lernmaterialien zu adressieren. Ebenso haben sie Schwierigkeiten, die dafür notwendigen Kompetenzen ihrer Schülerinnen und Schüler einzuschätzen. Zudem erkennen Lehrende mehrheitlich die Fähigkeit, bildliche Darstellungen interpretieren zu können, nicht als ein eigenständiges Lernziel an, noch sind sie für gezielte Maßnahmen ausgebildet, die Text-Bild-Integration zu fördern (McElvany et al. 2009). Dabei sind gerade schwächere Lernende – besonders bei unzureichender Unterstützung durch Lehrende – mit dem sog. „repräsentationalen Dilemma“ konfrontiert. Dieses Dilemma beschreibt die Situation, dass Lernende Wissen aus Repräsentationen erwerben sollen, die sie einerseits aufgrund mangelnden Vorwissens über Funktion, Bedeutung oder vorausgesetzten Inhaltsvorwissen nicht oder nur unzureichend verstehen – und andererseits können sie aufgrund der Tatsache, dass sie die ihnen vorgelegten Repräsentationen nicht verstehen, das benötigte Wissen sich auch nicht selbst erarbeiten oder erschließen (Ainsworth 2008; Rau 2016).

Der Fokus der bisherigen Forschung und Literatur liegt vor allem auf der Untersuchung unterstützender Designentscheidungen für Lehrmaterial (vgl. Mayer 2002; Schnotz 1994) sowie unterstützender didaktischer Interventionen (vgl. Renkl und Scheiter 2017; Scheiter et al. 2018). Insbesondere differenzierende Übersichtsartikel zur Bedeutung des Vorwissens, dessen unterschiedlichen Arten sowie einer Einordnung dieser in den kognitiven Verarbeitungsprozess sind bislang nicht publiziert. Dies stellt angesichts der beschriebenen Probleme im Umgang mit Repräsentationen im unterrichtlichen Kontext eine Lücke dar, schließlich eröffnet insbesondere eine detaillierte Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Verstehensprozessen und Vorwissen Lehrenden die Möglichkeit, die sich dem Lernenden ergebenden repräsentationalen Herausforderungen gezielt zu diagnostizieren, Lehrmaterial im Hinblick auf den Einsatz von Repräsentation zielgruppenspezifisch einzuschätzen und anzupassen sowie die eigene Unterrichtspraxis zu reflektieren.

Der Artikel widmet sich daher der Rolle des Vorwissens beim Verstehen statischer, externaler Repräsentationen<sup>1</sup> und wie dessen Vorliegen bzw. dessen Abwesenheit den Rezeptionsprozess im Detail beeinflusst. Dazu wird das Konstrukt Vorwissen zunächst unter Zuhilfenahme der Theorie kognitive Verarbeitungsprozesse

---

<sup>1</sup> Der Fokus dieses Artikels liegt ausschließlich auf statischen Repräsentationen, da zum einen die Mehrheit der Lehrenden digitalen Lernmedien und somit Lernträgern mit animiert-interaktiven Repräsentationen grundlegend reserviert gegenüberstehen (Drossel und Eickelmann 2018) und selbst in Zeiten des Corona-Shutdowns 2020 die Mehrzahl der eingesetzten Lernmedien ausschließlich statische Repräsentationen bereitstellt (Lampert et al. 2021).

sowie den in der didaktischen Literatur berichteten Aspekten in verschiedene Arten mit unterschiedlichen Funktionen aufgliedert. Anschließend wird die Frage nach dem Einfluss dieser identifizierten Vorwissensarten auf die Rezeptionsprozesse auf Basis eines Literaturreviews der vorliegenden empirischen Befundlage untersetzt und diskutiert. Im Ausblick werden dann auf Basis der erarbeiteten Erkenntnisse Konsequenzen für die Förderung repräsentationaler Kompetenz abgeleitet.

## 2 Vorwissen bei der Rezeption von Repräsentationen

Ziel dieses Abschnittes ist, aus den einzelnen kognitiven Prozessschritten bei der Repräsentationsverarbeitung das jeweils benötigte Vorwissen hinsichtlich Art und Inhaltsbereich abzuleiten. Als theoretische Grundlage hierfür bieten sich kognitive Modelle aus der Multimedia-Forschung und der Kognitionspsychologie mit Schwerpunkt auf Text- und Bild-Verstehen an, beispielsweise die Dual Coding Theory (Paivio 1990) oder die Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer 2014). Im Rahmen dieses Artikels wird auf das integrierte Modell des Text-Bild-Verstehens (Schnotz und Bannert 2003; Schnotz 2014) zurückgegriffen, da dies die Erkenntnisse der genannten Modelle aufgreift und vollständig inkorporiert, beispielsweise getrennte Prozessoren für sprachlich-symbolische und räumlich-bildhafte Informationen des Arbeitsgedächtnis (Baddeley und Hitch 1974), eine parallele (duale) Verarbeitung und Kodierung in sprachlich-symbolische und räumlich-bildhafte Informationen (Paivio 1990) sowie die Erkenntnis der Mehrstufigkeit der Prozesse in beiden Verarbeitungskanälen (Mayer 2014). Darüber hinaus lassen sich durch die ausdifferenzierte Beschreibung der Prozesse innerhalb des ITPC die einzelnen Verarbeitungswege und Übergänge zwischen den beiden Kanälen präzise nachvollziehen und beschreiben, sodass sich im Detail benötigte Vorwissensbestände identifizieren lassen.

### 2.1 Das Integrierte Modell des Text-Bild-Verstehens (ITPC)

Das Integrierte Modell des Text-Bild-Verstehens (engl.: Integrated Model of Text-Picture Comprehension, ITPC) beschreibt umfassend die Rezeption unterschiedlichster Arten externaler Repräsentationen wie z. B. gesprochener Sprache, Schrifttext, Gleichungen, Tabellen, Diagramme oder Bilder. Das vollständige Modell ist in Abb. 1 dargestellt.

In der linken Hälfte des Modells ist der deskriptionale Verarbeitungs kanal zu finden, der symbolisch-kodierte Informationen wie beispielsweise gesprochene oder geschriebene Sprache, sowie mathematische oder chemische Formeln usw. verarbeitet. Symbolische Informationen bestehen aus arbiträren Zeichen, z. B. Buchstaben, Zahlen, Formel- oder Satzzeichen usw., zusammen. Diese sind in einer linearen Aneinanderreihung zu dekodieren und werden in Propositionen, d. h. logisch überprüfbare Einzelaussagen, umgewandelt (Schnotz 2014).

Auf der rechten Seite findet sich im Modell der depiktionale Verarbeitungs kanal wieder, der ikonisch-kodierte Informationen verarbeitet, wobei diese aus Form und Topografie der einzelnen Elemente zu erschließen sind. Die daraus erschlossenen

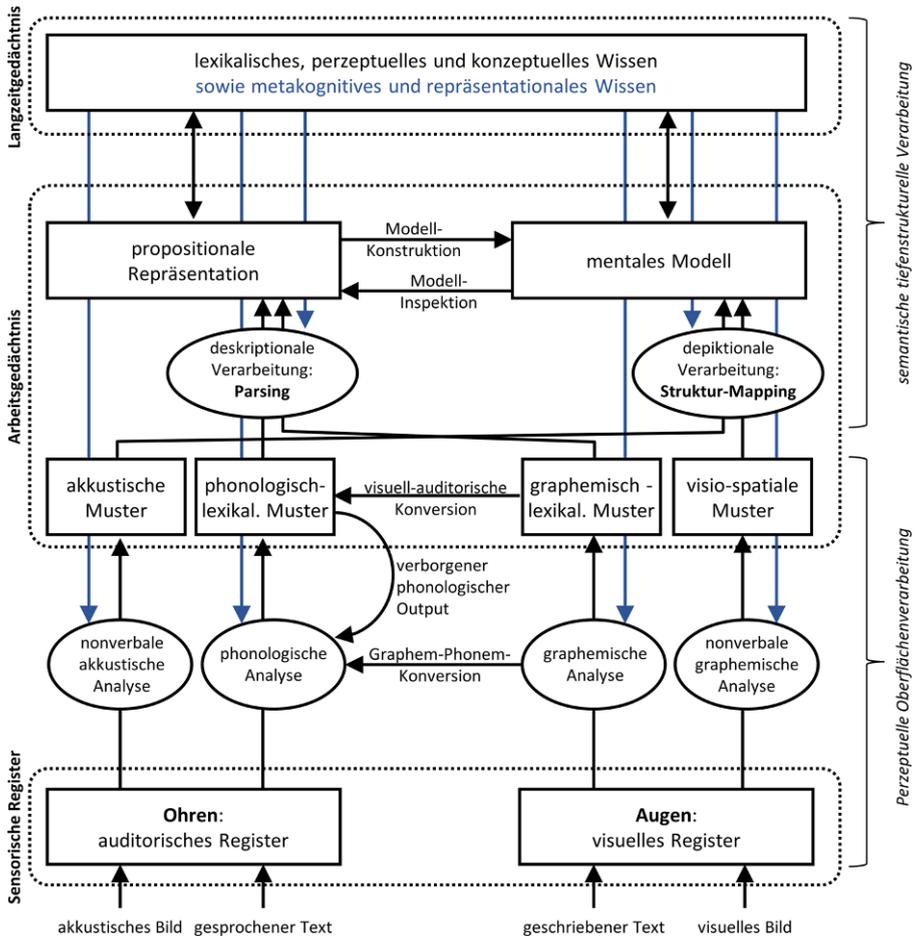


Abb. 1 Integriertes Modell des Text-Bild-Verstehens (Schnotz 2014) mit eingezeichnetem Top-Down-Transfer von Vorwissen, (übersetzt und um die Top-Down-Informationsflüsse ergänzt durch die Autoren)

Informationen und Bedeutungszusammenhänge werden in ein Mentales Modell<sup>2</sup> überführt, eine außer-sprachliche Vorstellung der jeweiligen Zusammenhänge.

Die Pfeile im Modell symbolisieren Informationsflüsse. Dabei sind sowohl aufsteigende, datengeleitete (*Bottom-Up*) als auch absteigende, vorwissensgeleitete (*Top-Down*) Vorgänge berücksichtigt (Schnotz 2014). Verarbeitende Instanzen in Form von Prozessoren sind als Ellipsen dargestellt, Register und Speicher als Rechtecke.

Von unten nach oben gelesen lässt sich das ITPC drei, in der Literatur beschriebene Verarbeitungstufen gliedern:

<sup>2</sup> Innerhalb des Artikels werden feststehende Begriffe und Bezeichnungen, welche z. B. im Sinne des ITPC gebraucht werden, als Eigenname großgeschrieben.

1. *Wahrnehmung und perzeptuelle Oberflächenverarbeitung*, also die Verarbeitung der aufgenommenen Reize in den Sensorischen Registern zu oberflächenstrukturellen Mustern,
2. *tiefenstrukturelle Analyse der repräsentationalen Oberfläche*, durch Parsing bzw. Struktur-Mapping zu Propositionalen Repräsentationen bzw. einem Mentalen Modell sowie
3. *Kohärenzformation* (Brünken et al. 2005; Seufert 2003; Schnotz 2011) in der obersten Ebene der tiefenstrukturellen Verarbeitung, bei der Propositionale Repräsentationen und Mentales Modell abgeglichen und mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis integriert werden.

Im Rahmen dieses Artikels wird der weiteren Betrachtung des Rezeptionsprozesses im Folgenden diese Dreiteilung zugrunde gelegt werden.

## 2.2 Vorwissen und kognitive Rezeptionsprozesse

Für die Frage nach dem Vorwissen sind im Besonderen die in Abb. 1 in blauer Farbe dargestellten Informationsflüsse von Interesse, welche aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden und Top-Down die Verarbeitung in den jeweiligen Prozessoren der einzelnen Prozessstufen anleiten. Um das notwendig werdende Vorwissen hinsichtlich Art und Inhalt abzuleiten, werden die kognitiven Prozesse auf den zuvor vorgestellten Prozessebenen unter Einbezug theoretischer und didaktischer Literatur detailliert beschrieben.

### 2.2.1 *Wahrnehmung und perzeptuelle Oberflächenverarbeitung*

Im Umgang mit Repräsentationen geschieht die Reizaufnahme hauptsächlich über die Sinnesorgane Augen, Ohren sowie den Tastsinn in den Händen. Dabei tragen im Fall klassischer Lernmedien (Lehrbuch, Arbeitsblatt) die Augen durch optische Sinneswahrnehmungen maßgeblich zur Informationsaufnahme bei. Daher wird der visuelle Kanal im Folgenden im Fokus stehen (vgl. Kosslyn 1975).

Die aufgenommenen optischen Reize werden im Sensorischen Register für die Zeitdauer von bis zu einer Sekunde vorgehalten und Informationen, auf die Aufmerksamkeit gerichtet wird, werden ins visuelle Arbeitsgedächtnis überführt (Schnotz 2014). Anschließend erfolgt eine graphemische Analyse, bei der in getrennten Prozessoren verbale sowie nonverbale und visuelle Elemente identifiziert werden. Als präattentive Prozesse entziehen sich beide Prozessschritte weitgehend dem Bewusstsein des Rezipienten (Schnotz 2014), allerdings sind eine bewusste Aufmerksamkeitssteuerung und ein systematisches Erfassen der Repräsentation mithilfe metakognitiver Erschließungsstrategien möglich (Kaiser und Kaiser 2018).

Die auf den Selektionsprozess abzielenden Erschließungsstrategien beinhalten dabei deklaratives Repräsentationswissen über Konventionen zu Form und Struktur der Repräsentation: z.B. Leserichtung und hinweisgebende Präsignale bei Texten sowie Titel, Achsen und Beschriftungen bei Diagrammen. Zur sich anschließenden graphemischen Analyse werden darüber hinaus perzeptuell-prozedurales Repräsentationswissen zu konventionalisierten Zeichen und graphemischen Schemata

bedeutsam (Cleveland und McGill 1985). Für das Dekodieren beispielsweise von Schrifttexten oder mathematischen Formeln ist es notwendig, die wahrgenommene Kombination aus Buchstaben bzw. Zahlen und Symbole in Phoneme zu übersetzen und daraus die wörtliche Textoberfläche zu erschließen. Bei bildhaften Inhalten, wie diese beispielsweise in Diagrammen zu finden sind, müssen hingegen Farben und Formen, aber auch deren Lage und Größe erfasst werden, um eine Topologie der depiktionalen Oberflächenstruktur zu erhalten. Grundsätzlich handelt es sich bei der Identifikation von Buchstaben, Symbolen, Formen und Farben in der Regel um hoch-automatisiertes Wissen zur Perzeption, welches daher als perzeptiv-prozedural bezeichnet werden kann.

Zusammenfassend sind zwei wesentliche Prozessschritte von den Lernenden zu leisten: die Selektion und die graphemische Oberflächenanalyse. Für den Selektionsprozess ist Repräsentationswissen hilfreich, welches als Strategie den Inspektionsprozess auf der Handlungsebene steuert, während bei der Oberflächenanalyse sowohl Kenntnisse über basale graphische Schemata und Zeichen als auch das Wissen über strukturelle Konventionen wie z.B. die Leserichtung notwendig sind, um erfolgreich zu einer mentalen Abbildung der repräsentationalen Oberfläche zu gelangen (Hegarty 2014). Diese besteht aus graphemisch-lexikalischen Mustern bei deskriptionalen und visio-spatialen Mustern bei depiktionalen Inhalten.

### 2.2.2 Tiefenstrukturelle Analyse der repräsentationalen Oberfläche

Anschließend werden die identifizierten Oberflächenmerkmale innerhalb des deskriptionalen Verarbeitungskanals durch Parsing- und innerhalb des depiktionalen Verarbeitungskanal durch Struktur-Mapping-Prozesse tiefenstrukturell analysiert und Bedeutung zugewiesen. Dabei werden unter dem noch im Detail zu beschreibendem Einbezug von Vorwissen Kombinationen von Oberflächenmerkmalen ausgewertet und als bedeutungstragende Informationen in die entsprechenden Speicher des jeweiligen Verarbeitungskanal überführt (Schnotz 2014): Das Parsing führt zu Propositionalen Repräsentationen, das Struktur-Mapping zu einem Mentalen Modell als Ergebnis dieser tiefenstrukturellen Analyse. Sowohl Parsing als auch Struktur-Mapping können dabei parallel ausgeführt werden (Kürschner und Schnotz 2008).

Welches Vorwissen wird dabei notwendig? Allgemein wird für die tiefenstrukturellen Analyseprozesse in beiden Verarbeitungskanälen Wissen über die Funktion der Repräsentation notwendig, durch das Hinweise auf bedeutungstragende Oberflächenmerkmale und Zusammenhänge bereitgestellt wird. Zudem sind bei diesen Prozessen Kenntnisse und Wissen über repräsentationsspezifische Strategien zur Inhaltsschließung hilfreich. Diese Strategien können bei Texten ein bewusstes Achten auf inhaltsverknüpfende Wortarten und Phrasen sein, bei Zahlen ein Umstellen und Re-Arrangieren der Urliste oder bei Bildern das bewusste Aufspüren von bildsprachlichen Elementen wie Metaphern oder Stereotype (Kaiser und Kaiser 2018). Darüber hinaus wird in Abhängigkeit, ob symbolisch- oder ikonisch-kodierte Informationen zu verarbeiten sind, spezifischeres Vorwissen benötigt. Daher werden folgend die jeweiligen Prozesse im deskriptionalen bzw. depiktionalen Verarbeitungskanal getrennt im Detail betrachtet.

Bei deskriptionalen Informationen erfolgt die tiefenstrukturelle Analyse durch den Prozess des Parsing, bei dem mithilfe lexikalischen und konzeptuellen Vorwissens die referierten Begriffe und Konzepte aktiviert, die durch die Repräsentation selbst inhaltlich (noch) nicht geklärt werden (Otten et al. 2007). Darüber hinaus werden unter Hinzuziehen von Repräsentationswissen über bezugserzeugende Konventionen die Aussagen des Textes oder der Formeln rekonstruiert. Diese Konventionen setzen sich bei Texten einerseits aus lexikalischen Einheiten wie Junktionen und Konnektoren zusammen, andererseits aber auch durch die Logik und den Aufbau der Gedankenführung, welche Rückschlüsse auf die Intention des Autors und die Erwartung kommender Aussagen zulassen (Ferreira und Chantavarin 2018; Otten et al. 2007; Verhoeven und Perfetti 2008). Auch für mathematische oder chemische Formeln ist die Kenntnis über bezugserzeugende Konventionen in Form von Operatoren zum Verständnis der Aussage als notwendig zu erachten. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die semantische Bedeutung des Plus-Symbols in der Bedeutung einer additiven Hinzufügung.

Ebenso sind für die tiefenstrukturelle Erschließung während des Parsing zusätzliche Informationen bezüglich des Verwendungskontextes miteinzubeziehen, die den Gültigkeitsbereich der enthaltenen Aussagen mitbestimmen. Dies gilt sowohl für Texte als auch für Zahlen und Tabellen. Als Ergebnis des Parsing-Prozesses liegt den Lernenden der Inhalt der Repräsentation in Form von einzelnen Aussagen (Propositionen) vor, die im nächsten Schritt unter Einbezug von Inhaltsvorwissen auf Stimmigkeit hin geprüft werden können (Schnotz 2014; Van Dijk und Kintsch 1983).

Bei der depiktionalen Verarbeitung erfolgt hingegen die tiefenstrukturelle Analyse in Form des Struktur-Mapping. Hierbei werden auf Grundlage der Oberflächenmerkmale und deren Topografie bedeutungstragende Sachverhalte konstruiert und erschlossen. Diese Sachverhalte wiederum tragen zur Bildung eines Mentalen Modells bei, das die Situation und die gesamten erfassten Informationen internal auf nonverbale Weise repräsentiert. Vor allem bei abbildenden Repräsentationsformen wird somit die depiktionale Verarbeitung bedeutsam. Hierbei ist zu unterscheiden, ob es sich um reale oder um logische Bilder (vgl. Schnotz 2002) handelt.

Reale Bilder, wie z.B. Fotos oder Zeichnungen, stellen Sachverhalte erscheinungsaffin (Storz und Wirsing 1987) dar. Neben dem Erkennen von Gegenständen und Sachsystemen werden zumeist situative Wissensbestände zum Verständnis notwendig. So können auf Fotos oder Zeichnungen z.B. abgebildete Handlungen zu identifizieren und in einen Kontext einzuordnen sein (Rey 2012). Diese Vorgänge sind höchst individuelle Prozesse, da nicht auf einen allgemeingültigen Wissenskanon, sondern auf den subjektiven Erfahrungsschatz des Einzelnen zurückgegriffen wird. Repräsentationales Wissen über Bildaufbau und Bildsprache kann bei der Identifikation der Bild-Botschaft unterstützen (Kaiser und Kaiser 2018); es ist somit zwar nicht notwendig, aber hilfreich.

Logische Bilder, wie beispielsweise Balken- oder Liniendiagramme bzw. Schalt- oder Ablaufpläne, hingegen weisen keine Affinität mit der konkreten Erscheinung des Sachverhaltes auf, bilden aber wesentliche Merkmale ab (Storz und Wirsing 1987). Ein Beispiel für die Darstellung quantitativer Zusammenhänge sind Liniendiagramme. In diesem Fall liegt der Fokus der tiefenstrukturellen Analyse auf dem Ablesen und Vergleichen von Einzelwerten sowie dem Auffinden von Trends

(Lachmayer et al. 2007). Diese weitgehend automatisierten Vorgänge stellen Beispiele für prozedurales Wissen zum Umgang mit der Repräsentationsform dar. Darüberhinausgehende Ansprüche an die Lernenden stellen hingegen z. B. Scatterplots und Liniennetzdiagramme, bei welchen Wertegruppen klassifiziert und bedeutende Bereiche identifiziert werden müssen. Hierzu wird zusätzlich domänenspezifisches Inhaltsvorwissen über diese Wertegruppen oder Bereiche benötigt.

Ebenso können logische Darstellungen qualitative Zusammenhänge thematisieren, wie dies bei Karten, bei Ablaufdiagrammen oder bei Plänen zum schematischen Aufbau technischer Gerätschaften der Fall ist. Hierzu ist Wissen über die genutzten Konventionen und Symbole entscheidend, um die Konfiguration der graphischen Einzelemente und deren Bedeutung zu entschlüsseln. Zusätzlich sind in den visuellen Mustern sinntragende Formationen zu erkennen, beispielsweise Bauteile und übergeordnete Baugruppen in technischen Schaltplänen oder Großwetterlagen auf meteorologischen Karten. Diesen Formationen können Experten bestimmte Funktionen oder zusammenhängende Funktionsweisen mental zuordnen (Lowe 1996). Derartige erweiterte Informationen können also aufgrund eines mit den entsprechenden graphischen Einzelementen assoziierten Inhaltsvorwissens über naturwissenschaftliche Prinzipien sowie komponentenspezifischen Funktionen und Funktionsweisen aus der Abbildung herausgelesen werden.

Für depiktional kodierte Informationen lässt sich somit festhalten, dass während bei der Rezeption logischer Bilder vorzugsweise (aber nicht ausschließlich) Sachwissen zu aktivieren ist (z. B. Wissen über Daten, Bauteile und Baugruppen, Funktionsweise und Funktionen, Naturgesetze), jedoch für reale Bilder oftmals situatives Inhaltsvorwissen bedeutsam wird, welches den Lebenswelten der Rezipierenden, d. h. Schulbildung, Arbeitserfahrung oder dem Alltag, entstammt. Als Ergebnis der tiefenstrukturellen Analyse liegen den Lernenden Mentale Modelle des Sachverhalts vor. Schnotz (2019) weist unter Bezug auf Johnson-Laird (1983) darauf hin, dass Mentale Modelle mehr als nur (visuelle) Vorstellungen darstellen und „eine strukturelle oder funktionale Analogie zum repräsentierten Gegenstand besitzen“ (Schnotz 2019, S. 97) können. Das Mentale Modell ist daher als innere Vorstellung zu verstehen, durch welche die Lernenden ihr Verständnis über den Sachverhalt durch mentale Manipulationen an unterschiedliche Gegebenheiten anpassen oder auf inhaltliche Konsistenz prüfen können.

Das Mentale Modell sowie die Propositionalen Repräsentationen stellen daher zwischenzeitliche Ergebnisse der datengeleiteten Verstehensprozesse in beiden Verarbeitungs Kanälen dar, welche unabhängig von der ursprünglichen Repräsentation nur an die deskriptionale bzw. depiktionale Kodierung gebunden sind. Der rein strukturelle Charakter erlaubt, unter Einbezug von Inhaltsvorwissen die Informationen im nächsten Verarbeitungsschritt über kodalitätsspezifische Grenzen hinweg auf Konsistenz zu überprüfen, Widersprüche zu identifizieren, Vermutungen und Schlussfolgerungen abzuleiten und die dabei auftretenden, kognitiven Konflikte zu lösen.

### 2.2.3 Ausbildung einer semantisch-kohärenten Tiefenstruktur

Die Ausbildung einer semantisch-kohärenten Tiefenstruktur, auch als Kohärenzformation (Seufert 2003) bezeichnet, geschieht durch die Interaktion von Propositionalen Repräsentationen, Mentalen Modell und dem Langzeitgedächtnis. Zwischen den Propositionalen Repräsentationen und dem Mentalen Modell geschieht diese Interaktion einerseits durch das Modell-Refinement, andererseits durch den Abgleich der vorliegenden Informationen mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis im Rahmen der sogenannten Kohärenzformation.

Beim Modell-Refinement werden zum einen die Propositionale Repräsentationen durch eine Modell-Konstruktion in das Mentale Modell überführt oder integriert. Dabei tragen bereits im Langzeitgedächtnis vorliegende, mit dem Thema assoziierte Bilder und deren Deutungen im Sinne paradigmatischer Bildbezüge (Kaiser und Kaiser 2018) zur Anreicherung des Mentalen Modells bei. Zum anderen wird bei der Modell-Inspektion, der Gegenrichtung zur Modell-Konstruktion, das Mentale Modell herangezogen, um Assoziationen zu den vorliegenden Begrifflichkeiten zu erlauben, neue Propositionen auszubilden oder bestehende Propositionen auf deren aussagenlogische Korrektheit zu prüfen (Schnotz 2014). Für beide Prozesse wird damit neben Inhaltsworwissen auch Wissen bezüglich der Bildung von Implikationen und Kausalketten notwendig. Letzteres bildet automatisiert kognitive Denkmuster ab und wird im Folgenden daher als kognitiv-prozedurales Wissen bezeichnet.

Im Detail wird dieser kohärenzstiftende Prozess zwischen Propositionalen Repräsentationen, Mentalen Modell und Vorwissen dabei durch die fundamentalen Prozesse des Deduzierens, Abduzierens und Induzierens abgebildet (Johnson-Laird et al. 2018). Deduktion beschreibt Vorgänge, bei denen unter gegebenen Bedingungen Schlussfolgerungen gezogen werden, Abduktion die Lösung kognitiver Konflikte unter Hinzuziehen eigenen Vorwissens und Induktion exemplarisches Hinzuziehen von Vorwissen zur Einschätzung einer (numerischen) Wahrscheinlichkeit eines Sachverhaltes (vgl. Johnson-Laird et al. 2018). Um diese Operationen auszuführen, werden inhaltliches (Domäne, Arbeits- und Lebenswelt) und formal-logisches Wissen (kausale Muster, Kausalketten) sowie mental-räumliche Fähigkeiten zur Manipulation (Rotation, Translation, Temporalität, Kausalität) benötigt. Johnson-Laird et al. (2018) legen anhand verschiedener Beispiele dar, dass ein Ge- oder Misslingen dieser Prozesse maßgeblich davon abhängt, inwiefern die jeweils zu bildenden Mentalen Modelle die Problemstellung vollständig abbilden. Während der Abruf und die oberflächliche Anpassung bestehender Mentaler Modelle häufig zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führt, ist eine tiefenstrukturell-angeleitete Modellkonstruktion mit einer erhöhten Erfolgswahrscheinlichkeit verbunden (Johnson-Laird et al. 2018; vgl. auch Evans und Stanovich 2013; Kahneman 2011; Tversky und Kahneman 1983).

## 2.3 Zusammenfassung bezüglich Vorwissens

In den vorangegangenen Abschnitten wurde im Rahmen einer eingehenden Betrachtung der im ITPC beschriebenen kognitiven Prozesse das bei der Rezeption von Repräsentationen benötigte Vorwissen herausgearbeitet. Aus dieser Betrachtung heraus

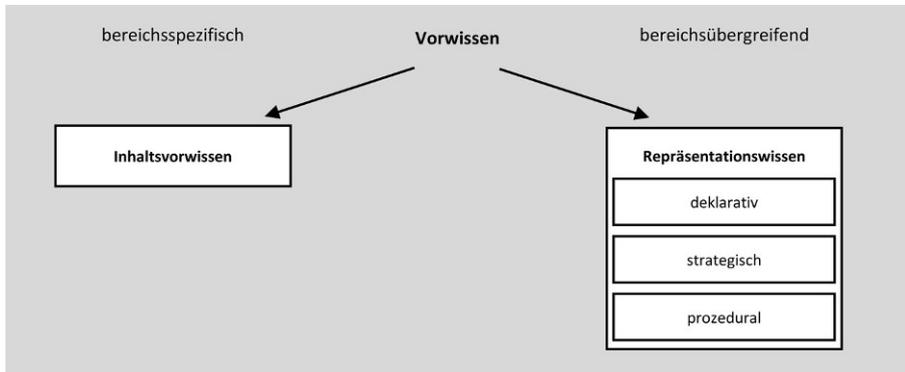
kann das bedeutsame Vorwissen grundsätzlich in zwei Arten unterschieden werden, welchen verschiedene Funktionen im Rezeptionsprozess zukommen: das Inhaltsvorwissen, welches häufig bereichsspezifisch und weitgehend unabhängig von der jeweiligen Darstellungsform, der Repräsentation, vorliegt und ein repräsentationspezifisches Wissen, welches den Rezeptionsvorgang der konkreten Repräsentation anleitet und somit losgelöst vom Inhalt und zumeist auch dessen Domäne besteht. Während Inhaltsvorwissen bereichsspezifisch ist, ist bei letzterem von einem bereichsübergreifenden Repräsentationswissen zu sprechen. Allerdings ist eine Abgrenzung der beiden Wissensarten keinesfalls trivial und bedarf weiterer Klärung: Zum einen ergeben sich durch die grobe Unterteilung „Inhaltsvorwissen“ vs. „Repräsentationsvorwissen“ missverständliche Aspekte, zum anderen lassen die diese großen Kategorien entsprechend deren funktionalen Bedeutung im Rezeptionsprozess weiter untergliedern.

Es soll an dieser Stelle daher vorgehoben werden, dass **Inhaltsvorwissen** zwar unabhängig von der einzelnen Repräsentation besteht, ob es aber für den Rezeptionsprozess von Bedeutung und zu aktivieren ist, kann durchaus von der einzelnen Repräsentation abhängen. So wird beispielsweise lexikalisches Wissen zu Fachvokabular bei textuellen Repräsentationen wie einem Fachtext oder einer Tabelle benötigt, bei einer rein graphischen Darstellung des Sachverhaltes möglicherweise jedoch nicht.

Darüber hinaus können zwar einzelne Sachverhalte des Inhaltsvorwissens einer bestimmten Domäne zugeordnet werden, z. B. einer Wissenschaftsdisziplin oder einem lebensweltlichen Bereich, bei der Rezeption einer Repräsentation jedoch können verschiedenste Sachverhalte aktiviert und bedeutsam werden. Diese unterschiedlichen Sachverhalte wiederum können aus verschiedenen Domänen entstammen. Für die Erschließung einer Repräsentation also ist nicht unbedingt nur Wissen aus einer einzigen Domäne notwendig.

Schließlich wird Inhaltsvorwissen sowohl als notwendige Voraussetzung auf der Ebene der tiefenstrukturellen Verarbeitung der Oberflächenstruktur bedeutsam, aber ebenso als hilfreiches Hintergrundwissen während der Kohärenzformation. Bei letzterem Prozess dient dieses zur Einordnung und Anknüpfung neuer Erkenntnisse. Das Inhaltsvorwissen nimmt somit zwischen diesen beiden grundsätzlich unterschiedlichen Verarbeitungsebenen eine funktional andere Bedeutung ein und die dafür aktivierten Sachverhalte können ebenso aus sehr verschiedenen Domänen entstammen.

Etwas anders verhält es sich beim **Repräsentationswissen**: Repräsentationswissen ist nicht an eine Domäne, sondern vielmehr an die Repräsentationsform gebunden. Zudem ist, anders als Inhaltsvorwissen, nicht jede Form des in der Literatur beschriebenen Repräsentationswissens Rezipierenden grundsätzlich bewusst. Etliche gut eintrainierte Prozesse laufen automatisiert – und somit unbewusst – ab. Andere Vorgänge können als Strategien ausformuliert und als Handlungsplan gesteuert ausgeführt werden. Diese sind bewusstseinsfähig. Eine weitere Form von Repräsentationswissen stellt deklaratives Faktenwissen über die Repräsentation dar. Beispiele dafür sind die Kenntnisse von Namen und Funktionen einzelner Elemente der Repräsentation, wie z. B. Achsenbezeichnungen und Skaleneinteilungen von Diagrammen. Dieses Wissen ist Rezipierenden grundsätzlich bewusst, es handelt



**Abb. 2** Klassifizierung des Vorwissens bei der Rezeption von Repräsentationen

sich somit um bewusstseinspflichtige Wissensanteile. Abb. 2 stellt die Klassifizierung in der Übersicht dar.

An dieser Stelle soll ergänzend betont werden, dass der Grad der Bewusstseinsfähigkeit der jeweiligen Wissensart unmittelbare Implikationen auf die Frage der Vermittelbarkeit mit sich bringt. Aus diesem Grund muss an dieser Stelle diese Einteilung in deklaratives, strategisches und prozedurales Repräsentationswissen aufbereitet werden, wobei die Unterscheidung zwischen strategischem (d.h. Wissen über eine zu befolgende Handlungsweise) von prozeduralem (d.h. Wissen, dass sich in einer automatisierten, unbewussten Handlung ausdrückt) von den jeweiligen Kompetenzständen der Rezipierenden abhängt.

Unter Zuhilfenahme dieser Kategorisierung fasst Tab. 1 die Unterteilung des Vorwissens hinsichtlich der Auseinandersetzung mit den Verarbeitungsprozessen in den verschiedenen Verarbeitungsstufen aus Abschn. 2.2 im Detail zusammen. Tab. 1 stellt somit auch die Antwort auf die erste Teilfrage nach den in der didaktischen Literatur berichteten Vorwissen, dessen Klassifizierung und Einordnung innerhalb des kognitiven Verarbeitungsprozesses dar.

**Tab. 1** Wissen für Repräsentationsarbeit (Zusammenfassung) nach Verarbeitungsstufe aufgeschlüsselt

Verarbeitungsprozess im ITPC	deskriptional	depiktional
<b>Wahrnehmung und Aufmerksamkeitssteuerung</b>	<b>Bereichsübergreifendes Repräsentationswissen:</b>	
perzeptuelle Oberflächenverarbeitung	<i>Deklaratives Repräsentationswissen</i>	
sensorische Register	– Konventionalisierte Zeichen (Buchstaben, Zahlen etc.)	– Graphemische Schemata (Farben, Formen etc.)
Arbeitsgedächtnis	<i>Strategisches oder prozedurales Repräsentationswissen</i>	
	– (Bewusste) Aufmerksamkeitssteuerung	
	– Wissen über Präsignale (Überschriften, Gliederung, Hervorhebungen etc.)	– Wissen über Leserichtung
		– Wissen über bedeutsame Elemente und deren Lage (Titel, Achsen, Quellenangabe etc.)

**Tab. 1** (Fortsetzung)

Verarbeitungsprozess im ITPC	deskriptional	depiktional
<b>Tiefenstrukturelle Verarbeitung der Oberflächenstruktur</b> semantische tiefenstrukturelle Verarbeitung Arbeitsgedächtnis	<b>Bereichsspezifisches Inhaltsvorwissen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schul-, Arbeits- und Lebensweltwissen (zur Inhaltserschließung benötigt), insbes.:</li> <li>– Lexikalisch-semantisches und konzeptuelles Vorwissen (referenzierte Begriffe und Konzepte, Denotationen)</li> <li>– Wissen über Argumentations- und Vorgehensmuster</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wissen über fachwissenschaftliche Konzepte und Prinzipien</li> <li>– Wissen über Funktion und Funktionsweise von dargestellten Elementen</li> <li>– situatives Wissen (Handlungen, Kontext, subjektive Erfahrungen)</li> </ul>	
<b>Kohärenzformation in der Tiefenstruktur</b> höhere semantische tiefenstrukturelle Verarbeitung Arbeitsgedächtnis Langzeitgedächtnis	<b>Bereichsübergreifendes Repräsentationswissen:</b>	
	<p><i>Deklaratives Repräsentationswissen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Wissen über Funktion des Repräsentationstyps</li> <li>– Wissen über bezugserzeugende Konventionen (Junktoren, Konnektoren) und Operatoren</li> </ul> <p><i>Strategisches oder prozedurales Repräsentationswissen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Repräsentationsspezifische Strategien zur Inhaltserschließung, insbes.:</li> <li>– Text: Achten auf inhaltsverknüpfende Textmittel</li> <li>– Zahlen: Umstellen und Umstrukturieren von Urlisten</li> <li>– Bild: bildsprachliche Elemente (Metaphern, Stereotype), Bildaufbau und Bildsprache</li> <li>– Diagramme: Ablesen und Vergleichen von Einzelwerten und Finden von Trends sowie Gruppieren von Werten unter Einbezug von Inhaltsvorwissen</li> </ul>	
<b>Bereichsspezifisches Inhaltsvorwissen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schul-, Arbeits- und Lebensweltwissen (zum Verständnis und Anknüpfen benötigt), insbes.:</li> <li>– Assoziative Konzepte und Bedeutungen</li> </ul>	<b>Bereichsübergreifendes Repräsentationswissen:</b>	
	<p><i>Prozedurales Repräsentationswissen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ersetzungsoperationen im Mentalen Modell zur Anpassung an die Präpositionale Repräsentation</li> <li>– formal-logisches Vorwissen bzgl. Bildung von Implikationen und Kausalketten</li> <li>– Abruf bekannter Mentaler Modelle</li> <li>– mentale Manipulation (Rotation, Translation, temporal-kausale Reorganisation, Selektion)</li> <li>– Ergänzung durch Inhaltsvorwissen, Aufbau inhaltlicher Verknüpfungen</li> </ul>	

### 3 Empirische Befunde zum Einfluss von Vorwissen

Offen ist demnach die Frage, welchen Einfluss das Vorwissen auf den Rezeptionsprozess tatsächlich ausübt. Hierzu sollen qualitativen Ergebnisse aus Kap. 2 im Folgenden mithilfe der vorliegenden quantitativen Befundlage untersetzt werden. Dazu wird ein Review des empirischen Forschungsstandes im Hinblick auf die differenziellen Befunde bezüglich vorhandenen oder abwesenden Vorwissens bei der Rezeption externaler Repräsentationen durchgeführt. Da sich die Forschungslandschaft und somit auch die Literatur in Bezug auf die Rezeption von Repräsentationen aktuell als ein stark fragmentiertes Feld darstellt, ist es Ziel des Reviews, die Erkenntnisse bezüglich der im letzten Kapitel herausgearbeiteten Kategorien des Vorwissens sowie im Hinblick auf die verschiedenen Verarbeitungsstufen zusammenzufassen und auf deren Kohärenz hin zu diskutieren.

Da zu dieser Fragestellung keine dedizierten Studien vorliegen, werden Untersuchungen herangezogen, die quantitativ im Vergleich zu einer Kontrollgruppe den Rezeptionserfolg nach einer entweder Inhaltsvorwissen oder Repräsentationswissen adressierenden Intervention erfasst. Diese Intervention muss sich dabei einer der drei Verarbeitungsstufen zuordnen lassen. Unabhängig vom Untersuchungsdesign werden die Aussagen aus den Studien daraufhin derart ausgewertet, dass Vorwissen als unabhängige Variable behandelt wird.

Zunächst wird das methodische Vorgehen beschrieben, im nächsten Schritt auf die Befundlage im Detail eingegangen und diese anschließend zusammengefasst.

#### 3.1 Methode und Literatúrauswahl

Als Grundlage dieses Reviews wurde eine explorative sowie systematische Literaturrecherche (vgl. Peters und Dörfler 2014) mit den Schlagworten „*representation*“, „*representational competence*“, „*diagram*“, „*inscription*“, „*visualization*“ sowie „*visual display*“ jeweils in Kombination mit „*previous/prior knowledge*“, „*procedural knowledge*“, „*spatial abilities*“, „*strategies*“ und „*familiarity*“ sowie „*comprehension*“ und „*understanding*“ durchgeführt<sup>3</sup>. Die Schlagworte wurden dem laufenden Literaturscreening entnommen und bei Bedarf ergänzt. Zur Suche wurden die auf Pädagogik spezialisierten Fachdatenbanken Pädagogik (FIS) und die des Educational Research Information Center (ERIC) sowie die generellen akademischen Suchmaschinen Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Web of Science und Google Scholar herangezogen, um sowohl den nationalen als auch den internationalen Raum abzudecken sowie einen über den pädagogisch-psychologisch kuratierten Bereich der Fachdatenbanken hinausreichenden Korpus zu erhalten. Zusätzlich wurden die Publikationslisten der am häufigsten ermittelten Autoren ausgewertet (Abb. 3).

In einer ersten Auswahl wurden auf Basis der Überschrift sowie des Abstracts alle Treffer aussortiert, die nicht erkennbar zum Themengebiet der externalen Repräsen-

<sup>3</sup> Ein Beispiel eines nach dieser Systematik zusammengesetzten Suchterms lautet: „*representation*“ AND „*previous knowledge*“ AND („*comprehension*“ OR „*understanding*“). Analog dazu wurde auf Deutsch nach den Begriffen „Repräsentation“, „Repräsentationskompetenz“, „Grafiken“ und „technischen Beschreibungsmittel“ usw. gesucht.

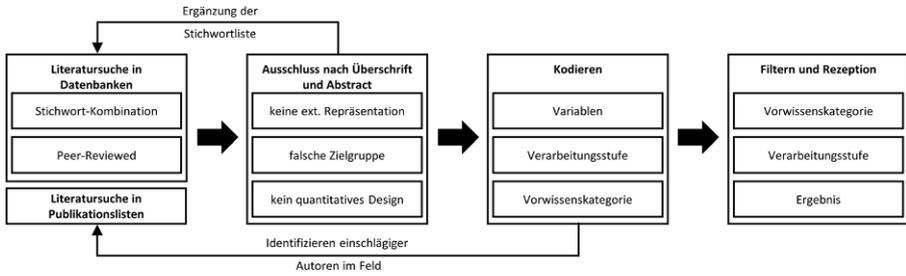


Abb. 3 Darstellung des Literaturrecherche und des Auswahlprozesses

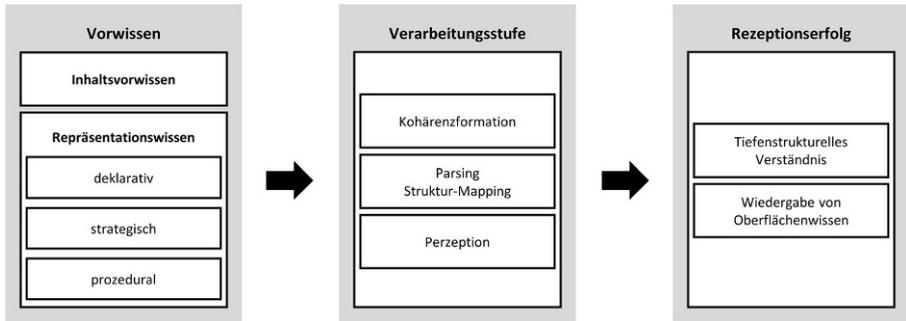


Abb. 4 Prinzipielles Untersuchungsdesign der ausgewerteten Studien zum Einfluss von Vorwissen auf den Rezeptionsprozess

tationen oder zur Zielgruppe zuzuordnen waren. Als Zielgruppe galten nicht Kleinkinder, Lehrende sowie Personen mit pathologischen Befunden oder Lernschwierigkeiten. Im weiteren Auswahlprozess wurde darauf geachtet, dass ausschließlich quantitative und peer-begutachtete Arbeiten Berücksichtigungen fanden, sofern nicht bereits durch Suchparameter diesbezüglich zu filtern war. Berücksichtigung finden somit Dissertationen mit quantitativen Studiendesigns, Metaanalysen sowie in Fachbüchern, Zeitschriftenartikeln oder Sammelbänden veröffentlichte quantitative Studien in englischer und deutscher Sprache.

Die Studien wurden anschließend bezüglich des Untersuchungsgegenstandes, der adressierten Verarbeitungsstufe, abhängigen und unabhängigen Variablen sowie (potenziellen) Mediatoren kodiert. Im Hinblick auf die übergeordnete Fragestellung nach der Rezeption klassischer Lernmedien, d.h. Lernmedien mit statischen Darstellungen, wurden Studien ausgeschlossen, die vorrangig animierte Darstellungen oder einen produktiven Gebrauch untersuchen.

Der Korpus von insg. 374 auf diese Weise ermittelten Beiträgen wurden auf Grundlage dieser Kodierung anschließend nach Studien gefiltert, welche differenzierte Befunde bzgl. des Einflusses von mindestens einer Vorwissenskategorie auf den Wissenserwerb mit Repräsentationen berichten. Ausgewertet wurden schließlich  $n=51$  Studien zum Inhalts- und  $n=72$  Studien zum (deklarativen, strategischen oder prozeduralen) Repräsentationsvorwissen, welche dem in Abb. 4 dargestellten Untersuchungsdesign entsprechen.

## 3.2 Ergebnisse aus den Studien

Im Folgenden werden die Befunde aus den ermittelten Studien getrennt für Repräsentations- und Inhaltsvorwissen dargestellt. Die Befunde werden der jeweiligen kognitiven Verarbeitungsstufe (Perzeption, tiefenstrukturelle Analyse und Kohärenzformation) zugeordnet und im Anschluss werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

### 3.2.1 Einfluss von Repräsentationswissen

Die Studienlage für das Repräsentationswissen wird dabei so dargestellt, dass Befunde vergleichbarer Interventionen und Untersuchungen zum selben Konstrukt gemeinsam angeordnet werden. Die Interventionen bzw. Untersuchungsgegenstände wiederum erlauben die Zuordnung zur jeweiligen Verarbeitungsstufe sowie der Art des Repräsentationswissens: deklarativ, strategisch oder prozedural. Aus Gründen einer eher einheitlichen Befundlage kann auf eine textuelle Unterteilung in die genannten Unterkategorien verzichtet werden, sodass im Folgenden die Befunde zum Einfluss von Repräsentationswissen prozesslogisch berichtet werden.

**... auf Wahrnehmung und perzeptuelle Oberflächenverarbeitung** Für die Ebene der Wahrnehmung und perzeptuellen Oberflächenverarbeitung lassen sich die Befunde hinsichtlich Lernförderlichkeit von Interventionen, welche auf die Aufmerksamkeits- und Selektionsprozesse fokussieren, einschränken. Dass das Gelingen dieser Prozesse im Lernprozess keine Selbstverständlichkeit darstellt, davon zeugen diejenigen Befunde, nach denen allein ein längeres In-Augenscheinehmen einer grafischen Zusatz-Repräsentation nicht zwangsläufig zu einem Lernvorteil führt (Antonietti et al. 2015), auch nicht, wenn durch einfache Verweise aus dem Text auf die Darstellungen hingewiesen wird (Schnotz und Mikkilä 1991). Ebenso ist bekannt, dass sich Lernende in Lern- und Problemlöseprozessen nur auf eine der zur Verfügung stehenden Repräsentationen stützen (Ainsworth et al. 2002).

Mit der Strategie einer Aufforderung an die Lernenden, die „verborgene inhaltliche Brücke“ (Renkl et al. 2013, übersetzt) zwischen verschiedenen Repräsentationen zu entdecken, verbessern sich Lernergebnisse signifikant (Jian 2020; Renkl et al. 2013). Auf der Ebene der Perzeption sorgt die Aufforderung dafür, dass die beiden Repräsentationen wahrgenommen, inspiziert und verarbeitet werden (Jian 2018). Dies geht einher mit Befunden, die nahelegen, dass die Aufmerksamkeitssteuerung maßgeblich von der wahrgenommenen Bedeutsamkeit der abgebildeten Informationen abhängt (vgl. Rey 2012; Hinze et al. 2013; Hegarty und Sims 1994). Die Wirkung einer solchen Intervention ist daher nur von sehr begrenzter Dauer (Jian 2021).

Eine zweite mögliche Intervention gilt der Frage der Rezeptionsreihenfolge: Text oder Bild – was sollte zuerst bearbeitet werden? Zwar legen deskriptive Untersuchungen nahe, dass eine vorausgehende Textrezeption zu einer intensiveren Beschäftigung der Probanden mit gegebenem Bildmaterial führt, nachdem ein initiales Mentales Modell erarbeitet wurde (Zhao et al. 2020; Schnotz et al. 2014; Hochpöchler et al. 2013), lernförderlicher jedoch erweist sich eine umgekehrte Rezeptionsfolge:

erst Bild, dann Text (van den Eynde et al. 2019; Jian und Wu 2015; Ullrich 2011). Zusätzlich zeigen die Untersuchungen ebenso für diese Reihenfolge eine Erhöhung der Gesamtlesedauer sowie erhöhte Lesezeiten für die Grafik allein.

Als dritte berichtete Intervention zum Aufbau strategischen oder prozeduralem Wissens ist ein Prätraining der Augenbewegung am modellierenden Beispiel durch einen Experten anzusehen (Renkl und Scheiter 2017). Hierbei wird der Aufmerksamkeitsfokus an einem repräsentationalen Beispiel direkt trainiert. Ein solches Treatment übt prozedurales Repräsentationswissen ein und führt zu besseren Verständnisleistungen (Schubert 2016; Skuballa et al. 2015; Skuballa und Renkl 2014).

In der Frage nach dem Einfluss von prozeduralem Wissen auf die Verarbeitungsprozesse in dieser Ebene sind die verbalen als auch die räumlich-visuelle Fähigkeiten zu nennen. Räumlich-visuelle Fähigkeiten (*spatial abilities*), welche sich für gewöhnlich als wichtige Prädiktoren für den Lernprozess erweisen (Lin und Suh 2021; Cheung et al. 2020; Rau 2016; Lean und Clements 1981), spielen tatsächlich in der der perceptiven Verarbeitungsebene eine untergeordnete Rolle. Weder bei der globalen Erfassung der Repräsentationsoberfläche (Hegarty und Sims 1994, Studie 2), noch einem erhöhten Aufmerksamkeitsfokus in der graphischen Repräsentation von Lernenden mit höheren räumlichen Fähigkeiten (Hinze et al. 2013, Studie 1) als auch in der Frage der Leserichtung einer Grafik (Winn 1982) ist ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen räumlich-visuellen Fähigkeiten und Verständnisleistung herzustellen. Allerdings wurde in der Frage der Leserichtung bei Grafiken die verbalen Fähigkeiten als Prädiktor identifiziert: Speziell eine Kombination hoher verbaler mit niedrigen räumlich-visuellen Fähigkeiten führt bei ungewohnter Leserichtung zu Leistungseinbrüchen (Winn 1982). Bekannt ist zudem, dass Probanden mit Präferenz für verbale Informationen länger im Text verweilen, früher und häufiger irrelevante Elemente in grafischen Repräsentationen inspizieren und im Verständnistest signifikant schlechter abschneiden als visuell-orientierte Lernende (Koć-Januchta et al. 2017; Koć-Januchta 2016). Letztere Befunde stehen durchweg im Einklang mit denen zur Rezeptionsreihenfolge.

**... auf die tiefenstrukturelle Analyse der repräsentationalen Oberfläche** Dennoch ist es gerade die Inspektion der begleitenden Repräsentationen, welche die Grundlage für höhere kognitive Aktivitäten wie eine tiefere Interpretation der Informationen, dem Ziehen von Inferenzen und dem Aufbau eines elaborierteren Mentalen Modells darstellt (Cromley et al. 2010; Schnotz et al. 1994). Dies ist im Besonderen für die tiefenstrukturelle Analyse der Oberflächenmerkmale bedeutsam.

Ein bedeutsames Detail dabei stellt das Erkennen der Hauptaussage und der Funktion der jeweiligen Repräsentation dar (Chittleborough und Treagust 2008). Dies geschieht in der Regel bereits bei der ersten Inspektion innerhalb eines Zeitrahmens von 50–250 Millisekunden, in dem auch die globale räumliche Struktur miterfasst wird (Eitel et al. 2012). Für die darüberhinausgehende Bewältigung müssen Lernende die relevanten repräsentationalen Details erfassen sowie über eine adäquate Fachsprache zur Beschreibung der Sachverhalte zu verfügen (Ring et al. 2019).

Dazu haben sich gezielte Trainings repräsentationsspezifischer Konventionen, wie zum Beispiel bei Liniendiagrammen (Kottmeyer et al. 2020; Ring et al. 2019; vgl. Lachmayer et al. 2007), aber auch allgemeinere Trainings zur repräsentationalen

Literalität, bei dem explizit repräsentationale Konventionen vermittelt und geübt werden (Koenen et al. 2020; Cromley et al. 2013b; Cleveland und McGill 1986), als erfolgreiche Interventionen erwiesen. Zwar lässt sich ein Transfer der erworbenen Fähigkeiten auf Repräsentationen in andere Kontexten derselben Domäne, nicht aber in jedem Fall auf andere Domänen beobachten (Brückner et al. 2020; Susac et al. 2018; Bergey et al. 2015; vgl. auch Ceuppens et al. 2019) – ein Zeichen dafür, dass dieses Repräsentationswissen von Lernenden nicht als bereichsübergreifend wahrgenommen wird.

Strategisch unterstützt werden kann dieser Prozess durch grafische Hervorhebungen mit zeigender Funktion, Signaling genannt. Dies kann z. B. durch die Farbgestaltung oder durch Pfeile erreicht werden. Neben einer aufmerksamkeitslenkenden Wirkung werden damit das Erkennen von repräsentationalen Zusammenhängen und bedeutsamen Konventionen unterstützt (Berthold und Renkl 2009; Mautone und Mayer 2007). Allerdings wirkt sich diese strukturelle grafische Unterstützung nur auf das Erkennen von korrelativen Zusammenhängen, nicht jedoch auf das von Kausalitäten aus (Mautone und Mayer 2007).

Eine weitere gut erforschte Strategie, die Auseinandersetzung mit Repräsentationen zu vertiefen, sind sogenannte Self-Explaining-Prompts: Dabei werden Lernende aufgefordert, Erklärungen zu den dargebotenen Zusammenhängen zu formulieren und ist sowohl für rein text-basierte Lernarrangements (Roelle et al. 2014) als auch bei Diagrammen (Ainsworth und Loizou 2003) oder multiplen Repräsentationen lernförderlich (Renkl und Scheiter 2017; Rau et al. 2015; Renkl et al. 2013). Prompting wirkt sich dabei besonders auf globales Verstehen, weniger auf lokale Detailwissen aus (Burkhart et al. 2020) und wird als Lernstrategie von Lernenden unabhängig von deren Inhaltsvorwissen nachhaltig auf andere Situationen transferiert (Nagashima et al. 2021). Ähnlich wirkt sich die Aufforderung an die Lernenden, Informationen aus mehreren Repräsentationen zusammenzufassen, positiv auf das Verständnis aus – zumindest, wenn Lernergebnisse auf Korrektheit geprüft werden (Bodemer et al. 2004). Weiterhin ist der Erfolg von darüberhinausgehenden Strategien empirisch belegt, bei denen der Zugriff auf komplementäre Inhalte, die eingehende Interpretation von Informationen oder die Elaboration von Zusammenhängen durch eine Repräsentation unterstützt sowie die Abstraktion und Anwendung der Erkenntnisse auf neue Sachverhalte gefördert werden (Won et al. 2014).

**... auf die Ausbildung einer semantisch-kohärenten Tiefenstruktur** Das Wissen über die funktionalen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Repräsentationen wirkt sich über die tiefenstrukturelle Analyse hinaus auch auf der Ebene der Kohärenzformation positiv aus. Dies betrifft in erster Linie die Fragen der inter-repräsentationalen Translation und des Transfers von Repräsentationswissen auf neue Darstellungsformen.

Dafür scheint der Grad der Vertrautheit (Ainsworth 2006) in die jeweilige Repräsentation eine maßgebliche Rolle zu spielen und von der verbalen Vertrautheit zum Sachverhalt zu unterscheiden ist (Winn et al. 1991). So wirken leicht zugängliche Repräsentationsformen als Scaffolds und zu erfolgreicherer Translationen zwischen verschiedenen Darstellungsebenen (Stull und Hegarty 2015; Galmbacher 2007, Vorstudie) und repräsentationale Transferleistungen sind bei teil-vertrauten,

nicht aber bei unbekanntem Darstellungsformen nachzuweisen (Gegenfurtner und Seppänen 2013). Die Vertrautheit des Diagrammformats und damit die wahrgenommene Funktion beeinflussen zudem maßgeblich die gezogenen Interpretationen und Inferenzen (Shah und Freedman 2011), wobei die repräsentative Inferenz auch trainiert werden kann und ein solches Training speziell für Lernende mit niedrigem Inhaltsvorwissen als lernförderlich erweist (Cromley et al. 2013a; Winn und Sutherland 1989; vgl. Renkl und Scheiter 2017). Zusätzlich wirken sich spezielle Self-Explaining Prompts, bei denen die Lernenden explizit die diagrammatische Repräsentationsform in die von ihnen produzierten Erklärungen einbeziehen, auf Vertrautheit und das Verständnis über die Funktion aus (Nagashima et al. 2020).

Allerdings sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die im letzten Abschnitt dargestellten Prompting-Maßnahmen, welche auf die Zunahme von konzeptuellem Wissen ausgerichtet sind, in konkreten Problemlösesituationen zu Behinderung des repräsentativen Handelns führen kann (Berthold et al. 2011). Möglicherweise hängen diese Interferenzen damit zusammen, dass Effekte der Situierung wie sie beim Problemlösen auftreten der Fähigkeit zur Abstraktion und Ausbildung eines umfassenden Mentalen Modells entgegenstehen (de Bock et al. 2003). Nicht zuletzt liegen starke empirische Hinweise darauf vor, dass Mentale Modelle keinerlei strukturelle Unterschiede mehr bezüglich der konkreten Situation des Problems aufweisen (Shams et al. 2017; Cox et al. 1995; Stenning et al. 1995; Bauer und Johnson-Laird 1993).

Für eine erfolgreiche Ausbildung eines kohärenten Mentalen Modelles ist darüber hinaus auch prozedurales Repräsentationswissen in Form von verbalen und räumlich-visuellen Fähigkeiten notwendig (Al-Balushi 2013; Stenning et al. 1995). Meta-analytisch lässt sich ein Zusammenhang zwischen räumlich-visuellen Fähigkeiten und den erzielten Verständnisleistungen mit mittleren bzw. mittleren bis großen Effektstärken ermitteln (Höffler 2010; C. Chen und Yu 2000). Lernende mit niedrigen räumlich-visuellen Fähigkeiten können dieses Defizit mithilfe dreidimensionaler anstatt zweidimensionaler Darstellungen (Höffler, 2010) oder animierter Repräsentationen statt statischer Abbildungen kompensieren (Höffler und Leutner 2011; Hegarty und Steinhoff 1997; Hays 1996). Im Gegenzug lernen Lernende mit höheren räumlich-visuellen Fähigkeiten besser von statischen Darstellungen als von animierten (Berney et al. 2015).

Ebenso erweist sich räumlich-visuelles Prompting, d.h. Aufforderungen sich die Bewegung des abgebildeten Sachverhaltes vorzustellen, als lernförderlich für Lernende mit mittleren, nicht aber für Lernende sowohl mit sehr niedrigen als auch sehr hohen räumlich-visuellen Fähigkeiten (Park et al. 2016). Zudem wird bei hohen räumlich-visuellen Fähigkeiten unter Prompting-Bedingung eine erhöhte kognitive Belastung berichtet (Park et al. 2016), was als Interferenzerscheinung in die eigenen, höheren kognitiven visuellen Verarbeitungsprozesse innerhalb der Kohärenzformation gedeutet werden kann. Die durch die Intervention mutmaßlich verursachten Interferenzerscheinungen können dabei Performanzeinbußen bei Lernenden mit ansich günstigeren Lernvoraussetzungen führen (Hinze et al. 2013). Zudem gibt es Hinweise darauf, dass es bei hohen räumlich-visuellen Fähigkeiten unter Treatmentbedingung zu nicht-trivialen Drei-Wege-Interaktionen mit Inhaltsvorwissen kommt (Galmbacher 2007, Vorstudie).

Nicht in jedem Fall führt ein hohes Maß an räumlich-visuellen Fähigkeiten auf der Ebene der Kohärenzformation zu einer besseren und schnelleren Performanz, besonders dann nicht, wenn die Antwort in sprachlicher Form erwartet wird (Hegarty und Sims 1994). Die Nachteile gleichen sich jedoch bei Antworten in bildlicher Form aus. Offensichtlich hat das Testformat Einfluss auf die Auswirkung räumlich-visueller Fähigkeiten. So ist der Einfluss räumlich-visueller Fähigkeiten bei bildhaften oder praktischen Testformaten wesentlich höher als bei schriftbasierten (Roach et al. 2021).

Diese Befundlage spiegelt sich innerhalb der Strategien wider, welche den „Generative Drawing Effect“ ausnutzen. Demnach werden bessere Verständnisleistungen erzielt, wenn Sachverhalte grafisch dargestellt werden (Leopold und Leutner 2012; Stieff und DeSutter 2021). Allerdings erhöht die generative Tätigkeit des Zeichnens die kognitive Belastung der Lernenden (Schwamborn et al. 2011), weshalb Probanden unabhängig von deren räumlich-visuellen Fähigkeiten eine signifikant bessere Erinnerungs- und Verstehensleistung erbringen, wenn während der Rezeption eines Textes dessen Inhalte bildlich vorgestellt, nicht aber wenn diese zeitgleich als Bild zu Papier gebracht werden (Leutner et al. 2009).

### 3.2.2 Einfluss von Inhaltsvorwissen

Es scheint zunächst kein Zweifel daran zu bestehen, dass Inhaltsvorwissen für die Rezeption von Repräsentationen benötigt wird und von Vorteil ist: Ein höheres Inhaltsvorwissen führt zu höherem Lernerfolg (Mautone und Mayer 2007, Studie 2; Butcher 2006; Boucheix und Guignard 2005; Mayer et al. 2002; Mayer und Gallini 1990). Allerdings verhält sich dies nicht unter jedem Umstand so (Seufert 2003; Joseph und Dwyer 1984). Auch bezüglich der Frage, welche Personengruppe in der Differenz zwischen Prä- und Post-Test den größeren Lernfortschritt leistet, ist die Studienlage nicht eindeutig: zum Teil sind Probanden mit hohem Vorwissen im Vorteil (Butcher 2006; Boucheix und Guignard 2005), zum Teil sind die größeren Zugewinne auf Seiten der Lernenden mit niedrigem Vorwissen zu verzeichnen (Kalyuga 2008; Mayer und Gallini 1990) und zuweilen finden sich innerhalb derselben Untersuchungsreihe gemischte Ergebnisse (Rau et al. 2021). Daher lohnt es sich ebenso für das Inhaltsvorwissen, in äquivalenter Vorgehensweise wie beim Repräsentationswissen differenziert die einzelnen Verarbeitungsstufen zu betrachten.

**... auf die Wahrnehmung und perzeptuelle Oberflächenverarbeitung** Bereits auf der Ebene der Perzeption lässt sich ein allgemeiner Einfluss von Inhaltsvorwissen auf den Rezeptionsprozess nachweisen: Mit vorhandenem Vorwissen inspizieren Lernende begleitende grafische Repräsentationen bedarfsgerecht, während sich bei niedrigem Vorwissen unabhängig von der Aufgabenstellung sowohl bezüglich Zeit als auch Anzahl eine gleichbleibende Bildinspektion zeigt (Canham und Hegarty 2010). Zugleich verweilen Lernende mit niedrigem Vorwissen länger im Textteil des Informationsmaterials (Schnotz et al. 2014), Lernende mit höherem Vorwissen inspizieren die gegebenen Abbildungen deutlich länger und intensiver (Zhao et al. 2020). Lernende mit hohem Vorwissen bevorzugen konzeptuell-relevante, abstrakte Darstellungen, Lernende mit niedrigem Vorwissen betrachten dagegen aus der

Alltagswelt bekannte Darstellungen (Cook et al. 2008). Dekorative Abbildungen, die keine wesentlichen Anforderungen an die Lernenden stellen, werden unabhängig vom Inhaltsvorwissen nur kurzzeitig in Augenschein genommen (Scheiter et al. 2017) und während des weiteren Rezeptionsprozess weitgehend ignoriert (Rey 2012; Lenzner et al. 2013). Jedoch scheinen dekorative Abbildungen für Lernende mit niedrigem Vorwissen die wahrgenommene Schwierigkeit des Lernmaterials zu senken und über motivationale Effekte den Lernerfolg zu moderieren (Lenzner et al. 2013).

Eine weitere Möglichkeit, Rückschlüsse über die Auswirkung von Inhaltsvorwissen auf der Ebene der Oberflächenverarbeitung zu ziehen, bieten Studiendesigns, welche Oberflächenmerkmale durch z.B. Signaling-Interventionen direkt manipulieren. Mittels Signaling lassen sich nicht nur der Perzeptionsprozess external steuern, sondern die kognitiven Aktivitäten auf relevante Elemente lenken. Meta-analytisch ist für Signaling eine Lernförderlichkeit mit einer kleinen bis mittleren Effektstärke ermittelt (Richter et al. 2016). Undifferenziert betrachtet scheint dabei Signaling nur einen Effekt auf den Erwerb relationalen, nicht aber tiefenstrukturellen kausalen Wissens zu haben (Mautone und Mayer 2007, Studie 1 & 2). Allerdings profitieren Lernende mit niedrigem Vorwissen beim Erwerb von Wissen über die Oberflächenstruktur als auch von tiefenstrukturellen Wissen von Signaling-Maßnahmen (Richter et al. 2016; Johnson et al. 2013). Für Lernende mit hohem Vorwissen ergibt sich kein Vorteil gegenüber der Kontrollgruppe, zuweilen werden sogar lernhinderliche Ergebnisse berichtet (Richter et al. 2021; Johnson et al. 2013). Dies jedoch steht im Kontrast zu Befunden, welche marginal lernförderliche Effekte für Lernende mit mittlerem und hohem Vorwissen ermitteln (Boucheix und Guignard 2005), während sich Signaling-Maßnahmen bei niedrigem Vorwissen als lernhinderlich erweisen (Bodemer und Faust 2006; Boucheix und Guignard 2005). Ein derartiger Expertise-Reversal-Effekt wird auch beim Einsatz von bedeutungstragenden ikonischen Zusatzelementen festgestellt (Homer und Plass 2010): Probanden mit niedrigerem Vorwissen schneiden im Verständnistest besser mit der grafischen Unterstützung ab, während die ikonische Unterstützung auf Probanden mit wesentlich höherem Vorwissen keinen Einfluss zeigte (siehe Tab. 2).

**... auf die tiefenstrukturelle Analyse der repräsentationalen Oberfläche** Jedoch lässt sich aus den Befunden zum Einfluss des Inhaltsvorwissens auf die perzeptiven Handlungsmuster nicht auf den Lernerfolg per se schließen. Hierfür sind nach Inhaltsvorwissen differenzierende Studien wie die von Mayer und Gallini (1990) notwendig, die durch grafische Darstellungen als Ergänzungen zu Textmaterial als direkte inhaltliche Unterstützungsmaßnahmen auf das Verständnis von Oberflächen- und Tiefenstrukturen wirken. Bei diesen Studien werden einzelne Bestandteile eines Systems (Oberflächenwissen), deren Funktion (tiefenstrukturelles Wissen) oder beides grafisch dargestellt. Der Lesetext ohne bildliche Darstellung stellt die Kontrollbedingung dar. Sowohl bezüglich der Wiedergabe des Inhaltes als auch bei der Bewältigung von Problemlöseaufgaben weisen Lernende mit niedrigem Vorwissen signifikant bessere Lernergebnisse zur Kontrollgruppe in der Bedingung auf, in der Oberflächen- und tiefenstrukturelles Wissen zugleich als ergänzende Darstellung vorliegt. Wenn nur eine der beiden Maßnahmen getroffen wurden, liegen gemischte

**Tab. 2** Differenzielle Befunde zum Einfluss von Inhaltsvorwissens bzgl. Verarbeitungsstufe (Nummer der Teilstudie mitangegeben, M steht für Metaanalyse)

Autoren	Treatment	nur OF		OF & TS		nur TS	
		VW-	VW+	VW-	VW+	VW-	VW+
Bodemer und Faust (2006)	1 Geothermie (unterschiedliches Referenzieren)	↓	↗				
Seufert et al. (2007)	3 Biologie (Signaling auf Anfrage/via Hyperlink)	↘ ↘	↗ ↑				
Johnson et al. (2013)	Ohm'scher Widerstand/Schaltkreis (Signaling mit Pfeilen oder APA)	↑	↘				
Richter et al. (2016)	M Metaanalyse (Signaling)	↑	↘				
Richter et al. (2018)	Löslichkeit in Wasser (Signaling mittels Color Coding)	↗ ↑	↘ ↓				
Richter und Scheiter (2019)	Löslichkeit in Wasser (Signaling mittels Color Coding)	↑ ↗	↘ ↗				
Richter et al. (2021)	Angebot-Nachfrage-Relation (Signaling mittels Color Coding)	↑	↘				
Kasatkina et al. (2020)	Bewegungsdiagr., pneu. Schaltplan (Color Coding × 3D-Darstellung)	±	↗				
Vogt et al. (2020)	Programmierung (Signaling mit/ohne zus. Diagramm)	↗	↘	↗	±	↗	±
Mayer und Gallini (1990)	1 Trommelbremse (Parts/Steps-Illustrationen)	±	±	↑	±	↗	±
	2 Luftpumpe (Parts/Steps-Illustrationen)	↗ ±	↗	↑	↑ ↗	↗ ↘	↑ ↘
	3 Generator (Parts/Steps-Illustrationen)	± ↗	±	↑	↑ ↗		
Ollershaw et al. (1997)	Luftpumpe (Parts- oder Steps-Illustration)	↘	↘			±	↘
Seufert (2003)	Redoxreaktion (direktive und non-direktive Hilfe)	↘ ↗	↗ ±			↓ ↗	±
Seufert (2019)	Vulkanismus (Strategietraining zur Integration)					↘ ↘	↑ ↑

**Tab. 2** (Fortsetzung)

Autoren		Treatment	nur OF		OF & TS		nur TS	
			VW-	VW+	VW-	VW+	VW-	VW+
Homer und Plass (2010)	1	Kinetik (mit/ohne ikonische Repräsentation)					±	
	2	Ideales Gas (mit/ohne ikonische Repräsentation)					↗	↘
Nagashima et al. (2020)		Algebra (diagrammatische Self-Explanations)					↗	±
O. Chen und Manalo (2016)		Menschlicher Blutkreislauf (Drawing-Task)					↑	↘
Leutner et al. (2009)		Anomalie des Wassers (Drawing-Task × mentales Vorstellen)					±	
Van Meter et al. (2006)		Funktion und Aufbau von Vogelflügeln (Drawing-Task ± zus. Instruktion)					±	↘

Werden Ergebnisse zweizeilig berichtet, gibt Zeile 1 den Erwerb für Oberflächen- und Zeile 2 den für tiefenstrukturelles Wissen wieder

OF/TS Treatment bzgl. der rep. Oberflächen-/Tiefenstruktur, VW-/+ Inhaltsvorwissen gering/hoch, ↑/↓ Befund signifikant positiv/negativ mit mind.  $p \leq 0,05$ , ↗/↘ Befund tendenziell positiv/negativ, ± indifferenten Befund

bzw. marginale Befunde für diese Probandengruppe vor. Keine oder nur bedingte Performanceunterschiede konnten hingegen für Probanden mit hohem Vorwissen in jeder der Experimentalbedingungen festgestellt werden (Mayer und Gallini 1990). In der Replikation ergaben sich zudem lernhinderlichen Befunde für beide Probandengruppen, wenn nur eine der beiden Unterstützungsmaßnahmen dargeboten wurde (Ollerenshaw et al. 1997).

Über die z. B. in den Mayer-Studien vorgenommene, direkte Darstellung tiefenstrukturellen Wissens hinaus unterstützen Prompting-Maßnahmen den tiefenstrukturellen Analyse-Prozess (vgl. Renkl und Scheiter 2017). Untersuchungen zu direkten und indirekten Prompts<sup>4</sup> ergeben (Seufert 2003), dass sich für Probanden mit niedrigem Vorwissen für das Verständnis keine, für die Wiedergabe der Inhalte lernschädliche Effekte festzustellen sind. Probanden mit mittlerem Vorwissen profitieren hingegen bei der Inhaltswiedergabe von der direkten Maßnahme, beim Verständnis sogar von beiden. Probanden hohen Vorwissens zeigen bezüglich der Inhaltswiedergabe wie Probanden mittleren Vorwissens nur bei direkter Unterstützung einen marginalen Performancezuwachs, bezüglich des Verständnisses keinen signifikanten Zuwachs, sondern sogar marginale Einbußen (Seufert 2003).

<sup>4</sup> direkte Prompts bedeuten hierbei: Hinweise auf bedeutsame Zusammenhänge und Sachverhalte zwischen den Darstellungsformen, indirekte Prompts: offene Fragen nach Unterschieden und Gemeinsamkeiten.

**... auf die Ausbildung einer semantisch-kohärenten Tiefenstruktur** Für den Einfluss von Inhaltsvorwissen innerhalb des Prozesses der Kohärenzformation liegen Befunde aus direkten Trainingsintervention zu kohärenzstiftenden Strategien vor. Diese zeigen nur bei Lernenden mit hohem Vorwissen positive Auswirkungen (Seufert 2019).

Allerdings gibt es auch Versuche, über die grafische Gestaltung (Realitätsgrad/ Abstraktion) von Abbildungen Einfluss auf die Ausbildung kohärenter Mentaler Modelle hinzuwirken. Hierbei scheinen Probanden mit niedrigem und mittlerem Vorwissen von reduzierten oder schematischen und Probanden mit hohem Vorwissen von realistischen bzw. hybriden Darstellungen zu profitieren (Butcher 2006; Joseph und Dwyer 1984). Dementgegen stehen Befunde, die keinen spezifischen Einfluss des Inhaltsvorwissens ermitteln können und schematische Darstellungen grundsätzlich als lernförderlicher einstufen (Scheiter et al. 2009). Eine Gestaltung der externalen Repräsentationen unter Berücksichtigung der Ausbildung des Mentalen Modells scheint dabei ein wichtigerer Faktor als Inhaltsvorwissen zu sein (Klein et al. 2019; Schnotz et al. 1994), allerdings zeigten zusätzliche seduktive Details keinen Einfluss (Bender et al. 2021).

Untersuchungen zum generativen Drawing-Effekt zufolge scheint darüber hinaus der Zusammenhang zwischen den Propositionalen Repräsentationen und dem Mentalen Modell nicht abhängig von Inhaltsvorwissen zu sein (O. Chen und Manalo 2016; Leutner et al. 2009). Allerdings wird für Lernende beim Zeichnen von Sachverhalten mit niedrigem Inhaltsvorwissen eine erhöhte kognitive Belastung bei zeitgleich besserem Abschneiden im Verständnistest berichtet (O. Chen und Manalo 2016). Jedoch ist es lernförderlicher, statt zu zeichnen sich die Sachverhalte mental zu vorstellen (Leutner et al. 2009). Einflüsse des Vorwissens werden dagegen von Van Meter et al. (2006) berichtet: Zeichnen und (eingefordertes oder unaufgefordertes) Kontrollieren mit einer Musterdarstellung führte nur bei Sechstklässlern, nicht aber bei Viertklässlern zu einer besseren Performanz bei Problemlöseaufgaben. Auf Oberflächenwissen hatte das Treatment keinen Einfluss. Ebenso kein Einfluss ließ sich durch Zeichnen bei Inferenz-Aufgaben ermitteln, deren Lösungen sich aus dem Text ergeben (Butcher 2006).

**Übersicht über die kontroverse Befundlage zum Inhaltsvorwissen** Die berichtete, in sich nicht widerspruchsfreie Befundlage wird in Tab. 2 zusammengefasst. Dazu werden die vorliegenden Studien, die sowohl nach Inhaltsvorwissen als auch in den auf Oberflächen- oder Tiefenstruktur wirkende Interventionen vor dem Hintergrund einer Kontrollgruppe differenzieren, hinsichtlich des Lernerfolges dargestellt.

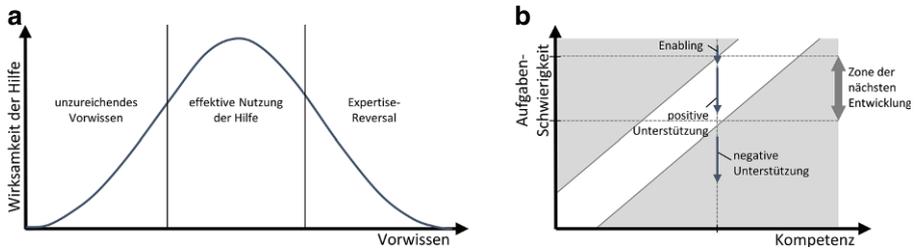
### 3.3 Zusammenfassung und Diskussion der empirischen Befundlage

Die Befunde zeigen durchgehend, dass intensivere Inspektionen graphischer Repräsentation zu besseren Lernergebnissen führen – und das auf allen drei Ebenen: Perception, tiefenstruktureller Analyse und Kohärenzformation. Dabei fällt auf, dass sich die Befundlage bezüglich des Repräsentationswissen durchaus kohärent darstellt, wobei die Studienlage zum deklarativen Repräsentationswissen als noch nicht

ausreichend eingeschätzt wird, um eine abschließende Beurteilung vorzunehmen (Renkl und Scheiter 2017).

Mit Blick auf Unterrichtsgestaltung lassen sich die Befunde wie folgt zusammenfassen:

- Generell deutet die frühe Erkennung der Relevanz von externaler Repräsentation darauf hin, dass die Top-Down-Prozesse im ITPC auch eine wesentliche Rolle auf perceptiver Ebene spielen (vgl. Scheiter et al. 2017). Das gleiche gilt für die berichteten Expertise-Reversal-Effekte sowohl bei der Perzeption als auch bei der Kohärenzformation. Die kausalen Zusammenhänge dahinter sind allerdings bislang unzureichend geklärt und stellen zu diskutierende Herausforderungen an die Theorie (vgl. Kalyuga 2008; Richter und Scheiter 2019; Evans und Stanovich 2013) und zugleich auch an die Praxis dar.
- Bezüglich des *prozeduralen Repräsentationswissens* lässt sich mit Blick auf die berichteten Befunde zu den räumlich-visuellen Fähigkeiten feststellen, dass diese grundsätzlich lernförderlich wirken, bei hohen räumlich-visuellen Fähigkeiten jedoch auf Unterstützungsmaßnahmen besonders in der Kohärenzformation verzichtet werden sollte. Hier kann es zu Expertise-Reversal-Effekten kommen und sich die Unterstützung als lernhinderlich erweisen. Mit Blick auf Tab. 1 ist festzustellen, dass sich im Rahmen des Reviews vorwiegend Studien zu räumlich-visuellen Fähigkeiten als prozedurales Vorwissen in Bezug auf external Repräsentationen identifizieren ließen. Allerdings wären noch weitere Befunde zu repräsentationalen Fertigkeiten zu erwarten, z. B. automatisierte Prozesse zur Bildung von Inferenzen innerhalb des Bereichs der Kohärenzformation (vgl. Hamami et al. 2021; López-Astorga et al. 2021) oder das Konzept der Visual Fluency (vgl. Rau et al. 2021). Diese Fähigkeiten wären an den Schnittstellen zwischen Propositionalen Repräsentationen bzw. Mentalem Modell und der Kohärenzformation anzusiedeln. Daher sind für beide Interaktionseffekte mit Inhaltsvorwissen und strategischem Wissen notwendig.
- Mithilfe *strategischen Repräsentationswissens* lassen sich lernhinderliche Lernpräferenzen, z. B. die lernerseitige Annahme einer informellen Überlegenheit von Texten gegenüber Bildern, abmildern. Beispielsweise zeigt sich, dass von Lernenden zwar textuelle Repräsentationen für den Aufbau des Mentalen Modells bevorzugt genutzt werden, es jedoch lernförderlicher ist, auf einer eingehenden, initialen Inspektion der Grafik zu bestehen. Für den Bereich Kohärenzformation und Inferenz liegen darüber hinaus weitergehende Einzelstrategien vor, deren empirische Überprüfung jedoch noch aussteht.
- *Deklaratives Repräsentationswissen* wird auf den unteren Ebenen Perzeption und Oberflächen-Verarbeitung als Wissen zu Konventionen notwendig und für höhere kognitive Prozesse als Wissen zur Funktion der jeweiligen Repräsentation. Das Wissen um die Funktion wird besonders dann bedeutsam, wenn Aussagen in einer Repräsentation identifiziert und auf eine andere Repräsentation zu übertragen sind.
- Für Lernergebnisse vor dem Hintergrund unterschiedlichen *Inhaltsvorwissens* liegen hingegen widersprüchliche Befunde vor. Auch der unter Berücksichtigung der Verarbeitungsstufen differenzierte Blick konnte keine substantielle Aufklärung leisten. Die Unterschiede manifestieren sich sowohl auf der Wissens Ebene



**Abb. 5** a Zusammenhang zwischen Inhaltsvorwissen und der Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen nach Seufert et al. (2007), b Einfluss einer Zone der nächsten Entwicklung auf die Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen nach Schnotz und Kürschner (2007), beide Abb. durch die Autoren übersetzt

der Oberfläche als auch des Tiefenstrukturellen. Daher soll dieser Punkt im Folgenden eingehender diskutiert werden.

Es ist naheliegend, die Widersprüche in den Befunden bezüglich des Inhaltsvorwissens auf uneinheitliche Operationalisierungen des Vorwissens zurückzuführen. Im Gegensatz beispielsweise zu prozeduralem Repräsentationswissen, in der Regel durch normierte, standardisierte und psychologisch validierte Testverfahren ermittelt, wird Inhaltsvorwissen in einer Vielzahl der Studien lediglich als „domänenspezifische Kenntnisse“ abgefragt, mehrheitlich durch Multiple-Choice-Tests. Aber auch Kohortenspezifika (Alter bzw. Zugehörigkeit zu Schulklasse oder -form) oder reine Selbstauskünfte dienen als Grundlage der Datenerhebung. Diese unterschiedlichen Erhebungsverfahren allein können bereits Ursache der uneinheitlichen Ergebnisse sein.

Allerdings bemisst sich die Frage, ob Probanden über hohes oder niedriges Vorwissen verfügen, in den vorliegenden Studien ausschließlich in Relation zur gewählten Probandengruppe, nicht aber zu den Anforderungen der zu rezipierenden Repräsentationen. Dies ist insofern bedeutsam, da sich in der Literatur vereinzelt der Hinweis darauf findet, dass sich je nach Vorwissen bzw. Kompetenz der jeweiligen Lernenden eine Zone der nächsten Entwicklungsmöglichkeiten im Sinne Wygotskis ergeben könnte (Schnotz und Kürschner 2007; Seufert et al. 2007). Liegt die Aufgabenschwierigkeit einschließlich deren Reduktion durch Unterstützungsmaßnahmen innerhalb dieser Zone, kann erfolgreiches Lernen gelingen. In diesem Fall wird die Unterstützungsmaßnahme effektiv genutzt (Seufert et al. 2007), und es kommt zu Enabling- bzw. positiven Unterstützungseffekten (Schnotz und Kürschner 2007). Ist das Vorwissen zu niedrig, können die kognitiven Anforderungen durch die Lernenden nicht erfüllt werden, ist das Vorwissen hingegen zu hoch, kommt es durch negative Unterstützungseffekte zu Expertise-Reversal-Effekten (vgl. Castro-Alonso et al. 2021; Baadte und Schnotz 2012). Dieser Zusammenhang ist in Abb. 5 dargestellt.

Allerdings werden mithilfe dieses Ansatzes, wenn lediglich zwei Gruppen mit unterschiedlich ausgeprägtem Vorwissen miteinander verglichen werden, alle denkbaren Befunde post-hoc erklärbar und die Hypothese lässt sich auf der bisher vom Forschungsfeld eingeschlagenen Weise weder bestätigen noch nicht falsifizieren. Dafür wären mindestens drei Messpunkte der Variable Vorwissen notwendig. Bislang

liegen nur zwei Studien mit derartigem Design vor (Seufert et al. 2007; Vogt et al. 2020), deren Datenlage zudem für diese Frage inkonkudent ist. Somit bleibt nicht nur offen, ob sich die Hypothese als zutreffend erweist, sondern auch, wie sich die unterschiedlichen Verarbeitungsstufen darin wiederfinden, ob beispielsweise für die Verarbeitungsstufen verschiedene Entwicklungs-Zonen existieren, in denen jeweilige Unterstützungsmaßnahmen erfolgreich zum Einsatz gebracht werden können.

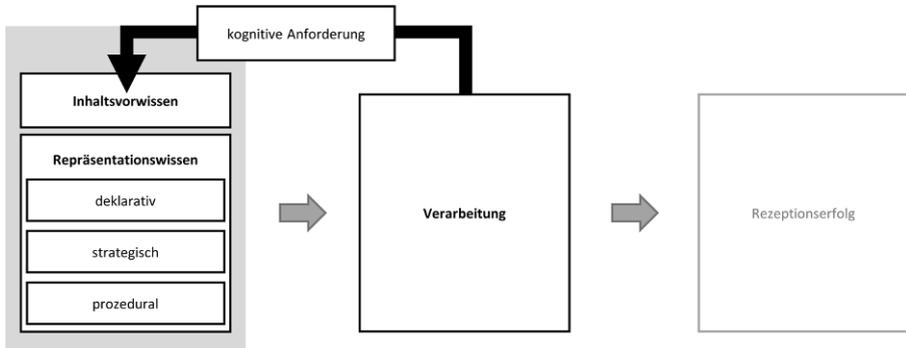
Wie aus der Diskussion im Abschn. 2 hervorgeht, werden auf der Verarbeitungsstufe der Oberflächenstrukturen sowie der der Kohärenzformation unterschiedliche Arten von Vorwissen bedeutsam. Dies spricht für unterschiedliche Wirksamkeitsbereiche und somit dafür, die Fähigkeitseinschätzung der Probanden in Relation zu den kognitiven Anforderungen der jeweiligen Repräsentation zu ermitteln. Im Besonderen stellt allerdings keine der gesichteten Studien dar, wie das erhobene Inhaltsvorwissen mit den konkreten Inhalten der Repräsentation in Beziehung steht. Die vorliegenden Befunde legen damit nahe, dass ein solcher Bezug von Anforderungen durch das Lernmaterial und die Einschätzung des Vorwissens eine notwendige Voraussetzung darstellt, um zu einer kohärenten Forschungslage in der Frage auf den Einfluss des Inhaltsvorwissens zu gelangen.

#### 4 Konsequenzen für Forschung und Unterricht

Während sich die Befundlage zum Repräsentationswissen weitgehend kohärent und eindeutig verhält, ist bezüglich des Inhaltsvorwissens festzuhalten, dass bislang der generelle Zusammenhang zwischen Vorwissen unterschiedlicher Ausprägung und der Lernwirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen auf den Verarbeitungsstufen als widersprüchlich zu betrachten ist. Dies wird unmittelbar zum Problem bei der Entwicklung und Gestaltung von Selbstlernmaterialien in Form klassische Printmedien und besonders bei digitalen und adaptiven Formaten. Aber auch einer validen Diagnostik im Klassenraum als auch kohärenten Ergebnissen in der Repräsentationsforschung steht diese offene Erkenntnislücke entgegen.

Daher wird in Folgenden ein Framework vorgeschlagen, welches die bisherige Forschungslogik umkehrt und den Fokus auf Top-Down-Prozesse lenkt, um die Problematik des Inhaltsvorwissens aufzulösen und die Entscheidung in Abhängigkeit von der Repräsentation bzw. des Lernmaterials zu treffen, ob zu hohes, adäquates oder zu niedriges Vorwissen vorliegt. Das Framework legt eine strukturierte Analyse der kognitiven Anforderungen nahe, die eine Repräsentation an Rezipierende stellt (siehe Abb. 6).

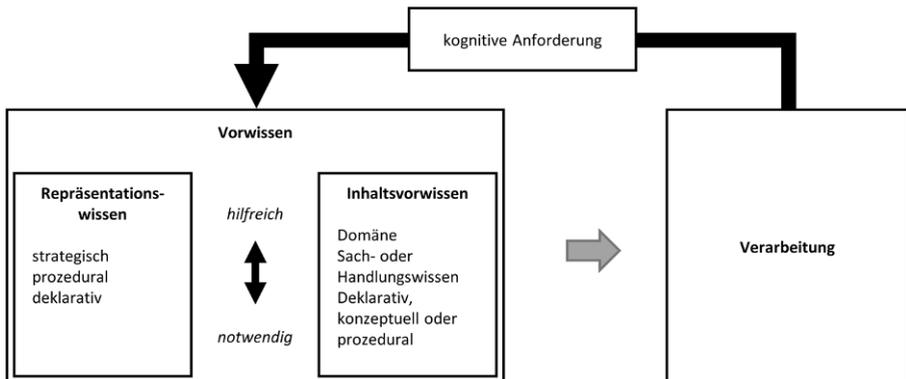
Entsprechend Tab. 1 kann zu dieser Analyse die in dieser Arbeit genutzte Unterteilung in Inhaltsvorwissen, deklarativen, strategischen und prozeduralen Repräsentationswissen als Wissensbestände berücksichtigt werden, um zu einer Einschätzung zu gelangen, ob sich Lernende bei Vorliegen bzw. Abwesenheit dieser Wissensbestände kognitiv in oder nahe der Zone der nächsten Entwicklung einordnen. Dies trägt zugleich dem Umstand Rechnung, dass neben dem Inhalts- auch die drei anderen Wissensarten für den Rezeptionsprozess bedeutsam sind und in die Überlegungen bei Unterrichtsplanung, Lehrmittelgestaltung und Untersuchungsdurchführung einzubeziehen sind. Zugleich sollte bei der Durchführung des vorgeschlagenen Vor-



**Abb. 6** Vorgeschlagenes Vorgehen im Gegensatz zur bisherigen Forschungslogik der Multimedia-Design-Forschung (Abb. 4)

gehens eingeschätzt und unterschieden werden, ob ermittelte Vorwissensbestände grundsätzlich für die Rezeption der Repräsentation notwendig oder ob diese für eine tiefergehende Elaboration des dargestellten Sachverhaltes hilfreich sind (vgl. Erlebach und Frank 2018). Als hilfreich ist ein Wissensbestand beispielsweise zu erachten, wenn dieser (wie strategisches Wissen) kompensatorische Funktionen erfüllt oder (wie bei inhaltlichem Hintergrundwissen) die Aussagen der Repräsentation im Rahmen der Kohärenzformation an einen reichhaltigen Wissensvorrat anknüpfen lässt. Abb. 7 fasst diese Überlegungen zusammen und stellt das konzeptuelle Framework für die Erfassung kognitiver Anforderungen einer externalen Repräsentation an den Rezipienten dar.

An diese Stelle soll noch einmal das Potenzial eines solchen Vorgehens hervorgehoben werden, die Vorbereitung und Durchführung von Unterricht dahingehend zu unterstützen, indem Lehrende in die Lage versetzt werden, sich systematisch Klarheit über für das Verständnis einer speziellen Repräsentation notwendige Wissen und die zu beherrschenden Fertigkeiten zu verschaffen. Auf Grundlage des dadurch erlangten Verständnisses kann den Lernenden vertiefendes Wissen bereit-



**Abb. 7** Konzeptuelles Framework zur Erfassung kognitiver Anforderungen bei der Bearbeitung externaler Repräsentationen

gestellt werden, welches z. B. in Form von Lernkarten oder Leittextfragen vorbereitet wird bzw. sich für die Vermittlung innerhalb eines Unterrichtsgesprächs vorstrukturieren lässt. In diesem Zusammenhang unterstützt dieses Vorgehen bezogen auf den Repräsentationseinsatz die Planung eines an den kognitiven Ressourcen der Lernenden orientierten Unterrichts (vgl. Erlebach et al. 2020). Indem durch ein solches Vorgehen Lernenden Wissen über Inhaltsaspekte, Funktion und Funktionsweise sowie Erschließungsstrategien für die zu bearbeitenden Repräsentationen bereitgestellt wird, lässt sich das repräsentationale Dilemma der Lernenden proaktiv entschärfen.

Zudem werden durch dieses Vorgehen Lehrende dabei unterstützt, das eigene Expertenwissen aus Fachwissenschaft oder Berufserfahrung in den Unterricht einzubringen und zu kommunizieren. Hierzu ist an Erkenntnisse und Diskurse der jeweiligen Fachdisziplinen und -didaktiken anzuknüpfen. Beispielhaft wurde für die Technikdidaktik das fachspezifische Inhaltsvorwissen in Repräsentationen mithilfe des in Erlebach und Frank (2021) erarbeiteten Analyserasters in inhaltlicher und lernpsychologischer Dimension ausdifferenziert und für den unterrichtlichen Einsatz aufbereitet. So sind auch Lehrende mit wenig Unterrichtspraxis im jeweiligen Inhaltsbereich nicht ausschließlich auf unterrichtspraktische Erfahrungen, Rückmeldungen von Lernenden bezüglich des Umgangs mit konkreten Repräsentationen oder gar der schwer zu greifenden und zu vermittelnden „Lehrerintuition und Bauchgefühl“ angewiesen. Somit unterstützt das ein solches Vorgehen besonders Lehrende zu Beginn ihrer Laufbahn bzw. im Quereinstieg dabei, guten Unterricht zu gestalten und durchzuführen. Gleichzeitig stellt das Framework das notwendige Vokabular und mit den unterschiedlichen Wissensarten entscheidendes pädagogisches Wissen für den kollegialen Austausch im Themenfeld Repräsentationsarbeit bereit. Diese beiden Aspekte stärken die Annahme, durch dieses Vorgehen den in der Literatur berichteten Defiziten seitens der Lehrkräfte (McElvany et al. 2009) beim Einsatz von Repräsentationen entgegen wirken zu können.

## 5 Fazit

Im Rahmen dieses Artikels wurde sich mit dem repräsentationalen Dilemma auseinandergesetzt, welches Lernende aufgrund mangelnden Vorwissens bei der Rezeption externaler Repräsentationen erfahren. Dazu wurde zunächst der Rezeptionsprozess statischer externaler Repräsentationen mit Fokus auf das in den verschiedenen kognitiven Prozessebenen benötigten Vorwissen untersucht und anschließend konkrete empirische Befunde hinsichtlich der unterschiedlichen Wissensarten und Prozessebenen aufgearbeitet. Dabei zeigte sich im Speziellen für Inhaltsvorwissen eine unübersichtliche Befundlage. Zur Lösung dieses Problems wird ein konzeptuelles Framework vorgeschlagen, mithilfe dessen die kognitiven Anforderungen an Lernende durch externaler Repräsentationen erfasst werden können.

In Hinblick auf die Theorie des Text-Bild-Verstehens wird dabei für eine stärkere Beachtung der Top-Down-Prozesse im Sinne des ITPC (Schnotz 2014) plädiert. Hierzu liegen bislang noch keine einschlägigen Überblicksarbeiten vor. Die konkrete Interaktion und die damit verbundene Bedeutsamkeit aktivierten Vorwissens aus dem Langzeitgedächtnis auf den einzelnen Prozessebenen sind bislang Desiderate.

Methodologisch wird aus diesem Grund eine Umkehrung des bisherigen forschungslogischen Vorgehens empfohlen: Anstatt den Einfluss von unspezifisch erhobenem Vorwissen auf den (in Form von Lernförderlichkeit gemessenen) Rezeptionserfolg zu ermitteln, wird eine zunächst durchgeführte, systematische Untersuchung der kognitiven Anforderungen durch die Repräsentation als Grundlage für die Einschätzung des vorliegenden Vorwissens vorgeschlagen.

Auch für die Vorbereitung und Durchführung eines unterrichtlichen Repräsentationseinsatzes wird dieses Vorgehen als bedeutsam erachtet: Lehrende, die sich der kognitiven Anforderungen bewusst sind, können diese in ihrem unterrichtspraktischen Handeln entsprechend einplanen und erfolgreich adressieren. Zudem ermöglicht die Vermittlung von Strategiewissen kompensatorische Effekte bzgl. Inhaltsvorwissen und fördert speziell lernschwächere Lernende (Kaiser und Kaiser 2018).

Limitiert wird die vorliegende Betrachtung dadurch, dass kognitive Voraussetzungen als Einzelfaktor auf der Ebene des Individuums betrachtet werden. Lernförderlichkeit wird jedoch durch weitere Einflussgrößen wie Motivation, Selbstwirksamkeitserwartungen, sozialer Konformitätsdruck oder körperliche und geistige Einschränkungen mitbestimmt (vgl. z. B. Herzig 2014; May 2001). Ebenso wurden repräsentationale Eigenschaften und der einbettende Kontext weitgehend ausgeblendet. Dies betrifft sowohl Effekte durch die Bearbeitung multipler Repräsentationen (vgl. Ainsworth 2008) als auch über den inhaltlichen Aspekt hinausgehende Funktionen der einzelnen Repräsentation innerhalb des Lernmaterials, wie beispielsweise lernförderliche Interaktionen zwischen Vorwissen und Motivation bei dekorativen Repräsentationen (Lenzner et al. 2013).

Ebenso erweist sich die begriffliche Vielfalt im Feld der Repräsentationsverarbeitung bzw. der einzelnen Forschungsstränge innerhalb der Forschungsrichtung als inhaltlich herausfordernd. Die nur teilweise zueinander kompatiblen theoretischen Zugänge stehen dabei einem übergreifenden und allgemein akzeptierten Framework entgegen (vgl. Scaife und Rogers 1996). Um dies aufzulösen, wurde das in der Literatur berichtete, für die Bearbeitung von Repräsentationen relevante Wissen kategorisiert und auf Basis der kognitiven Verarbeitung im Sinne des ITPC (Schnotz 2014) einzelnen Verarbeitungsstufen zugeordnet (vgl. Tab. 1). Anschließend wurde unter Zuhilfenahme dieser Systematik ein Review der empirischen Befundlage durchgeführt.

Das Ergebnis des Reviews unterstreicht die Notwendigkeit systematischer und eingehender Untersuchungen zum Einfluss des Vorwissens, speziell des Inhaltsvorwissens, auf den Erfolg der Repräsentationsrezeption. Hierzu werden weitere domänenspezifische Untersuchungen, auch qualitativ wie z. B. in inhaltsanalytischer Form, an konkreten, fachtypischen externalen Repräsentationen unter Einbezug fachdidaktischen Überlegungen angeregt.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2–3), 131–152. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9).
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>.
- Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Hrsg.), *Visualization: theory and practice in science education* (S. 191–208). : Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_9).
- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27(4), 669–681. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog2704\\_5](https://doi.org/10.1207/s15516709cog2704_5). \*
- Ainsworth, S., Bibby, P., & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 25–61. [https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101\\_2](https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_2). \*
- Al-Balushi, S. M. (2013). The relationship between learners distrust of scientific models, their spatial ability and the vividness of their mental images. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 707–732. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9360-1>. \*
- Antonietti, A., Colombo, B., & Di Nuzzo, C. (2015). Metacognition in self-regulated multimedia learning: integrating behavioural, psychophysiological and introspective measures. *Learning, Media and Technology*, 40(2), 187–209. <https://doi.org/10.1080/17439884.2014.933112>. \*
- Baadte, C., & Schnotz, W. (2012). Das Verstehen von Texten mit Bildern. *Weiterbildung*, 2012(6), 35–37.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47–89.
- Bauer, M. I., & Johnson-Laird, P. N. (1993). How diagrams can improve reasoning. *Psychological Science*, 4(6), 372–378. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00584.x>. \*
- Bender, L., Renkl, A., & Eitel, A. (2021). When and how seductive details harm learning. A study using cued retrospective reporting. *Applied Cognitive Psychology*, 35(4), 948–959. <https://doi.org/10.1002/acp.3822>. \*
- Bergey, B. W., Cromley, J. G., & Newcombe, N. S. (2015). Teaching high school biology students to coordinate text and diagrams: relations with transfer, effort, and spatial skill. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2476–2502. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1082672>. \*
- Berney, S., Bétrancourt, M., Molinari, G., & Hoyek, N. (2015). How spatial abilities and dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models: Interplay of Spatial Ability and Dynamic Visualization. *Anatomical Sciences Education*, 8(5), 452–462. <https://doi.org/10.1002/ase.1524>. \*
- Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 70–87. <https://doi.org/10.1037/a0013247>. \*
- Berthold, K., Röder, H., Knörzer, D., Kessler, W., & Renkl, A. (2011). The double-edged effects of explanation prompts. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.025>. \*
- de Bock, D., Verschaffel, L., Janssens, D., van Dooren, W., & Claes, K. (2003). Do realistic contexts and graphical representations always have a beneficial impact on students' performance? Negative evidence from a study on modelling non-linear geometry problems. *Learning and Instruction*, 13(4), 441–463. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00040-3). \*
- Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior*, 22(1), 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.01.005>. \*

- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I., & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction, 14*(3), 325–341. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.006>. \*
- Boucheix, J.-M., & Guignard, H. (2005). What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students? Format, signaling and control of the presentation. *European Journal of Psychology of Education, 20*(4), 369–388. <https://doi.org/10.1007/BF03173563>. \*
- Bowen, G. M., & Roth, W.-M. (2002). Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. *Research in Science Education, 32*(3), 303–327. <https://doi.org/10.1023/A:1020833231966>.
- Brückner, S., Zlatkin-Troitschanskaia, O., Küchemann, S., Klein, P., & Kuhn, J. (2020). Changes in students' understanding of and visual attention on digitally represented graphs across two domains in higher education: a Postreplication study. *Frontiers in Psychology, 11*, 2090. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02090>. \*
- Brünken, R., Seufert, T., & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen: Fostering Coherence Formation in Learning with Multiple Representations. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie, 19*(1/2), 61–75. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.19.12.61>.
- Burkhart, C., Lachner, A., & Nückles, M. (2020). Using spatial contiguity and signaling to optimize visual feedback on students' written explanations. *Journal of Educational Psychology, 112*(1), 1037–1050. <https://doi.org/10.1037/edu0000607>. \*
- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams: promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology, 98*(1), 182. \*
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction, 20*(2), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.014>. \*
- Castro-Alonso, J. C., de Koning, B. B., Fiorella, L., & Paas, F. (2021). Five strategies for optimizing instructional materials: instructor- and learner-managed cognitive load. *Educational Psychology Review, 33*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09606-9>. \*
- Ceuppens, S., Bollen, L., Deprez, J., Dehaene, W., & De Cock, M. (2019). 9th grade students' understanding and strategies when solving  $x(t)$  problems in 1D kinematics and  $y(x)$  problems in mathematics. *Physical Review Physics Education Research, 15*(1), 010101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010101>. \*
- Chen, C., & Yu, Y. (2000). Empirical studies of information visualization: a meta-analysis. *International Journal of Human-Computer Studies, 53*(5), 851–866. \*
- Chen, O., & Manalo, E. (2016). To diagram or to summarize when studying scientific materials: examining the effect of expertise. *Proceedings from Diagrams Philadelphia, 2016*, 25–27. \*
- Cheung, C.-N., Sung, J. Y., & Lourenco, S. F. (2020). Does training mental rotation transfer to gains in mathematical competence? Assessment of an at-home visuospatial intervention. *Psychological Research, 84*(7), 2000–2017. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01202-5>. \*
- Chittleborough, G., & Treagust, D. (2008). Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another. *Research in science education, 38*(4), 463–482. \*
- Cleveland, W. S., & McGill, R. (1985). Graphical perception and graphical methods for analyzing scientific data. *Science, 229*(4716), 828–833. \*
- Cleveland, W. S., & McGill, R. (1986). An experiment in graphical perception. *International Journal of Man-Machine Studies, 25*(5), 491–500. \*
- Cook, M., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education, 92*(5), 848–867. \*
- Cox, R., Stenning, K., & Oberlander, J. (1995). The effect of graphical and sentential logic teaching on spontaneous external representation. *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society, 2*(4), 56–75.
- Cromley, J. G., Snyder-Hogan, L. E., & Luciw-Dubas, U. A. (2010). Cognitive activities in complex science text and diagrams. *Contemporary Educational Psychology, 35*(1), 59–74.
- Cromley, J. G., Bergey, B. W., Fitzhugh, S., Newcombe, N., Wills, T. W., Shipley, T. F., & Tanaka, J. C. (2013a). Effects of three diagram instruction methods on transfer of diagram comprehension skills: the critical role of inference while learning. *Learning and Instruction, 26*, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.01.003>. \*

- Cromley, J.G., Perez, T.C., Fitzhugh, S.L., Newcombe, N.S., Wills, T.W., & Tanaka, J.C. (2013b). Improving students' diagram comprehension with classroom instruction. *The Journal of Experimental Education*, 81(4), 511–537. <https://doi.org/10.1080/00220973.2012.745465>. \*
- Drossel, K., & Eickelmann, B. (2018). Die Rolle der Lehrerprofessionalisierung für die Implementierung neuer Technologien in den Unterricht – Eine Latent-Class-Analyse zur Identifikation von Lehrertypen. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 31, 166–191. <https://doi.org/10.21240/mpaed/31/2018.06.04.X>.
- Eitel, A. (2016). How repeated studying and testing affects multimedia learning: evidence for adaptation to task demands. *Learning and Instruction*, 41, 70–84.
- Eitel, A., Scheiter, K., & Schüler, A. (2012). The time course of information extraction from instructional diagrams. *Perceptual and Motor Skills*, 115(3), 677–701. \*
- Eitel, A., Bender, L., & Renkl, A. (2020). Effects of informed use. A proposed extension of the self-management effect. In S. Tindall-Ford, S. Agostinho & J. Sweller (Hrsg.), *Advances in cognitive load theory. Rethinking teaching* (S. 168–179). Abingdon, New York: Routledge. \*
- Erlebach, R., & Frank, C. (2018). Analyse und Klassifikation technischer Repräsentationen in Lehrbüchern. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht. Normative und empirische Dimensionen*, (Bd. 38, S. 695–698). Regensburg: Universität Regensburg.
- Erlebach, R., & Frank, C. (2021). Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 59–86. <https://doi.org/10.48513/joted.v9i2.205>
- Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 38. [https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach\\_et\\_al\\_bwpat38.pdf](https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach_et_al_bwpat38.pdf).
- Evans, J.S.B.T., & Stanovich, K.E. (2013). Dual-process theories of higher cognition: advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8(3), 223–241.
- van den Eynde, S., van Kampen, P., van Dooren, W., & de Cock, M. (2019). Translating between graphs and equations: the influence of context, direction of translation, and function type. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 20113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020113>. \*
- Ferreira, F., & Chantavarin, S. (2018). Integration and prediction in language processing: a synthesis of old and new. *Current directions in psychological science*, 27(6), 443–448.
- Galmbacher, M. (2007). *Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen aufgezeigt an Inhalten zur Mechanik*. Würzburg: Julius-Maximilians-Universität. \*
- Gegenfurtner, A., & Seppänen, M. (2013). Transfer of expertise: an eye tracking and think aloud study using dynamic medical visualizations. *Computers & Education*, 63, 393–403. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.021>. \*
- Hamami, Y., Mumma, J., & Amalric, M. (2021). Counterexample search in diagram-based geometric reasoning. *Cognitive Science*. <https://doi.org/10.1111/cogs.12959>.
- Hays, T.A. (1996). Spatial abilities and the effects of computer animation on short-term and long-term comprehension. *Journal of Educational Computing Research*, 14(2), 139–155. \*
- Hegarty, M. (2014). Multimedia Learning and the development of mental models. In *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 673–701).
- Hegarty, M., & Sims, V.K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22(4), 411–430. \*
- Hegarty, M., & Steinhoff, K. (1997). Individual differences in use of diagrams as external memory in mechanical reasoning. *Learning and Individual Differences*, 9(1), 19–42. \*
- Herzig, B. (2014). *Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht?* Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Hinze, S.R., Williamson, V.M., Shultz, M.J., Williamson, K.C., Deslongchamps, G., & Rapp, D.N. (2013). When do spatial abilities support student comprehension of STEM visualizations? *Cognitive processing*, 14(2), 129–142. \*
- Hochpöchler, U., Schnotz, W., Rasch, T., Ullrich, M., Horz, H., McElvany, N., & Baumert, J. (2013). Dynamics of mental model construction from text and graphics. *European Journal of Psychology of Education*, 28(4), 1105–1126. \*
- Höffler, T.N. (2010). Spatial ability: its influence on learning with visualizations—A meta-analytic review. *Educational psychology review*, 22(3), 245–269. \*
- Höffler, T.N., & Leutner, D. (2011). The role of spatial ability in learning from instructional animations—Evidence for an ability-as-compensator hypothesis. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.042>. \*
- Homer, B.D., & Plass, J.L. (2010). Expertise reversal for iconic representations in science visualizations. *Instructional Science*, 38(3), 259–276. \*

- Jian, Y.-C. (2018). Reading instructions influence cognitive processes of illustrated text reading not subject perception: an eye-tracking study. *Frontiers in Psychology*, 9, 2263. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02263>. \*
- Jian, Y.-C. (2020). Teaching fourth-grade students of different reading abilities to read biological illustrations and integrate in-text information: an empirical experiment. *Research in Science Education*, 50(6), 2269–2282. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9778-8>. \*
- Jian, Y.-C. (2021). The immediate and delayed effects of text–diagram reading instruction on reading comprehension and learning processes: Evidence from eye movements. *Reading and Writing*, 34(3), 727–752. <https://doi.org/10.1007/s11145-020-10089-3>. \*
- Jian, Y.-C., & Wu, C.-J. (2015). Using eye tracking to investigate semantic and spatial representations of scientific diagrams during text-diagram integration. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 43–55. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9519-3>. \*
- Johnson, A. M., Ozogul, G., Moreno, R., & Reisslein, M. (2013). Pedagogical agent signaling of multi-visual engineering representations: the case of the young female agent. *Journal of Engineering Education*, 102(2), 319–337. \*
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Oxon, New York: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N., Goodwin, G. P., & Khemlani, S. S. (2018). Mental models and reasoning. In L. J. Ball & V. A. Thompson (Hrsg.), *The Routledge international handbook of thinking and reasoning* (S. 346–365).
- Joseph, J. H., & Dwyer, F. M. (1984). The effects of prior knowledge, presentation mode, and visual realism on student achievement. *The Journal of experimental education*, 52(2), 110–121. \*
- Kahneman, D. (2011). *Schnelles Denken, langsames Denken* (21. Aufl.). München: Siedler.
- Kaiser, A., & Kaiser, R. (2018). Bildverstehen. In A. Kaiser, A. Lambert, R. Kaiser & K. Hohenstein (Hrsg.), *Metakognition – Die Neue Didaktik. Metakognitiv fundiertes Lehren und Lernen ist Grundbildung* (S. 165–220). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kalyuga, S. (2008). Relative effectiveness of animated and static diagrams: an effect of learner prior knowledge. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 852–861. \*
- Kasatkina, O., Maslet, C., Boujut, J.-F., & de Vries, E. (2020). Format effects in the understanding of motion from kinematic diagrams in engineering education. *International Journal of Technology and Design Education*, 31, 1063–1079. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09591-0>. \*
- Klein, P., Küchemann, S., van Kampen, P., Doughty, L., & Kuhn, J. (2019). Picture bias in upper-division physics education. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Frontiers and advances in positive learning in the Age of Information (PLATO)* (S. 135–142). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26578-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26578-6_11). \*
- Koenen, J., Kobbé, J., & Rumann, S. (2020). Umgang mit Bildern in den Naturwissenschaften – Ein sequenziertes Training der Piktoralen Literalität. *Unterrichtswissenschaft*, 48(1), 91–112. \*
- Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive psychology*, 7(3), 341–370.
- Kottmeyer, A. M., Van Meter, P., & Cameron, C. (2020). Diagram comprehension ability of college students in an introductory biology course. *Advances in Physiology Education*, 44(2), 169–180. <https://doi.org/10.1152/advan.00146.2018>. \*
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*, 34(9), 949–968.
- Koć-Januchta, M. (2016). *Does cognitive style make a difference?: Consequences of different types of visualization and modalities for learning outcome in relation to visual and verbal cognitive style*. Duisburg, Essen: Universität Duisburg-Essen. \*
- Koć-Januchta, M., Höffler, T., Thoma, G.-B., Precht, H., & Leutner, D. (2017). Visualizers versus verbalizers: effects of cognitive style on learning with texts and pictures—an eye-tracking study. *Computers in Human Behavior*, 68, 170–179. \*
- Kürschner, C., & Schnotz, W. (2008). Das Verhältnis gesprochener und geschriebener Sprache bei der Konstruktion mentaler Repräsentationen. *Psychologische Rundschau*, 59(3), 139–149.
- Lachmayer, S., Nerdel, C., & Precht, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht (Modelling of cognitive abilities regarding the handling of graphs in science education). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 161–180.
- Lampert, C., Thiel, K., & Hans-Bredow-Institut (2021). *Mediennutzung und Schule zur Zeit des ersten Lockdowns während der Covid-19-Pandemie 2020. Ergebnisse einer Online-Befragung von 10- bis 18-Jährigen in Deutschland*.

- Lean, G., & Clements, M. K. (1981). Spatial ability, visual imagery, and mathematical performance. *Educational Studies in Mathematics*, 12(3), 267–299. \*
- Lenzner, A., Schnotz, W., & Müller, A. (2013). The role of decorative pictures in learning. *Instructional Science*, 41(5), 811–831. \*
- Leopold, C., & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, 22(1), 16–26. \*
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 284–289. \*
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: a review of research. *ECTJ*, 30(4), 195–232.
- Lin, Y., & Suh, A. (2021). *The role of spatial ability in learning with virtual reality: a literature review*. Hawaii International Conference on System Sciences. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.011>.
- Lowe, R. K. (1996). Background knowledge and the construction of a situational representation from a diagram. *European Journal of Psychology of Education*, 11(4), 377–397. <https://doi.org/10.1007/BF03173279>. \*
- López-Astorga, M., Ragni, M., & Johnson-Laird, P. N. (2021). The probability of conditionals: a review. *Psychonomic Bulletin & Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-01938-5>.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640–652. \*
- May, P. (2001). *Lernförderlicher Unterricht. Teil 1: Untersuchung zur Wirksamkeit von Unterricht und Förderunterricht für den schriftsprachlichen Lernerfolg*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psychology of learning and motivation*, 41, 85–139.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl. S. 43–71). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of educational psychology*, 82(4), 715. \*
- Mayer, R. E., Mathias, A., & Wetzell, K. (2002). Fostering understanding of multimedia messages through pre-training: Evidence for a two-stage theory of mental model construction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(3), 147–154. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.3.147>. \*
- McElvany, N., Schroeder, S., Baumert, J., Schnotz, W., Horz, H., & Ullrich, M. (2012). Cognitively demanding learning materials with texts and instructional pictures: Teachers' diagnostic skills, pedagogical beliefs and motivation. *European Journal of Psychology of Education*, 27(3), 403–420.
- McElvany, N., Schroeder, S., Hachfeld, A., Baumert, J., Richter, T., Schnotz, W., Horz, H., & Ullrich, M. (2009). Diagnostische Fähigkeiten von Lehrkräften: Bei der Einschätzung von Schülerleistungen und Aufgabenschwierigkeiten bei Lernmedien mit instruktionalen Bildern. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 23(34), 223–235.
- Nagashima, T., Bartel, A., Silla, E., Vest, N., Alibali, M., & Aleven, V. (2020). *Enhancing conceptual knowledge in early algebra through scaffolding diagrammatic self-explanation*. The Interdisciplinarity of the Learning Sciences, 14th International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2020, 1. (S. 35–42). \*
- Nagashima, T., Bartel, A. N., Tseng, S., Vest, N. A., Silla, E., Alibali, M. W., & Aleven, V. (2021). Scaffolded self-explanation with visual representations promotes efficient learning in early algebra. *Comparative Cognition Animal Minds*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/sbwfj>. \*
- Nitz, S., Ainsworth, S. E., Nerdel, C., & Precht, H. (2014a). Do student perceptions of teaching predict the development of representational competence and biological knowledge? *Learning and Instruction*, 31, 13–22.
- Nitz, S., Nerdel, C., & Precht, H. (2012). Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 117–139.
- Nitz, S., Precht, H., & Nerdel, C. (2014b). Survey of classroom use of representations: development, field test and multilevel analysis. *Learning Environments Research*, 17(3), 401–422.
- Ollerenshaw, A., Aidman, E., & Kidd, G. (1997). Is an illustration always worth ten thousand words? Effects of prior knowledge, learning style and multimedia illustrations on text comprehension. *International Journal of Instructional Media*, 24(3), 227. \*
- Otten, M., Nieuwland, M. S., & Van Berkum, J. J. (2007). Great expectations: Specific lexical anticipation influences the processing of spoken language. *BMC neuroscience*, 8(1), 1–9.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Park, B., Münzer, S., Seufert, T., & Brünken, R. (2016). The role of spatial ability when fostering mental animation in multimedia learning: an ATI-study. *Computers in Human Behavior*, 64, 497–506. \*

- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and instruction*, 3(3), 227–238.
- Peters, J. H., & Dörfler, T. (2014). *Abschlussarbeiten in der Psychologie und den Sozialwissenschaften – Planen, Durchführen und Auswerten*. Hallbergmoos: Pearson.
- Rau, M. A., Alevin, V., & Rummel, N. (2015). Successful learning with multiple graphical representations and self-explanation prompts. *Journal of Educational Psychology*, 107(1), 30. \*
- Rau, M. A., Zahn, M., Misback, E., Herder, T., & Burstyn, J. (2021). Adaptive support for representational competencies during technology-based problem solving in chemistry. *Journal of the Learning Sciences*, 30(2), 163–203. <https://doi.org/10.1080/10508406.2021.1888733>. \*
- Rau, M. A. (2016). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review*, 29, 717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>. \*
- Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying visual displays: How to instructionally support learning. *Educational Psychology Review*, 29(3), 599–621. \*
- Renkl, A., Berthold, K., Große, C., & Schwonke, R. (2013). Making better use of multiple representations: How fostering metacognition can help. In *International handbook of metacognition and learning technologies* (S. 397–408). New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer. \*
- Rey, G. D. (2012). How seductive are decorative elements in learning material? *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 21(3), 257–283. \*
- Richter, J., & Scheiter, K. (2019). Studying the expertise reversal of the multimedia signaling effect at a process level: Evidence from eye tracking. *Instructional Science*, 47(6), 627–658.
- Richter, J., Scheiter, K., & Eitel, A. (2016). Signaling text-picture relations in multimedia learning: a comprehensive meta-analysis. *Educational Research Review*, 17, 19–36.
- Richter, J., Scheiter, K., & Eitel, A. (2018). Signaling text–picture relations in multimedia learning: the influence of prior knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 110(4), 544–560. \*
- Richter, J., Wehrle, A., & Scheiter, K. (2021). How the poor get richer: Signaling guides attention and fosters learning from text-graph combinations for students with low, but not high prior knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 35, 632–645. <https://doi.org/10.1002/acp.3786>.
- Ring, M., Brahm, T., & Randler, C. (2019). Do difficulty levels matter for graphical literacy? A performance assessment study with authentic graphs. *International Journal of Science Education*, 41(13), 1787–1804. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1640915>. \*
- Roach, V. A., Mi, M., Mussell, J., Van Nuland, S. E., Lufner, R. S., DeVeau, K. M., Dunham, S. M., Husmann, P., Herriott, H. L., Edwards, D. N., Doubleday, A. F., Wilson, B. M., & Wilson, A. B. (2021). Correlating spatial ability with anatomy assessment performance: a meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, 14(3), 317–329. <https://doi.org/10.1002/ase.2029>.
- Roelle, J., Berthold, K., & Renkl, A. (2014). Two instructional aids to optimise processing and learning from instructional explanations. *Instructional Science*, 42(2), 207–228. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9277-2>. \*
- Scaife, M., & Rogers, Y. (1996). External cognition: How do graphical representations work? *International journal of human-computer studies*, 45(2), 185–213.
- Scheiter, K., Gerjets, P., Huk, T., Imhof, B., & Kammerer, Y. (2009). The effects of realism in learning with dynamic visualizations. *Learning and Instruction*, 19(6), 481–494. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.08.001>. \*
- Scheiter, K., Schüler, A., & Eitel, A. (2017). Learning from multimedia: cognitive processes and instructional support. In S. Schwan & U. Cress (Hrsg.), *The psychology of digital learning* (S. 1–19). Cham: Springer.
- Scheiter, K., Richter, J., & Renkl, A. (2018). Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern. In H. Niegemann (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 1–26). Berlin: Springer.
- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 95–148). Bern: Huber.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* 3. Aufl. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (2011). Colorful bouquets in multimedia research: a closer look at the modality effect. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 254(4), 269–276.
- Schnotz, W. (2014). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl. S. 72–103). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. (2019). *Pädagogische Psychologie kompakt*. Weinheim: Beltz.

- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction, 13*(2), 141–156.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review, 19*(4), 469–508. \*
- Schnotz, W., & Mikkilä, M. (1991). Symbolische und analoge Repräsentationen beim Verstehen technischer Geräte. *Zeitschrift für Psychologie, 11*(Suppl), 223–235. \*
- Schnotz, W., Picard, E., & Henninger, M. (1994). The use of graphics and texts in constructing mental models. *Advances in psychology, 108*, 185–205. \*
- Schnotz, W., Ludewig, U., Ullrich, M., Horz, H., McElvany, N., & Baumert, J. (2014). Strategy shifts during learning from texts and pictures. *Journal of Educational Psychology, 106*(4), 974. \*
- Schubert, C. (2016). *Supporting adequate processing of multimedia instruction: two gaze-based interventions*. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität Tübingen.
- Schwamborn, A., Thillmann, H., Opfermann, M., & Leutner, D. (2011). Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 89–93. \*
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction, 13*(2), 227–237. \*
- Seufert, T. (2019). Training for coherence formation when learning from text and picture and the interplay with learners' prior knowledge. *Frontiers in Psychology, 10*, 193. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00193>. \*
- Seufert, T., Jänen, I., & Brünken, R. (2007). The impact of intrinsic cognitive load on the effectiveness of graphical help for coherence formation. *Computers in Human Behavior, 23*(3), 1055–1071. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2006.10.002>. \*
- Shah, P., & Freedman, E. G. (2011). Bar and line graph comprehension: an interaction of top-down and bottom-up processes. *Topics in cognitive science, 3*(3), 560–578. \*
- Shams, Z., Jamnik, M., Stapleton, G., & Sato, Y. (2017). Reasoning with concept diagrams about Antipatterns in ontologies. In H. Geuvers, M. England, O. Hasan, F. Rabe & O. Teschke (Hrsg.), *Intelligent computer mathematics* (Bd. 10383, S. 255–271). Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer. \*
- Skuballa, I. T., Fortunski, C., & Renkl, A. (2015). An eye movement pre-training fosters the comprehension of processes and functions in technical systems. *Frontiers in Psychology, 6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00598>.
- Skuballa, I. T., & Renkl, A. (2014). A non-verbal pre-training based on eye movements to foster comprehension of static and dynamic learning environments. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 36*(36), 1443–1448. <https://escholarship.org/content/qt11m764jc/qt11m764jc.pdf>.
- Stenning, K., Cox, R., & Oberlander, J. (1995). Contrasting the cognitive effects of graphical and sentential logic teaching: reasoning, representation and individual differences. *Language and Cognitive Processes, 10*(3–4), 333–354. \*
- Stieff, M., & DeSutter, D. (2021). Sketching, not representational competence, predicts improved science learning. *Journal of Research in Science Teaching, 58*(1), 128–156. <https://doi.org/10.1002/tea.21650>. \*
- Storz, P., & Wirsing, G. (1987). *Unterrichtsmethodik Technische Chemie*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie: .
- Stull, A. T., & Hegarty, M. (2015). Model manipulation and learning: fostering representational competence with virtual and concrete models. *Journal of Educational Psychology, 108*(4), 509. \*
- Susac, A., Bubic, A., Kazotti, E., Planinic, M., & Palmovic, M. (2018). Student understanding of graph slope and area under a graph: a comparison of physics and nonphysics students. *Physical Review Physics Education Research, 14*(2), 20109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020109>. \*
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: the conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review, 90*(4), 293–315.
- Ullrich, M. (2011). *Einflüsse der Verarbeitungsreihenfolge auf den Wissenserwerb mit Texten und Bildern*. \*
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology, 31*(2), 142–166. \*
- Verhoeven, L., & Perfetti, C. (2008). Advances in text comprehension: model, process and development. *Applied Cognitive Psychology, 22*(3), 293–301.

- Vogt, A., Klepsch, M., Baetge, I., & Seufert, T. (2020). Learning from multiple representations: prior knowledge moderates the beneficial effects of signals and abstract graphics. *Frontiers in Psychology, 11*, 601125. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.601125>. \*
- Winn, W. (1982). The role of diagrammatic representation in learning sequences, identification and classification as a function of verbal and spatial ability. *Journal of Research in Science Teaching, 19*(1), 79–89. <https://doi.org/10.1002/tea.3660190110>.
- Winn, W., & Sutherland, S. W. (1989). Factors influencing the recall of elements in maps and diagrams and the strategies used to encode them. *Journal of Educational Psychology, 81*(1), 33–39. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.1.33>. \*
- Winn, W., Li, T.-Z., & Schill, D. (1991). Diagrams as aids to problem solving: Their role in facilitating search and computation. *Educational Technology Research and Development, 39*(1), 17–29. <https://doi.org/10.1007/BF02298104>. \*
- Won, M., Yoon, H., & Treagust, D. F. (2014). Students' learning strategies with multiple representations: explanations of the human breathing mechanism. *Science Education, 98*(5), 840–866. \*
- Zhao, F., Schnotz, W., Wagner, I., & Gaschler, R. (2020). Texts and pictures serve different functions in conjoint mental model construction and adaptation. *Memory & cognition, 48*(1), 69–82. \*
- \* im Review in Abschn. 3 herangezogener Literatureintrag

## 4.2 Zwischenfazit

Mit dem Beitrag wurde anhand eines detaillierten Blickes in das ITPC (Schnotz, 2014) der Stand der Forschung und Didaktik bezüglich des in den einzelnen Phasen bei der Repräsentationsverarbeitung aufgearbeitet. Auf diese Weise wurde zum einen die bislang ungeklärte Funktion von Vorwissen in den Verarbeitungsebenen der Aufmerksamkeit und Selektionsfilter, der Oberflächenverarbeitung und der tiefenstrukturellen Semantisierung sowie der Kohärenzformation herausgearbeitet. Dabei wurde deutlich, dass zukünftig in Interventionsstudien statt der Erhebung von unspezifischem Vorwissen zum Thema oder aus der Domäne sollte spezielles, für die Verarbeitung einer Repräsentation benötigtes Vorwissen abgefragt werden, um so die Anforderungen an den eingesetzten Repräsentationen auszurichten.

Zum anderen wird durch die Analyse der Verarbeitungsprozesse die Annahme einer klaren Abgrenzung zwischen Repräsentations- und Inhaltsvorwissen gestärkt und argumentativ begründet. Das Repräsentationswissen wird dabei zwischen deklarativen, strategischem und prozeduralen Wissen differenziert und der bisherige Forschungsstand in Bezug zu diesen Kategorien eingeordnet und interpretiert. Für die weitere Beforschung der Repräsentationsverarbeitung liefert der Beitrag somit ein zunächst fachübergreifendes Framework zur detaillierten Beschreibung des für die Repräsentationsverarbeitung benötigten Wissens und der Fertigkeiten im Umgang mit der jeweiligen Repräsentationsform.

Bezüglich des Inhaltsvorwissens vermag der Beitrag zumindest auf entsprechende Wissensbereiche aus der Schul-, Arbeits- und Lebenswelt verweisen. Für den Bereich der Technik stellt sich jedoch unmittelbar die Frage, wie ein solches Inhaltsvorwissen didaktisch und inhaltlich sinnvoll beschrieben werden kann. Diese Frage ist dabei besonders für eine anwendungs-orientierte Disziplin wie die technischen Wissenschaften besonders bedeutsam, da diese zum einen auf ein domänen-eigenes Wissensinventar aber ebenso auf Wissen aus Bezugswissenschaften und gesellschaftlicher Lebensweltlichkeit zurückgreifen (Ropohl, 2010).

Um es zugespitzt zu formulieren: Was ist eigentlich technisches (Inhalts-)Wissen?

## 5. Modellierung technischen Vorwissens

Um das in der ersten Publikation entwickelte fachübergreifende Framework fachspezifisch auszudifferenzieren, synthetisiert die folgende Publikation gegenwärtige Modelle technischen Wissens, welche der Didaktik sowie der Technikphilosophie entstammen, unter Einbezug lern-psychologischer Erkenntnisse zu einem didaktisch-orientierten Analyseraster technischen Wissens. Zur inhaltlichen Fundierung wird zudem eine Definition von Technik als Disziplin in Abgrenzung zu den Bezugswissenschaften erarbeitet. Die Bedeutung des erarbeiteten Rasters in Bezug auf die Analyse sowie auf den inhaltlichen Aspekt von Unterrichtsplanung wird diskutiert.

Ziel und Fragestellungen der Publikation:

- Wie grenzt sich die Domäne Technik zu deren Bezugswissenschaften ab?
- Was ist technisches Wissen in Abgrenzung zu Wissen in den Bezugswissenschaften?
- Wie lässt sich technisches (sowie bezugswissenschaftliches, nicht-technisches) Wissen didaktisch-motiviert klassifizieren?

**5.1 Artikel: Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen (Erlebach & Frank, 2021)**

**Quelle:** Erlebach, R., & Frank, C. (2021). Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 59–86. DOI: 10.48513/joted.v9i2.205

RALF ERLEBACH (Bergische Universität Wuppertal)

CAROLIN FRANK (Bergische Universität Wuppertal)

**Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage  
zur Analyse technischer Repräsentationen**

**Herausgeber**

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

**Journal of Technical Education (JOTED)**

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

RALF ERLEBACH / CAROLIN FRANK

## **Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen**

### ZUSAMMENFASSUNG:

Innerhalb der gewerblich-technischen Berufsbildung werden an die Auszubildenden erhöhte Anforderungen im Umgang mit technischen Repräsentationen, d.h. Darstellungen und Beschreibungsmitteln, gestellt. Empirische Befunde legen nahe, dass eine solche Repräsentationskompetenz (Kozma & Russell, 1997; Rau, 2016) nicht vorausgesetzt werden kann: Lernende sind nicht in der Lage, Fach-Inhalte aus externalen Repräsentationen erfolgreich zu entnehmen. Zur Klärung dieses Problems sind auf der inhaltlichen Ebene das eingebettete (technische) Expertenwissen sowie die jeweiligen kognitiven Strukturen aus lernpsychologisch-didaktischer Sicht zu identifizieren. Auf Basis eines umfassenden Literaturreviews wird ein Analyseraster entwickelt, mit dem sich das notwendige Vorwissen zum Verständnis der Tiefenstruktur gegebener Repräsentationen beschreiben lässt.

*Schlüsselwörter:* Technisches Wissen, Technische Repräsentationen, Wissensmodell, Sach- und Handlungswissen

### **Didactic model of technical knowledge as an analysis grid for technical representations**

#### ABSTRACT:

Within commercial and technical vocational training, the trainees are faced with increased demands when it comes to dealing with technical representations. Empirical evidence suggests that such representational competence (Kozma & Russell, 1997; Rau, 2016) cannot be assumed: learners are unable to successfully extract subject content from external representations. To clarify this problem, the embedded (technical) expert knowledge as well as the respective cognitive structures must be identified from each, the perspective of learning psychology and didactics. On foundation of an extensive literature review, an analysis grid is developed to describe the previous knowledge necessary to understand the deep structure of the representations.

*Keywords:* Knowledge in Technology, Technological Representations, Model of Knowledge, Factual and Behavioural Knowledge

## 1 Einleitung

Die Entnahme relevanter Informationen aus Wissensquellen, wie z.B. Diagnose-Assistenzsystemen, bei der Ausübung gewerblich-technischer Tätigkeiten stellt für einen Großteil von Auszubildenden eine entscheidende Herausforderung dar. So berichten beispielsweise Nickolaus, Abele, Gschwendtner et. al. (2012, S. 251ff), dass über 50 Prozent der getesteten Auszubildenden des 3. Lehrjahres im Berufsbild KFZ-Mechatroniker nicht hinreichend Informationen aus den typischerweise bei der Fehlerdiagnose genutzten Darstellungsformen entnehmen können. Konkret wird als Ursache in diesem Fall ein Unvermögen bei der Rezeption von elektrischen Schaltplänen vermutet. Auch der Umgang mit dem Tabellenbuch ist hinsichtlich der inhaltsbezogenen „aufgaben-spezifischen Verweisqualitäten“ (Behrendt et al., 2017, S. 52) sowohl von Geißel (2008) als auch Gschwendtner (2008) als schwierigkeitsbedeutsam identifiziert worden.

Diese Schwierigkeiten erstrecken sich über den Bereich der Diagnosetätigkeiten und damit über das Lesen von beispielsweise Einbaulageplänen oder Darstellungen von Komponenten hinaus auch auf andere technische Handlungsfelder und Repräsentationen. Unter dem Begriff „(externe) Repräsentation“ werden Darstellungsformen verstanden, die einen Sachverhalt wiedergeben (Rau, 2016). Dies kann nach Bruner (1971) symbolisch durch Zeichen (z.B. Text oder mathematische Formeln), ikonisch durch eine bildliche Darstellung (z.B. Foto, Zeichnung, Diagramm, Schaltbild) oder enaktiv mittels Handlung (z.B. an realen Modellen oder Simulationen) geschehen.<sup>1</sup>

Besonders im gewerblich-technischen Handeln sind Repräsentationen von zentraler Bedeutung für die Kommunikation technischer Inhalte und das erfolgreiche Lösen technischer Probleme. Aus der empirischen Forschung ist bekannt, dass es Lernenden schwerfällt, die einer Repräsentation zu entnehmenden Inhalte mit ihrem Vorwissen in einen kohärenten Zusammenhang zu bringen (Seufert, 2003). Dies ist umso folgenschwieriger, da der technische Problemlöseprozess durch ein aktives Arbeiten an grafischen Repräsentationen (Juhl & Lindegaard, 2013) sowie ein Wechseln von Repräsentationen (Moore et al., 2013) maßgeblich kognitiv unterstützt wird.

Auf das Problem im Verstehensprozess technischer Repräsentationen soll anhand zweier grafischer Beispiele (Lindemann, 2010) näher eingegangen werden:

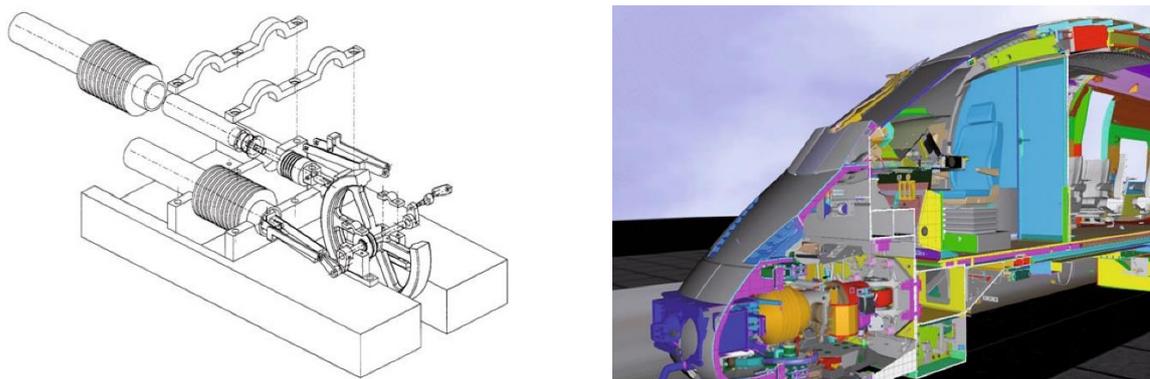


Abb. 1: Zwei Beispiele technischer Repräsentationen aus Lindemann (2010, S. 14 & 17) zur technischen Kommunikation (Quelle: links: TU München, rechts: Siemens AG)

<sup>1</sup> Internale Repräsentationen beziehen sich dagegen auf Vorstellungen. In diesem Beitrag werden ausschließlich externe Repräsentationen unter dem verkürzten Begriff „Repräsentation“ verstanden.

In Abb. 1 finden sich zwei grafische Repräsentationen, die beide den Aufbau eines technischen Systems darstellen. Beide können zur gleichen Repräsentationsform, realistisch-bildliche Darstellung, gezählt werden. Jedoch stellen sie bzgl. des Vorwissens sehr unterschiedliche kognitive Ansprüche an den Betrachter.

Während allein durch Alltagswissen die Frontpartie und der Führerstand eines Hochgeschwindigkeitszuges von einem Betrachter erkannt werden dürfte, benötigt es einiges an technischem Vorwissen, die linke Darstellung als Doppelkolben-Stirling-Motor zu identifizieren.

Gänzlich anders verhält es sich jedoch bei der Frage, was in diesen Repräsentationen im Einzelnen abgebildet ist. Im Fall des Stirling-Motors kann man auch mit einem allgemeinen Technikwissen Bezeichnung und die Funktion der einzelnen Elemente, beispielsweise Antriebsrad oder Zylinder, erkennen und benennen. Es bedarf dagegen im Falle der ICE-Frontpartie vertieften Expertenwissens, um in der Repräsentation Informationen über die Fertigung in Differenzialbauweise oder die sicherheitsrelevante Umsetzung eines Kollisionskonzeptes mit Stauchrohr, Verformungselementen und abgetrennten Arbeitsbereich des Triebfahrzeugführers zu entnehmen.

Beide Beispiele verdeutlichen, dass Expertinnen und Experten in einer Repräsentation mehr und vor allem fachlich bedeutsamere Zusammenhänge erkennen als Novizinnen und Novizen: Technische Laien können weniger Zusammenhänge als Maschinenbauer und -bauerinnen erkennen und diese wiederum weniger als versierte Waggonbauer und -bauerinnen. Dies ist in erster Linie auf das jeweils verfügbare Vorwissen der Personengruppen zurückzuführen. In der Expertise-Forschung stellen Chi, Feltovich und Glaser (1981) sowie Anzai (1991) heraus, dass Expertinnen und Experten bei der Lösung von Problemen generell zielgerichtet auf ein stabiles kognitives System aus abstrakten Prinzipien und Lösungsschemata zurückgreifen. Diese Prinzipien leiten dabei den Lösungsprozess auf einer tiefenstrukturellen Ebene an, wodurch Expertinnen und Experten in der Lage sind, Probleme von der Ausgangslage zum Ziel hin zu denken (Means-End-Prozesse). Novizinnen und Novizen sind hingegen auf ein System instabiler Vorstellungen, fragmentierten Wissens und einer Orientierung an situationsspezifischen Oberflächenmerkmalen angewiesen (Chi et al., 1981). Allerdings ist Expertinnen und Experten der Umstand oftmals nicht bewusst (Anzai, 1991), was die Kommunikation über den Problemlöseprozess mit Unerfahrenen schwierig gestaltet.

Das Experten-Novizen-Dilemma tritt jedoch nicht nur bei allgemeinen Problemlöseprozessen auf, sondern auch generell im Rahmen von Lernprozessen, wenn Wissen nicht in einer ausdrücklichen Form kommuniziert wird. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn Informationen nicht aus einem Text (deskriptional), sondern aus einer grafischen Repräsentation zu entnehmen sind (depiktional). Bereits frühe Untersuchungen auf diesem Gebiet u.a. von Schnotz (1994) zeigen: Im Gegensatz zu schwachen Lernenden zeichnen sich erfolgreiche dadurch aus, dass sie in der Lage sind, gezielt die relevanten Informationen in gegebenen Repräsentationen zu identifizieren und zu entnehmen.

Auch im Bereich der Technik hängen Kompetenzerwerb und Rezeptionsfähigkeit von Repräsentationen voneinander ab, besonders in Teilbereichen wie des Designs oder der Problemlösung, in denen eine aktive Arbeit mit Repräsentationen notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Aufgabenbewältigung darstellt. Daher besteht eine mögliche Lösung des Repräsentationsdilemmas darin, Expertinnen und Experten darin zu unterstützen, das in Repräsentationen eingebettete Wissen systematisch zu analysieren und zu identifizieren, um dies gezielt vermitteln zu können.

Die beiden Beispiele aus Abb. 1 verdeutlichen zudem, dass Einzelaussagen nicht ausschließlich auf direktem Wege herausgelesen werden. Die Rezeption grafischer Repräsentationen stellt beispielsweise eine andere Kulturtechnik dar als das Lesen linearer aufgebauter

Schrifttexte (Schnotz, 2001). Statt eines sequenziellen Abarbeitens sind grafische Repräsentationen zunächst im Ganzen zu erfassen, deren abgebildete Einzelemente zu identifizieren und deren Zusammenspiel in ihrer Tiefenstruktur zu analysieren. Erst dann können aus dem so gewonnenen mentalen Modell einzelne Aussagen verbalisiert werden (Schnotz, 2014). Technische Repräsentationen sind also keinesfalls als selbsterklärend zu betrachten.

Lernende stehen somit vor der Schwierigkeit, Wissen aus Repräsentationen zu entnehmen, deren Struktur und Funktion sie nicht durchschauen, besonders dann, wenn Teile des enthaltenen Wissens Voraussetzung für das Verständnis der Repräsentationen sind (Rau, 2016). Um das repräsentationale Dilemma lösen zu können, ist das zum Verständnis technischer Repräsentationen notwendige Vorwissen zu beschreiben, um dieses dann gezielt vermitteln zu können.

Es stellt sich somit als Gesamtproblem folgende Frage: Welches Vorwissen hinsichtlich der Oberflächen- bzw. der Tiefenstruktur einer Repräsentation ist zur Rezeption bedeutsam und notwendig?

Bislang wird in der Beforschung von Repräsentationsarbeit vor allem die kognitive Verarbeitung in den Fokus gerückt. Diese wird in gegenwärtigen kognitionspsychologischen Modellen (Schnotz, 2014; Schnotz & Bannert, 2003; ebenso: Hegarty, 2014; Mayer, 2014; Park et al., 2014; Moreno, 2006) als ein mehrstufiger Prozess beschrieben, welcher sich in die Verarbeitung von Oberflächen- und Tiefenstrukturen aufgliedert.<sup>2</sup>

Oberflächenstrukturen einer Repräsentation beschränken sich dabei auf die Frage der Form, wie das Wissen wiedergegeben wird, z.B. die konkrete Wortwahl, der Verlauf eines Graphens oder die Farbe und Höhe eines Balkens in einem Balkendiagramm. Ohne die Einordnung in einen Kontext stellen auch einzelne Daten und Fakten, wie z.B. Zahlenwerte, Formelzeichen, Fachbegriffe oder Bauteilbezeichnungen, zunächst Oberflächenstrukturen dar. Da technische Sachverhalte Teil des alltäglichen Lebens sind, da sich die Technik in ihren Inhalten und Repräsentationen auf die aus der Schulbildung bekannten Bezugswissenschaften stützt und nicht zuletzt da innerhalb der Technik eine hohe Anzahl von Überschneidungen in der Nutzung von Repräsentationen unter den verschiedenen Disziplinen und Berufsrichtungen besteht, lässt sich das zur Identifikation und Interpretation der Oberflächenstruktur notwendige Vorwissen in der Technik oft fachübergreifend beschreiben. Dem gegenüber steht die tiefenstrukturelle Verarbeitung, in welcher sich die Bedeutung der identifizierten Oberflächenstrukturen erschließt (Schnotz, 2001, 2002). Dieses tiefenstrukturelle Verständnis stellt dabei eine wesentlich anspruchsvollere Herausforderung im Lernprozess dar. Das für die Identifikation und Interpretation der Tiefenstruktur hilfreiche Vorwissen ist spezifisch und kann in der Regel nur auf die jeweilige Fachdisziplin bezogen beschrieben werden.

Im Besonderen treffen die kognitiven Verarbeitungsmodelle keine Aussagen über die konkreten, verarbeiteten Inhalte. Hierfür ist eine Analyse des für die Rezeption der Repräsentation relevanten Vorwissens notwendig, um zu einer Aufstellung der sowohl für das oberflächen- als auch tiefenstrukturelle Verständnis konkreten, notwendigen Fachinhalte zu gelangen.

Ziel des Beitrages ist daher, technisches Wissen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten zu modellieren, um die Rezeption von Repräsentationen fachinhaltsbezogen analysieren zu können.

<sup>2</sup> Zu einer ausführlichen Darstellung der Bedeutsamkeit verschiedenen Vorwissens für die oberflächen- und tiefenstrukturelle Verarbeitung anhand des Integrierten Modells des Bild-Text-Verstehens (Schnotz 2014) ist ein eigenständiger Artikel in Vorbereitung (Erlebach & Frank, in Vorbereitung).

Für den hier betrachteten Bereich der gewerblich-technischen Ausbildungsberufe bedeutet dies, dass zunächst zu klären ist, was technisches Wissen ist und wie dies modellhaft beschrieben bzw. kategorisiert werden kann.

Die bisherige empirische Beforschung des gewerblich-technischen Kompetenzerwerbs (vgl. Nickolaus, 2011, S. 334) und die darin eingesetzten Operationalisierungen und den diesen zugrundeliegenden Konzeptualisierungen technischen Wissens sind sehr stark tätigkeitsspezifisch ausgerichtet und lassen sich nicht auf andere technische Ausbildungsberufe übertragen.

Zugleich liegt ein breiter theoretischer Diskurs zur Struktur technischen Wissens vor. Dieser beschreibt technisches Wissen berufsübergreifend, klärt jedoch nicht das Verhältnis zu den Bezugswissenschaften (Physik, Chemie, Wirtschaftswissenschaften, Informatik etc.) auf. Ein solcher Bezug ist allerdings relevant, da die Relevanz von bezugswissenschaftlichem Vorwissen für den Kompetenzerwerb in der gewerblich-technischen Berufsausbildung wiederum empirisch nachgewiesen ist (Frank et al., 2017; Gschwendtner, 2008; Gschwendtner et al., 2010).

Den bislang bestehenden Ansätzen zur Beschreibung technischen Wissens gelingt es somit nicht, übergeordnet auf jedes technische Gewerk anwendbar zu sein und gleichzeitig auf fachspezifischer Ebene die Wissensstrukturen, die mit dem Verständnis technischer Repräsentationen verknüpft sind, zu beschreiben. Ein solches Modell müsste dabei im Besonderen klären, was technisches Wissen ist und wie es sich zu Wissen aus den anderen Domänen der Bezugswissenschaften abgrenzt. Die Klärung dieser Frage geschieht in Abschnitt 3.

Neben einer Beschreibung technischen Wissens bedarf es ebenso lernpsychologischer Informationen über das Vorwissen, um dieses gezielt vermitteln zu können. Die Bedeutsamkeit der lernpsychologischen Aspekte des Vorwissens (Art des Wissens, Grad der Vernetztheit sowie Anforderungsniveau) ist allgemein empirisch belegt und ebenso für technikdidaktische Kontexte naheliegend (Behrendt et al., 2017; Gschwendtner et al., 2010; Gschwendtner, 2008). Daher sollten die bei der Modellierung entstehenden Kategorien anschlussfähig an lernpsychologisch begründete Wissensmodelle aus der allgemeinen Didaktik sein. Die in der Technikdidaktik vorgenommenen Operationalisierungen als auch die theoretischen Modelle technischen Wissens spiegeln bislang allerdings kognitions- und lernpsychologische Aspekte nur unzureichend wider. Abschnitt 4 wird daher diese Aspekte aufgreifen und aufbereiten.

Anschließend wird daraus im Abschnitt 5 ein Modell technischen Wissens abgeleitet, welches die fachinhaltsbezogene Analyse technischer Repräsentationen ermöglicht. Das Modell wird in Abschnitt 6 am Beispiel des Stirling-Motors aus Abb. 1 angewendet und daraufhin diskutiert, welches Vorwissen sich damit strukturiert erfassen und einordnen lässt. Eine abschließende Diskussion einschließlich eines Ausblicks auf weitere Anwendungsmöglichkeiten findet in Abschnitt 7 statt. Zunächst werden im nächsten Abschnitt die zur Klärung der Fragen notwendigen Begriffsdefinitionen eingeführt und besprochen.

## 2 Definition „Technik“ und „technisches Wissen“

In diesem Abschnitt werden die für diese Arbeit zentralen Begriffe „Technik“ und „technisches Wissen“ geklärt. Im Gegensatz zu den klassischen (Wissenschafts-) Disziplinen wie Physik, Mathematik oder Biologie verfügt das Fachgebiet „Technik“<sup>3</sup> nicht über einen inhaltlich abgegrenzten Handlungs- und Wissensbereich, sondern greift vielmehr als Transdisziplin (Ropohl,

<sup>3</sup> Die Unterscheidung zwischen „technisch“ im Sinne praktischer und „technologisch“ im Sinne ingenieurwissenschaftlicher Inhalte (Ropohl, 1997, S. 65) wird in diesem Rahmen nicht weiterverfolgt. Gemeint ist in diesem Artikel unter dem Begriff „Technik“ stets beides.

2010) auf Wissen und Konzepte aus den Bezugswissenschaften zurück und nutzt bzw. interpretiert diese im eigenen Sinne. Die Folge ist, dass eine Zuordnung ohne ein definiertes Kriterium nicht möglich ist. Daher ist zunächst der Begriff der Technik so zu definieren, dass das Verhältnis zu bezugswissenschaftlichen Bereichen geklärt wird. Die von den Autoren zugrunde gelegte Definition von „Technik“ lautet folgendermaßen:

Kernbereich der Technik sind Fragen zum Aufbau und der Wirkweise von Artefakten als auch zu menschlichen Handlungen, die an oder mit jenen Artefakten durchgeführt werden (z.B. der Erstellung, Nutzung, Umnutzung, Modifikation oder Entsorgung) und die dabei Naturgesetze und -prinzipien zur Erreichung eines angestrebten Zielzustandes ausnutzen.

Die Definition geht in Anlehnung an den engen Technik-Begriff bei Arthur (2009) und de Vries (2006) von einer zentralen Stellung von Artefakten aus. Als künstlich geschaffene Gegenstände, also als Werkzeug, Halbzeug oder Produkt, unterliegen sie einer Zweck-Mittel-Relation (de Vries, 2003; Hoffman, 1998). Diese Beziehung wird durch ein intendiertes Handeln sichtbar, welches darauf hin ausgerichtet ist, unter Ausnutzung eines naturwissenschaftlichen Prinzips ein bestehendes Bedürfnis zu befriedigen (Arthur, 2009; vgl. auch Wolffgramm, 2012, S. 31).

Der Bezug zu Artefakten und das intendierte Ausnutzen naturwissenschaftlicher Prinzipien sind dabei Voraussetzungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen. Die Einschränkung ist keineswegs selbstverständlich. So formuliert beispielsweise Wolffgramm (2012) Technik zunächst als „die Gesamtheit der vom Menschen geschaffenen künstlichen Mittel und Verfahren menschlicher Tätigkeit“ (Wolffgramm, 2012, S. 30). Künstliche Mittel, deren Verwendung jedoch kein naturwissenschaftliches Prinzip zugrunde liegt, werden nach der in diesem Artikel getroffenen Definition nicht in den Bereich der Technik gezählt. Beispiele hierfür sind Münz- oder Papiergeld als Tauschmittel oder Kunstwerke, welche ästhetischen Prinzipien folgen. Dies gilt umso mehr, wenn es sich lediglich um „vom Menschen geschaffene ... Verfahren“ (Wolffgramm, 2012) handelt, in die Fragen der Verwaltung, Bürokratie und Gesetzgebung, aber auch jede Form gesellschaftlicher Konventionen und Kulturtechniken wie Gesprächsführung fallen.

Ebenso sind naturwissenschaftliche Prinzipien ohne unmittelbaren Bezug zu einem Artefakt nicht von der o.g. Definition abgedeckt, auch wenn hierbei eine Zweckerfüllung vorliegt. Beispielsweise soll es sich bei der Ausnutzung natürlicher Ausbreitung von Pflanzen oder Tieren zur gezielten Veränderung oder Korrektur eines Ökosystems nicht um einen technischen Akt handeln, denn Pflanzen und Tiere sind keine Artefakte. An der Stelle muss betont werden, dass auch das (ggf. ausgenutzte) naturwissenschaftliche Prinzip allein keinen Teilbereich der Technik darstellt. So stehen physikalische Konzepte wie z.B. Masse, Trägheit oder Drehmoment ebenso außerhalb der vorgelegten Definition wie das chemische Teilchenmodell, das Periodensystem oder die Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit von zwei Stoffen – für sich als Beschreibung der Natur genommen – nicht für den Bereich der Technik. Auch fallen mathematische Berechnungen, sofern sich diese nicht auf konkrete Artefakte beziehen, nicht unter die vorliegende Definition.

Die Definition, nach der „technische Handlungen Naturgesetze und -prinzipien zur Erreichung eines angestrebten Zielzustandes ausnutzen“, beschreibt somit explizit das Verhältnis von Technik zu den Naturwissenschaften: Der Bereich der Technik emanzipiert sich gegenüber denen der Bezugswissenschaften, indem durch dieses zweckgebundene Ausnutzen naturwissenschaftlicher Prinzipien ein eigenständiger Wissensbereich eröffnet wird (Mitcam, 1994, S. 192ff). Für die Eigenständigkeit dieses Wissensbereichs bedarf es ebenso einer definitorischen Grundlage, durch welche geklärt wird, was „technisches Wissen“ ist und wie es sich von den Wissensbereichen anderer Bezugswissenschaften abgrenzt.

Zu dieser Frage liegen in der Literatur bislang keine zufriedenstellenden Ansätze vor: Ropohl (1997, S. 65) beispielsweise definiert „technisches Wissen“ mehrdeutig als Wissen, welches sich

auf Technik bezieht. Etwas spezifischer beschreibt Gaycken „technisches Wissen“ als jenes „Wissen um technische Verfahren und Gegenstände, deren Ursachen und Folgen auf ihre Umgebung“ (Gaycken, 2005, S. 5). Problematisch sind diese Definitionen, da sie sich jeweils auf einen unklaren Technikbegriff stützen. Zudem bauen beide Definitionen auf dem Begriff des „Wissens“ auf. Dies ist insofern schwierig, da der Wissensbegriff im Bereich der Technik etliche Spezifika aufweist (Meijers & de Vries, 2009; vgl. auch Mitcham, 1994, S. 194; de Vries, 2003; Poser, 2016, S. 120ff), die nicht mit der aus der Philosophie üblichen Auffassung aus der *Klassischen Analyse des Wissens* (Ichikawa & Steup, 2018) vereinbar sind.

Für eine Definition für technisches Wissen sind beide Punkte zu berücksichtigen: Zum einen sollte sie auf psychologisch fundierter Ebene auf „kognitiven Strukturen“ (Anderson, 2007) anstatt auf einem philosophisch besetzten Begriff des „Wissens“ aufbauen. Zum anderen sollte sie explizit das zugrunde liegende Verständnis des „Technikbegriffs“ klären. In Rückbezug auf die obige Arbeitsdefinition wird daher der Begriff des „technischen Wissens“ wie folgt definiert:

Unter „technischem Wissen“ werden in diesem Beitrag kognitive Strukturen verstanden, welche für technisches Handeln bedeutsam sind und einen inhaltlichen Bezug zu Artefakten aufweisen.

Die vorliegenden Definitionen klären grundsätzlich, was unter technischem Wissen verstanden werden soll und geben somit eine erste, vorläufige Antwort hinsichtlich der Teilproblematik, was technisches Wissen sei. Unbeantwortet bleibt bislang jedoch, womit sich technisches Wissen inhaltlich beschäftigt und in welchen Arten von (technischen) Handlungen es notwendig wird, was im nächsten Abschnitt näher beleuchtet wird.

### 3 Inhaltsbereiche technischen Wissens

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die in der Literatur bereits vorliegenden Taxonomien erarbeitet, welche technisches Wissen hinsichtlich dessen Inhaltsbereiche kategorisieren. Dazu wurde eine systematische Literaturrecherche in deutscher sowie englischer Sprache zu den Stichpunkten „technisches Wissen“ bzw. „Technological Knowledge“ sowohl in auf wissenschaftliche Fachaufsätze spezialisierten Suchmaschinen<sup>4</sup> als auch in einschlägigen Fachzeitschriften und den Publikationen der Technikphilosophie durchgeführt. Aus dem Textkorpus wurden alle Artikel ausgewählt, die technisches Wissen kategorial beschreiben und sich dabei nicht nur auf Einzelaspekte konzentrieren. Ferner wurden nur Arbeiten berücksichtigt, die den Fokus auf den inhaltlichen Aspekt technischen Wissens als beschreibendes Merkmal legen. Die entsprechenden Arbeiten entstammen technik-philosophischen, empirischen oder didaktischen Forschungsparadigmen.

Tab. 1 stellt die untersuchten Arbeiten sowie die darin herausgearbeiteten Kategorien überblicksartig dar. Im Kopf der Tabelle finden sich neben Autor und Veröffentlichungsjahr ebenso das jeweilige Forschungsparadigma sowie die angewandte Methodik, aus deren Ergebnissen die jeweiligen Kategorien abgeleitet und entwickelt wurden. Kategorien mit vergleichbaren Inhalten werden dabei in der Übersicht in derselben Zeile aufgeführt. In wenigen Fällen, in denen sich eine Kategorie mehreren vergleichbaren Kategorien anderer Modelle zuordnen lässt, erscheint diese mehrfach in der Übersicht. Findet sich im jeweiligen Kategorialmodell keine vergleichbare Entsprechung zu anderen Modellen, so ist dieser Bereich mit einem grauen Freifeld gekennzeichnet.

<sup>4</sup> Genutzt wurden Google Scholar, die Suchmaske der FIS-Datenbank, BASE sowie die Wissenschaftssparte von MetaGer.

Der inhaltliche Vergleich der verschiedenen Kategorialmodelle zeigt dabei, dass eine Unterteilung in theoretisches und praxisorientiertes Wissen (Schmayl 2013) den Konsens darstellt. Dabei untergliedert sich praxisorientiertes Wissen weiter in einen System-, einen Nutzungs- und einen Exekutivaspekt. Weniger Konsens besteht hinsichtlich des technischen Meta-Wissens, welches das theoretische und praxisorientierte Wissen ergänzt. Abb. 2 verbildlicht diese Systematisierung, welche im Folgenden detailliert dargestellt wird.

Tab. 1: Gegenüberstellung von Kategoriensystemen technischen Wissens

Autor	Vincenti (1990, 1992)	Faulkner (1998)	Dasgupta (1996)	Ropohl (1997, 1998, 2009)	de Vries (2003)	Compton (2004)	Wiemer (2018)
<b>Erkenntnis-perspektive</b>	historisch-empirisch retrospektive Analyse von Design-Prozessen	wirtschafts-wissenschaftlich Literaturreview; Innovations-forschung	historisch-empirisch retrospektive Analyse technischer Entwicklungen	philosophisch Systemphilosophie	historisch-empirisch retrospektive Analyse technischer Entwicklung	didaktisch Curriculums-entwicklung; Literaturreview	empirisch-didaktisch emp. Untersuchung im Schulkontext bei Grundschüler/innen
	<b>Forschungs-methodik</b>	Theoretische Hilfsmittel	Mathematisches Wissen Grundlagen-Wissenschaft	Technologisches Gesetzeswissen			
<b>Kategorien</b>		Bezug zur naturalen Welt			Wissen über physische Natur	Ressourcen-Wissen	
	Instrumente fürs Design	Bezug zum praktizierten Design				Technisches Know-How	Technisch-kreative Fähigkeit
	Praktische Überlegungen		Technologisches Wissen	Funktionales Regelwissen	Wissen über funktionelle Natur	Zusammenspiel der Dinge	Funktionswissen (Was-Warum)
	Kriterien und Spezifikationen		Operationale Prinzipien	Struktureles Regelwissen	Mittel-Zweck-Wissen		Funktionswissen (pragmatisch)
	Fundamentale Design-Konzepte						Aufbauwissen
	Quantitative Daten	Bezug zu Forschung & Entwicklung		Funktionales Regelwissen	Wissen über funktionelle Natur	Funktionswissen	Funktionswissen (Was-Wofür)
		Bezug zum endgültigen Produkt					Technisch-kreative Fähigkeit
							Funktionswissen (Wenn-Dann)
							Fertigungswissen (Werkzeugwissen)
		Bezug zu Wissen			Technisches Können	Tätigkeitswissen	Fertigungswissen (Prozesse)
				Sozio-technol. Wissen		Ressourcen-Wissen	Metatechnisches Wissen

Die Tabelle stellt die in der Literatur beschriebenen Kategorien technischen Wissens gegenüber; inhaltlich zueinander ähnliche Kategorien befinden sich in derselben Zeile.

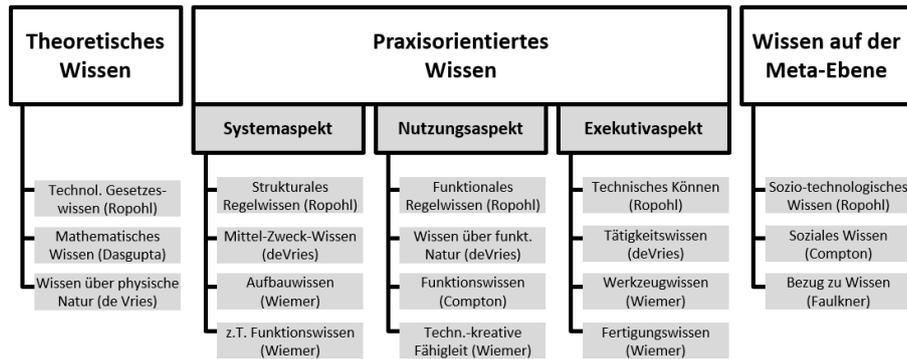


Abb. 2: Systematisierende Zusammenfassung der Kategorien technischen Wissens mit beispielhaft zugeordneten Kategorien aus Tab. 1 sowie den dazugehörigen Autoren.

Theoretisches Wissen umfasst nach Vincenti (1990, 1992) jede Form von theoretischen Hilfsmitteln (*theoretical tools*)<sup>5</sup> mit Bezug zur naturalen Welt (*relate to natural world*) (Faulkner, 1998) – und zwar sowohl in Form von mathematischem Wissen (*mathematical knowledge*) als auch das von Grundlagenwissenschaften (*basic science*) (Dasgupta, 1996). In neueren Kategorialmodellen ist der Bereich des theoretischen Wissens der Bezugswissenschaften deutlich eingeschränkter ausgeprägt. Im Fall der Untersuchung von Wiemer (2018) liegt die Ursache für die Unterrepräsentierung theoretischen Wissens in der untersuchten Probandengruppe (Grundschülerinnen und -schüler) begründet, welche über ein solches noch nicht verfügen. Für die Modelle von de Vries (2003) und Compton (2004) ist hingegen zu vermuten, dass durch eine engere Technikdefinition versucht wurde, Überschneidungen mit Bezugswissenschaften zu vermeiden.

Auf der Seite des praxisorientierten Wissens mit Bezug zum praktizierten Design (*relate to design practice*), zu Forschung und Entwicklung (*relate to R&D*) und zum endgültigen Produkt (*relate to final product*) (Faulkner, 1998) hingegen ergibt sich ein wesentlich heterogeneres Bild.

Weitgehende Übereinstimmungen unter den verschiedenen Autoren lassen sich in einer Aufteilung des praxisorientierten Wissens zwischen einem System- und einem Nutzungsaspekt ausmachen (Ropohl, 2009; de Vries, 2003). Der Systemaspekt wird nach Ropohl (2009) in Form strukturellen Regelwissens beschrieben: Dieses umfasst den „Aufbau des Sachsystems aus Subsystemen und deren Zusammenwirken“ (Ropohl, 1998, S. 93) und stellt die konkreten Zusammenhänge zwischen der physischen und der funktionellen Natur dieses Sachsystems her (Lawson, 2008; Kroes & Meijers, 2002). Sowohl Ropohl als auch de Vries sehen in dem Wissen die Grundlage für Techniker, Systeme zu warten und zu reparieren, und für Ingenieure, „neuartige Realitäten zu schaffen“ (Ropohl, 1998, S. 93). Dazu greifen beide Berufsgruppen nach de Vries (2003) auf Kenntnisse und erfahrungsbasierten Heuristiken zurück, welche das Erreichen eines angestrebten Endzustandes mit den zur Verfügung stehenden Lösungswegen in Zusammenhang bringt. Dieses Zweck-Mittel-Wissen (*means-ends-knowledge*) ist daher nicht nur an der Beurteilung des Lösungsansatzes, sondern ebenso an der Identifizierung des Problems beteiligt (de Vries, 2003). Wiemer (2018) unterscheidet diesbezüglich empirisch ermittelt in Kenntnisse über den Aufbau eines Systems, Kenntnisse über die Funktion eines Subsystems sowie Verständnis über die Funktionsweise desselben. Zusätzlich ist der Kategorie die Fähigkeit zuzuordnen, technische Lösungen zu bewerten (Wiemer, 2018).

<sup>5</sup> Auf eine eingehende Beschreibung der einzelnen Kategorien soll an dieser Stelle verzichtet und auf die Originalarbeiten verwiesen werden.

Dem vertieften Wissen um die strukturellen Zusammenhänge eines Systems (Systemaspekt) steht Wissen gegenüber, auf welches ein Nutzer zurückgreift (Nutzenaspekt). Dieses wird von Compton (2004) als „Funktionswissen“ (*function knowledge*), von Ropohl (1997, 1998, 2009) als „funktionales Regelwissen“ und von de Vries (2003) als „Wissen über die funktionelle Natur“ (*functional nature knowledge*) bezeichnet. Auch Wiemer (2018) verwendet den Begriff „Funktionswissen“, differenziert diesen aber weiter aus, wobei unter den so erhaltenen vier Subkategorien lediglich die von Wiemer als „Wenn-Dann-Wissen“ bezeichneten Kenntnisse einem Nutzungswissen entsprechen. Diese Kenntnisse umfassen nach Wiemer kausale Zusammenhänge zwischen Eingabe und erwarteter Ausgabe eines gegebenen Artefaktes (Wiemer, 2018, S. 152 f). Diese Form des Wissens wird jedoch nicht nur bei der Nutzung, sondern auch während des Design-Prozesses bedeutsam, indem dieses Wissen nach Vincenti (1990) entsprechenden Einfluss auf die praktischen Überlegungen (*practical considerations*) nimmt.

Bisher beschränken sich die Wissenskategorien des praktischen Wissens auf rein-kognitive Vorgänge oder Wissen über Handlungen – also auf das „Kennen“. Ausführende technische Tätigkeiten bedürfen hingegen oftmals kognitiver Strukturen, die motorische Fähigkeiten umfassen, welche beispielsweise bei der handwerklichen Fertigung von Bauteilen notwendig werden. Dieser Exekutivaspekt stellt eine weitere Unterkategorie praxisorientierten Wissens dar und wird bei Compton als „technisches Know-How“ (*technical know-how*) bezeichnet. Wiemer (2018) unterscheidet bei „Fertigungswissen“ zwischen einem explizit-deklarativen Anteil, dem „Werkzeugwissen“, und einem „Prozesswissen“. Letzteres umfasst speziell die impliziten, sensomotorischen Handgriffe, die ebenso bei Ropohl (1997, 1998, 2009) als „technisches Können“ und vergleichbar bei de Vries (2003) als „Tätigkeitswissen“ (*action knowledge*) beschrieben werden. Diese Form von Wissen wird i.d.R. kollektiv geteilt und weitergegeben, und welche im konkreten Einzelfall eine „meist habitualisierte Verhaltensroutine darstellt, die unterhalb der Bewusstseinschwelle abläuft“ (Ropohl, 2009, S. 210).

Neben dem theoretischen Wissen und den praxisorientierten Wissensbeständen mit System-, Nutzens- und Exekutivaspekt wird von einigen Autoren Wissen beschrieben, welches sich übergeordnet auf einer Metaebene mit Aspekten der Technik beschäftigt. Bezüglich dieser Art von Wissen besteht bislang kein Konsens im Diskurs, jedoch beziehen sich diese Wissensbestände auf berufs- und gesellschaftsrelevante Themenbereiche wie der Verteilung von Ressourcen und Wissen sowie der Technikfolgenabschätzung. So erfasst Ropohl (1997) mit der Kategorie des sozio-technologischen Wissens die gesellschaftlichen und ökologischen Voraussetzungen und Auswirkungen technischen Handelns. Speziell in dieser Kategorie werden die normativen Qualitäten technischen Wissens wichtig. Schmayl (2013) sieht in dieser philosophischen Dimension technischen Wissens die Voraussetzung, Einsichten über das Wesen und die sozialen Zusammenhänge der Technik zu erlangen und moralische Werturteile in Bezug auf technisches Handeln zu reflektieren. Ein gesellschafts- und werteorientiertes Technikverständnis findet dabei speziell in schulischen Kontexten besondere Beachtung (Schmayl, 2013, S. 56ff). Wohl auch aus diesem Grund tritt es in den Kategorialmodellen mit schulischem Erhebungshintergrund bei Compton (2004) als soziales Wissen (*social knowledge*) sowie bei Wiemer (2018) als metatechnisches Wissen in Erscheinung.

Einen weiteren Aspekt des technischen Meta-Wissens bringt Faulkner (1998) in den Diskurs ein, der in der Wissensklasse „Bezug zu Wissen“ (*related to knowledge*) nicht nur Kenntnisse über verfügbare, materielle Ressourcen, sondern auch über die Verteilung technischen Wissens auf (menschliche sowie dingliche) Wissensträger im Arbeitsumfeld erfasst. Dieser Gedanke wird von

Compton (2004) ebenso im „Ressourcen-Wissen“ (*resource knowledge*) sowie von Wiemer (2018) als weiterer Aspekt des metatechnischen Wissens aufgegriffen.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass sich technisches Wissen in einen theoretischen, einen praxisorientierten sowie einen Bereich der Meta-Ebene aufgliedern lässt, wobei sich der praxisorientierte Bereich in einen System-, Handlungs- und Exekutivaspekt untergliedert. Somit konnte aus der Kombination der verschiedenen Kategorialmodelle ein umfangreiches als auch ausdifferenziertes Verständnis von Wissen herausgearbeitet werden, welches bei oder für technisches Handeln bedeutsam wird.

Die Frage, was unter technischem Wissen zu verstehen ist und wie dieses sich inhaltlich aufgliedert, ist damit grundlegend beantwortet. Allerdings bleibt – speziell in Hinblick auf die Praxis des Lehrens – problematisch, dass die erhaltenen Kategorien auch zwangsläufig Wissen miteinfassen, welches sich nicht unmittelbar auf Handlungen mit Artefakten bezieht und somit nicht der getroffenen Definition technischen Wissens (siehe Abschnitt 2) entspricht. Beispielsweise sind im sozio-technischen Wissen in erheblichem Maße Kenntnisse über rein gesellschaftliche Zusammenhänge enthalten. Ebenso lassen sich innerhalb des Wissens um theoretische Grundlagen maßgebliche Bestandteile ausmachen, welche den naturwissenschaftlichen Bezugswissenschaften Mathematik, Physik, Chemie anstelle der Technik zuzuschreiben sind (Ropohl, 1998, S. 91). Nichtsdestotrotz ist dieses Bezugs- oder Hintergrundwissen zum Verständnis technischen Handelns hilfreich. Für den Kontext gewerblich-technischen Unterrichts sind derartige Kenntnisse für eine Aktivierung vorhandenen Schulwissens der Sekundarstufe oder Vorerfahrungen aus dem privaten sowie beruflichen Alltag von erheblicher Relevanz, um neues Wissen anknüpfungsfähig zu vermitteln. Um ein Bewusstsein bei den vermittelnden Expertinnen und Experten für dieses benötigte Hintergrundwissen zu fördern, ist es daher nicht nur notwendig, dieses Wissen in das zu erarbeitende Modell aufzunehmen, sondern auch explizit von technischen Inhalten im engeren Sinne abzugrenzen. Speziell für Fragen der (expertenseitigen) Vermittlung und damit einhergehend der (novizenseitigen) Rezeption von Repräsentationen sind ebenso lernpsychologische Aspekte des Wissens aufzunehmen: zum Beispiel, ob es sich bei dem Wissen um zu vermittelnde Sachverhalte oder um durch Übung zu festigende Routinen handelt, bzw. ob das Wissen grundsätzlich allen Lernenden oder nur individuell zugänglich ist.

Bezüglich dieser inhaltlichen Zuordnung und des Anknüpfens an die Lernpsychologie liefern die bisherigen Modelle technischen Wissens nur unzufriedenstellende Orientierungshilfen, ganz besonders da sie beide Punkte nicht gleichzeitig adressieren. Aus diesem Grund soll sich im folgenden Abschnitt zunächst mit der Frage der lernpsychologischen Aspekte von Wissen eingehend auseinandergesetzt werden, um daraus im übernächsten Abschnitt technisches Wissen fachdidaktisch zu modellieren. Diese Modellierung wird ebenso eine Unterscheidung zwischen technischem Wissen im engeren Sinne und Hintergrundwissen explizit berücksichtigen.

#### **4 Wissen aus lernpsychologischer Sicht**

Aus Sicht der Vermittlung stellt sich die Frage nach lernpsychologischen Aspekten des Wissens. Nicht zuletzt deshalb, weil aus diesen Hinweisen geeignete Lehrmethoden und die notwendige Verarbeitungstiefe im Umgang mit Repräsentationen abgeleitet werden können. So versprechen gezielte Unterstützungsmaßnahmen eine Auflösung oder zumindest Milderung des in der Einleitung dargestellten repräsentationalen Dilemmas (Rau, 2016). An dieser Stelle sei noch einmal in Erinnerung gerufen, dass ein kompetenter Umgang mit externalen Repräsentationen

Grundvoraussetzung für das erfolgreiche Lösen technischer Problemstellungen ist (Alabi et al., 2013; Juhl & Lindegaard, 2013; Moore et al., 2013). Daher ist als Anforderung an das zu erarbeitende Modell zu stellen, dass es Wissen im Prozess des Problemlösens beschreibt auf Grundlage struktureller Merkmale (vgl. Rothe & Schindler, 1996, S. 38 ff),<sup>6</sup> welche sich auch im Lehr-Lern-Kontext bereits erfolgreich etabliert haben. Im Folgenden wird aus diesem Grund auf das Wissensmodell aus der Komplexitäts- und Problemlöseforschung von Wittmann, Süß und Oberauer (1996) zurückgegriffen. Für die Berufsbildung liegen zudem bereits ähnliche Erkenntnisse (Kaiser 2014) vor, mit denen das Modell illustriert wird. Anschließend wird das Modell den Erfordernissen entsprechend erweitert.

	Sachwissen	Handlungswissen
deklaratives Wissen	deklaratives Sachwissen	deklaratives Handlungswissen
prozedurales Wissen	prozedurales Sachwissen	prozedurales Handlungswissen

Abb. 3: Modell nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996, eigene Darstellung)

Abb. 3 stellt das Modell von Wittmann, Süß und Oberauer (1996) dar. Eine wesentliche Besonderheit dieses Modells besteht darin, dass es sowohl lernpsychologische (Welcher Art ist das Wissen?) als auch inhaltliche begründete Aspekte (Worauf bezieht sich das Wissen?) erfasst, ohne diese beiden Fragen zu konfundieren. Dazu unterscheidet es inhaltlich zwischen „Sachwissen“ und „Handlungswissen“.

*Handlungswissen* umfasst dabei alle Wissensbestände, welche für adäquate „Handlungen bzw. kognitive Operationen in einer Situation im Hinblick auf ein Ziel“ (Süß, 1996, S. 64) Bedeutsamkeit haben. Es ist also Wissen, welches in einem engen Bezug zum eigenen Handlungsfeld steht und ist damit direkt „handlungsanleitend“.

*Sachwissen* bezeichnet hingegen Wissen, das Sachverhalte bezogen auf einen Ausschnitt der Wirklichkeit repräsentiert (Süß, 1996). Es handelt sich also um Wissen über die Welt als solche. Die Unterscheidung zwischen Sach- und Handlungswissen ermöglicht es, psychologisch das sogenannte Transfer-Problem aufzuklären: Trotz eines sehr guten („theoretischen“) Sachwissens fällt es Lernenden oftmals schwer, dieses in einer konkreten Handlungssituation einzusetzen, um ein Problem zu lösen. Ebenso ist es für Praktikerinnen und Praktiker häufig herausfordernd, ihr Vorgehen und ihren Lösungsweg sachorientiert zu begründen und die Hintergründe zu erläutern. Der Einsatz theoretischen Sachwissens in einer konkreten Situation bedarf zunächst einer Transformation in Handlungswissen und umgekehrt, welche mit einem erheblichen, kognitiven Aufwand einhergeht (Süß, 1996, 2008).

<sup>6</sup> Nach Rothe und Schindler (1996) lässt sich Wissens nach formalen, semantischen und strukturellen Merkmalen kategorisieren. Kategorien nach formalen Merkmalen, z.B. Explizitheit/Implizitheit von Wissen, laufen dabei Gefahr, personenabhängig zu sein (vgl. Experten-Novizen-Dilemma). Semantische Merkmale, z.B. handlungsspezifische Kategorienbildungen, wie diese in einigen der Kategoriensysteme technischen Wissens zu finden sind, haben potenziell den Nachteil, nicht immer trennscharf zu sein. Zudem eignen sie sich weniger für eine von der Repräsentation (und nicht dem Handlungsfeld etc.) ausgehende Analyse als Kategorien nach strukturellen Wissensmerkmalen, die kognitions- bzw. lernpsychologisch fundiert sind.

Auf lernpsychologischer Ebene differenziert das Modell Sach- als auch Handlungswissen in Anlehnung an Andersen und Lebiere (1998) in deklaratives und prozedurales Wissen.

Unter *prozeduralem Wissen* werden ausführende, kognitive Operationen verstanden, welche mithilfe von Produktionsregeln die Überführung von Sinnesreizen sowie bestehendem Wissen in andere kognitive Zustände steuern. Diese Regeln werden aufgerufen, wenn der Abgleich mit den vorliegenden Informationen dies notwendig macht. Prozedurales Wissen stellt die dazu benötigten kognitiven Schemata bereit, wobei die damit verbundenen Verarbeitungsprozesse grundsätzlich unbewusst ablaufen (Anderson et al., 1997, S. 441). Die jeweiligen Vorgänge (z.B. das Ziehen logischer Schlussfolgerungen) können somit auch nicht direkt verbalisiert werden (vgl. Schoppek, 2003)

Als *deklaratives Wissen* werden dem hingegen formalisierte Fakten bezeichnet, die direkt verbalisierbar sind. Dieses Wissen ist netzwerkartig im Gedächtnis gespeichert und in sogenannten *Chunks*<sup>7</sup> gruppiert. Für den Moment der Bearbeitung stellen diese Wissensbestände feststehende Tatsachen dar, welche durch kognitive Prozesse auf der inhaltlichen Ebene geändert bzw. erweitert werden (Anderson & Lebiere, 1998). Deklaratives Wissen lässt sich ad hoc abrufen, da es über explizite, semantische Verknüpfungen verfügt und nicht erst produziert werden muss.<sup>8</sup>

An dieser Stelle ist noch einmal festzuhalten, dass prozedurales Wissen nicht identisch mit Handlungswissen ist, ebenso wenig entspricht deklaratives Wissen dem Sachwissen: Deklarative Fakten können sowohl im Sach- als auch im Handlungswissen, Prozeduren sowohl bei Handlungen als auch bei Sachverhalten bedeutsam werden. Es ergeben sich in dem Modell damit die vier Felder deklaratives und prozedurales Sach- sowie deklaratives und prozedurales Handlungswissen.

	Sachwissen	Handlungswissen
deklaratives Wissen	<b>deklarativer Wissenstyp</b> (Fakten, Definitionen, ...) 	<b>situativer Wissenstyp</b> (Erlebnisse, Erfahrungen, ...) 
prozedurales Wissen	<b>prozeduraler Wissenstyp</b> (kognitive Operationen, ...) 	<b>sensomotorischer Wissenstyp</b> (Handlungen, Tätigkeiten, ...) 

Abb. 4: Wissenstypen des Integrierten Modell des Lernens (IML) nach Kaiser (2014) in das Wittmann/Süß/Oberauer-Modell eingeordnet (eigene Darstellung)

Wie jedoch lassen sich diese vier psychologisch-theoretischen Felder für Lehrkräfte in die Welt des Lehrens und Lernens übersetzen? Eine Antwort darauf liefert das Integrierte Modell des Lernens (IML) nach Kaiser (2005, 2014) mit seinen vier grundlegenden Wissenstypen:

- dem deklarativen Wissenstyp,
- dem situativen Wissenstyp,
- dem prozeduralen Wissenstyp sowie
- dem sensomotorischen Wissenstyp.

<sup>7</sup> Schoppek (2003) weist ausdrücklich darauf hin, dass sich bei Andersen und Lebiere (1998) der Begriff des Chunks wesentlich von dem üblicherweise gebrauchten unterscheidet.

<sup>8</sup> Für eine fachdidaktisch motivierte, ausführliche Gegenüberstellung deklarativen und prozeduralen Wissens siehe Fortmüller (1996, S. 383).

Diese Wissenstypen lassen sich, wie in Abb. 4 dargestellt, den Feldern des oben vorgestellten Modells nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996) zuordnen. Daher werden die einzelnen Wissenstypen des IML im Folgenden zur näheren Illustration herangezogen.

Der deklarative Wissenstyp umfasst sowohl begriffliche Vorstellungen, z.B. Definitionen und Regeln, als auch die Beziehungen zwischen diesen einzelnen Sachverhalten (Kaiser, 2005, S. 125). Es handelt sich damit um Wissen über die Welt und ist somit von zumeist genereller Gültigkeit, ergo: *deklaratives Sachwissen*.

Ferner ist der situative Wissenstyp nach Kaiser (2005, S. 177ff) von deklarativer Natur. Dieser umfasst jedoch episodisches Wissen, welches sich auf konkrete, erlebte Situationen bezieht und situationsindiziert abgerufen wird. Das bedeutet, dass ein Abruf dieses Wissenstyps umso einfacher erfolgt, wenn Ähnlichkeiten zu diesen Situationen in ihrer Oberfläche (z.B. der Ort, die Form eines Gegenstandes, die Thematik eines Arbeitsauftrages) oder in ihrer Tiefenstruktur (z.B. vorgegebene Rahmenbedingungen, prinzipielle Art der Problemstellung, zugewiesene Bedeutung) wahrgenommen werden.<sup>9</sup> Das abgerufene Wissen dieses situativen Wissenstyps besteht dabei aus Faktenwissen über die in dieser Situation vollführten Handlungen bzw. Handlungsoptionen. Es handelt sich somit um *deklaratives Handlungswissen* im Sinne des Wissensmodells nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996).

An dieser Stelle wird ebenso deutlich, wieso die Unterscheidung des deklarativen Wissens in Sach- und Handlungswissen sowohl aus lernpsychologischer als auch didaktischer Sicht notwendig ist: Während das deklarative Sachwissen in der Regel als generalisiertes, inter-individuelles Wissen vorliegt und stets bewusstseinspflichtig ist, ist deklaratives Handlungswissen hochgradig subjekt-spezifisch und liegt kontextspezifisch vor. Daher bildet dieses Wissen erst durch eine Aktivierung sämtlicher, an entsprechende Situationen gebundener Erfahrungen eine Heuristik aus (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996), die sich zudem durch einen hohen Grad an Unbestimmtheit auszeichnet (Neuweg, 2020, S. 17). Diese Form von Wissen ist stark individuell geprägt und bewusstseinsfähig, aber nicht bewusstseinspflichtig (vgl. Hacker & Sachse, 2014, S. 165ff.). Wissen dieses Typs tritt somit in impliziter Form auf, und dessen Existenz ist dem Wissensträger außerhalb entsprechender Situationen zunächst auch häufig nicht bewusst (Kaiser, 2005, S. 181).

Noch fundamentaler sind die Unterschiede auf der prozeduralen Ebene des Sach- und Handlungswissens. Dies illustrieren die entsprechenden Wissenstypen nach Kaiser (2005, 2014): der prozedurale sowie sensomotorische Wissenstyp.

Der prozedurale Wissenstyp korrespondiert dabei mit *prozeduralem Sachwissen*. Dieses umfasst nach Kaiser (2005) kognitive Produktionsregeln, welche immer dann abgerufen werden, wenn der vorliegende Problemlösungsraum deren Voraussetzungen erfüllt. Diese Produktionsregeln führen eine schrittweise und routinierte Lösung der einzelnen Teilprobleme auf der kognitiven Ebene durch (Kaiser, 2005, S. 125f, sowie 2014). Kognitive Prozesse des Verstehens, Nachvollziehens sowie des Antizipierens, wie beispielsweise das logische Schlussfolgern und der schlüssige Aufbau von Argumentationsketten, greifen dabei genauso auf prozedurales Sachwissen zurück wie das Lösen und Berechnen mathematischer Gleichungen.

Im Gegensatz dazu wird bei der Ausführung und Steuerung routinierter Körperbewegungen, also *prozeduralem Handlungswissen*, auf den sensomotorischen Wissenstyp zurückgegriffen (Kaiser, 2005, S. 173ff). Kognitive Prozesse sind hierbei bestenfalls für die Planung und Handlungsvorbereitung bedeutsam, direkte Eingriffsmöglichkeiten in die Umwelt bieten sich dem

<sup>9</sup> Unter den Schlagworten „semantisches“ bzw. „episodischem“ Gedächtnis (Anderson, 2007, S. 285) finden sich ähnliche Konstrukte in der lernpsychologischen Grundlagenliteratur.

Menschen über dessen Motorik. Dies schließt dabei im Besonderen ausführende Handlungen mit und an technischen Systemen ein.

Auch aus psychologischer Sicht ist ebenso von Unterschieden zwischen prozeduralem Handlungs- und Sachwissen auszugehen: Während sensomotorische Vorgänge über regelkreisgesteuerte Prozesse realisiert werden, finden Operationen des prozeduralen Wissenstyps nach Kaiser in einem repräsentationsbasierten Wissenssystem statt (Kaiser, 2005). Beide prozedurale Wissensarten haben als gemeinsames Merkmal, dass diese nur eingeschränkt bewusstseinsfähig und generalisierbar sind (Rittle-Johnson et al., 2001), zum Teil sind diese sogar vollständig impliziter Natur. In diesem Fall sind die Tätigkeiten automatisiert, werden somit unbewusst ausgeführt und sind daher häufig nicht verbalisier- oder gar formalisierbar (Neuweg, 2005; vgl. auch Hacker & Sachse, 2014, S. 165ff.).<sup>10</sup>

Das Modell von Oberauer, Süß und Wittmann (1996) leistet somit eine lernpsychologisch sinnvolle Unterscheidung von Wissensarten und informiert ebenso über die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten bzgl. der grundsätzlichen Verbalisier- und Vermittelbarkeit dieser.

Allerdings ist aus allgemein- und fachdidaktischer Sicht die theoriebasiert abgeleitete Dichotomie von deklarativem und prozeduralem Wissen in dem Modell insofern problematisch, da aus der Befundlage der empirischen Bildungsforschung auf der deklarativen Ebene zwischen Einzelfakten und Konzepten zu unterscheiden ist. Es besteht Konsens darüber, dass nicht das deklarative Wissen von Einzelfakten, sondern in Konzepten organisiertes Wissen einen starken Prädiktor für den schulischen Erfolg in naturwissenschaftlichen Fächern darstellt (Schiepe-Tiska et al., 2016; Viering et al., 2010; Baumert et al., 2009). Konzepte bestehen aus inhaltlichen Verknüpfungen von einzelnen Fakten und stellen als Kompilierungen dieses miteinander verknüpften Wissens gleichzeitig eine sich entwickelnde Ordnungsstruktur dar (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Im allgemeindidaktischen und im technikdidaktischen Diskurs finden sich daher Vorstellungen von *konzeptuellem Wissen* wieder (Renkl, 1996; vgl. auch Tenberg, 2018, S. 139). Namentlich verweisen McCormick (1997) sowie Compton (2004) darauf, dass zwischen dem reinen Aufzählen von Fakten und einem für die Ausbildung von Konzepten notwendigen relationalen Wissen bedeutsame Unterschiede bestehen.

		Sachwissen	Handlungswissen
prozedurales Wissen	deklaratives Wissen		
	konzeptuelles Wissen		

Abb. 5: Das um konzeptuelles Wissen erweiterte Modell

Auch für die prozedurale Ebene existieren ähnliche Überlegungen: Konzeptuelles und prozedurales Wissen sind ebenso eng miteinander verbunden und maßgeblich an

<sup>10</sup> Zur Vermittelbarkeit von nicht-bewusstseinsfähigem und impliziten Wissens im berufsbildenden Kontext siehe Chan (2020).

Problemlöseprozessen beteiligt (Renkl, 2009, S. 5). Schließlich umfasst es Kontroll- und Steuerungsstrategien (Hiebert & Lefevre, 1986; Rittle-Johnson et al., 2001) und ermöglicht die Flexibilisierung und den Transfer von Lösungsverfahren (Blöte et al., 2001).<sup>11</sup> Konzeptuelles Wissen bildet somit einen vermittelnden Überlappungsbereich zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen.<sup>12</sup> Während das konzeptuell-deklarative Wissen z.B. kausale Verknüpfungen von Einzelfakten beinhaltet, verbindet konzeptuell-prozedurales Wissen Handlungsschritte und Prozeduren mit deklarativem Wissen über Zielvorstellungen, Rahmenbedingungen und einzusetzende Ressourcen zu einer sinnhaften Abfolge im Sinne einer strategischen Handlungssteuerung.

Im Modell wird daher zwischen rein-deklarativem und konzeptuell-deklarativem als auch konzeptuell-prozeduralem und rein-prozeduralem Wissen differenziert. Somit lassen sich sowohl Faktenwissen als auch Zusammenhangs- und Begründungswissen und ebenso benötigtes Wissen zu strategischen Entscheidungen oder zur reinen Ausführung explizit abbilden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich entsprechend den jeweiligen Diskursen Wissen aus lernpsychologischer als auch allgemeindidaktischer Sicht im erweiterten Modell (Abb. 5) beschreiben lässt. Jedoch leistet das Modell in der bisherigen Form auf inhaltlicher Ebene noch nicht die benötigte Abgrenzung zwischen technischem Wissen im engeren Sinne und bezugswissenschaftlichem bzw. berufsfeldrelevantem Wissen. Dazu wird das Modell im folgenden Abschnitt entsprechend zu erweitern sein. Zudem hat die vorangegangene Auseinandersetzung in Abschnitt 3 eine Unterteilung des technischen Wissens in einen System- und Nutzensaspekt sowie theoretisches Wissen, Wissen zur handwerklichen Ausführung als auch meta-technisches Wissen ergeben. Dieser Unterscheidung ist daher ebenso Rechnung zu tragen.

## 5 Fachdidaktische Modellierung technischen Wissens

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Teilfragen nach technischem Wissen und den Wissensarten aus lernpsychologischer Perspektive geklärt wurden, wird sich der folgende Abschnitt der übergeordneten Fragestellung des Beitrages annehmen: Welches Wissen ist in technischen Repräsentationen eingebettet bzw. als Vorwissen zu aktivieren? Dazu wird das vorläufige Modell auf der horizontalen Achse in einen artefakt-bezogenen und artefakt-fernen Anteil unterteilt, um zu dessen endgültiger Form zu gelangen.

Bislang unterscheidet das vorläufige Modell auf inhaltlicher Ebene in einen Sach- und einen Handlungsaspekt des Wissens. Diese Unterscheidung korrespondiert grundsätzlich mit dem in Abschnitt 3 herausgearbeiteten System- und Nutzensaspekt des technischen Wissens, z.B. im Sinne des strukturalen und funktionalen Regelwissens nach Ropohl (1997, 1998, 2009). Diese Aufteilung in einen Sach- und Handlungsaspekt wird zudem durch empirische Befunde der Berufspädagogik (Nickolaus, 2011) gestützt, welche u.a. Wissensstrukturen in Fachwissen und handlungsorientierte Teilkompetenzen unterteilen. Das diskutierte Wissen bezieht sich dabei vorwiegend auf Bauteile, Baugruppen, komplette Produkte oder Werkzeuge, d.h. durch menschliches Tun erstellte, künstliche Gegenstände (Artefakte), die in technischen Handlungsrahmen genutzt werden. Somit stellt das Wissen im Sinne der Arbeitsdefinition technisches Wissen dar.

<sup>11</sup> Die häufig angeführte Problemlösefähigkeit ist als spezielle Fähigkeit für das Lösen komplexer Probleme nicht empirisch zu belegen (Süß, 2008, S. 263), während Vorwissen und Intelligenz sich nachweisbar als Prädiktoren bestätigen ließen.

<sup>12</sup> In der Lernpsychologie wird dieses Wissenskonzept auch als „Schema“ bezeichnet (vgl. Renkl, 2009, S. 6; Anderson, 2007, S. 186ff).

Dieses technische Wissen spielt in der gewerblich-technischen Bildung eine wichtige Rolle, stellt jedoch angesichts aller zu vermittelnden Kenntnissen und Fertigkeiten lediglich eine Unter- menge des gesamten Sach- bzw. Handlungswissens dar. Hierzu wird erneut an Hintergrundwissen mit naturwissenschaftlichem oder wirtschaftlichem Bezug erinnert.

Aus diesem Grund wird das Sach- als auch Handlungswissen fortan jeweils in artefakt- bezogenes und artefakt-fernes Wissen unterteilt. Bei artefakt-bezogenem Wissen handelt es sich um technisches Wissen im engen Sinne der Arbeitsdefinition, also Wissen um die Planung, Erstellung, Aufbau und Nutzung eines Artefakts bzw. einer Klasse von Artefakten. Artefakt-fernes Wissen reicht hingegen über den Artefaktaspekt hinaus und beschäftigt sich mit generalisierten Fragen, z.B. naturwissenschaftlichen oder gesellschaftlichen Aspekten. Es ergibt sich somit das in Abb. 6 dargestellte fachdidaktische Modell technischen Wissens in seiner endgültigen Form. Dieses gliedert sich auf der horizontalen Achse von links nach rechts verlaufend in artefakt-fernes und artefakt-bezogenes Sachwissen sowie artefakt-bezogenes und artefakt-fernes Handlungs- wissen. Jede dieser Spalten umfasst dabei rein-deklarativ und konzeptuell-deklaratives sowie konzeptuell-prozedural und rein-prozedurales Wissen. Insgesamt ergeben sich damit 16 verschiedene Arten des Wissens, welche im Folgenden eingehend diskutiert und anschließend anhand eines Beispiels illustriert werden.

		Sachwissen		Handlungswissen	
		(techn.) Artefaktwissen			
deklaratives Wissen	deklaratives Wissen				
	konzeptuelles Wissen				
prozedurales Wissen	konzeptuelles Wissen				
	prozedurales Wissen				

Abb. 6: Das vollständige, um Artefaktwissen erweiterte fachdidaktische Modell technischen Wissens

Die linke Spalte des Modells enthält artefakt-fernes Sachwissen. Beispiele aus der technischen Bildung wären dabei Naturgesetze und -prinzipien. Dies schließt auch die Mathematik als Beschreibungsmittel und den Umgang mit mathematischen Gleichungen mit ein. In der Diskussion um technisches Wissen wären hierbei das Technologische Gesetzeswissen nach Ropohl (1997, 1998, 2009) bzw. Wissen über die physische Natur nach de Vries (2003) zu nennen. Ebenso findet sich hierin Wissen um gesellschaftliche und politische Zusammenhänge wieder, sofern dies keinen handlungsanweisenden Charakter aufweist. Vor diesem Hintergrund stellen beispielsweise Naturkonstanten oder Formelzeichen rein-deklaratives Wissen dar, während der quantitative markt- theoretische Zusammenhang von Angebot, Nachfrage und Preisgestaltung zum konzeptuell- deklarativen Wissen zu zählen wäre. Konzeptuell-prozedurales Wissen hingegen umfasst die Auswahl von Lösungswegen zur Berechnung, einschließlich Aufstellen, Ableiten, Einsetzen und Umstellen von Formeln. Es handelt sich um Wissen, welches die kognitive Ausführung vorstrukturiert und die dafür notwendigen Fakten bereitstellt. Das reine Ausführen, hier also die Berechnung, ist als rein-prozedurales, artefakt-fernes Sachwissen in der letzten Zeile der ersten Spalte wiederzufinden.

Im Speziellen bedeutet dies für artefakt-bezogenes Sachwissen, dass beispielsweise Bauteile und -gruppen sowie deren Bezeichnungen, konkrete Anordnungen und möglichen Zustände,

Materialparameter oder artefakt-spezifische Sicherheitstoleranzwerte rein-deklarative Wissensanteile darstellen. Konzeptuell-deklaratives, artefakt-bezogenes Sachwissen wären Funktionsgefüge, in denen die Einzelkomponenten involviert sind, oder die darauf aufbauende mentale Organisation der Bauteile zu Baugruppen. Wissen, dass die Beurteilung der Funktionstüchtigkeit und Fehlerdiagnose unter Einbezug der oben genannten deklarativen Fakten und Konzepte ermöglicht, stellt konzeptionell-prozedurales Wissen dar; das Ziehen der tatsächlichen Schlussfolgerung und Beurteilung ist rein-prozedurales artefakt-bezogenes Sachwissen.

Im Gegensatz zum artefakt-bezogenen Sachwissen beschreibt artefakt-bezogenes Handlungswissen den Handlungsvollzug mit oder am Artefakt. Das bedeutet, dass das Wissen um Nutzungsmöglichkeiten, Eingabeparameter und Bedienungsabläufe rein-deklaratives Wissen darstellt, variable Begründungszusammenhänge vor dem jeweiligen Nutzungskontext jedoch konzeptuell-deklaratives Handlungswissen sind. Die Fertigkeit, Handlungsabläufe beispielsweise für die Fertigung eines Bauteils zu planen und aus den möglichen Handlungsoptionen kompetent auszuwählen, zählt zum konzeptuell-prozeduralen Wissen; die Ausführung dieser Fertigung, z.B. das handwerklich-fachmännische Feilen, sind dann wiederum rein-prozedurale Fertigkeiten.

In der 4. Spalte, dem artefakt-fernen Handlungswissen, finden sich handlungsanleitende Wissensbestände, die auf keinerlei spezifisches Artefakt verweisen. Nichtsdestotrotz sind diese in Form gesetzlicher Rahmenbedingungen einschließlich allgemeiner Regelungen zur Arbeitssicherheit und Umweltschutz oder Maßnahmen zum Leisten von Erster Hilfe maßgebliche Inhalte in der Berufsausbildung. Im Diskurs um technisches Wissen finden sich diese u. a. als sozio-ökologisches Wissen (Ropohl, 1997, 1998, 2009), Metatechnisches Wissen (Wiemer, 2018) bzw. Comptons (2004) Soziales Wissen wieder (vgl. Tab 3). Die Kenntnisse von Gesetzesgrundlagen und Arbeitssicherheitsregeln sind dabei rein-deklarativer Natur; Begründungszusammenhänge wie z.B. Pausen- und Ruhezeiten in Bezug auf die Gewährleistung allgemeiner Arbeitssicherheit sind wiederum Beispiele konzeptionell-deklarativen Wissens. Beispiele konzeptionell-prozedurale Wissens sind Strategien in Gesprächsführung mit Kollegen und Kunden. Ebenso zählen Entscheidungen aus dem Bereich der Arbeitssicherheit über einzuleitende Erste-Hilfe-Maßnahmen dazu, während die Durchführung einer Beatmung oder Herz-Druck-Massage ein Beispiel rein-prozeduralen, artefakt-fernen Handlungswissens darstellt.

Die allgemeine Darstellung der einzelnen Felder des erarbeiteten Modells wird im nächsten Abschnitt am Beispiel des Doppelkolben-Stirling-Motors aus Abb. 1 konkretisiert.

## **6 Beispielhafte Anwendung des Modells an einer Repräsentation**

An dieser Stelle sei erneut in Erinnerung gerufen, dass die Frage, welches Wissen zur Rezeption einer Repräsentation benötigt ist, ein Vorgehen erfordert, das sich auf die Repräsentation und nicht auf eine spezifische Tätigkeit bezieht. Im Besonderen geht es also nicht darum, was ein Experte oder eine Expertin in einer bestimmten Handlungssituation (z.B. der Montage eines Systems) in einer Repräsentation sieht, sondern welches technische Wissen vom Lernenden bereitgestellt werden muss, um die Repräsentation vollständig zu verstehen und eigenständig die für sich benötigten Informationen entnehmen zu können.

## 6.1. Analyse des Vorwissens

Dazu wurde Abbildung 1 bewusst als Beispiel gewählt, das diese in ihrer Art Metall- oder Maschinenbauerinnen und Maschinenbauern vertraut sein dürfte. Als dreidimensionale Explosionszeichnung kann diese sowohl als Darstellung der Einzelteile, deren Lokalisierung als auch als Hinweis zur Reihenfolge einer Montage gelesen werden. Unabhängig von der kommunikativen Absicht lassen sich mit entsprechendem Vorwissen eine ganze Reihe an Aussagen aus der Abbildung entnehmen. Zur Analyse und Herausarbeitung eben jenes Vorwissens wird das fachdidaktische Modell technischen Wissens genutzt.

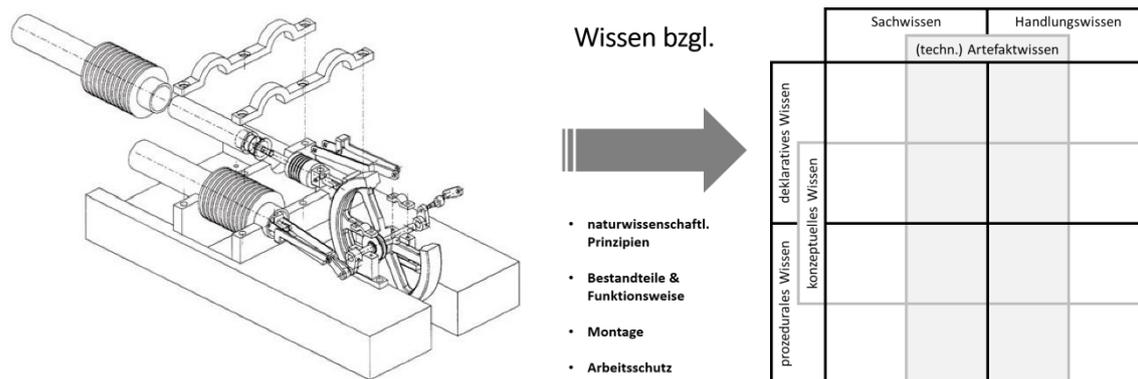


Abb. 7 links: Doppelkolben-Stirling-Motor aus Abb. 1 (Lindemann, 2010, S. 14), rechts: Modell des Technikdidaktischen Wissens aus Abb. 6

Zunächst wird die Seite des Sachwissens näher betrachtet, beginnend mit artefakt-bezogenem Wissen. Dass es sich bei dieser Maschine um einen Motor handelt, der Wärme in mechanische Arbeit umwandelt, wobei eine lineare Bewegung in eine Kreisbewegung überführt wird, muss dabei als eine erste Stufe konzeptionell-deklarativen Vorwissens angesehen werden. Damit davon ausgehend ein tieferes Verständnis entwickelt werden kann, müssen zunächst die abgebildeten Bauteile und Baugruppen identifiziert werden, welche spezifische Bezeichnungen, Funktionsprinzipien und entsprechende Eigenschaften aufweisen. Als Einzelfakten handelt es sich um rein-deklaratives artefakt-bezogenes Sachwissen. Aus der Oberflächenstruktur der Repräsentation zu erkennen und zu benennen sind:

- Zylinder mit Wärme- und Kühlkammer
- Arbeits- und Verdrängungskolben
- Doppel-Pleuel
- Schwung- und Antriebsrad
- Aufnahme, Halterung und Wellenlager

Zum Verständnis bezüglich des Zusammenspiels der Einzelkomponenten des Systems ist eine ausgeprägte Vorstellung der mechanischen Bewegungen und übertragenen Kräfte notwendig und somit eine komplexere kognitive Struktur: konzeptionell-deklaratives Sachwissen. Dieses Wissen greift dabei nicht nur auf die oben genannten artefakt-bezogenen Fakten zurück, sondern auch auf naturwissenschaftliche Konzepte, die sich hinter dem Stirling-Prozess verbergen.

Die naturwissenschaftlichen Konzepte liegen dabei als artefakt-fernes konzeptuell-deklaratives Wissen vor: isochore und isotherme Zustandsänderungen eines idealen Gases bzw. des realen Arbeitsgases, also wie die Gasparameter Volumen und Druck mit der Temperatur in einem pVT-System miteinander zusammenhängen. Ebenso werden die Hauptsätze der Thermodynamik und der Energieerhaltungssatz als konzeptionell-deklaratives artefakt-fernes Sachwissen

bedeutsam. Diese naturwissenschaftlichen Konzepte greifen dabei wiederum explizit artefakt-fernes, rein-deklaratives Wissen auf, also Wissen um die Größen Temperatur, Druck und Volumen sowie den dazugehörigen Einheiten.

Tab. 2: Das in der Zeichnung des Stirling-Motors (Abb. 7) enthaltene Vorwissen

		Sachwissen	Handlungswissen		
		Artefakt-Wissen			
deklarativ		Temperatur, Volumen, Wärme, Arbeit und Leistung	Bezeichnung der Bauteile	Werkzeuge, einzelne Arbeitsschritte der Montage	Sicherheitsregeln
	konzeptuell	Stirling-Prozess (isochor, isotherm), pVT-System	Funktionsbeziehungen der Bauteile in der Maschine	Begründung der Montage-Reihenfolge	Begründung von Arbeitsschutz-Maßnahmen bei Montage & Betrieb
prozedural	konzeptuell	Methodik der Arbeitssicherheit		Arbeitsplanung, Werkzeugauswahl	Einbezug von Maßnahmen zur Arbeitssicherheit in die Arbeitsplanung

Bezüglich des Handlungsaspektes thematisiert die Abbildung des Stirling-Motors (Abb. 7) implizit situationsspezifisches Wissen, einerseits zur Montage, andererseits aber auch zum Betrieb des Motors. Erfahrungen, wie ein Stirling-Motor in der Regel betrieben wird, können als rein-deklaratives Handlungswissen mit Artefakt-Bezug durchweg zum Verständnis der Funktionsweise beitragen. Ebenso kann ein „Andocken“ an bekannte Fertigungsverfahren ein Verständnis um die Form der einzelnen Bauteile vertiefen und ergänzen. Somit wird durch die Repräsentation handlungsanleitendes Wissen zu Fragen der Montage der Einzelteile aktiviert.

Hierzu ist die konzeptuell-prozedurale Fertigkeit notwendig, eine Handlungsreihenfolge der vorzunehmenden Arbeitsschritte im Sinne einer Arbeitsplanung zu erstellen. Dabei ist festzuhalten, dass unterschiedliche Vorgehensweisen und Handlungsschritte bei der Arbeitsplanung natürlich möglich sind oder die Aufgaben gar eine situative Variabilität erfordern. Zur Festlegung und Begründung des konkreten Vorgehens werden konzeptuell-deklarative Begründungszusammenhänge benötigt, z.B. wieso die Montage in der Arbeitsplanung festgelegten Reihenfolge zu erfolgen hat. Diese können einer bereits routinierten Handlungsheuristik entstammen oder aus einem rein-deklarativen Wissen um einzelne Handlungsschritte und einzusetzende Werkzeuge situationsspezifisch abgeleitet werden.

Das artefakt-bezogene Handlungswissen sollte dabei stets von Wissen zur Methodik der Arbeitssicherheit begleitet sein. Dabei können auch artefakt-bezogene Wissensbestände bedeutsam sein, z.B. der fachgerechte Umgang mit eingesetzten Werkzeugen, hier aber sind vielmehr der Einbezug allgemeiner Sicherheitsregeln in die Arbeitsplanung sowie ein sicherheitsbewusstes Handeln am Arbeitsplatz mitenthalten.

## 6.2. Anwendungsmöglichkeiten der Vorwissensanalyse

Das in Tab. 2 zusammengetragene Wissen, welches in der Darstellung des Stirling-Motors (Abb. 7) enthalten ist, lässt erkennen, dass diese Wissensbestände aus unterschiedlichsten Lebenswelterfahrungen, aus der schulischen Vorbildung sowie aus beruflichen Kontexten entstammen können. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass die Repräsentation mehrere unterschiedliche Lesarten zur Verfügung stellt: eine zur Beschreibung der Funktionsweise (Sachwissen) und eine zur Montagereihenfolge (Handlungswissen). Das Analyseergebnis in der Tabelle bietet somit Hinweise auf konkrete Inhalte, welche Vorwissensbestände zu einem vertieften Verständnis notwendig oder hilfreich sind. Diese sollten, um den Schülerinnen und Schülern ein tiefenstrukturelles Verständnis zu ermöglichen, entweder als Vorwissen aktiviert oder als neues Wissen aufgebaut werden. Im Folgenden wird dies für den Fall homogener und den Fall heterogener Klassenzusammensetzung kurz skizziert.

Für Klassen mit weitgehend homogener Zusammensetzung in Bezug auf die Lebensweltlichkeit der Schülerinnen und Schüler bietet es sich an, zunächst mit einer „vertrauten Lesart der Repräsentation“ zu beginnen und anschließend geeignete Lernmaterialien oder -aufgaben zur Verfügung zu stellen, welche fehlende Vorwissensbestände ausgleichen. In Klassen, in denen Schülerinnen und Schüler mit höherem Schulabschluss ohne bzw. mit nur geringen berufsweltpraktischen Erfahrungen versammelt sind, können ausgehend vom Schulwissen die Funktionsweise und so die Bauteile erschlossen werden. Im Anschluss kann z.B. durch Rechercheaufträge wie Arbeitsplatzerkundungen und Befragungen von Berufstätigen das benötigte Handlungswissen aufgebaut und an das zuvor erworbene Wissen zum Aufbau des Systems angeknüpft werden. Klassen mit durchgehend geringer Schulvorbildung, aber bereits vorliegenden berufspraktischen Erfahrungen können hingegen aus der praktischen Erfahrung kommend über die Montage ein grundlegendes Verständnis über die einzelnen Bauteile und den Aufbau des Systems erlangen. Ausgehend vom Aufbau kann die Funktionsweise erarbeitet werden, in dem die Schülerinnen und Schüler auf bereitzustellende Unterstützungsmaterialien zu den naturwissenschaftlichen Themen zurückgreifen und dieses Wissen anbinden. Mittels anleitender Fragen in einem Leittext können die beiden skizzierten Lernwege unterstützt und gestaltet werden.

Für heterogen zusammengesetzte Klassen bieten die Analyseergebnisse zumindest Anhaltspunkte, welche kognitiven Ressourcen im Klassenraum vorhanden sein und durch eine geeignete Methodenwahl aktiviert werden könnten. Eine mögliche Methode, die diese Heterogenität als Ressource nutzbar macht, ist die Arbeit in heterogenen Teams oder Partnergruppen, wobei einzelne Mitglieder entweder auf eine höhere schulische Vorbildung oder auf bereits vorhandene berufspraktische Erfahrungen zurückgreifen können. Bei einem solchen Vorgehen ist darauf zu achten, dass ein tatsächlicher Wissenstransfer zustande kommt. Besonders bei implizitem Wissen – dieses findet sich in den unteren Zeilen des Modells wieder – empfiehlt es sich daher, dieses Wissen explizit in Schriftform festzuhalten und zu dokumentieren. Hierbei wäre die Erstellung eines Arbeitsplanes zur Montage einschließlich der Werkzeugauswahl eines der einzufordernden Lernprodukte.

An dieser Stelle soll noch einmal betont werden, dass das Ziel des Beitrags darin besteht, die theoriebasierte Herleitung eines Analyseinstruments darzustellen, nicht dessen Anwendung. Daher soll es an der Stelle bei einer beispielhaften Darstellung belassen werden. Nichtsdestotrotz bietet die Analyse mithilfe der vorgestellten Modellierung systematische Einsicht in die unterliegende (Vor-) Wissensstruktur und damit verbunden die Möglichkeit, den Leseprozess dem Adressatenkreis gerecht zu gestalten. Weitere, über die Arbeit mit Repräsentationen

hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten werden im folgenden Abschnitt abschließend kurz skizziert.

## 7 Diskussion und Fazit

In diesem Artikel wurde von der Problemstellung ausgegangen, dass die Bearbeitung technischer Repräsentationen für Lernende ein bedeutsames Hindernis im Lernprozess darstellt, welches durch das repräsentationale Dilemma bedingt ist: Lernende sollen aus Repräsentationen lernen, deren Bedeutung und Nutzen sie selbst nicht vollständig verstehen. Im Kontext der Vermittlung wird diese Schwierigkeit zusätzlich durch das sog. Experten-Novizen-Dilemma verschärft. Für Expertinnen und Experten ist die Bedeutung und Rolle einer Repräsentation im jeweiligen Kontext oftmals intuitiv klar, während dies bei ihren Schülerinnen und Schülern u. U. nicht der Fall ist. Unter dieser Voraussetzung laufen Vermittlungsversuche Gefahr, dass zum Verständnis wesentliche inhaltliche Zusammenhänge unausgesprochen bleiben und die durch die jeweilige Repräsentation gebotenen Lerngelegenheiten nur unzureichend genutzt werden können.

Daher lautet die Zielstellung des Artikels, technisches Wissen fachdidaktisch zu modellieren, sodass berufs- und tätigkeitsübergreifend das in technischen Repräsentationen eingebettete Wissen beschrieben werden kann. Das entwickelte fachdidaktische Modell technischen Wissens basiert sowohl auf Erkenntnissen der Psychologie des Problemlösens und des Lernens als auch auf Erkenntnissen aus dem Diskurs zu technischem Wissen. Es schließt an Befunde und vorliegende Kategorialmodelle technischen Wissens als auch der Lernpsychologie an und ist somit geeignet, didaktische Fragestellungen der Technik zu beantworten.

Zum einen beantwortet das Modell Fragen für die Arbeit mit technischen Repräsentationen: Durch eine systematische, explizite Beschreibung der inhaltlichen Aspekte technischer Repräsentationen können diese Inhalte gezielt adressiert und vermittelt werden. Dies gilt nicht nur für die zu kommunizierenden Wissensinhalte, sondern vor allem für das dazu benötigte Vorwissen. Dazu liefert das Modell ein Analyse-Raster, um zunächst unüberschaubare Wissenskomplexe in elementare lern- und arbeitskontextspezifische Wissensseinheiten zu zerlegen. Im Rahmen dieser Zerlegung ist der Anwender in der Lage, technische Inhalte von denen der Bezugswissenschaften potenziell abzugrenzen. Diese Abgrenzung zwischen einem technischen Kernbereich und Rand- bzw. Überlappbereichen mit Bezugswissenschaften orientiert sich dabei am Vorliegen eines Bezugs des Wissensinhaltes zu einem Artefakt.

An dieser Stelle ist noch einmal festzuhalten, dass die vorliegende Modellierung unabhängig von spezifischen Eigenschaften, die durch eine bestimmte Repräsentationsform vorgegeben werden, vorgenommen wurde. Vielmehr bildet das Modell aufgrund seiner Herleitung aus dem technikphilosophischen Diskurs das gesamte, bekannte Spektrum technischen Wissens ab und lässt sich damit auch auf den Inhalt sowohl symbolischer, ikonischer als auch enaktiver technischer Repräsentationen anwenden, da technische Repräsentationen lediglich Darstellungsformen technischen Wissens sind.

Exemplarisch wurde das Vorgehen an einer grafischen Repräsentation (vgl. Abb. 7 und Tab. 2) demonstriert. In diesem Zusammenhang konnte angedeutet werden, wie das Modell erfahrene Praktikerinnen und Praktiker dabei unterstützen kann, die als Hintergrundwissen bereitzustellenden kognitiven Strukturen zu identifizieren und den Rezeptionsprozess für den Adressatenkreis passfähig zu gestalten. Insofern stellt ein derartiges Vorgehen auch für den Anwendungsfall auf nur eine einzelne Repräsentation einen Ansatz dar, das Experten-Novizen-Dilemma sowie das Repräsentationsdilemma zu lösen.

Zum anderen beantwortet das Modell Fragen zur Unterrichtsvorbereitung in Bezug auf Vorwissen. Es löst dafür im Besonderen das Problem, dass sich das Vorwissen für das Verständnis von technischen Inhalten wie Zusammenhängen, Handlungen oder Prozessen häufig nicht eindeutig und durch einfache Formulierungen festlegen lässt. Dies ist zum einen dadurch bedingt, dass Lernende sehr individuelle Wissensbestände transferieren und für die Problemstellung nutzbar machen können und zum anderen komplexe technische Lernsituationen oftmals durch ein hohes Maß an Multiperspektivität sehr unterschiedliche Anknüpfungs- und Einstiegspunkte anbieten.

Für diese unterschiedlichen Anknüpfungspunkte liefert eine Aufgabenanalyse auf Grundlage des vorliegenden fachdidaktischen Modells des technischen Wissens einem Lehrenden unterschiedliche Zugangswege zu den zu vermittelnden Inhalten. Somit kann dieses Modell, wie Erlebach, Leske und Frank darstellen (2020), als Instrument für die Gestaltung binnendifferenzierenden und adaptiven Unterrichts dienen, für den sich auf Grundlage der Analyse adressatengerechte Unterstützungsangebote und kooperative Vermittlungsansätze gezielt gestalten lassen. Nicht zuletzt ist davon auszugehen, dass Wissen aus benachbarten Feldern in dem Modell von Lernenden transferiert werden kann und auf diese Weise fehlendes Wissen zu Teilen zu kompensieren vermag.

Vor diesem Hintergrund bietet das Modell auch einen möglichen Erklärungsansatz für die vorliegenden empirischen Befunde an, welche die Bedeutsamkeit von Vorwissen aus den nicht-technischen Schulfächern der Sekundarstufe I auf die Erfolgsaussichten in der dualen beruflichen Ausbildung nachweisen (Frank et al., 2017): Eine gute schulische Vorbildung ermöglicht speziell in den ersten Ausbildungsjahren eine signifikante Chance auf einen Erfolg der Berufsausbildung. In dem Modell lässt sich eine derartige Vorbildung als reichhaltiger Wissensstand in der linken Spalte verorten, d.h. artefakt-fernes Sachwissen (vgl. Abb. 6), welches nicht nur das Verständnis von in technischen Repräsentationen dargestellten Zusammenhängen erleichtert, sondern allgemein einen inhaltlichen Vorsprung im theoretischen Bereich der Grundstufen bereitstellt.

Zugleich unterstützt dieses Modell auch die Argumentation für eine duale Ausbildung, in der berufsfeldspezifisches Vorwissen aus der praktischen Tätigkeit oder Erfahrungen aus Praktika dazu genutzt wird, um Zugänge zu schulischem Wissen zu schaffen. Diese Art von Vorwissen findet sich entsprechend des Modells in den rechten Spalten als Handlungswissen wieder und kann sowohl bereits erworbenes artefakt-bezogenes als auch artefakt-fernes Wissen beinhalten. Unterschiedliche Zielgruppen können mittels einer Vorwissensanalyse auf Grundlage des Modells bereits in der Unterrichtsvorbereitung eingebunden werden (Erlebach et al., 2020).

Schließlich kann eine Anwendung des Modells zumindest Hinweise auf Antworten zu unterrichtsmethodischen Fragen liefern. Ganz besonders dann, wenn anstelle der kognitiven Voraussetzungen das Modell zur Analyse des zu vermittelnden Wissens angewendet wird. Da das Modell eine sehr genaue Zuordnung der einzelnen elementaren Wissensbestandteile in die einzelnen Felder einfordert, unterstützt es die Formulierung beabsichtigter Feinlernziele. So kann beispielsweise aus einer Lernsituation „Ölwechsel ausführen“ eine differenzierte Lernzielformulierung abgeleitet werden wie:

Die Schülerinnen und Schüler kennen verschiedene Motoröltypen marktüblicher Anbieter und können diese den passenden Motoren zuordnen. Sie wissen, wie ein Ölwechsel am Kraftfahrzeug durchgeführt wird, können die zugehörigen Arbeitsschritte aufzählen und ebenso ausführen. Ferner kennen sie die einschlägigen Vorschriften zur Entsorgung von Altöl und zur Verhinderung von Kontamination der Umwelt und sind in der Lage, diese praktisch umzusetzen.

Die vorgestellte fachdidaktische Modellierung technischen Wissens scheint zudem dazu eignet, Unterrichtsmethoden hinsichtlich der kognitiven Unterrichtsziele zu kategorisieren. Dazu ergeben

sich aus dem Modell Hinweise auf spezifische Eigenschaften technischen Wissens wie beispielsweise der Grad an Bewusstseinsfähigkeit oder Individualität des zu aktivierenden Wissens. Nimmt man dies als Ausgangspunkt für Überlegungen, für welche Wissensfelder die einzelnen in der gewerblich-technischen Ausbildung üblichen Unterrichtsmethoden geeignet erscheinen, erhält man eine Kategorisierung, welche eine direkte Ableitung und Begründung der gewählten Unterrichtsmethode aus den Feinlernzielen zulässt. Es soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass die soeben geschilderten Einsatzmöglichkeiten des Modells über das Ziel des Beitrages hinausgehen und somit gesonderter und eingehender Auseinandersetzung bedürfen.

Zugleich sind dem Modell in Anwendung und Theorie Grenzen gesetzt. So liefert das Modell keine Hinweise auf schwierigkeiterzeugende Merkmale, die rein fachlicher Natur sind. Ebenso werden in dem Modell keine repräsentationsspezifischen Fertigkeiten oder Wissensinhalte berücksichtigt, welche sich auf die Arbeit mit Repräsentationen beschränken wie z.B. Wissen um benötigte Konventionen, räumliches Vorstellungsvermögen oder die zur händischen Anfertigung technischer Zeichnungen benötigten sensomotorischen Fähigkeiten. An dieser Stelle beschränkt sich die Modellierung auf eine rein deskriptive Aufnahme technischen Wissens.

Daher bleiben ebenso Teilgebiete der Metakognition (Artelt & Moschner, 2005; A. Kaiser, 2003) unberührt. Zwar stellt dies möglicherweise für die Arbeit mit Repräsentationen keine wesentliche Einschränkung dar, vernachlässigt jedoch maßgebliche Schlüsselqualifikationen zum eigenständigen Lernen und bietet somit oberflächlich nur wenige Anknüpfungspunkte zu neueren, darauf gründenden didaktischen Ansätzen wie von Kaiser und Kaiser (2018) an. Zumindest kann argumentiert werden, dass auf der Ebene der Ausführung mit dem konzeptuell-prozeduralen Wissen explizit auf das Aktivieren und Ausbilden von Handlungsstrategien hingewirkt werden kann, womit zumindest ein Teilbereich der Metakognition bedient wird.

Im Besonderen thematisiert die metakognitive Didaktik von Kaiser & Kaiser (2018) zusätzlich Wissen, welches sich auf die Bearbeitung von Repräsentationen selbst bezieht: Neben Strategien der Bearbeitung und Aufmerksamkeitssteuerung beinhaltet dies auch Kenntnisse über Funktion und Grenzen der jeweiligen Repräsentationsform. Ein solches Wissen ist, da sich das Modell ausschließlich auf inhaltliche Aspekte technischen Wissens bezieht, daher in Vermittlungskontexten gesondert zu bedenken.

Zusammenfassend bietet das Modell für den Aspekt der Arbeit mit Repräsentationen sowie zur lernerzentrierten Analyse ganzer Lernaufgaben hinaus das Potential, zur Planung kognitiv aktivierenden Unterrichts beizutragen (vgl. Erlebach et al., 2020). Im Rahmen dieses Beitrages wurde es als Instrument für die Beforschung von Bearbeitungsvorgängen technischer Repräsentationen vorgestellt. Eine Validierung wie beispielsweise durch eine Expertenbefragung bezüglich der durch die Anwendung des Modells erzielten Ergebnisse, steht momentan noch aus.

## Literatur

- Alabi, O. O., Magana, A. J., & Garcia, R. E. (2013). Exploring student representational approaches in solving rechargeable battery design problems. *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1685–1687.
- Anderson, J. R. (2007). *Kognitive Psychologie* (J. Funke, Hrsg.; 6. Auflage). Spektrum, Akademie Verlag.
- Anderson, J. R., & Lebiere, C. J. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Psychology Press.
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. J. (1997). ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4), 439–462.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Ericsson & J. Smith (Hrsg.) *Towards a general theory of expertise* (S. 64–92). Cambridge University Press.
- Artelt, C., & Moschner, B. (2005). *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis*. Waxmann.

- Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology: What it is and how it evolves*. Free Press.
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Kunter, M., Löwen, K., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M. (2009). *COACTIV. Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz*. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Behrendt, S., Abele, S., & Nickolaus, R. (2017). Struktur und Niveaus des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern gegen Ende der formalen Ausbildung. *Journal of Technical Education*, 5(1), 47–75.
- Blöte, A. W., Van der Burg, E., & Klein, A. S. (2001). Students' flexibility in solving two-digit addition and subtraction problems. Instruction effects. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 627–638.
- Bruner, J. (1971). Kapitel 1. Über kognitive Entwicklung. In *Studien zur kognitiven Entwicklung* (S. 21–55). Klett.
- Chan, S. (2020). Learning the tacit dimensions of craft and industrial trades work through apprenticeship. In R. Hermkes, G. H. Neuweg, & Tim Bonowski (Hrsg.) *Implizites Wissen. Berufs- und wirtschaftspädagogische Annäherungen* (S. 175–194). wbv.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121–152.
- Compton, V. J. (2004). Technological Knowledge. A developing framework for technology education in New Zealand. Briefing Paper prepared for the New Zealand Ministry of Education Curriculum Project. *TKI. NZ Curriculum Marautanga Project*, o.A.
- Dasgupta, S. (1996). The Nature of Technological Knowledge. In S. Dasgupta, *Technology and Creativity* (S. 150–179). Oxford University Press.
- de Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational psychologist*, 31(2), 105–113.
- de Vries, M. J. (2003). The nature of technological knowledge: Extending empirically informed studies into what engineers know. *Techne: Research in philosophy and technology*, 6(3), 117–130.
- de Vries, M. J. (2006). Technological knowledge and artifacts. An analytical view. In J. R. Dakers (Hrsg.) *Defining Technological Literacy* (S. 17–30). Palgrave Macmillan UK.
- Erlebach, R., & Frank, C. (in Vorbereitung). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen. Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview. *Unterrichtswissenschaft*.
- Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 38.
- Faulkner, W. (1998). Knowledge Flows in Innovation. In R. Williams, W. Faulkner, & J. Fleck (Hrsg.) *Exploring Expertise* (S. 173–195). Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-13693-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-349-13693-3_8)
- Fortmüller, R. (1996). Wissenschaftsorientierung und Praxisbezug als komplementäre Prinzipien lernpsychologisch fundierter Lehr-Lern-Arrangements. In R. Fortmüller & W. Schneider (Hrsg.) *Wissenschaftsorientierung und Praxisbezug in der Didaktik der Ökonomie: Festschrift für Wilfried Schneider zum 60. Geburtstag und 25jährigen Dienstjubiläum als Ordinarius der Abteilung für Wirtschaftspädagogik* (S. 372–400). Manz-Verl. Schulbuch.
- Frank, C., Härtig, H., & Neumann, K. (2017). Schulisch erworbene Kompetenzen als Voraussetzung für berufliches Wissen gewerblich-technischer Auszubildender. *Unterrichtswissenschaft*, 1, 22–35.
- Gaycken, S. (2005). Was ist technisches Wissen? Philosophische Grundlagen technischer Wissenschaften. In Chaos Computer Club e.V. (CCC) (Hrsg.) *22C3: Private Investigations*. [https://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/attachments/575-paper\\_technischesWissen.pdf](https://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/attachments/575-paper_technischesWissen.pdf) (abgerufen am 03.05.2020)
- Geißel, B. (2008). Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung. Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.) *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung: Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (S. 121–142). Schneider Verlag Hohengehren.
- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.) *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung: Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (S. 103–120). Schneider Verlag Hohengehren.
- Gschwendtner, T., Geißel, B., & Nickolaus, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. Projekt Berufspädagogik. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.) *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (Bd. 56, S. 258–269). Beltz.
- Hacker, W., & Sachse, P. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3. vollständig überarbeitete Auflage). Hogrefe.

- Hegarty, M. (2014). Multimedia Learning and the Development of Mental Models. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 673–702). Cambridge University Press.
- Hiebert, J., & Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics. An introductory analysis. In J. Hiebert (Hrsg.) *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (S. 1–27). Routledge.
- Hoffman, R. R. (1998). How can expertise be defined? Implications of research from cognitive psychology. In R. Williams, W. Faulkner, & J. Fleck (Hrsg.) *Exploring expertise* (S. 81–100). Palgrave Macmillan UK.
- Ichikawa, J. J., & Steup, M. (2018). The Analysis of Knowledge. In E. N. Zalta (Hrsg.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2018). Metaphysics Research Lab, Stanford University.  
<https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/knowledge-analysis/> (abgerufen am 01.04.2020)
- Juhl, J., & Lindegaard, H. (2013). Representations and visual synthesis in engineering design. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 20–50. <https://doi.org/10.1002/jee.20001>
- Kaiser, A. (Hrsg.). (2003). *Selbstlernkompetenz: Metakognitive Grundlagen selbstregulierten Lernens und ihre praktische Umsetzung*. Luchterhand.
- Kaiser, A., & Kaiser, R. (2018). Bildverstehen. In A. Kaiser, A. Lambert, R. Kaiser, & K. Hohenstein (Hrsg.) *Metakognition—Die Neue Didaktik. Metakognitiv fundiertes Lehren und Lernen ist Grundbildung* (S. 165–220). Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kaiser, H. (2005). *Wirksames Wissen aufbauen* (1. Aufl.). hep.
- Kaiser, H. (2014). Die vier Wissenssysteme [Blog]. *Lernen und Lehren*.  
<http://hrkll.ch/WordPress/iml2/wissenssysteme/> (abgerufen am 08.05.2020)
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*, 34(9), 949–968.
- Kroes, P., & Meijers, A. (2002). The dual nature of technical artifacts. Presentation of a new research programme. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 6(2), 4–8.
- Lawson, C. (2008). An ontology of technology. Artefacts, relations and functions. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 12(1), 48–64.
- Lindemann, U. (2010). Wie kann man Technik darstellen? Wie werden Technikdarstellungen verstanden? In K. Kornwachs (Hrsg.) *Technologisches Wissen. Entstehung, Methoden, Strukturen* (S. 81–104). Springer.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition, Bde. 43–71). Cambridge University Press.
- McCormick, R. (1997). Conceptual and Procedural Knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), 141–159.
- Meijers, A. W. M., & de Vries, M. J. (2009). Technological Knowledge. In J. K. B. O. Friis, S. A. Pedersen, & V. F. Hendricks (Hrsg.) *A companion to the philosophy of technology* (S. 70–74). Wiley-Blackwell.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*. University of Chicago Press.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141–178.
- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method-affects-learning hypothesis: Modality principle. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(3), 149–158.
- Neuweg, G. H. (2005). Implizites Wissen als Forschungsgegenstand. In F. Rauner (Hrsg.) *Handbuch der Berufsbildungsforschung* (S. 581–588).
- Neuweg, G. H. (2020). Etwas können. Ein Beitrag zu einer Phänomenologie der Könnerschaft. In R. Hermkes, G. H. Neuweg, & Tim Bonowski (Hrsg.) *Implizites Wissen. Berufs- und wirtschaftspädagogische Annäherungen* (S. 13–36). wbv.
- Nickolaus, R. (2011). Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung. Forschungsstand und Perspektiven. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.) *Stationen Empirischer Bildungsforschung: Traditionslinien und Perspektiven* (S. 331–351). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nickolaus, R., Abele, S., Gschwendtner, T., Nitzschke, A., & Greiff, S. (2012). Fachspezifische Problemlösefähigkeit in der gewerblich-technischen Ausbildungsberufen—Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 108(2), 243–272.
- Park, B., Plass, J. L., & Brünken, R. (2014). Cognitive and affective processes in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 125–127.
- Poser, H. (2016). *Homo Creator. Technik als philosophische Herausforderung*. Springer VS.

- Rau, M. A. (2016). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 1–45.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen. Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47(2), 78–92.
- Renkl, A. (2009). Wissenserwerb. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.) *Pädagogische Psychologie* (S. 3–26). Springer Berlin Heidelberg.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics. An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 346–362.
- Rothe, H.-J., & Schindler, M. (1996). Expertise und Wissen. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung* (S. 35–57). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ropohl, G. (1997). Knowledge types in technology. *International Journal of technology and design education*, 7(1–2), 65–72.
- Ropohl, G. (1998). Technisches Wissen. In G. Ropohl (Hrsg.) *Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften* (S. 88–96). G-und-B-Verlag Fakultas.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, G. (2010). Jenseits der Disziplinen–Transdisziplinarität als neues Paradigma. *LIFIS-ONLINE*. [http://www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl\\_21\\_03\\_10.pdf](http://www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl_21_03_10.pdf) (abgerufen am 13.05.2020)
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I., & Prenzel, M. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 – Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme, & O. Köller (Hrsg.) *PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 45–98). Waxmann.
- Schmayl, W. (2013). Identität. Technikphilosophische Basis. In *Didaktik allgemeinbildenden Technikunterrichts* (2., durchges. Auflage, S. 52–78). Schneider-Verl. Hohengehren.
- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.) *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 95–148). Huber.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292–318.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.) *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. vollständig überarbeitete Auflage). Beltz.
- Schnotz, W. (2014). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.) *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second Edition, S. 72–103). Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, 13(2), 141–156.
- Schoppek, W. (2003). *Kopfrechnen aus der Sicht der ACT-R Theorie*.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), 227–237.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Hogrefe.
- Süß, H.-M. (2008). Die Rolle von Intelligenz und Wissen für erfolgreiches Handeln in komplexen Problemsituationen. In G. Franke (Hrsg.) *Komplexität und Kompetenz. Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung* (S. 249–275). Bertelsmann.
- Tenberg, R. (2018). Die technische Unterweisung aus Kompetenzperspektive. Eine Methoden-Analyse. In B. Zinn, R. Tenberg, & D. Pittich (Hrsg.) *Technikdidaktik: Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 123–146). Franz Steiner Verlag.
- Viering, T., Fischer, H. E., & Neumann, K. (2010). Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Projekt Physikalische Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.) *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (S. 92–103). Beltz.
- Vincenti, W. G. (1990). *What Engineers Know and How They Know it. Analytical Studies from Aeronautical History*. The John Hopkins University Press.
- Vincenti, W. G. (1992). Engineering knowledge, type of design, and level of hierarchy. Further thoughts about what engineers know.... In P. Kroes & M. Bakker (Hrsg.) *Technological development and science in the industrial age* (S. 17–34). Springer.
- Wiemer, T. (2018). *Technisches Wissen. Kategorienbildung für die allgemeine technische Bildung*. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Wittmann, W. W., Süß, H.-M., & Oberauer, K. (1996). Determinanten komplexen Problemlösens. *Berichte des Lehrstuhls Psychologie II der Universität Mannheim*, 9, 1–25.

Wolffgramm, H. (2012). *Allgemeine Techniklehre. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten* (Neu strukturierte, ergänzte, erweiterte und aktualisierte Fassung).  
<https://dgtb.de/wp-content/uploads/2018/11/Wolffgramm-Allgemeine-Techniktheorie-klein.pdf> (abgerufen am 03.04.2020)

DIPL.-PHYS. RALF ERLEBACH

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Didaktik der Technik  
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal  
[ralf.erlebach@uni-wuppertal.de](mailto:ralf.erlebach@uni-wuppertal.de)

PROF. DR. CAROLIN FRANK

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Didaktik der Technik  
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal  
[cfrank@uni-wuppertal.de](mailto:cfrank@uni-wuppertal.de)

---

Zitieren dieses Beitrags:

Erlebach, R. & Frank, C. (2021). Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, X(X), xx–yy.



## **5.2 Zwischenfazit**

Ein maßgeblicher Beitrag der Publikation ist die Zusammenführung der unterschiedlichen technikphilosophischen Erkenntnisse über die Natur des technischen Wissens mit denen aus der lern- und komplexitätspsychologischen Sicht auf Wissen zu einer Modellierung technischen Wissens – dem Analyseraster ArTWin.

Das Analyseraster ArTWin erleichtert im Besonderen die Identifizierung und Erfassung von inhaltlichem Vorwissen in technischen Repräsentationen, indem es Lernende dazu anhält, inhaltliches Vorwissen in seine 16 distinkten Kategorien einzuordnen. Dabei setzt ArTWin atomare Wissensseinheiten voraus, sodass bei der Wissenserhebung und Einordnung notwendig ist, das identifizierte Wissen auf kleine Einheiten herunterzubrechen: Sollte eine gefundene Wissensseinheit in mehr als eine der 16 Kategorien von ArTWin eingeordnet werden können, so postuliert ArTWin, dass diese Wissensseinheit inhaltlich oder lernpsychologisch durch präzisere Beschreibung in zwei oder mehrere Untereinheiten aufgeteilt werden kann und sollte.

ArTWin als Modellierung technischen Wissens liefert neben seinen theoretischen Ansätzen für die Forschung ebenso praxisorientierte Ansätze, zum Beispiel zur Strukturierung von Lerngelegenheiten (siehe Abschnitt 7), und wurde bereits über den Lehrstuhl hinaus eingesetzt (vgl. Abschnitt 10), an dem es entwickelt wurde. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie zuverlässig ArTWin als Analyseraster und Instrument für eine Erhebung technischen (Vor-)Wissens ist, schließlich kann das Ergebnis sowohl vom untersuchten Gegenstand – im Rahmen der Dissertation sind dies Repräsentationen – als auch von der untersuchenden Person abhängig sein. Zur Prüfung der Inhaltsvalidität bezüglich Relevanz und Nutzen nach Messick (1993) wurden vier Lehrbücher des ersten Ausbildungsjahres für metalltechnische Berufe untersucht und die darin enthaltenen Repräsentationen erfasst. Repräsentationen – sowie von der untersuchenden Person abhängig sein.

## **6. Modellvalidierung und Diskussion**

Zur Prüfung der Inhaltsvalidität in Bezug auf Relevanz und Nutzen nach Messick (1993) wurden vier Lehrbücher des ersten Ausbildungsjahres für metalltechnische Berufe untersucht und die darin enthaltenen Repräsentationen erfasst. Im Folgenden wird daher die Validität der Modellierung geprüft und diskutiert.

### **6.1 Validität**

Zur Absicherung der Validität eines Instruments werden in der Regel verschiedene Argumente und Evidenzen herangezogen (Kane, 1992), zum Beispiel inhaltliche Relevanz, theoretische Fundierung des Konstrukts, Struktur der Scoring-Metrik, Generalisierbarkeit des Messprozesses, externe Belege oder Konsequenzen des Messprozesses (Messick, 1989, 1993). Jedoch sind die Aspekte der Scoring-Metrik sowie externe Belege nicht direkt auf Analyseraster wie ArTWin anwendbar, da sie traditionell mit bepunkteten Testaufgaben verbunden sind (Kane, 2013), während bei einer Anwendung von ArTWin keine Bewertungspunkte vorgesehen sind. Externe Belege wie Vergleiche mit anderen Verfahren oder prädiktive Erklärungskraft können ebenfalls nicht genutzt werden, da vergleichbare Instrumente bislang fehlen.

Die theoretische Absicherung sowie die Darstellung von Relevanz und Repräsentativität des Konstrukts wurden in den vorangegangenen Abschnitten bereits ausführlich dargestellt. Somit kann die theoretische Fundierung sowie die Darstellung der Relevanz und

Repräsentativität des Konstrukts als gesichert angesehen werden und bildet den Ausgangspunkt für die weitere Validitätsdiskussion.

Der nächste logische Schritt im Sinne von Messicks progressiver Matrix der Validierungsargumentation (Messick, 1993) besteht darin, verlässliche Messungen in der Anwendung des Analyserasters zu demonstrieren. Messicks progressive Matrix, dargestellt in Tabelle 2, ordnet dabei mögliche Validitätsargumente bezogen auf das Instrument selbst sowie Implikationen der Anwendung ein. Diese bauen inhaltlich jeweils aufsteigend aufeinander auf und beziehen sowohl theoretische Interpretationen als auch die praktische Verwendung des Instruments ein. Messick bezeichnet dieses Konzept als Inhaltsvalidität.

	<b>Interpretation</b>	<b>Anwendung</b>
<b>Evidenz</b>	Erfasst das Modell die zu messenden Größen? (Inhaltsvalidität)	Liefert das Modell die Grundlage einer validen Messung in der konkreten Anwendung? (IV + Relevanz & Nutzen)
<b>Konsequenz</b>	Welche Schlüsse lassen sich durch die Anwendung des Modells ziehen? (IV + Interpretationsgüte)	Welche Auswirkungen haben Messungen und Interpretationen auf Grundlage des Modells? (IV+ RN + IG + soziale Auswirkung)

Tabelle 2: Messicks progressive Matrix (Messick, 1993) für Inhaltsvalidität (IV), Relevanz & Nutzen (RN), Interpretationsgüte (IG) sowie soziale Auswirkung.

Als logischer Folgeschritt wird die Validität des Analyserasters in seiner Anwendung überprüft, was gemäß der progressiven Matrix von Messick (1993) ein Argument zu Relevanz und Nutzen darstellt. Die Messfähigkeit in der Anwendung des Analyserasters ist in der Tat ohne eine empirische Untersuchung nicht abzuschätzen, da bei einer solchen Anwendung von Seiten der Nutzenden komplexe inferentielle Entscheidungsprozesse erforderlich werden, bei denen sie die Intention und den Inhalt einer Repräsentation rekonstruieren, das erforderliche Vorwissen einschließlich der Domäne detailliert artikulieren und schließlich einer Kategorie des Analyserasters zuordnen müssen. Daher ist es notwendig, das Analyseraster auf dessen generelle Messfähigkeit hin zu prüfen und diese sicherzustellen, bevor es im Rahmen wissenschaftlicher Tätigkeiten genutzt wird. Die Prüfung der Messfähigkeit erfolgt über die Anwendung des Analyserasters im Rahmen einer Analyse der in Lehrbüchern für die Ausbildung von Metallberufen enthaltenen Repräsentationen. Hierüber kann ermittelt werden, wie sicher mithilfe des Analyserasters das für das Verständnis einer Repräsentation erforderliche Vorwissen identifiziert und den entsprechenden Kategorien sowie Domänen zugeordnet werden kann.

## 6.2 Vorgehen

Im Folgenden werden die Sample-Strategie der zugrunde gelegten Lehrbuchanalyse sowie das Vorgehen der Datenauswertung dargestellt.

### 6.2.1 Sample-Strategie

Zur Prüfung der Inhaltsvalidität in Bezug auf Relevanz und Nutzen nach Messick (1993) wurden vier Lehrbücher des ersten Ausbildungsjahres für metalltechnische Berufe untersucht und die darin enthaltenen Repräsentationen erfasst. Die Auswahl wurde auf gedruckte Lehrbücher eingegrenzt, da diese, anders als Arbeitsbücher und Begleitmaterialien, ganz im Sinne des in dieser Arbeit behandelten repräsentationalen Dilemmas, den Fokus auf den rezeptiven Gebrauch von Repräsentationen legen. Eine Liste der untersuchten Lehrbücher mit Angabe der genutzten Auflage ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Zur Datenerhebung wurden die repräsentationalen Einheiten auf den Seiten der Lehrbücher extrahiert. Als repräsentationale Einheiten wurden dabei räumlich zusammenhängende Darstellungselemente sowie gegebenenfalls vorhandene Unter- oder Überschriften betrachtet. Fließtext wurde von der Datenerhebung ausgeschlossen. Die identifizierten Einheiten wurden mit einem Label versehen, das Informationen über das Herkunftslehrwerk und die Seitenzahl der Fundstelle enthält. Anschließend wurden die in den repräsentationalen Einheiten enthaltenen Einzelrepräsentationen erfasst und ihrer Repräsentationsform zugeordnet. Die Bezeichnungen für die Repräsentationsformen wurden den Lehrbüchern entnommen. Wenn keine Bezeichnung in den Lehrbüchern verfügbar war, wurden allgemein gebräuchliche Bezeichnungen verwendet. Auf diese Weise wurden 4.196 repräsentationale Einheiten mit insgesamt 9.342 Einzelrepräsentationen identifiziert.

Autor*innen, Jahr	Titel	Aufl.	Verlag	Kürzel
(Haffer et al., 2014)	Grundkenntnisse Industrielle Metallberufe. Lernfelder 1-4	6.	Handwerk und Technik	H1
(Hengesbach, 2016)	Fachwissen Metall, Grundstufe und Fachstufe 1, Lehrbuch	11.	Bildungsverlag EINS	H2
(Kaese et al., 2016)	Metalltechnik. Grundwissen Lernfelder 1-4	4.	Westermann	K1
(Bergner et al., 2017)	Metallbau- und Fertigungstechnik. Grundbildung	11.	Verlag Europa-Lehrmittel	K2

Tabelle 3: Übersicht der analysierten Lehrbücher

## 6.2.2 Auswertung

Das so erfasste Korpus bildete die Datenbasis für das folgende Interrater-Verfahren. Mithilfe eines um Repräsentationswissen erweiterten ArtWin (vgl. Tabelle 5 auf Seite 136) wurden für die repräsentationalen Einheiten das Inhalts- und Repräsentationswissen bestimmt und unter Angabe der jeweiligen Wissensdomäne (z. B. Technik) den Kategorien des Analyserasters zugeordnet. Dies wurde ebenfalls von zwei unabhängigen Zweitratern durchgeführt, die jeweils 200 per Zufallsauswahl gezogene repräsentationale Einheiten bearbeiteten. Es gab bei dieser Verteilung keine Überschneidungen zwischen beiden Zweitratern, sodass knapp 10 Prozent des Gesamtkorpus doppelkodiert wurden.

Beide Zweitratern verfügen, ebenso wie der Autor als Erstrater, über akademische Abschlüsse im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich auf der Qualifikationsstufe 7 entsprechend des Deutschen Qualifikationsrahmens (DQR). Einer der Zweitratern hat zusätzlich Lehrerfahrung an berufsbildenden Schulen, und die andere Person hat zudem eine abgeschlossene handwerkliche Ausbildung. Die Zweitratern wurden jeweils für etwa eine Stunde über ArtWin als das zugrundeliegende Analyseraster geschult.

Während des Bearbeitungsprozesses konnte ein leitfragengestützter Ablaufplan zur Segmentierung des Entscheidungsprozesses verwendet werden. Ebenso stand es den Ratern offen, in inhaltlichen Fragen auf Nachschlagewerke oder die Unterstützung durch Internetsuchmaschinen zurückzugreifen. Beide Zweitratern waren in der konkreten Ausgestaltung ihres Arbeitsprozesses frei, was sie auch wahrnahmen.

Als Maß für die Übereinstimmung wurde die Interrater-Reliabilität mittels Cohens Kappa auf Basis der Wissenskategorien im Analyseraster, denen Wissen zugeordnet wurde, berechnet. Dies wurde sowohl gemeinsam für alle erwarteten Kategorien als auch für jede Kategorie einzeln durchgeführt. Dabei wurden die beiden rein prozeduralen Kategorien des Handlungswissens rechnerisch aus der Analyse ausgeschlossen, da diese im rezeptiven Gebrauch statischer Repräsentationen als notwendiges Vorwissen grundsätzlich nicht auftreten. Dasselbe Vorgehen wurde hinsichtlich der Domänen angewendet, denen das jeweils identifizierte Repräsentations- oder Inhaltsvorwissen

zugeordnet wurde. Zur Sicherstellung einer ausgewogenen Datenlage wurde mittels Prävalenz-Index und Bias-Index das Vorliegen von Datenbalance geprüft; ersatzweise wurde ebenso das auf Prävalenz und Bias adjustierte Kappa (PABAK) berechnet<sup>18</sup>.

### 6.3 Ergebnisse

Über alle relevanten Kategorien hinweg wurde eine Interrater-Übereinstimmung von  $\kappa = .66$  für das Inhalts- sowie  $\kappa = .67$  für das Repräsentationswissen erzielt. Dies stellt nach Landis und Koch (1977) eine substantielle Übereinstimmung dar. Bezüglich einzelner Wissenskategorien wurden zumindest moderate Übereinstimmungen ermittelt, wobei für Kategorien mit zu stark ausgeprägtem Prävalenzindex  $|PI| > .95$  kein Cohens Kappa angegeben werden kann. Ersatzweise berechnete PABAK-Werte liegen jedoch durchgehend oberhalb von .60, mit Ausnahme der Kategorie des deklarativ-konzeptuellen, technischen Sachwissens. Auch bezüglich der Biasindizes bildet die Kategorie des deklarativ-konzeptuellen, technischen Sachwissens eine Ausnahmen ( $BI = .15$ ), in allen anderen Kategorien bleibt der Bias mit  $|BI| < .10$  durchgehend unauffällig.

Repräsentationswissen			Sachwissen		Handlungswissen	
			technisches Wissen			
$\kappa = .60$ PABAK = .64 PI = .28	deklarativ	konzeptuell	$\kappa = .58$ PABAK = .64 PI = -.39	$\kappa = .59$ PABAK = .65 PI = .42	$\kappa = .37$ PABAK = .92 PI = -.94	k.A. PABAK = .97 PI = -.98
			$\kappa = .46$ PABAK = .77 PI = -.76	$\kappa = .17$ PABAK = .58 PI = -.72	k.A. PABAK = .95 PI = -.98	k.A. PABAK = .98 PI = -.99
$\kappa = .64$ PABAK = .72 PI = -.47	prozedural	konzeptuell	$\kappa = .46$ PABAK = .95 PI = -.95	k.A. PABAK = 1.00 PI = -.99	k.A. PABAK = .99 PI = -1.00	k.A. PABAK = .99 PI = -1.00
			$\kappa = .58$ PABAK = .96 PI = -.94	k.A. PABAK = 1.00 PI = -1.00	nicht zu erwarten	nicht zu erwarten

Abbildung 9: Interrater-Übereinstimmungen bezüglich Wissenskategorien. Die beiden prozeduralen Kategorien von Handlungswissen wurden, da diese nicht auftreten können, grundsätzlich von der Untersuchung ausgeschlossen.

Domäne	Repräsentationswissen	Inhaltsvorwissen
Technik	$\kappa = .67$ , PABAK = .70 PI = -.31, BI = .03	$\kappa = .53$ , PABAK = .63 PI = .47, BI = .10
Mathematik	$\kappa = .59$ , PABAK = .75 PI = -.62, BI = .02	$\kappa = .59$ , PABAK = .81 PI = -.73, BI = .03
Physik	$\kappa = .26$ , PABAK = .84 PI = -.89, BI = .02	$\kappa = .63$ , PABAK = .75 PI = -.58, BI = .06
Chemie	k.A., PABAK = .97 PI = -.98, BI = -.01	$\kappa = .59$ , PABAK = .90 PI = -.87, BI = .00
Allgemeinwissen	$\kappa = .49$ , PABAK = .50 PI = -.15, BI = -.12	k.A., PABAK = .94 PI = -.97, BI = -.01

Tabelle 4: Interrater-Übereinstimmungen bezüglich der Domänen

<sup>18</sup> In Fällen stark ausgeprägter Prävalenz liefert Cohens Kappa stark fluktuierende Werte und daher nicht interpretierbar (vgl. Flight & Julious, 2015; Byrt et al., 1993; Feinstein & Cicchetti, 1990).

Ebenso substanzielle Übereinstimmungen wurden für die dem Wissen zugeordneten Domänen ermittelt, bezüglich Inhaltsvorwissen ergibt sich eine Interrater-Reliabilität von  $\kappa = .74$  sowie bezüglich des Repräsentationswissens von  $\kappa = .65$ . Für die einzelnen Domänen unter Beachtung des Prävalenzindex berechneten Cohens Kappa bzw. PABAK konnten moderate oder substanzielle Übereinstimmungen nach Landis und Koch (1977) berichtet werden – mit Ausnahme der Physik.

#### **6.4 Fazit zur Modellvalidierung**

Die Ergebnisse verweisen darauf, dass von einer guten Messfähigkeit des um Repräsentationswissen erweiterten ArTWin ausgegangen werden kann. Dabei sprechen die sowohl für den Anteil des Repräsentationswissens als auch für den inhaltlichen Anteil aus ArTWin erhaltenen hohen Kappa-Werte nach Landis und Koch (1977) für eine substanzielle Übereinstimmung beider Rater. Dies stellt für die zugrundeliegenden hochinferenten Einschätzungsprozesse ein beachtliches Ergebnis dar und spricht für die grundsätzliche Zuverlässigkeit des Instrumentes.

Innerhalb der Einzelkategorien werden zudem noch zufriedenstellende Kappa-Werte erzielt. Die wenigen Ausnahmen hiervon, namentlich die Kategorie des deklarativ-konzeptuellen technischen Sachwissens sowie die Domäne Physik innerhalb des Repräsentationswissens, deuten auf den systematischen Einfluss durch das Vorwissen der Bearbeitungspersonen hin. Nach Feststellung der allgemeinen Messfähigkeit bietet sich daher an, dies in zukünftigen Untersuchungen genauer zu adressieren und zu beforschen.

Hierzu würden sich Experten-Interviews mit wenigen (speziellen) Repräsentationen im Zusammenhang mit einer inhaltsanalytischen Auswertung anbieten. Ein solches Vorgehen würde dabei die Limitation des aktuell gewählten Vorgehens, dass auf die Belegung der Wissenskategorien und Domänen und nicht auf inhaltliche Übereinstimmung geprüft wird, beheben. Obwohl aufgrund des mit dem inhaltsanalytischen Vorgehen verbundenen Aufwands lediglich 10 % der Repräsentationen doppelkodiert worden sind, begrenzt dies die Generalisierbarkeit der Aussage zur Messfähigkeit nicht.

Als messfähiges Instrument bietet sich ArTWin somit an, zukünftige Untersuchungen des Repräsentationalen Dilemma weiter voranzutreiben, indem es repräsentations- und aufgabenspezifisches Vorwissen aufzeigt, welches in Prä-Tests von Interventionsstudien abgefragt werden kann. Die Hoffnung ist, mithilfe dieser inhaltlichen Verankerung konsistentere Befunde bezüglich des Einflusses des Vorwissens in der Repräsentationsforschung zu erzielen.

Ebenso werden mittels ArTWin nicht nur Settings mit multiplen externalen Repräsentationen untersuchbar, sondern es lassen sich auch Kompensationseffekte sowie schwierigkeiterzeugende Merkmale ermitteln – in dem durch das Analyseraster Vorwissen und erlerntes Wissen der Einzelrepräsentationen miteinander abgeglichen werden können. Zusätzlich stellen mögliche Untersuchungen von Prozessen mit teil- oder vollproduktiven Repräsentationsgebrauch für ArTWin eine spannende Forschungsperspektive dar.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in Form von ArTWin mit und ohne die Erweiterung um Repräsentationswissen ein Instrument vorliegt, welches Vorwissen für die Verarbeitung technischer Repräsentationen in inhaltlicher wie didaktischer Hinsicht beschreibt und mit welchem dieses Vorwissen auch a priori zuverlässig erhoben werden kann.

## **Teil III: Praxisorientierte Anwendung**

Im folgenden Kapitel werden praxisorientierte Anwendungen des Analyserasters technischer Wissensinhalte (ArTWin) für die Unterrichtsplanung im Allgemeinen und im Besonderen für die Analyse des für die Verarbeitung von Repräsentationen notwendigen Vorwissens im Rahmen von Lehr- und Lernprozessen vorgestellt.

### **7. ArTWin in der Planung von technischen Lehr- und Lernsettings**

Die folgende Publikation stellt das Analyseraster mit Fokus auf die Praxis der Unterrichtsplanung vor und diskutiert unter Zuhilfenahme dieses Rasters ein strukturiertes Vorgehen zur kognitiven Aufgabenanalyse. Hierbei wird besonderes Augenmerk auf die Ermöglichung individueller Lernpfade vor dem Hintergrund heterogener Lebenswelten der Lernenden gelegt. Dies wird beispielhaft anhand einer Lernaufgabe und drei unterschiedlichen Lernenden illustriert. Die Bedeutsamkeit der Erarbeitung flexibler und wiederverwendbarer Lernmaterialien, die möglichst unterschiedliche Zugänge zum Lerngegenstand erschließen, wird diskutiert.

Ziel und Fragestellungen:

- Wie kann die Modellierung praxisnah beschrieben werden?
- Welche Funktionen kann die Modellierung im Rahmen der Unterrichtsplanung individueller Lehr-Lernsituationen leisten?

#### **7.1 Artikel: Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung (Erlebach et al., 2020)**

**Quelle:** Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 38.

**Ralf ERLEBACH, Peer LESKE & Carolin FRANK**

(Bergische Universität Wuppertal)

**Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage  
für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte  
Unterrichtsplanung**

Online unter:

[https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach\\_et al\\_bwpat38.pdf](https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach_et al_bwpat38.pdf)

in

***bwpat*** Ausgabe Nr. 38 | Juni 2020

**Jugendliche Lebenswelten und berufliche Bildung**

Hrsg. v. **Karin Büchter, H.-Hugo Kremer, Anja Gebhardt & Hannah Sloane**

www.bwpat.de | ISSN 1618-8543 | *bwpat* 2001–2020

***bwpat***

**www.bwpat.de**



Herausgeber von *bwpat* : Karin Büchter, Franz Gramlinger, H.-Hugo Kremer, Nicole Naeve-Stoß, Karl Wilbers & Lars Windelband

**Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online**

## **Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung**

---

### **Abstract**

Angesichts einer hohen Heterogenität in Klassen berufsschulischer Aus- und Fortbildung stellt die Forderung nach Subjekt- oder Potenzialorientierung (Jenewein 2017; Zinn et al. 2018) eine Herausforderung für Lehrkräfte dar. Unabhängig vom Bildungsgang bringen die Schülerinnen und Schüler unterschiedliche kognitive Voraussetzungen, sozio-kulturelle Annahmen sowie Alltags- und Berufserfahrungen in den Unterricht ein.

Kernstück einer Planung eines solchen Unterrichts ist die kognitive Strukturierung des Lerngegenstandes (Lipowsky 2015), zugleich muss dieser in Beziehung zu anderen Erfahrungen gesetzt werden (Einsiedler/Hardy 2010). Lernzielorientierte Ansätze für einen „one size - fits all“-Unterricht reichen daher nicht aus: Die verschiedenen Erfahrungswelten der Schülerinnen und Schüler bedingen individuelle kognitive Strukturierungen.

Wir schlagen für die gewerblich-technische Unterrichtsplanung ein Analysetool vor, welches lernpsychologische und technikdidaktische Erkenntnisse aufgreift, und zeigen beispielhaft auf, dass dieses geeignet ist, die verschiedenen kognitiven Ressourcen der jugendlichen Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer lebensweltlichen Erfahrungen zu berücksichtigen.

---

### **An analysis grid of technical knowledge as a basis for life-world and resource-oriented lesson planning**

---

Regarding the diversity in classes of vocational education, there is a rigorous need for learner centered approaches in teaching (Jenewein 2017; Zinn et al. 2018). This poses challenges to teachers: Students are bringing disparate cognitive prerequisites, diverse socio-cultural assumptions as well as individual every day and professional experience into the classroom.

Cognitive structuring of the issues to learn (Lipowsky 2015) is the heart of lesson planning. At the same time, those issues must relate to experiences of the students (Einsiedler/Hardy 2010). Therefore, any approach based on an “one size - fits all” paradigm in teaching cannot be a sufficient one: Varying experiences of the students require various cognitive structuring.

For lesson planning in technology we are proposing an analytic tool for cognitive structuring that incorporates both learning psychology and didactics in technology. We show that this approach is suitable for considering distinct cognitive resources of juvenile students regarding their life-world experiences.

**Schlüsselwörter:** *kognitive Aktivierung, Unterrichtsplanung, Analyseraster, gewerblich-technische Berufsbildung, adaptiver Unterricht*

# 1 Einleitung und Problemaufriss

Neben schulischen Eingangsvoraussetzungen existiert in der gewerblich-technischen Berufsbildung ein hohes Maß an Heterogenität unter den Lernenden, speziell bezüglich der beruflichen Vorkenntnisse, Erfahrungen in der Arbeitswelt, Motivation zum Lernen oder persönlichen Interessenlagen (Weidemeier 2014; Nitzschke et al. 2017). In den Schulgesetzen aller Bundesländer ist in Form von Bekenntnissen zu Gleichheit, Inklusion oder individueller Förderung verankert, dass den Voraussetzungen jeder Schülerin und jedem Schüler in positiver Weise im Unterricht Rechnung getragen wird. Besonders der lebensweltorientierte Ansatz scheint geeignet, dieses politische Versprechen umzusetzen. Der breiten Implementierung dieses stark auf das Individuum fokussierten didaktischen Prinzips stehen vor allem die Rahmenbedingungen eines institutionalisierten Schul- und Bildungssystems entgegen: große Klassenstärken, hohe Arbeitsbelastung der Lehrenden, curriculare Vorgaben und Bildungsstandards, normierte Abschlusstests (DPhV 2020; Felsing et al. 2019; vgl. auch Hüfner 2003). Nichtsdestotrotz sind Teilaspekte des lebensweltorientierten Ansatzes mittlerweile zu festen Bestandteilen moderner Schuldidaktik geworden, auch wenn diese unter anderem Namen firmieren (Kaiser 2000, 30), zum Beispiel als Bestandteil handlungsorientierten Unterrichtes oder der Projektmethode.

Die Lebensweltorientierung geht in ihrer Grundannahme weit über die Frage von unterrichtlichen Oberflächenmerkmalen hinaus, denn sie betrachtet das Individuum auf einem gewissen inhaltlichen Teilgebiet aufgrund dessen Erfahrungen und Vorwissen als einen Experten und Gesprächspartner auf Augenhöhe (Knauth 1997, 51). Hinzu kommt, dass im Kontext gewerblich-technischer Bildung neben der alltäglichen Sphäre der oder des Einzelnen die berufliche Situation mit ihren individuellen Erfahrungen und Werten als fester Bestandteil der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler gesehen werden muss (Rauner/Piening 2010). Im Zuge des aktuellen Diskurses zur Lebensweltorientierung in Lehr- und Lernprozessen sollten diese daher nicht auf rein fachspezifische Aspekte der beruflichen Handlung beschränkt bleiben. Im Gegenteil: Die Lebenswelt muss in der Gestaltung von anspruchsvollen Lernaufgaben als zentraler Aspekt des Unterrichtes (siehe u. a. Bromme 1992; Haas 1998; Wengert 1989) mitberücksichtigt werden.

Die Herausforderung, den lebensweltorientierten Ansatz im Unterricht auch auf der tiefenstrukturellen Ebene zu realisieren, besteht unter anderem in einer inhaltlich-kognitiven Aufbereitung des Lerngegenstandes, ohne dabei eine Individualisierung zu verlieren.

Die Autoren zeigen in diesem Artikel einen strukturierten Ansatz für gewerblich-technischen Unterricht auf, die Lebensweltlichkeit neben dem Individuum auch vom Lerngegenstand aus zu denken, um so im Rahmen von Lehr- und Lernprozessen den Lernenden möglichst viele kognitive Anknüpfungspunkte anzubieten. Anhand eines Beispiels wird zudem illustriert, wie dieses Ziel durch eine systematische Vorgehensweise bei der Unterrichtsplanung erreicht werden kann, im Rahmen derer eine multiperspektivische Betrachtung des Lerngegenstandes und damit eine flexible, kognitive Strukturierung desselben erfolgt.

## 2 Unterrichtsqualität, Unterrichtsplanung und Lebensweltorientierung

Die Planung und Durchführung von Unterricht sind wesentliche Aufgaben von Lehrkräften. Die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder definiert nicht grundlos in ihren Standards für die Lehrerbildung „... die gezielte und nach wissenschaftlichen Erkenntnissen gestaltete Planung...“ von Unterricht als Kernaufgabe und Maßstab für die Qualität des beruflichen Handelns von Lehrkräften (KMK 2004, 3). Es ist daher konsequent, dass das Produkt „qualitätsvoller Unterricht“ in aktuelle Modelle professioneller Handlungskompetenz integriert wurde. Dementsprechend werden im gewerblich-technischen Bereich in diesen Modellen das klassische Verständnis von Lehrberuf nach Baumert und Kunter (2006) mit Kriterien zur Unterrichtsqualität verknüpft (Walker/Faath-Becker 2019, 17). Diese Sichtweise verdeutlicht, dass professionelles Handeln von Lehrkräften dann erfolgreich ist, wenn sich die Qualität des Unterrichts anhand wissenschaftlicher Kriterien der Lernwirksamkeit als positiv beurteilen lässt. Der aktuelle Diskurs zur Unterrichtsqualität stellt lediglich implizit den Zusammenhang zwischen Unterrichtsqualität und Unterrichtsplanung her. Dies betrifft auch die Bereitstellung von Lebensweltbezügen in der Gestaltung von Lernprozessen. Zur weiteren Betrachtung muss zunächst definiert werden, wie sich der Lebensweltbezug in aktuelle Qualitätskriterien für guten Unterricht einordnen lässt.

### 2.1 Kognitive Aktivierung in Bezug zum Ansatz der Lebensweltorientierung

Als besonders lernwirksamkeitsfördernde Qualitätskriterien haben sich effektive Klassenführung, konstruktive Unterstützung im Lernprozess sowie kognitive Aktivierung herausgestellt (Kunter/Trautwein 2018). Im Folgenden wird sich explizit auf den Planungsprozess von Unterricht unter Einbezug der Lebenswelt der Lernenden konzentriert. Da die Berücksichtigung einer Lebensweltorientierung vorrangig im Kontext der Planung von Lernsituationen und Lernaufgaben zum Tragen kommt, wird sich in diesem Abschnitt vor allem auf das Unterrichtsqualitätsmerkmal der kognitiven Aktivierung konzentriert, denn die kognitive Aktivierung ist stark mit der Gestaltung von Lernaufgaben assoziiert (Lipowsky 2015, 90). Über diese werden im Idealfall Denkprozesse initiiert, welche zu einem vertieften Verständnis von einem Lerngegenstand führen. Wesentliche Aspekte der kognitiven Aktivierung sind, dass diese eine Einbettung des Lerngegenstandes in authentische Kontexte erfordert (Jordan et al. 2008, 89f.; Kunter et al. 2006) und die kognitive Aktivierung zugleich als Ergebnis eine gut vernetzte und transferfähige Wissensstruktur fördert (Frank 2020, 367; Lipowsky 2015, 90). Die so ausgebildete Wissensstruktur integriert sich in die Lebensweltlichkeiten der Lernenden und wird Teil dieser.

Um ein solches Ergebnis zu erreichen, müssen Lernende in ihrem Lernprozess verschiedene Phasen, wie sie in Abbildung 1 in der ersten Spalte dargestellt sind, durchlaufen. Dazu muss der Lerngegenstand unter anderem eine bewältigbare fachliche Herausforderung darstellen und sollte darüber hinaus in den Alltags- und Arbeitswelten der Lernenden verankert sein. Um diese Voraussetzungen erfüllen zu können, sind von der individuellen Perspektive der Schülerinnen und Schüler ausgehend Anforderungen an den Lerngegenstand geknüpft. Dieser muss Anknüpfungsmöglichkeiten an die eigenen Erfahrungen bieten und für dessen Bewälti-

gung bereits bekanntes Wissen und bereits erworbene Fertigkeiten eingesetzt werden können (Frank 2020, 371).

Die individuellen Biografien der Lernenden erfordern differenzierte Anknüpfungspunkte an den Lerngegenstand und verbieten daher einseitige Herangehensweise an denselben. Eine Kontextualisierung sollte eine multiperspektivische Betrachtung ermöglichen und beinhaltet immer lebensweltorientierte Kontexte der Schülerinnen und Schüler.

Diese Denkweise moderner beruflicher Bildung ist nicht nur erforderlich, um den komplexer werdenden kulturellen und wirtschaftlichen Verflechtungen gerecht zu werden (Reckwitz 2018; Weber 2015), auch die Lernenden selbst fordern zunehmend eine umfangreichere Betrachtung von Lerngegenständen ein. Die Ansprüche an Unterricht von Schülerinnen und Schülern gehen über die Vermittlung reinen Fachwissens hinaus: Die Jugendlichen werden deutlich wertorientierter, fordern vermehrt, Aspekte wie beispielsweise Nachhaltigkeit zu berücksichtigen, und sind bereit, eigene politische Interessen und Ansichten zu äußern und zu diskutieren (Albert et al. 2015, 97f., 103ff., 313f.). Der Wunsch vieler Jugendlicher, eine persönlich sinnvolle Erfüllung im beruflichen Handeln zu finden, zeigt sich zunehmend in den „Shell Jugendstudien“ ab 2015 (Schneekloth/Albert 2019; Albert et al. 2015, 77ff.). Daraus lässt sich nicht nur schließen, dass die ursprüngliche Forderung lebensweltorientierter Ansätze, die Lernenden als kompetente Interaktionspartner zu betrachten, deren Erfahrungen, Interessen und Ansichten als bedeutsam zu behandeln sind (Kaiser 1990), nach wie vor Bestand hat. Viel mehr wird dies immer offener von Lernenden selbst forciert. Diesem Anspruch nachzukommen, ist aus motivationalen Aspekten (Deci/Ryan 1993) sinnvoll. Aus dieser Perspektive äußert sich in der Einhaltung des Prinzips der Selbstbestimmung der zentrale Grundgedanke der lebensweltorientierten Bildungsformen. Darunter ist neben dem methodischen Ansatz offener Lernformen auch eine auf die Festlegung inhaltlicher Arbeitsschwerpunkte bezogene Selbstbestimmung und eine gesamtheitliche Betrachtung des Lerngegenstandes zu verstehen (Kaiser 1990).

An dieser Stelle ist herauszustellen, dass eine Lebensweltorientierung in der Unterrichtsplanung als ergänzender Aspekt zur kognitiven Aktivierung gesehen wird. Ohne im Widerspruch mit kognitionspsychologischen Argumenten zu stehen, kann die Lebensweltorientierung auch aus soziokultureller sowie motivationaler Sichtweise sinnvoll begründet werden und sollte daher fester Bestandteil von Unterrichtsplanungen werden.

Abbildung 1 stellt die sich ergebenden Anforderungen an die Aufbereitung des Lerngegenstandes dar. Damit die in der ersten Spalte dargestellte lernerseitige Wirkung der intendierten kognitiven Aktivierung erzielt werden kann, müssen dafür sowohl die dargelegten Anforderungen an den Lerngegenstand (zweite Spalte) als auch die Anforderungen an den Lernprozess (vierte Spalte) erfüllt werden. Um diesen Anforderungen im Rahmen der Entwicklung von Lehr- und Lernarrangements gerecht zu werden, bedarf es in der Unterrichtsplanung einer Analyse des Lerngegenstandes und der gegebenen (Lern-) Voraussetzungen (Abbildung 1, dritte Spalte), welche bei der Bewältigung der Lernaufgabe bedeutsam werden. Dazu zählen einerseits die Problemlösestrategien, welche die Schülerinnen und Schüler einbringen. Um

dies zu antizipieren und anlegen zu können, ist eine fachliche und didaktische Analyse des Lerngegenstandes notwendig.

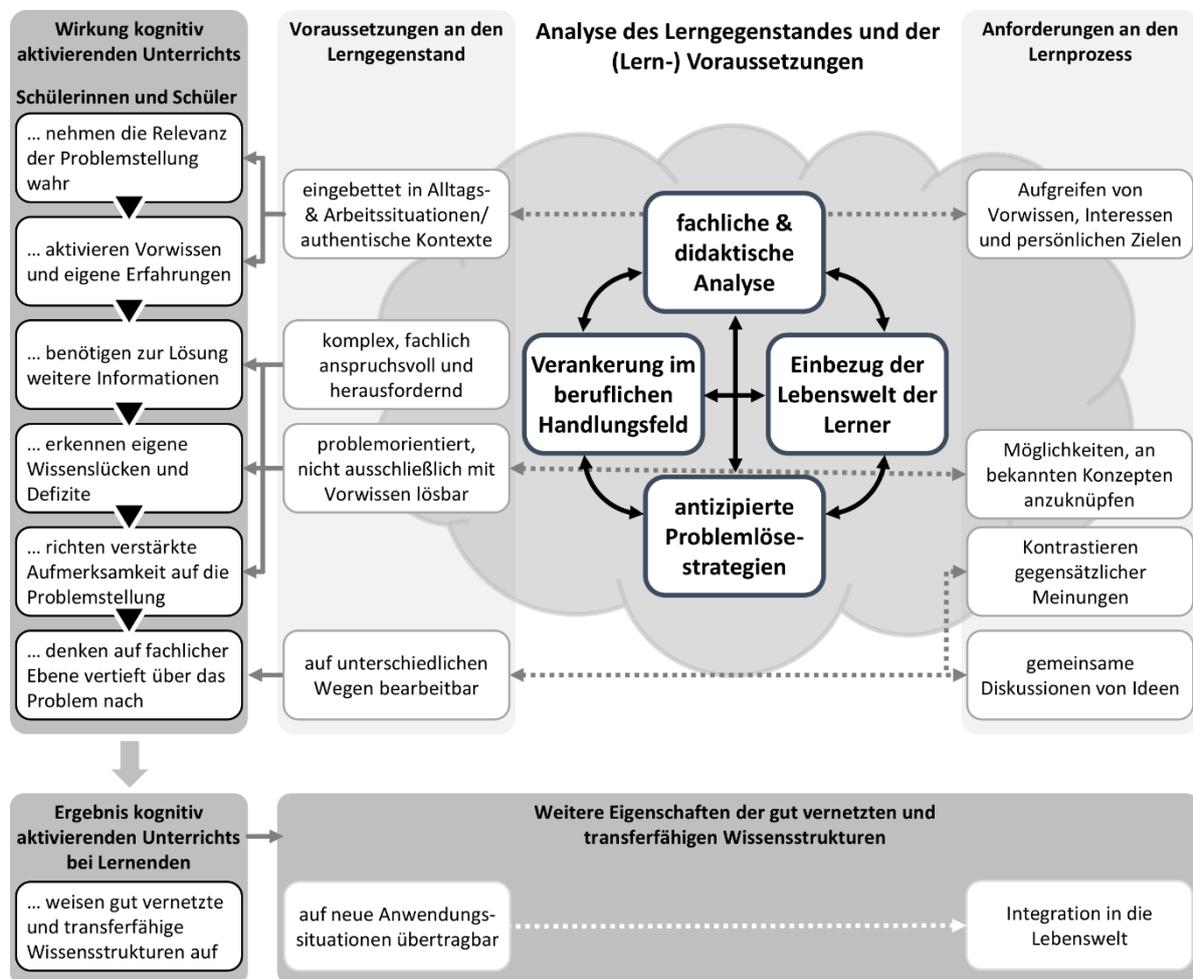


Abbildung 1: kognitiv aktivierend wirkender Unterricht nach Frank (2020, 370) als Ziel der Analyse des Lerngegenstandes (Abbildung bearbeitet und erweitert)

Andererseits sind im Kontext der Gestaltung gewerblich-technischen Unterrichts die beruflichen Handlungsfelder als Lebensweltbezug explizit hervorzuheben. Diese umfassen die Ausbildungserfahrungen, die Situationen in den Ausbildungsbetrieben sowie praktische Erfahrungen mit dem Lerngegenstand, welche einen entscheidenden Einfluss auf die Lernwirksamkeit des Unterrichtsvorhabens haben (Bröcher 1997). Darüber hinaus sind ebenso Lebensweltbezüge aufzugreifen, welche die Schülerinnen und Schüler bezüglich ihrer eigenen Biografie und Interessenslagen mitbringen, zum Beispiel private Aspekte wie Interessen, Hobbies und sozio-kulturelle Wertvorstellungen.

Die Analyse des Lerngegenstandes und der (Lern-) Voraussetzungen stellt ein interdependentes Geflecht der in der dritten Spalte in Abbildung 1 aufgeführten vier Faktoren dar. Diese sind im Rahmen der Unterrichtsplanung wechselseitig und aufeinander bezogen zu berücksichtigen, um die sich aus dem Ziel kognitiver Aktivierung von Schülerinnen und Schülern ergebenden Anforderungen zu erfüllen. Es stellt sich die Frage, wie Lehrende diesen komple-

xen Analyseprozess idealerweise umsetzen. Im Rahmen der Ansätze der Lebensweltorientierung werden hierzu nur bedingt konkrete Orientierungshilfen gegeben. Es ist daher davon auszugehen, dass Lehrende auf intuitive Heuristiken zurückgreifen. Der hier angesprochene Analyseprozess als Teil der Unterrichtsplanung ist bislang ein offenes Desiderat, weshalb es notwendig ist, sich vertiefend mit dem Planungsprozess von Unterricht auseinanderzusetzen.

## 2.2 Prozess der Unterrichtsplanung

Nachdem erläutert wurde, dass eine Lebensweltorientierung im Unterricht insbesondere aus der Sicht unterrichtlicher Qualitätsmerkmale sinnvoll ist, gilt es die Frage zu stellen, wie diese im unterrichtlichen Planungsprozess implementiert werden können.

Die Forschung zur Planung von Lehr-Lernsituationen wurde lange von der Entwicklung und Legitimation didaktischer Modelle dominiert. Unabhängig davon, welches didaktische Modell man im Detail betrachtet, sollen alle die Komplexität des Planungsprozesses verringern und handlungsweisend wirken. Didaktische Modelle spielen auch heute noch eine große Rolle und werden in der ersten und zweiten Phase der Lehrerbildung eingesetzt und vermittelt (Tebrügge 2001). Die Experten-Novizen-Forschung hat gezeigt, dass insbesondere Novizen Strukturierungs- und Orientierungshilfen suchen, wodurch sich die Fokussierung auf didaktische Modelle gut nachvollziehen lässt. Doch schon eine exemplarische Betrachtung des Berliner Modells der Didaktik (Heimann et al. 1965) zeigt eines der planerischen Probleme solcher Modelle: Die Interdependenz der verschiedenen Komponenten, die in der Planung zu berücksichtigen sind. Dadurch weisen die didaktischen Modelle strukturell dasselbe Problem auf, welches sich – wie in Abschnitt 2.1 beschrieben – für den erforderlichen Analyseschritt bezüglich des Lerngegenstandes und der Lernvoraussetzungen ergibt.

Das Problem ist ebenso aus der unterrichtspraktischen Erfahrung seit nunmehr vier Jahrzehnten bekannt. In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, dass erfahrene Lehrkräfte in der alltäglichen Unterrichtsplanung anerkannte didaktische Modelle ignorieren (Adl-Amini 1981; Engelhardt, von 1982; Geißler 1979; Müller-Fohrbrodt et al. 1978). Auch im wissenschaftlichen Diskurs haben die didaktischen Modelle an Bedeutsamkeit verloren. Eine der Ursachen für die geringe Relevanz in Bezug auf alltägliche Unterrichtsplanung offenbart die aktuelle Forschung zum real stattfindenden Planungsprozess von Lehrkräften. Dort zeigt sich eine eher linear verlaufende Unterrichtsplanung (Stender 2014), welche sich nur bedingt mit dem Interdependenzanspruch didaktischer Modelle vereinbaren lässt.

Wenn sich das Planungsverhalten von Lehrenden nicht mit didaktischen Modellen beschreiben und beeinflussen lässt, liegt es nahe, andere Konzeptualisierungen des Planungsprozesses heranzuziehen. Ein Ansatz dazu ist die Betrachtung des Planungsprozesses über Handlungsskripte. Handlungsskripte sind spezielle kognitive Schemata, die themen- bzw. situationsspezifische Abläufe repräsentieren (Schank/Abelson 1977). In diesem Fall beschreiben sie das Vorgehen bei einer Unterrichtsplanung.

Der aktuelle Stand der Forschung gibt deutliche Hinweise darauf, dass Handlungsskripte fach- und themenspezifisch sind (Stender 2014). Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es jedoch noch

keine empirischen Untersuchungen zu den Handlungsskripten der Unterrichtsplanung in gewerblich-technischen Fächern, sodass man sich lediglich auf Befunde aus den Naturwissenschaften beziehen kann. In den Fächern Biologie und Chemie folgt der Ablauf der Planung hauptsächlich den Schritten: (Fach-) Inhaltsfestlegung und Einstieg, Setzung der Lernziele und davon abhängig die Wahl der Methode und Sozialform (Haas 1998; Tebrügge 2001). Im Fach Physik wurde eine Häufung der Festlegung von Lernzielen vor der Definition von Inhalten insbesondere bei Studierenden und unerfahrenen Lehrkräften empirisch ermittelt (Stender 2014). Unabhängig davon, ob nun Experten oder Novizen betrachtet werden, ergibt sich ein Bild von aktuellen Planungsprozessen, in dem Schülerinnen und Schüler sowie deren Lebenswelten bestenfalls eine untergeordnete Rolle spielen.

Im Gegensatz zu den didaktischen Modellen ist die Betrachtung der Unterrichtsplanung über Handlungsskripte prozessbezogen und orientiert sich eher am realen Verhalten der Lehrkräfte. Es erscheint demzufolge sinnvoll, die Lehrkräfte in ihrem Planungsprozess an dieser Stelle so zu unterstützen, dass keine grundlegenden Änderungen bestehender Handlungsskripte erzwungen werden. Daher wurde ein prozessunterstützendes Werkzeug für die Analyse des Lerngegenstandes entwickelt.

### **3 Analyseprozess des Vorwissens innerhalb der Unterrichtsplanung**

Ziel dieses Abschnitts ist, die Teilprozesse der Unterrichtsplanung in den Fokus zu nehmen, deren Ergebnisse sowohl für die Ermöglichung einer kognitiven Aktivierung der Lernenden als auch für eine multiperspektivische Ausgestaltung der Lernaufgabe wesentlich sind. Hierbei handelt es sich um den Teilprozess der Lerngegenstandsanalyse, in dessen Rahmen die Lehrkraft die möglichen Vorwissensbestände betrachtet, welche zur Bewältigung der Lernaufgabe von Schülerinnen und Schülern herangezogen werden und als persönliche Einstiegs- und Anknüpfungspunkte dienen können.

An dieser Stelle sei noch einmal deutlich gemacht, dass hiermit keine Analyse des Vorwissens eines Lernenden gemeint ist, sondern die Analyse der mit dem Lerngegenstand verbundenen Wissensbestände. Die Kenntnis der Vielfalt dieser Wissensbestände ist essenziell, um Lernenden in Bezug zu ihrer jeweiligen Lebenswelt und ihren Vorerfahrungen möglichst vielfältige Einstiegs- und Anknüpfungspunkte anbieten zu können. Sind dem Lehrenden diese für einen bestimmten Lerngegenstand nur begrenzt bekannt, ist diese Grundanforderung einer lebensweltorientierten Didaktik nicht möglich.

Anstatt eines (weiteren) didaktischen Modells soll der Prozess der Analyse des Lerngegenstandes als systematische Vorgehensweise im Sinne eines Handlungsskriptes beschrieben und als handlungsweisende Unterstützung für Lehrende aufbereitet werden.

Die Autoren schlagen dazu ein an die Methode der Kognitiven Aufgabenanalyse (*cognitive task analysis*, CTA) angelehntes Vorgehen vor. Hierfür wird zunächst das Konzept und die Grundannahmen der CTA vorgestellt, ein Vertreter dieser Methodenfamilie ausgewählt und näher erläutert, um diesen schließlich auf den Unterrichtsplanungsprozess anzupassen. Danach wird ein Analyseraster für Wissensinhalte aus dem gewerblich-technischen Bereich

vorgelegt, welches als Arbeitsmittel die Grundlage für die Analyse und ebenso eine Vorlage für die Dokumentation der Ergebnisse darstellt.

### 3.1 Kognitive Aufgabenanalyse (CTA)

Als Kognitive Aufgabenanalyse (CTA) wird eine Familie qualitativer Forschungsmethoden bezeichnet, bei der kognitive Prozesse zur Bewältigung einer spezifischen Aufgabe erhoben werden. Die untersuchten Aufgaben sind in der Regel komplex, kognitiv anspruchsvoll oder erfordern ad hoc bzw. strategische Entscheidungen und Beurteilungen (Schraagen et al. 2000).

Grundannahme der CTA ist, dass sich durch geeignete Verfahren benötigte Wissensbestände für die Lösung einer spezifischen Aufgabe herausarbeiten und erfassen lassen (Yates/Clark 2012), sowohl bezüglich deklarativen als auch des prozeduralen Wissens (Clark et al. 2008). Dies schließt auch implizites Wissen mit ein, wie zum Beispiel komplexere Fertigkeiten und Problemlösestrategien (Clark et al. 2008; Klein/Militello 2001). Dazu stehen eine Reihe qualitativer Erhebungsverfahren zur Verfügung. So werden im Rahmen einer CTA beispielsweise Analysen von Dokumenten aus den dazugehörigen Arbeitsprozessen, systematische Beobachtungen oder (strukturierte) Interviews mit praktizierenden Experten (Militello/Hutton 1998) durchgeführt.

Als Forschungsmethode ist die CTA bereits etabliert und wird unter anderem in der Professionsforschung für Lehrende (Clark et al. 2012; Sullivan et al. 2014), der Evaluation von Lernprogrammen (Luker et al. 2008; Seamster et al. 2017) oder für Usability-Studien von Bedienoberflächen (Schraagen et al. 2000) in unterschiedlichsten Variationen eingesetzt.

#### 3.1.1 Ablauf einer Angewandten CTA nach Militello und Hutton

Aus unterrichtsplanerischer Sicht stellt eine CTA somit grundsätzlich einen geeigneten Ansatz für den Prozess der Analyse des mit dem Lerngegenstand bzw. der Lernaufgabe verknüpften Wissens dar. Jedoch unterscheidet sich die Gestaltung Kognitiver Aufgabenanalysen je nach Fragestellung und vorhandenen Ressourcen des jeweiligen Untersuchungsgegenstandes stark.

Ein für die Adaption an den Prozess der Unterrichtsplanung geeignetes CTA-Verfahren sollte einerseits auf eine Methode zurückgreifen, die einen vergleichsweise geringen Ressourceneinsatz benötigen. Darüber hinaus sollte das Verfahren hinsichtlich der Durchführung konkret beschrieben sein. Die Angewandte CTA (*applied cognitive task analysis*, A-CTA) nach Militello und Hutton (1998) erfüllt diese Voraussetzungen. Sie gliedert sich in vier Schritte: 1. Beschreibung der Aufgabe, 2. Wissens-Audit, 3. Situiertes Interview und 4. Darstellung kognitiver Anforderungen. (Militello/Hutton 1998, 1620ff.) Diese werden nachfolgend anhand von Abbildung 2 erläutert.

Als Ressource setzt die A-CTA als Forschungsmethode somit Fach-Experten voraus, die als Gesprächspartner und Informanten dem Forschenden zur Verfügung stehen. In einem ersten Schritt werden im Gespräch übliche Prozesse erfragt, in denen es zu einer herausfordernden

Problemstellung kommt oder nicht triviale Entscheidungen zu treffen sind. Diese werden in Zusammenarbeit mit dem Gesprächspartner zunächst auf der Handlungsebene ausgewählt, strukturiert und ggf. gegliedert. Als Ergebnis des ersten Schrittes liegt die ausgewählte Aufgabe als eine Abfolge zu lösender Teilprobleme und denen damit verbundenen Lösungsoptionen vor.

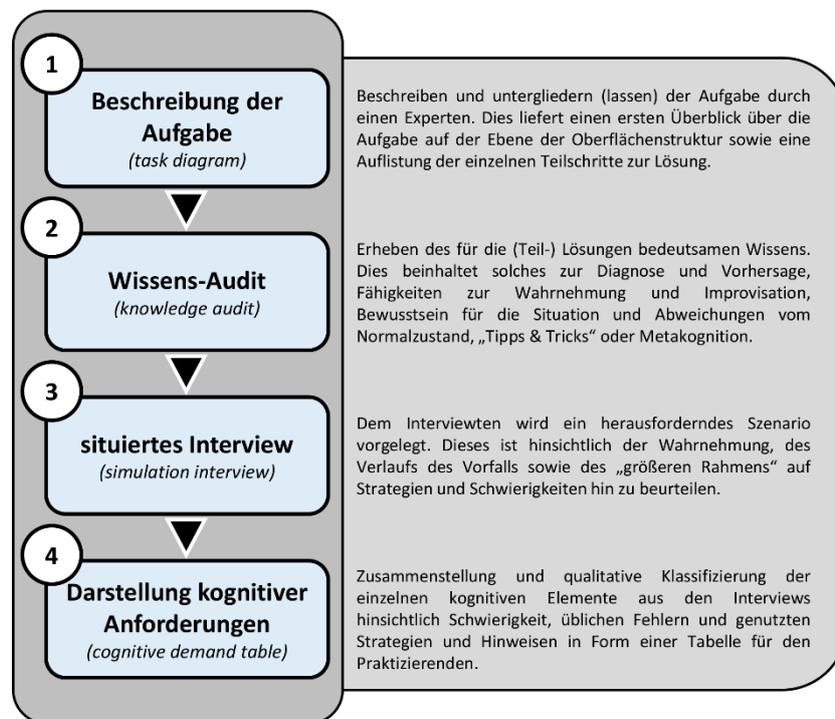


Abbildung 2: Ablauf einer A-CTA nach Militello und Hutton (1998, 1620ff.)

In einem zweiten Schritt wird im Detail das in den Teilproblemen bedeutsame Wissen vom Informanten erfragt: Welche Heuristiken zieht dieser für Diagnosen oder Vorhersagen heran. Dies zielt nicht allein auf reines „Lehrbuchwissen“ ab, sondern beinhaltet im Besonderen auch Wahrnehmungen, Situationsbewusstsein und mögliche (erlebte) Abweichungen vom „Normalzustand“ des gegebenen Teilproblems. Ergebnis dieses Schrittes ist eine Ansammlung von Wissensbeständen, auf die der Experte bei der Bewältigung der einzelnen Teilprobleme jeweils zugreift.

In einem dritten Schritt wird dem Experten ein herausforderndes Szenario vorgelegt und nach dessen Einschätzung der Situation gefragt. Diese Szenarien können dabei aus den Schritten 1 und 2 gewonnen oder aus Erfahrung als problematisch eingeschätzt worden sein. Bei diesem Interview geht es darum, auch den größeren Rahmen der Situation und die Tragweite der einzelnen Entscheidungen zu erfassen.

Im letzten Schritt sind die gewonnenen kognitiven Anforderungen qualitativ zu klassifizieren und in einer geeigneten Form zu dokumentieren. Militello und Hutton (1998) schlagen zu diesem Zweck eine Tabelle vor, welche neben dem Wissen auch Schwierigkeiten, mögliche Feh-

ler und zur Einschätzung der Situation beitragende Hinweise enthält. Diese Übersicht wird mit dem Informanten besprochen und ggf. durch diesen ergänzt.

Es ist sofort einsichtig, dass derart umfangreiche Experten-Interviews mit Auswertungen im Rahmen einer Unterrichtsplanung keineswegs praktikabel erscheinen und bei Lehrenden nur bedingt auf Akzeptanz stoßen wird. Daher wird im nächsten Schritt das Vorgehen der A-CTA für die Unterrichtsplanung adaptiert und in ein praxistaugliches Handlungsskript überführt.

### 3.1.2 Transfer der A-CTA auf Unterrichtsplanungsprozesse

Wenngleich eine CTA generell nicht im Sinne eines Selbstreports (Yates/Clark 2012, 1; Yates 2007, 109) ausgeführt wird, kann im Kontext der Unterrichtsplanung durchaus auf die Einbindung eines externen (Fach-) Experten verzichtet werden. In der Regel ist die Lehrkraft in der Lage, sowohl die entscheidenden didaktischen Fragen zu stellen als auch fachwissenschaftlich ausgebildet aufzutreten und die Lösungsprozesse aus einer „Außensicht“ heraus zu beschreiben.

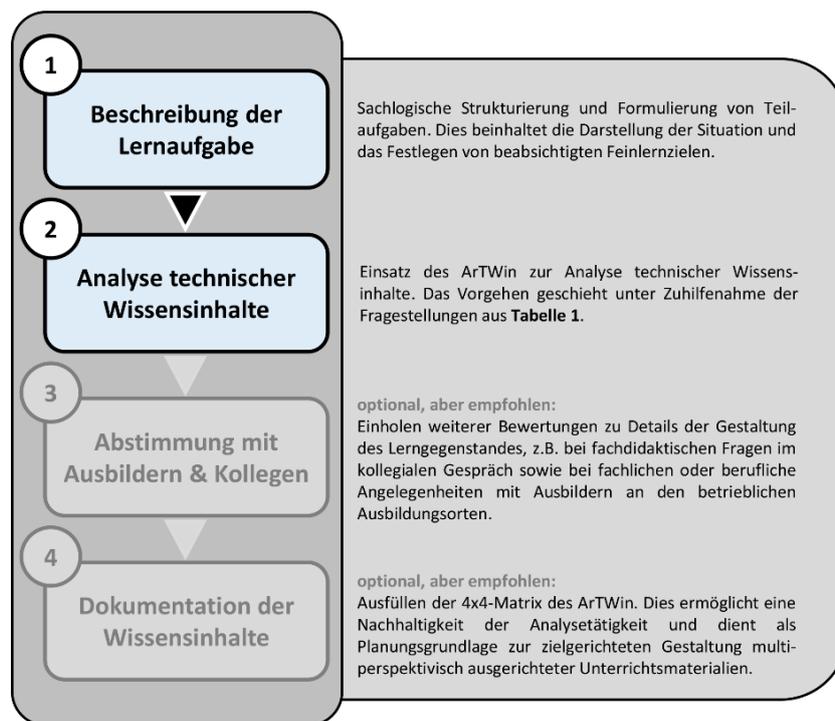


Abbildung 3: Für die Unterrichtsplanung adaptierte Kognitive Aufgabenanalyse

Für den Planungsprozess gehen die Autoren davon aus, dass der Lehrende bereits in Einklang mit den Rahmenlehrplänen der KMK (2018) oder einer didaktischen Jahresplanung eine profunde Vorstellung davon erlangt hat, mit welcher Art von technischer Problemstellung welche Fähigkeiten bei den Schülerinnen und Schülern ausgebildet werden sollen. Auf dieser Grundlage wurde bereits der Lerngegenstand ausgewählt: Im Kontext gewerblich-technischer Unterrichtsplanung kommen dafür sowohl komplexe Projekte, einzelne Arbeitsschritte als auch die Arbeit mit Repräsentationen in Frage, beispielsweise die Inspektion einer einzelnen Abbildung oder Gleichung.

Lehrenden ist es mit ihrem vorliegenden Expertenwissen möglich, eine grundsätzliche Beschreibung und sachlogische Zerlegung dieser Lernaufgabe ohne weitere Probleme vorzunehmen. Diese inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand entspricht dem ersten Schritt in der A-CTA. Ergebnisse dieser Teilaufgaben-Beschreibung im Kontext des Unterrichtsplanungsprozesses sind Lernzielformulierungen und Beschreibungen von (Lern-) Handlungen, die als Arbeitsaufgabe mithilfe eines didaktischen Operators und eines konkreten Objektes formuliert werden.

Im zweiten Schritt werden durch die Lehrkraft sämtliche Wissensbestände erhoben, die mit der Bewältigung der (Teil-) Lernaufgabe aktiviert oder erworben werden können bzw. müssen. Dies sind Wissensbestände, welche im Kontext der jeweiligen Aufgabe notwendig werden, wie beispielsweise bei einer Fehlerdiagnose, dem Wahrnehmen und Einschätzen von betrieblichen Situationen, der Voraussage und Erkennen von Anomalien im Betriebsablauf oder beim Improvisieren. Von der Lehrkraft wird an dieser Stelle verlangt, von den eigenen Lernzielvorstellungen zurückzutreten und einen multiperspektivischen Blick auf den Lerngegenstand einzunehmen. Dabei sollten speziell für den gewerblich-technischen Bereich folgende Fragestellungen die Analyse anleiten, welche sich aus dem Diskurs des Technischen Wissens ergeben (Vincenti 1990, 200ff.; Dasgupta 1996, 150ff.; Faulkner 1998, 176ff.; Ropohl 1997, 1998, 2009, 208ff.; Vries, de 2003, 2005; Compton 2004; Wiemer 2018, 148ff.):

Tabelle 1: Aspekte technischen Wissens und daraus abgeleitete Fragestellungen

<b>Aspekt technischen Wissens</b>	<b>praxisrelevante Fragestellungen</b>
technologisches Gesetzeswissen (Ropohl)	Welche (naturwissenschaftlichen) Prinzipien, Kenngrößen und Verfahren sind für das Problem bedeutsam?
Struktureles Regelwissen (Ropohl)	Aus welchen Komponenten besteht mein System, wie sind diese angeordnet und in welcher Weise wirken diese zusammen? Welche Effekte haben Abweichungen von der Normalkonfiguration?
Funktionales Regelwissen (Ropohl)	Wie bediene ich das System, welche Eingabe und Ausgabe kann ich erwarten? Welches Arbeitsmittel ist das passende für mein Problem, und wie gehe ich dabei am besten vor?
Technisches Know-How (Ropohl/Compton)	Wie führe ich handwerkliche Tätigkeiten aus?
Sozio-technologisches Wissen (Ropohl)	Welche Folgen hat mein Handeln auf Mensch und Umwelt? Welche wirtschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen muss ich bei meinem Handeln beachten und einhalten?
Ressourcen-Wissen (Compton)	Welche Ressourcen stehen mir zur Verfügung? Welche Werkzeuge kommen (üblicherweise) zum Einsatz? Wo bzw. bei wem finde ich Hilfe und weitere Informationen?

Die Multiperspektivität, die durch die weitgehende Beantwortung des Fragekatalogs erreicht wird, umfasst theoretische, schulisch vermittelte Inhalte, allgemein-betriebliche bzw. alltägliche Erfahrungen als auch technische Wissensbestände. Eine Berücksichtigung dieser Viel-

schichtigkeit bietet Lehrenden die Möglichkeit, Schülerinnen und Schülern unterschiedlichste Anknüpfungspunkte zu gestalten, sodass die eigenen Lebenswelten im Lerngegenstand aufgegriffen werden. Als formales Werkzeug hierfür kann das im nächsten Abschnitt näher beschriebene Analyseraster für Technische Wissensinhalte (ArTWin) eingesetzt werden. Hierdurch wird abgesichert, dass möglichst alle Aspekte des Lerngegenstandes beschrieben werden und gleichzeitig wird idealerweise vermieden, dass der Lehrende aus der Perspektive seiner eigenen Lebens- und Erfahrungswelt vorzeitig Einschränkungen vornimmt.

Es bietet sich in Anlehnung an den dritten Schritt der A-CTA an, die vorgenommene Analyse des Lerngegenstandes mit Ausbildern bzw. Kollegen zu besprechen und zu evaluieren. Hierbei können im Sinne der situierten Interviews nach Militello & Hutton (1998) anhand herausfordernder Entscheidungswege die einzelnen, vom Lernenden zu erwerbenden Fertigkeiten bzw. zu erarbeitende Begründungszusammenhänge herausgearbeitet werden. Dieser Schritt ist dabei optional, jedoch im Sinne einer kooperativen Lehrtätigkeit ausdrücklich erwünscht.

Die im vierten Schritt ebenso optionale Dokumentation der bedeutsamen kognitiven Anforderungen kann in Form der 4x4-Tabelle des Analyserasters (siehe Abbildung 4) geschehen, welche sowohl Hinweise auf die inhaltliche Domäne als auch mögliche Vermittlungsansätze der Wissensinhalte bereitstellt. Dieses Raster wird im nächsten Abschnitt theoretisch beschrieben und daraufhin aus Sicht der Anwendung erläutert.

### **3.2 Analyseraster Technischer Wissensinhalte (ArTWin)**

Nachdem der grundsätzliche Analyseprozess beschrieben worden ist, soll sich der speziell technik-didaktischen Dimension zugewendet werden. Im vorangegangenen Abschnitt wurden in Tabelle 1 bereits technik-spezifische Leitfragen für die inhaltliche Bewältigung der Analyse vorgestellt. Um Lernwege, Schwierigkeiten oder pädagogische Maßnahmen ableiten zu können, sind die Wissensbestände jedoch nicht nur nach inhaltlichen, sondern auch nach lernpsychologischen Aspekten einzuordnen.

Dazu wird das für die Schritte 2 bis 4 das vorgeschlagene Analyseraster Technischer Wissensinhalte (ArTWin) als Ableitung aus dem Modell Technikdidaktischen Wissens (Erlebach/Frank in Vorbereitung) vorgestellt und theoretisch begründet. Anschließend wird dessen Nutzung als Analyseraster im Hinblick auf bekannte Konzepte wie beispielsweise didaktische Operatoren und Anforderungsbereiche dargestellt.

#### *3.2.1 Modell Technikdidaktischen Wissens als Grundlage des Analyserasters*

Das Modell Technikdidaktischen Wissens (Erlebach/Frank in Vorbereitung) gestaltet sich als eine Tabelle aus vier Spalten und vier Zeilen, wobei sich in den Spalten das Wissen inhaltsorientiert (Sachwissen, Handlungswissen sowie technisches Artefaktwissen) und in den Zeilen lernpsychologisch orientiert (deklaratives, prozedurales und konzeptuelles Wissen) anordnet. In Abbildung 4 ist das Modell dargestellt und wird im Folgenden schrittweise erklärt.

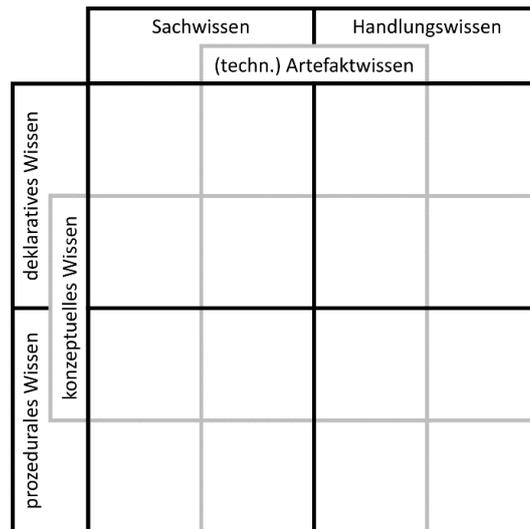


Abbildung 4: Das Modell Technikdidaktischen Wissens (Erlebach/Frank in Vorbereitung) als Analyseraster

Grundsätzlich baut das Modell auf der aus der Psychologie komplexer Problemlösungen entstammenden Unterscheidung in einen inhaltlichen sowie einen lernpsychologischen Aspekt von Wissen (Süß 1996, 2008) auf:

- Inhaltlich gliedert sich Wissen in Handlungs- und Sachwissen (Wittmann et al. 1996). Sachwissen beschreibt das Wissen über die Welt, während Handlungswissen das Wissen über eigene Handlungen oder Handlungsoptionen darstellt, mit denen Veränderungen in der Umwelt bewirkt werden können. Handlungswissen ist oft an konkrete Situationen gebunden und somit kontextabhängig, Sachwissen liegt hingegen in generalisierter Form vor, wie z.B. als Naturgesetz.
- Lernpsychologisch ist zwischen Kennen und Können, d.h. zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen (Anderson/Lebiere 1998 o. ä.), zu unterscheiden. Dieses Wissen kann sich sowohl auf Sach- als auch auf Handlungsaspekte beziehen.

Tabelle 2: Wissensmodell nach Süß (1996, 66)

	<b>Sachwissen</b>	<b>Handlungswissen</b>
<b>deklaratives Wissen</b>	deklaratives Sachwissen (z.B. Variablenwissen, Relationswissen, Wissen über Eigenschaften)	deklaratives Handlungswissen (z.B. Strategien, Heuristiken)
<b>prozedurales Wissen</b>	prozedurales Sachwissen	prozedurales Handlungswissen

Damit ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten vier Wissensarten des deklarativen und prozeduralen Sach- sowie deklarativen und prozeduralen Handlungswissens (Süß 1996, 64ff.; Wittmann et al. 1996). Die psychologische Vorhersage aus der Problemlöseforschung, dass die Möglichkeit einer Transformation von einer Wissensart in eine andere besteht, ließ sich empirisch bestätigen (Süß 2008, 259ff.). Beispielsweise ist eine Überführung gesammelter Erfahrungen (deklaratives Handlungswissen) in eine generelle Erkenntnis über die Wirkweise des bedienten Systems (deklaratives Sachwissen) möglich, jedoch stets mit zusätzlichen kognitiven Transferleistungen verbunden.

In weiterer Auseinandersetzung mit dem Wissensdiskurs (Erlebach/Frank in Vorbereitung) ist das Modell auf der lernpsychologischen Ebene um konzeptionelles Wissen erweitert worden: Konzeptionelles Wissen lässt sich dabei auf deklaratives (Compton 2004; McCormick 1997; Renkl 1996) als auch auf prozedurales (Jong, de/Ferguson-Hessler 1996; Renkl 2009) Wissen beziehen. Somit ergibt sich rein-deklaratives, konzeptuell-deklaratives, konzeptuell-prozedurales und rein-prozedurales Wissen. Eine genauere Erläuterung dieser Operationalisierung findet im Abschnitt 3.2.2 statt.

Bezüglich des inhaltlichen Aspekts wurde das Modell um einen technikspezifischen Bereich ergänzt. In Anlehnung an das Technikverständnis von Ropohl (2009, 29ff.), Arthur (2011, 45ff.) und Wolffgramm (2012, 31) wird technisches Wissen in dem Modell als Wissen verstanden, das sich auf ein Artefakt (oder eine Klasse von Artefakten) bezieht z.B. Werkzeuge, Halbzeuge oder ganze Produkte. Als Artefakt werden hierbei alle durch Menschen hergestellten, dinglichen Gegenstände verstanden.

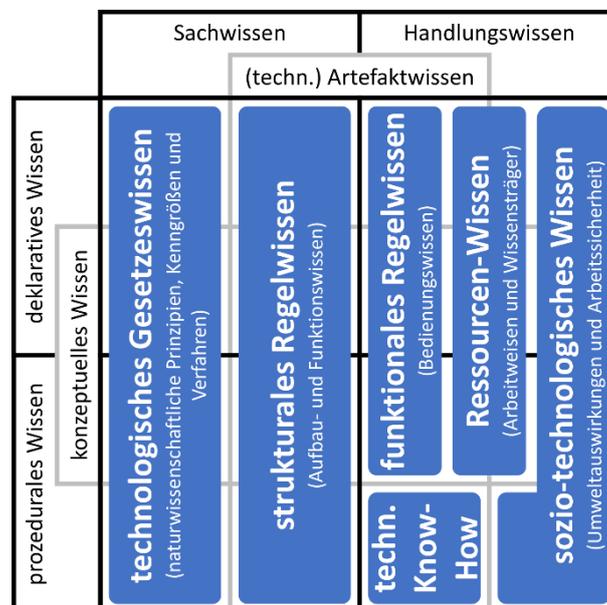


Abbildung 5: Zuordnung Aspekte technischen Wissens aus den Fragestellungen aus Tabelle 1 zu den einzelnen Bereichen

Technikspezifisches Wissen kann sich somit im Sinne des vorgestellten Modells als Sachwissen auf das eigentliche Sachsystem beziehen, das heißt auf dessen Aufbau- und Funktionsge-

füge als auch auf den intentionalen Umgang mit diesem. Letzteres schließt als technisches Handlungswissen neben der Nutzung auch die Erschaffung, Umnutzung, Zweckentfremdung oder Entsorgung mit ein. Diese Unterteilung geht mit der Struktur technischen Wissens einher: strukturelles Regelwissen auf der technik-spezifischen Sachwissenseite, funktionales Regelwissen und technisches Know-How auf der Handlungswissenseite. Technologisches Gesetzeswissen, das sich an naturwissenschaftlichen Inhalten und Methoden orientiert, ist hingegen nicht Teil technischen Artefaktwissens und deshalb als technik-fernes Sachwissen in dem Modell vorzufinden. Handlungsanleitendes sozio-technologisches Wissen und Ressourcenwissen sind ebenfalls keine Teilmengen technischen Artefaktwissens und ordnen sich nach dem Modell als technik-fernes Handlungswissen ein.

Das Modell erfasst somit technisches Wissen im engeren Sinne als auch für Technik bedeutsames Wissen aus Bezugswissenschaften sowie der Arbeits- und Lebenswelt und vermag daher, die einzelnen Aspekte des technischen Wissens aus Tabelle 1 aufzunehmen. Abbildung 5 stellt diese Zuordnung dar.

### *3.2.2 Vorgehensweise zur Nutzung als Analyseraster*

Das zuvor dargestellte Modell wird im Folgenden als Analyseraster Technischer Wissensinhalte (ArTWin) genutzt und im Rahmen der Schritte 2 bis 4 des im Abschnitt 3.1.2 dargestellten kognitiven Analyseprozesses eingesetzt. Wir gehen davon aus, dass Schritt 1 bereits erledigt ist und eine Lernaufgabe oder Lernsituation vorliegt. Ziel ist es, mithilfe u. a. der Leitfragen aus Tabelle 1 für die Aufgabe notwendiges und zum tieferen Verständnis hilfreiches Wissen zu ermitteln.

Bei der Anwendung des Analyserasters ArTWin zeichnen sich die beiden Ebenen in Form von zwei voneinander getrennten Entscheidungsschritten ab: jeweils ein Entscheidungsschritt bezüglich der inhaltlichen und der lernpsychologischen Ebene des Rasters.

## Analyse einer Lernsituation mithilfe des ArtWin...

...auf inhaltlicher Ebene:

Bezieht sich das Wissen auf die (objektive) Welt...  
→ Spalten A und B ■

... oder handlungsanleitend auf (eigene) Gestaltungsmöglichkeiten?  
→ Spalten C und D ■

Bezieht sich dieses Wissen auf ein Halbzeug, Werkzeug oder Produkt?  
→ Spalte B oder C ▨

...auf lernpsychologischer Ebene:

Handelt es sich um Einzelfakten?  
→ Zeile 1 ■

Sind es Zusammenhänge oder faktenbasierte Konzepte?  
→ Zeile 2 ■

Sind es Zusammenhänge von Routinen und Fakten?  
→ Zeile 3 ■

Handelt es sich um automatisierte Routinen?  
→ Zeile 4 ■

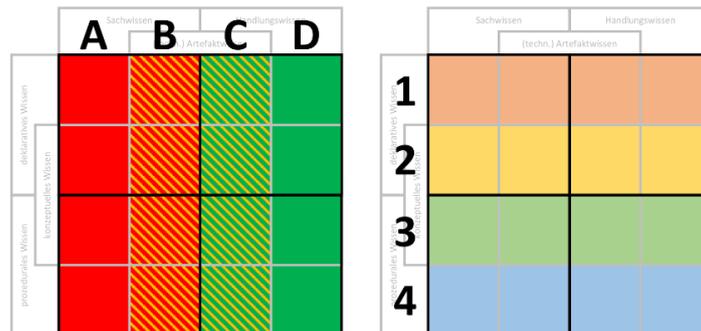


Abbildung 6: Vorgehen zur Analyse mithilfe des ArtWin

In der *inhaltlichen Ebene* (Abbildung 6 links) ist dabei zu entscheiden, ob es sich um Sach- oder um Handlungswissen handelt, das heißt ob es Wissen über die objektive Welt, so wie diese ist, darstellt oder ob es sich um Wissen handelt, auf welche Weise man die Welt verändert und sich selbst einbringen kann. Die Aufteilung findet sich in dem Analyseraster in den beiden linken oder den beiden rechten Spalten.

In einem zweiten Schritt ist dann zu entscheiden, ob sich das Wissen auf ein Artefakt – ein Werkzeug, ein Werkstück oder ein Produkt – bezieht und es sich damit um technisches Wissen im engeren Sinne handelt. Dabei kann es sich um Wissen über ein Artefakt oder Wissen über den Umgang mit einem solchen handeln, d.h. artefakt-spezifisches Sach- oder Handlungswissen. Als solches findet es sich in einer beiden mittleren Spalten wieder.

Die Entscheidungsfindung auf der *lernpsychologischen Ebene* (Abbildung 6 rechts) lässt sich hingegen an der Art der didaktischen Operatoren ausrichten. Rein-deklarativem Faktenwissen sind dabei die Operatoren der Aufzählung und Nennung zugeordnet. Operatoren, die konzeptuelle Zusammenhänge einfordern, wie beispielsweise das Begründen, Erläutern oder Darstellen, verorten das Wissen auf konzeptuell-deklarativer Ebene und damit in der zweiten Zeile des ArtWin. Begründen oder Erläutern von Handlungsabfolgen und Lösungsstrategien, sowie Planungs- und Reflektionsaktivitäten bezüglich eigener Vorgehensweisen stellen im Gegensatz dazu konzeptuell-prozedurale Wissensinhalte dar, die in die darunterliegende Zeile einzuordnen sind. Schließlich finden sich in der vierten Zeile alle rein-prozeduralen (und meist impliziten) Wissensinhalte, die zur ausschließlichen Durch- und Ausführung notwendig sind (siehe Abbildung 7).

Die Frage, in welcher Reihenfolge die beiden Ebenen aus Abbildung 6 zu bearbeiten und entscheiden sind, ist dabei unerheblich. Aus der empirischen Beforschung der Unterrichtsplanungskompetenz ist bekannt, dass sich Novizen bevorzugt am (eigenen) Inhaltswissen, Experten an lernpsychologischen Aspekten eines Lerngegenstandes orientieren (Westerman 1991). Insofern vermeidet es das Modell, dem anwendenden Lehrenden eine der beiden Entscheidungsabfolgen vorzuschreiben.

Grundsätzlich lassen sich zu einer gegebenen Aufgabe aus dem gewerblich-technischen Bereich die meisten, in einigen Fällen sogar sämtlich der 16 Felder des Analyserasters mit assoziierbarem und aktivierbarem Vorwissen befüllen. Diese unterschiedlichen Wissensinhalte setzen sich dabei aufgrund der Vielschichtigkeit technischen Wissens aus unterschiedlichsten Domänen und Handlungsfeldern (Naturwissenschaften, technische Handlungen, betriebliche Abläufe, Alltagserfahrungen und Interessen) zusammen und bieten multiple Perspektiven auf die gestellte Aufgabe (siehe Abbildung 6). Diese Vielschichtigkeit und Multiperspektivität bietet dem Lehrenden, differenzierte Zugangs- und Anknüpfungspunkte zu gestalten und die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler explizit einzubinden.

Die differenzierte Betrachtung des Vorwissens und die Identifikation der vielfältigen kognitiven Zugänge zu dem Lerngegenstand ermöglicht darüber hinaus, lernerorientiert Schwierigkeitsmerkmale zu identifizieren und Herausforderungen zu antizipieren. Bei Schülerinnen und Schülern, die beispielsweise mit stark handlungsbezogenem Vorwissen an den Lerngegenstand herantreten, stellen für die Lösung eines gegebenen technischen Problems bedeutsame sachwissensorientierte Wissensinhalte eine wesentliche Lernherausforderung dar. Für Lernende ohne berufliche Vorerfahrungen, aber im schulischen Kontext erworbenen sachwissensorientierten Vorwissen hingegen liegt der Schwerpunkt auf dem Erwerb praktischer Handlungsrountinen. Das Analyseraster zeigt dadurch mögliche Wege auf, durch den Transfer – sei es in horizontaler oder vertikaler Richtung im Modell – kognitives Wachstum durch unterstützende Maßnahmen gezielt zu fördern.

Darüber hinaus leistet das Analyseraster noch mehr: Da Vorwissen als Grundlage zur Bewältigung von didaktisch aufbereiteten (Teil-) Aufgaben anzusehen ist, gibt die vertikale Position eines Wissensinhalts im Analyseraster über die zugeordneten Operatoren ebenso einen Hinweis auf den Anforderungsbereich einer mit diesem Wissen verknüpften Teilaufgabe (siehe Abbildung 7). Dabei ist rein-deklaratives Wissen allein nur für Aufgabenstellungen des Anforderungsbereich I bedeutsam. Konzeptuell-deklarativ und konzeptuell-prozedurales Wissen hingegen ermöglichen Aufgabenstellungen des Anforderungsbereichs II, wenn die Problemstellung weitgehend bekannt, oder gar des Anforderungsbereichs III, wenn bekanntes Wissen auf unbekannte, neuartige Probleme zu übertragen ist. Für rein-prozedurale, d.h. weitgehend automatisierte oder sensomotorische Tätigkeiten, existieren darüber hinaus keine Anforderungsbereiche (vgl. mit der Sportdidaktik: Kurz (2010, 68) oder das Sportcurriculum des Niedersächsischen Kultusministeriums (2018)).

## Die Schülerinnen und Schüler...

		Sachwissen		Handlungswissen		Anforderungsbereich:
		(techn.) Artefaktwissen				
nennen / zählen auf / geben wieder / beschreiben / dokumentieren	deklaratives Wissen	Werte, Formeln	Bauteile, Funktion, Anordnung	Bedienungs- abfolge, Eingabe- möglichkeit	Gesetze, Sicherheits- regeln	I
erklären / erläutern / begründen		konzeptuelles Wissen	Zusammen- hänge, Modelle	Funktion v. Baugruppen, Normkon- figuration	Vorgehen bei der Bedienung	Umsetzung von Sicherheits- regeln
planen / entwickeln / beurteilen / berechnen	prozedurales Wissen		math. Modelle (Formeln)	Funktions- fähigkeit, Arbeits- parameter	Arbeitspläne, Bedienungs- anleitungen	Gefahren- und Sicherheits- beurteilung
demonstrieren / führen aus			math. Rechen- operationen	Diagnose, Fehlersuche Beurteilung	Arbeits- auftrag	Erste Hilfe- Maßnahmen

Abbildung 7: Häufig verwendete didaktische Operatoren, Lernaktivitäten und zugeordnete Anforderungsbereiche im ArTWin

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Arbeit mit den für Prüfungszwecke entwickelten Anforderungsbereichen durchaus gängige Unterrichtspraxis darstellen, dieses Vorgehen aber in einem unauflösbaren Konflikt mit dem lebensweltorientierten Ansatz steht: Die Beurteilung der Aufgabenschwierigkeit (einzig) aufgrund einer Zuordnung des verwendeten Operators zu einem der drei normativen Anforderungsbereiche berücksichtigt nicht individuelle Schwierigkeiten eines Schülers bzw. einer Schülerin. Eine solche Berücksichtigung wäre zumindest notwendig, wenn es gilt, bereits vorhandenes Vorwissen der jeweils einzelnen Schülerinnen und Schüler und den (vermutlich) einzuschlagenden Lernpfad in die eigene Unterrichtsplanung einzubeziehen. Im nächsten Abschnitt wird dieser Sachverhalt exemplarisch anhand konkreter Schülerpersönlichkeiten verdeutlicht.

## 4 Anwendung am Fallbeispiel „Getriebedichtung“

Die Anwendung des Analysetools ArTWin im Rahmen des im Abschnitt 3 skizzierten Handlungsskriptes zur Unterrichtsplanung soll im Folgenden am Fallbeispiel einer Lernaufgabe zum Thema Fügen durch Kleben (Abbildung 8) illustriert werden. Dabei zeigen wir an drei exemplarischen Schülerpersönlichkeiten auf, wie dieses Modell dabei helfen kann, lebensweltliche Anknüpfungspunkte zu identifizieren und im Klassenraum nutzbar zu machen.

Diese Aufgabe ist im 1. Lehrjahr eines Bildungsganges für Industriemechaniker im Lernfeld 3 entsprechend des Rahmenlehrplans der KMK (2018, 11) angesiedelt. Die Schülerinnen und Schüler sind mit Teil-, Gruppen- und Gesamtzeichnungen, Anordnungsplänen sowie technischen Informationsquellen bereits grundlegend vertraut und können Funktionsbeschreibungen, Stücklisten sowie Arbeits- und Montagepläne erstellen. Sie kennen die Grundlagen des kraft-, form- und stoffschlüssigen Fügens sowie die für die Metalltechnik üblichen Werkzeuge und Vorrichtungen dafür.

**Situation:**

Ihr Unternehmen produziert zweiteilige Getriebegehäuse im Gussverfahren. Der Kunde Scholl GmbH fertigt die weiteren Teile des Getriebes und übernimmt auch die Montage. Bislang wurde zur Abdichtung eine Fugendichtung auf Kunststoffbasis verwendet. Moderne Getriebeöle sind jedoch zunehmend in der Lage, diese Dichtungen zu unterlaufen und aus dem Gehäuse auszutreten. Die Scholl GmbH hat daher entschieden, auf eine silikonbasierende Klebedichtung auszuweichen. Bei handgefertigten Prototypen konnte die Klebedichtung erfolgreich verwendet werden. Die beiden Gehäuseteile wurden optimal verklebt und es konnte kein Getriebeöl austreten. Seit das Gehäuse in Serie produziert wird, gibt es jedoch starke Probleme mit der Verklebung. Die Verklebung lässt sich rückstandsfrei vom Gehäuse abziehen. Dadurch ist keine vollständige Abdichtung mehr gegeben.

**Arbeitsauftrag:**

1. **Erklären** Sie die Begriffe Adhäsion und Kohäsion.
2. **Erläutern** Sie die wichtigsten Einflussfaktoren auf eine hohe Klebeleistung.
3. **Entwickeln** Sie begründete Lösungsansätze für die dargestellte Situation.

Abbildung 8: Fallbeispiel der Lernaufgabe „Getriebedichtung“

Durch die Bewältigung der Lernaufgabe erwerben die Schülerinnen und Schüler die technologischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen des Fügens durch Kleben sowie die dazu erforderlichen Kenntnisse über Werk-, Hilfs- und Zusatzstoffe. Das vordergründige Lernziel der Aufgabe, den Zusammenhang von Oberflächenrauheit und Klebewirkung zu verstehen, ist dabei auch von Relevanz für die IHK-Abschlussprüfung (vgl. z.B. Item 6 in PAL 2013, 4).

Eine Analyse der Lernsituation wurde, wie in Abschnitt 3.2.2 dargestellt, von der Lehrkraft unter Zuhilfenahme der Fragestellungen aus Tabelle 1, der Operatoren-Beschreibung aus Abbildung 7 hinsichtlich der einzelnen Inhaltsaspekte sowie der darin enthaltenen Vorwissensbestände durchgeführt. Diese Analyse führte als Ergebnis zu der Auflistung in Abbildung 9. Hierin sind, um einen Überblick aufgrund der unterschiedlichen Inhaltsbereiche zu gewährleisten, metalltechnische Inhalte **gelb**, Inhalte zum Thema Klebstoffe und Klebeverbindungen **blau** sowie Arbeitssicherheit und Umweltschutz in **grüner** Farbe hinterlegt. Zusätzlich sind in den jeweiligen Farben inhaltliche Zusammenhänge und Verknüpfungen der einzelnen Wissensaspekte dargestellt, sodass einzelne Lernpfade nachvollziehbar gestaltet werden können. Ebenso enthalten ist das Zielwissen (Teilaufgabenstellung 1 bis 3), welches fett gedruckt dargestellt ist.

Aus Abbildung 9 ist zu erkennen, dass für die Bewältigung der relativ simplen Lernaufgabe ein stark differenziertes und diversifiziertes Feld an Vorwissen bedeutsam wird. Im folgenden Abschnitt möchten wir anhand von drei fiktiven Schülern aufzeigen, wie diese Diversität im Sinne eines lebensweltorientierten Ansatzes im Unterricht nutzbar gemacht werden kann. Die Persönlichkeitsprofile der drei Schülerinnen und Schüler sind dabei bewusst kontrovers konstruiert, um die Anwendung der Kognitiven Aufgabenanalyse und im Speziellen des Analyserasters auf eine Lernsituation zu demonstrieren.

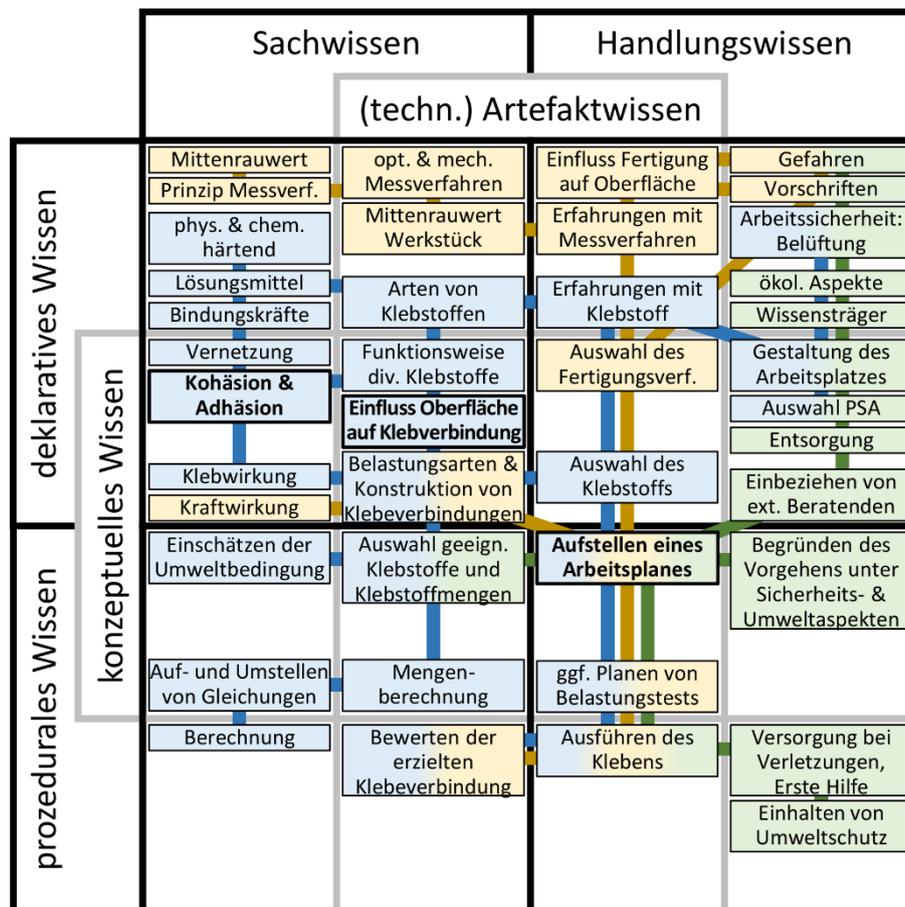


Abbildung 9: Analyse der Lernaufgabe „Getriebedichtung“ mithilfe des ArtWin. Die Inhaltsbereiche Metalltechnik, Klebstoffe und Klebverbindungen sowie Umwelt- und Arbeitsschutz sowie mögliche Lernpfade sind jeweils entsprechend farblich unterlegt.

Gehen wir davon aus, dass die Lerngruppe in der vorliegenden Berufsschulklasse zu zwei Dritteln aus Schülerinnen und Schülern besteht, die in einem Kfz-Konzern ausgebildet werden, wobei der Schwerpunkt des Standortes auf der Endmontage von Fahrzeugen liegt. Das restliche Drittel der Schülerinnen und Schüler wird hingegen bei Zulieferern für Spezialbauteile für die Kfz-Industrie mit Schwerpunkt CNC, Fräsen und Drehen ausgebildet. Bereits diese berufliche Aufteilung unterstreicht das inhaltliche Clustering in Inhalte der Metalltechnik sowie solcher des Fügens durch Kleben.

Noch konkreter lässt es sich an einzelnen Schülerpersönlichkeiten darstellen. Zur Illustration wird ein fiktiver Schüler namens „Peter“ betrachtet: Peter ist einer der Schülerinnen und Schüler, die bei besagtem Kfz-Konzern in der Endmontage von PKWs ausgebildet werden. Seit etlichen Jahren betreibt Peter neben seiner Berufsbildung als Hobby den Modellbau von flugfähigen Modellflugzeugen. Als solcher ist er stark vernetzt in einer Community, mit der er dieses Hobby teilt und sich über praktische Erfahrungen austauscht. Auf dem Feld des praktischen Einsatzes von Klebstoffen ist er bereits als ein „Experte“ im Sinne lebensweltlicher Didaktik anzusehen.



Name: Peter

Alter: 21

Azubi bei einem Kfz-Konzern  
(Endmontage)

Interessiert sich für Modellbau und ist Mitglied im örtlichen Verein für Modellflug

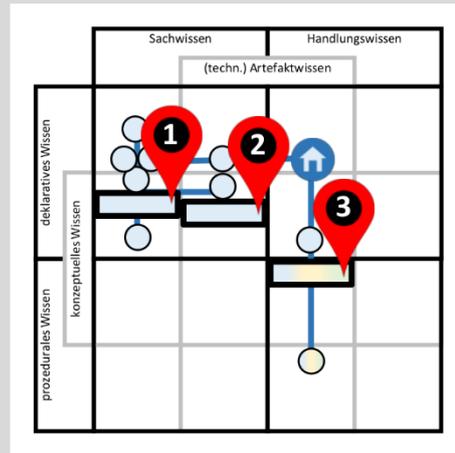
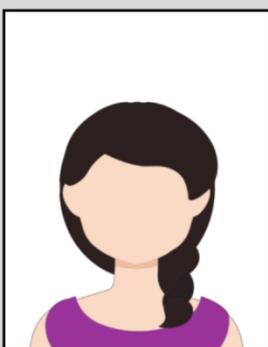


Abbildung 10: Profilbeschreibung für Schüler „Peter“, rechts: naheliegende Lernpfade zu den Teilzielen 1-3 der Lernaufgabe entsprechend Abbildung 9, Startpunkt ist 🏠.

Peter würde daher über seine konkreten Erfahrungen im Einsatz von Klebstoffen sehr niederschwellig in das Thema einsteigen können (siehe Startpunkt 🏠 in Abbildung 10) und sich über eine vertiefte Auseinandersetzung mit den verschiedenen Arten von Klebstoffen in deren Funktionsweise einarbeiten. Zu Hilfe kommen ihm dabei seine bereits gesammelten praktischen Erkenntnisse über den Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Klebeverbindung. Dabei ist der Erwerb profunder Vorstellungen von den Bindungskräften, von den Vorgängen der Vernetzung sowie den Konzepten „Kohäsion und Adhäsion“ naheliegend (blaue Lernpfade). Über das Thema Oberflächenrauheit stößt Peter dann entsprechend auch in die metalltechnischen Grundlagen der Produktion sowie Umweltschutz und Arbeitssicherheit vor und erweitert sein Wissen in diesen beiden Domänen, die für ihn bislang persönlich weniger bedeutsam waren.



Name: Lea

Alter: 17

Azubi bei einem Kfz-Zulieferer

Engagiert sich für Fragen des Umweltschutzes und ist ehrenamtliche Helferin im nahegelegenen Tierheim

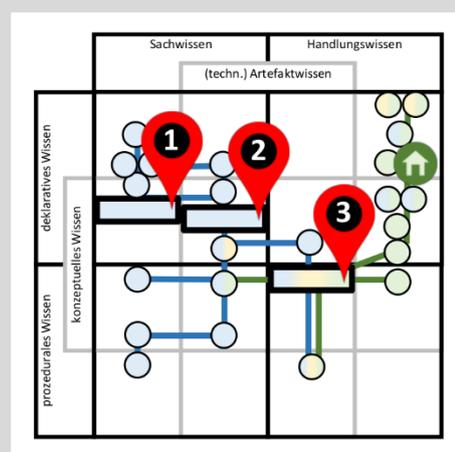
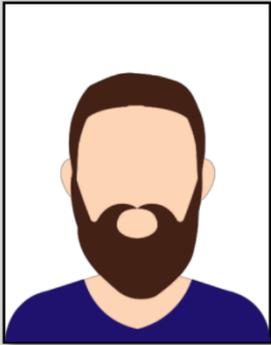


Abbildung 11: Profilbeschreibung für Schülerin „Lea“, rechts: naheliegende Lernpfade zu den Teilzielen 1-3 der Lernaufgabe entsprechend Abbildung 9, Startpunkt ist 🏠.

Beim zweiten Fall handelt es sich um die Schülerin „Lea“. Lea ist Auszubildende in einem mittelständigen Zulieferbetrieb. Persönlich sind ihr Themen wie Natur- und Umweltschutz sehr wichtig, und sie engagiert sich in einer lokalen Umweltschutzbewegung. Ausschlaggebend für die Wahl ihres Arbeitgebers war, dass dieser ein Zulieferer für Bauteile elektrisch betriebener Kraftfahrzeuge ist. Für sie ist das Thema Fügen durch Kleben speziell durch die arbeits- und umweltschutzrelevanten Aspekte von hohem Interesse. Sie steigt daher über dieses Themenfeld in das Thema ein (siehe Startpunkt 🏠 in Abbildung 11). Um auf diesem Gebiet mehr zu erfahren, muss sie sich nicht nur mit den Inhaltsstoffen verschiedener Kleber auseinandersetzen, sondern sie aktiviert auch persönliche Ressourcen, um externe Expertisen von Wissensträgern aus ihrer Community der Umweltschützer zu erhalten (grüne Lernpfade). Im Bestreben, die Auswirkungen auf die Umwelt durch möglichst geringen Einsatz von Klebstoff zu minimieren, setzt sie sich mit den technischen Zusammenhängen zwischen Oberflächenrauheit und Klebeverbindung auseinander (blaue Lernpfade). Auf diesem Weg gelangt sie schließlich ebenso in das Themenfeld der Metallbearbeitung.



**Name: Klaus**  
 Alter: 19  
 Azubi bei einem Kfz-Konzern (Karosseriebau)

Erfahrungen als „Schrauber“ sowohl durch Hobby als auch im Rahmen von Praktika gesammelt

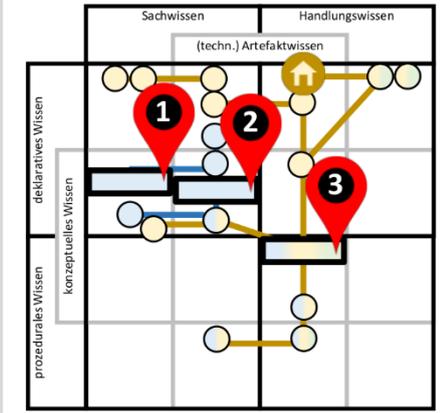


Abbildung 12: Profilbeschreibung für Schüler „Klaus“, rechts: naheliegende Lernpfade zu den Teilzielen 1-3 der Lernaufgabe entsprechend Abbildung 9, Startpunkt ist 🏠.

Der dritte zu betrachtende Fall ist „Klaus“. Klaus absolviert seine Ausbildung wie Peter im Karosseriebau des Kfz-Konzerns. Bereits im Alter von 16 Jahren begann Klaus, sich an Fahrzeugen als „Schrauber“ zu betätigen – zunächst an seinem eigenen Moped, später im Praktikum in einer Autowerkstatt und nun im Rahmen seiner Ausbildung. Klaus hat daher bereits umfangreiches Wissen im Themenfeld Metallbearbeitung und kennt sich mit dem Einfluss unterschiedlicher Fertigungsverfahren auf die Oberflächenrauheit hervorragend aus, einschließlich der gängigen Messverfahren nach ISO 25178. Er steigt, wie Peter über situative Erfahrungen ein, wobei diese jedoch aus dem Metallbau entstammen (siehe Startpunkt 🏠 in Abbildung 12, gelbe Lernpfade). Das Thema Klebeverbindung ist für ihn jedoch neu. Er bemerkt im Unterricht schnell, dass er in Peter einen kompetenten Ansprechpartner für dieses Thema findet, ihm aber gleichzeitig beim Thema Metallbearbeitung unterstützen kann. Beide, Klaus und Peter, wiederum entdecken, dass ebenso Leas Perspektive für die Erarbeitung einer fachmännischen Umsetzung unverzichtbar ist. Jeder dieser drei Akteure trägt durch seine in-

dividuellen Voraussetzungen und Interessenslagen einen wichtigen Beitrag zur Problemlösung bei.

Betrachtet man die mutmaßlich verfolgten Lernpfade der drei Lernenden, so stellt man schnell fest, dass Peter aufgrund seiner lebensweltlichen Vorerfahrungen vermutlich die kürzesten Strecken zum Erreichen der drei Teilziele zurückzulegen hat, an Lea und Klaus hingegen inhaltlich höhere Anforderungen gestellt werden, um sich kohärentes und an die eigene Lebensweltlichkeit anknüpfungsfähiges Wissen zu erarbeiten. Dies erhöht, wie in Abschnitt 3 bereits angedeutet, einerseits die Schwierigkeit der Lernaufgabe, bietet andererseits den beiden Schülern aber wesentlich vielfältigere Lerngelegenheiten.

Es lässt sich an dieser Stelle feststellen, dass kognitives Wachstum immer dann zu erwarten ist, wenn Lernende ihr Wissen auf einen damit in Verbindung stehenden Sachverhalt transferieren, diesen explorieren und auf diese Weise mit ihren Wissensbeständen verknüpfen. Diese Form von Transfer wird nicht nur auf der inhaltlichen Ebene wie in diesem Beispiel Metallbau, Kleben oder Umweltschutz, sondern auch in der kognitiven Ebene durch das Modell Technikdidaktischen Wissens bzw. das ArTWin dadurch deutlich, dass Lernende sich von einer Zelle der 4x4-Matrix in eine andere vorarbeiten.

Aus lebensweltorientierter Sicht wäre es somit Aufgabe eines Lehrenden, eine umfassende Kognitive Aufgabenanalyse seiner Lernsituation durchzuführen und aus deren Ergebnis bedeutsames Vorwissen für eine Lernsituation und entsprechende Unterstützungsmöglichkeiten abzuleiten und zu gestalten. In diesem Fall könnte dies beispielsweise durch Lernkarten, welche jeweils einzelne Fragestellungen beleuchten, oder unterschiedliche Leittexte gestaltet werden, welche die verschiedenen Lernwege (siehe Abbildung 9) nachzeichnen. Auf eine tiefergehende Betrachtung einer unterrichtsmethodischen Umsetzung soll an dieser Stelle verzichtet werden, da dies den Rahmen des Artikels sprengen und den Fokus auf den Analyseprozess verlassen würde. Festzuhalten ist jedoch, dass das Vorgehen und die Durchführung der Analyse zu inhaltlichen Impulsen für eine Erweiterung der eigenen Aufgabenstellungen führen, welche in der Gestaltung des eigenen Unterrichts aufgegriffen und flexibel Berücksichtigung finden kann. Rückmeldungen von Schülerinnen und Schülern – sowohl formell eingefordert oder informell im Rahmen von Lehrer-Schüler-Gesprächen erhalten – sind hierbei als hilfreiche Hinweise selbstverständlich zu berücksichtigen.

## 5 Diskussion und Fazit

Im Rahmen dieses Beitrags wurde eine Vorgehensweise entwickelt, mit deren Hilfe Lernsituationen im gewerblich-technischen Bereich hinsichtlich der in diesen enthaltenen kognitiven Strukturen analysiert werden können. Dafür wurde ausgehend vom Verständnis eines qualitätsvollen Unterrichts im Sinne der kognitiven Aktivierung der Lernenden aufgezeigt, dass die hiermit verbundenen Anforderungen im Einklang mit dem lebensweltorientierten Ansatz stehen. Dabei hat sich speziell eine multiperspektivische Betrachtung des Lerngegenstandes als entscheidende Zielsetzung für eine lebensweltorientierte und kognitiv aktivierende Aufbereitung des Lerngegenstandes herauskristallisiert.

Im Zuge dessen wurde herausgearbeitet, dass für die praktische Umsetzung dieser Zielsetzungen im Rahmen der Unterrichtsplanung keine geeignete Beschreibung für die Lehrkräfte über die hierfür notwendige Vorgehensweise zur Verfügung steht. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die herkömmlichen didaktischen Modelle keine hinreichenden Lösungen bieten.

Um dieses Desiderat zu beheben, wurde unter der Voraussetzung, dass der Prozess der Unterrichtsplanung aus kognitiver Perspektive als eine Kombination verschiedener Handlungsskripte beschrieben werden kann, die Methode der Kognitiven Aufgabenanalyse (CTA) für diesen Bereich adaptiert und in bestehende Handlungsskripte eingeordnet. Ergänzend wurde als Unterstützungswerkzeug aus dem Modell Technikdidaktischen Wissens (Erlebach/Frank in Vorbereitung) ein Analyseraster abgeleitet, welches zur systematischen Beschreibung der mit einer Lernaufgabe verbundenen technikbezogenen Wissensinhalte geeignet ist. Dabei konnte anhand einer komplexen Lernaufgabe demonstriert werden, wie dieses Vorgehen und der Einsatz des vorgestellten Analyserasters Technischer Wissensinhalte (ArTWin) einen Lehrenden dabei unterstützt, konkrete Anknüpfungspunkte für die einzelnen Schülerinnen und Schüler in der Klasse bereitzustellen.

Ein solches Vorgehen entspricht dem lebensweltorientierten Ansatz, nach welchem Lernende als teilkompetente Gesprächspartner anzusehen sind. Durch das Anbieten passender Anknüpfungspunkte erlangt deren Vorwissen und Erfahrungen für die Bearbeitung besondere Bedeutung (Kaiser 1990). Diese Vorerfahrungen können dabei einerseits aus bereits selbst vollführten oder beobachteten Handlungen in konkreten Situationen, andererseits aus meist schulischem-vermittelten, generalisierten Inhalten und Fertigkeiten bestehen.

Konkret konnte anhand eines fiktiven Fallbeispiels aufgezeigt werden, wie ein Lehrender verschiedenen Schülerinnen und Schülern den thematischen Einstieg über deren eigene Lebensweltlichkeiten ermöglicht und ihnen Wege bereitet, sich den gesetzten Lernzielen anzunähern. Demgemäß können die vorhandenen Ressourcen der einzelnen Schülerinnen und Schüler gezielt aktiviert werden. Außerdem kann ihnen auf diese Weise die notwendige Unterstützung zur thematischen Bewältigung ermöglicht werden. Gleichzeitig können durch die Analyse auch individuelle Wissenslücken und Fertigungsdefizite antizipiert und Lernprozesse im Sinne einer kognitiven Aktivierung pädagogisch geplant und gesteuert werden.

Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass sich die entwickelte Vorgehensweise an dem gewohnten Umgang mit didaktischen Operatoren und Anforderungsbereichen (AFB) grundsätzlich spiegeln lässt. Jedoch zeigte sich, dass das Analyseraster Wissensbereiche miterfasst, für die keine Anforderungsbereiche existieren. Ebenso lassen sich die AFB II und III nicht eindeutig zuordnen. Ursächlich hierfür ist der Umstand, dass dem Konstrukt der Anforderungsbereiche die Annahme eines homogenen Vorwissens in der Schülerschaft einer Klasse zugrunde liegt: Was bekannt und was neu für jeden Schüler sein soll, bestimmt sich allein aus der Aufgabenstellung. Dieser „one size - fits all“-Ansatz steht im unauflösbaren Widerspruch zur Lebensweltorientierung, wodurch sich die dargestellten Passungsprobleme des Analyserasters erklären.

Den Autoren ist bewusst, dass das vorgestellte Verfahren in der Durchführung als zeitintensiv wahrgenommen werden könnte. Eine längere Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand in der Unterrichtsvorbereitung steht auf dem ersten Blick dem Wunsch nach einem zeitökonomischen Handeln in der Praxis des Lehreralltages entgegen. Allerdings kann die für eine Lernsituation durchgeführte und dokumentierte Analyse auch von anderen Kollegen zur Weiterentwicklung und Adaption der Aufgabengestaltung verwendet werden.

Abgesehen vom Gedanken der Nachhaltigkeit dieses expliziten Analyseprozesses nivelliert sich der für die Einarbeitung in das Modell erforderliche Aufwand nach der Bearbeitung weniger Beispiele auf ein praktikables Maß. Die Autoren empfehlen deshalb, dieses Vorgehen im Rahmen der Aus- und Fortbildung von Fachlehrern im gewerblich-technischen Bereich eingehender auf Wirksamkeit hinsichtlich der damit erzielten Unterrichtsqualität und Lernwirksamkeit zu untersuchen.

## Literatur

Adl-Amini, B. (1981): Grauzonen der Didaktik - Plädoyer für die Erforschung didaktischer Ermittlungsprozesse. In: Adl-Amini, B./Künzli, R. (Hrsg.): Didaktische Modelle und Unterrichtsplanung. München, 210-237.

Albert, M. et al. (2015): Jugend 2015. Eine pragmatische Generation im Aufbruch. Frankfurt am Main.

Anderson, J. R./Lebiere, C. J. (1998): The Atomic Components of Thought. New York.

Arthur, W. B. (2011): The Nature of Technology. What It Is and How It Evolves. New York.

Baumert, J./Kunter, M. (2006): Stichwort Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9 (4), 469-520.

Bröcher, J. (1997): Lebenswelt und Didaktik. Unterricht mit verhaltensauffälligen Jugendlichen auf der Basis ihrer (alltags-) ästhetischen Produktionen. Heidelberg.

Bromme, R. (1992): Der Lehrer als Experte. Zur Psychologie des professionellen Wissens. Bern.

Clark, R. E. et al. (2008): Cognitive Task Analysis. In: Spector, J. M./Merrill, M. D./Merriënboer, J. van et al. (Hrsg.): Handbook of Research on Educational Communications and Technology. 3. Auflage. New York, Oxon, 577-594.

Clark, R. E. et al. (2012): The Use of Cognitive Task Analysis to Improve Instructional Descriptions of Procedures. In: Journal of Surgical Research, 173 (1), e37-e42.

Compton, V. J. (2004): Technological Knowledge. A developing framework for technology education in New Zealand. Briefing Paper prepared for the New Zealand Ministry of Education Curriculum Project. In: TKI. NZ Curriculum Marautanga Project: o.A.

Dasgupta, S. (1996): The Nature of Technological Knowledge. In: Technology and Creativity. New York, Oxford, 150-179.

Deci, E. L./Ryan, R. M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik, 39 (2), 223-238.

DPhV (2020): Arbeitsbelastung, Zufriedenheit und Gesundheit von Lehrkräften an Gymnasien. Online: [https://www.dphv.de/uploads/media/Endfassung\\_Bundescharts\\_05\\_\\_003\\_.pdf](https://www.dphv.de/uploads/media/Endfassung_Bundescharts_05__003_.pdf) (01.05.2020).

Einsiedler, W./Hardy, I. (2010): Kognitive Strukturierung im Unterricht. Einführung und Begriffsklärungen. In: Unterrichtswissenschaft, 38 (3), 194-209.

Engelhardt, M. von (1982): Die pädagogische Arbeit des Lehrers. Eine empirische Einführung, Band 1146. Paderborn.

Erlebach, R./Frank, C. (in Vorbereitung): Modell des Technikdidaktischen Wissens.

Faulkner, W. (1998): Knowledge Flows in Innovation. In: Williams, R./Faulkner, W./Fleck, J. (Hrsg.): Exploring Expertise. London, 173-195.

Felsing, C. et al. (2019): Arbeitszeitstruktur von Gymnasiallehrkräften im Tages- und Wochenverlauf. In: ASU. Zeitschrift für medizinische Prävention, (1/2019).

Frank, C. (2020): Welche Art von Fachwissen ist für die Gestaltung kognitiv aktivierender Lernaufgaben notwendig? Eine anforderungsbezogene Konzeptualisierung von Fachwissen im Kontext Unterrichtsplanung am Beispiel der Beruflichen Fachrichtung Metalltechnik. In: Heer, M./Heinen, U. (Hrsg.): Die Stimmen der Fächer hören. Paderborn, 363-394.

Geißler, H. (Hrsg.) (1979): Unterrichtsplanung zwischen Theorie und Praxis. Unterricht von 1861 bis zur Gegenwart. Stuttgart.

Haas, A. (1998): Unterrichtsplanung im Alltag. Eine empirische Untersuchung zum Planungshandeln von Hauptschul-, Realschul- und Gymnasiallehrern, Band 540. Regensburg.

Heimann, P. et al. (1965): Unterricht - Analyse und Planung. Hannover.

Hüfner, G. (2003): Arbeitsbelastung in Schulen. Ausmaß und Bereiche von Belastungen Möglichkeiten der Entlastung. Erste Befragungsergebnisse. Online: [https://www.boeckler.de/pdf/v\\_2010\\_03\\_01\\_rusteberg\\_umfrage.pdf](https://www.boeckler.de/pdf/v_2010_03_01_rusteberg_umfrage.pdf) (23.04.2020).

Jenewein, K. (2017): Berufsbildung, demografischer Wandel und zunehmende Heterogenität. Eine Analyse der Entwicklungen in den neuen Bundesländern. In: Löwenbein, A./Sauerland, F./Uhl, S. (Hrsg.): Berufsorientierung in der Krise? Der Übergang von der Schule in den Beruf. Münster, 83-94.

Jong, T. de/Ferguson-Hessler, M. G. (1996): Types and qualities of knowledge. In: Educational psychologist, 31 (2), 105-113.

Jordan, A. et al. (2008): Aufgaben im COACTIV-Projekt. In: Journal für Mathematik-Didaktik, 29 (2), 83-107.

Kaiser, A. (1990): Wie arbeiten lebensweltorientierte Ansätze? In: Grundlagen der Weiterbildung, 1 (1), 13-18.

- Kaiser, A. (2000): Was ist aus dem lebensweltorientierten Ansatz geworden? In: Grundlagen der Weiterbildung, 11 (1), 27-30.
- Klein, G./Militello, L. (2001): Some guidelines for conducting a cognitive task analysis. In: Salas, E. (Hrsg.): Advances in human performance and cognitive engineering research, Band 1. Bingley, 161-199.
- KMK (2004): Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- KMK (2018): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- Knauth, T. (1997): Wie orientiert man sich an unterschiedlichen Lebenswelten? In: Pädagogik, 49 (5), 50-52.
- Kunter, M. et al. (2006): Mathematikunterricht in den PISA-Klassen 2004. Rahmenbedingungen, Formen und Lehr-Lernprozesse. In: Prenzel, M./Baumert, J./Blum, W. et al. (Hrsg.): PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres. Münster, Westfalen u. a., 161-194.
- Kunter, M./Trautwein, U. (2018): Psychologie des Unterrichts. Paderborn.
- Kurz, D. (2010): Sport im Abitur. Ein Schulfach auf dem Prüfstand. Aachen.
- Lipowsky, F. (2015): Unterricht. In: Wild, E./Möller, J. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Berlin, Heidelberg, 69-105.
- Luker, K. R. et al. (2008): The use of a cognitive task analysis–based multimedia program to teach surgical decision making in flexor tendon repair. In: The American Journal of Surgery, 195 (1), 11-15.
- McCormick, R. (1997): Conceptual and Procedural Knowledge. In: International Journal of Technology and Design Education, 7 (1), 141-159.
- Militello, L. G./Hutton, R. J. (1998): Applied cognitive task analysis (ACTA). A practitioner's toolkit for understanding cognitive task demands. In: Ergonomics, 41 (11):, 1618-1641.
- Müller-Fohrbrodt, G. et al. (1978): Der Praxisschock bei jungen Lehrern. Formen, Ursachen, Folgerungen. Eine zusammenfassende Bewertung theoretischer und empirischer Erkenntnisse. In: Lehrerausbildung und -weiterbildung. Stuttgart.
- Niedersächsisches Kultusministerium (2018): Anhang A1. Operatoren für Theorie und Praxis. In: Kerncurriculum Sport für Gymnasium – gymnasiale Oberstufe. Hannover, 57-59.
- Nitzschke, A. et al. (2017): Motive, Vorerfahrungen und kognitive Eingangsvoraussetzungen von Technikerschülern und Technikerschülerinnen. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 113 (3), 490-516.

PAL (Hrsg.) (2013): Fertigungstechnik Teil A (W13 3930 K4). In: Abschlussprüfung Teil 2 Industriemechaniker/-in, Berufs-Nr. 3930, Winter 2013/14. Stuttgart.

Rauner, F./Piening, D. (2010): Umgang mit Heterogenität in der beruflichen Bildung. Eine Handreichung des Projekts KOMET. Online: [https://www.radko-stoeckl-schule.de/fileadmin/abteilung1/komet/Handreichung\\_Heterogenitaet.pdf](https://www.radko-stoeckl-schule.de/fileadmin/abteilung1/komet/Handreichung_Heterogenitaet.pdf) (30.03.2020).

Reckwitz, A. (2018): Die Gesellschaft der Singularitäten. Zum Strukturwandel der Moderne. 6. Auflage. Berlin.

Renkl, A. (1996): Träges Wissen. Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. In: Psychologische Rundschau, 47 (2), 78-92.

Renkl, A. (2009): Wissenserwerb. In: Wild, E./Möller, J. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Berlin, Heidelberg. 3-26.

Ropohl, G. (1997): Knowledge types in technology. In: International Journal of technology and design education, 7 (1-2), 65-72.

Ropohl, G. (1998): Technisches Wissen. In: Ropohl, G. (Hrsg.): Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam, 88-96.

Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Karlsruhe.

Schank, R. C./Abelson, R. P. (1977): Scripts, plans, goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures. Hillsdale, New Jersey

Schneekloth, U./Albert, M. (2019): Jugend und Politik: Demokratieverständnis und politisches Interesse im Spannungsfeld von Vielfalt, Toleranz und Populismus. In: Albert, M./Hurrelmann, K./Quenzel, G. et al. (Hrsg.): Jugend 2019 – 18. Shell Jugendstudie. Eine Generation meldet sich zu Wort. Weinheim, 47-102.

Schraagen, J. M. et al. (2000): State-of-the-Art Review of Cognitive Task Analysis Techniques. In: Schraagen, J.M./Chipman, S.F./Shalin, V.L. (Hrsg.): Cognitive Task Analysis, 467-488.

Seamster, T. L. et al. (2017): Applied Cognitive Task Analysis in Aviation. New York.

Stender, A. (2014): Unterrichtsplanung. Vom Wissen zum Handeln - Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung. Kiel.

Sullivan, M. E. et al. (2014): The Use of Cognitive Task Analysis to Reveal the Instructional Limitations of Experts in the Teaching of Procedural Skills. In: Academic Medicine, 89 (5), 811-816.

Süß, H. M. (1996): Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen. Göttingen.

Süß, H. M. (2008): Die Rolle von Intelligenz und Wissen für erfolgreiches Handeln in komplexen Problemsituationen. In: Franke, G. (Hrsg.): Komplexität und Kompetenz. Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung. Bielefeld, 249-275.

Tebrügge, A. (2001): Unterrichtsplanung zwischen didaktischen Ansprüchen und alltäglicher Berufsanforderung. Eine empirische Studie zum Planungshandeln von Lehrerinnen und Lehrern in den Fächern Deutsch, Mathematik und Chemie, Band 829. In: Europäische Hochschulschriften Reihe 11, Pädagogik. Frankfurt am Main.

Vincenti, W. G. (1990): What Engineers Know and How They Know it Analytical Studies from Aeronautical History. Boston/Baltimore.

Vries, M. J. de (2003): The Nature of Technological Knowledge. Extending empirically informed studies into what engineers know. In: *Techné: Research in philosophy and technology*, 6 (3), 117-130.

Vries, M. J. de (2005): The Nature of Technological Knowledge. Philosophical Reflections and Educational Consequences. In: *International Journal of Technology and Design Education*, 15 (2), 149-154.

Walker, F./Faath-Becker, A. (2019): Videovignetten. Ein Ansatz zur Einlösung der Anforderungen an die professionelle Kompetenz zukünftiger Lehrkräfte für berufsbildende Schulen? In: *Berufsbildung*, 73 (177), 16-19.

Weber, B. (2015): Multiperspectivity, Values and Criticism in Economic and Civic Education. In: *Journal of Social Science Education*, 14 (4), 2-6.

Weidemeier, C. (2014): Handlungsansätze zur Prävention und Intervention von Ausbildungsabbrüchen unter dem Aspekt wachsender Heterogenität. In: *BBP-Arbeitsberichte*, 83.

Wengert, H. G. (1989): Untersuchungen zur alltäglichen Unterrichtsplanung von Mathematiklehrern. Eine kognitionspsychologische Studie. Frankfurt am Main.

Westerman, D. A. (1991): Expert and Novice Teacher Decision Making. In: *Journal of Teacher Education*, 42 (4), 292-305.

Wiemer, T. (2018): Technisches Wissen. Kategorienbildung für die allgemeine technische Bildung. Oldenburg.

Wittmann, W. W. et al. (1996): Determinanten komplexen Problemlösens. In: *Berichte des Lehrstuhls Psychologie II der Universität Mannheim*, 9, 1-25.

Wolffgramm, H. (2012): Allgemeine Techniklehre. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten. Neu strukturierte, ergänzte, erweiterte und aktualisierte Fassung. Online: <https://dgtb.de/wp-content/uploads/2018/11/Wolffgramm-Allgemeine-Techniktheorie-klein.pdf> (30.03.2020).

Yates, K. A./Clark, R. E. (2012): Cognitive Task Analysis. In: Hattie, J./Anderman, E.M. (Hrsg.): *International Handbook of Student Achievement*. New York.

Yates, K. A. (2007): Towards a taxonomy of cognitive task analysis methods. A search for cognition and task analysis interactions. Los Angeles.

Zinn, B. et al. (2018): Die Vielfalt bei Auszubildenden im gewerblich-technischen Bereich – am Beispiel der beiden Berufsfelder Elektro- und Metalltechnik. In: Zinn, B. (Hrsg.):

Inklusion und Umgang mit Heterogenität in der berufs- und wirtschaftspädagogischen Forschung. In: Pädagogik. Stuttgart, 75-94.

---

Dieser Beitrag wurde dem *bwp@*-Format:  **BERICHTE & REFLEXIONEN** zugeordnet.

---

## Zitieren dieses Beitrages

Erlebach, R./Leske, P./Frank, C. (2020): Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. In: *bwp@* Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 38, 1-30. Online: [https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach\\_etal\\_bwpat38.pdf](https://www.bwpat.de/ausgabe38/erlebach_etal_bwpat38.pdf) (24.06.2020).

---

## Die Autor\*innen



### **Dipl.-Phys. RALF ERLEBACH**

Bergische Universität Wuppertal, Didaktik der Technik

Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

[ralf.erlebach@uni-wuppertal.de](mailto:ralf.erlebach@uni-wuppertal.de)

<https://www.ddt.uni-wuppertal.de>



### **M.Ed. PEER LESKE**

Bergische Universität Wuppertal, Didaktik der Technik

Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

[leske@uni-wuppertal.de](mailto:leske@uni-wuppertal.de)

[ifb.uni-wuppertal.de](http://ifb.uni-wuppertal.de) / [ddt.uni-wuppertal.de](http://ddt.uni-wuppertal.de)



### **Prof. Dr. CAROLIN FRANK**

Bergische Universität Wuppertal, Didaktik der Technik

Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal

[cfrank@uni-wuppertal.de](mailto:cfrank@uni-wuppertal.de)

<https://www.ddt.uni-wuppertal.de>



## 7.2 Zwischenfazit

Der Artikel stellte ArTWin erstmalig einer bildungspraktischen Öffentlichkeit vor und zeigte dabei auf, wie sich die im empirisch-didaktischen Diskurs bekannten, abstrakten Qualitätsmerkmale guten Unterrichts konkret umsetzen lassen. Dabei erweist sich die Anbindung von ArTWin an die Lehrenden bekannten Anforderungsniveaus (AFB) sowie didaktischen Operatoren ebenso hilfreich wie die Darstellung von verschiedenen Lernwegen anhand von drei Lernenden-Personas. Gemessen am Alltag und Aufgabensumme Lehrender an Schulen ist eine Unterrichtsvorbereitung auf Basis einer systematischen kognitiven Aufgabenanalyse (*cognitive task analysis*, CTA) sicher eine idealisierte Vorstellung, jedoch führt diese, empirisch nachgewiesen durch die Hattie-Studie (Hattie, 2017), zu wirkungsvollerem Unterricht.

Während der Wert von ArTWin für die gewerblich-technische Unterrichtsgestaltung durch die Publikation bereits gut kommuniziert zu sein scheint, stellt sich die Frage: Kann ArTWin auch in Bezug auf die Analyse von Repräsentationen im gewerblich-technischen Unterricht von Nutzen sein?

## 8. ArTWin: Diskussion spezifischer Anwendungen im Bereich der Analyse technischer Repräsentationen

Diese Frage kann grundsätzlich bejaht werden, schließlich kann jede Verarbeitung einer Repräsentation in gleicher Weise als kognitive Aufgabe aufgefasst und wie im o.g. Beitrag mithilfe von ArTWin in einer kognitiven Aufgabenanalyse genutzt werden.

### 8.1 Anwendung auf Ebene einer konkreten Repräsentation oder Repräsentationseinheit

Beispielhaft soll dies im Folgenden anhand der in Abbildung 10 dargestellten Stromlauf- und Pneumatik-Schaltpläne für eine zeitverzögerte Zwei-Hand-Steuerung einer pneumatischen Presse aufgezeigt werden.

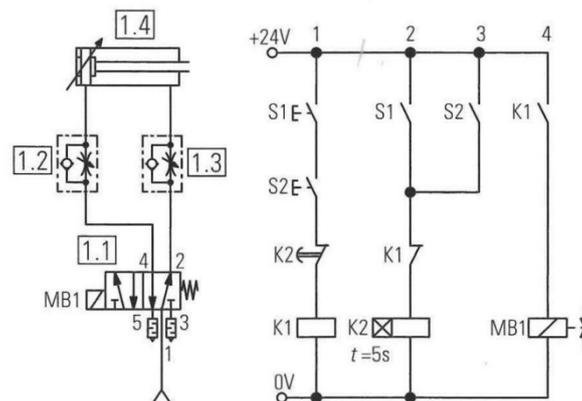


Abbildung 10: Pneumatik- und Stromlaufplan zur Steuerung einer Presse aus Haffer et al. (2014, S. 164)

Auf der linken Seite von Abbildung 10 ist dabei der pneumatische Aufbau der Pressvorrichtung dargestellt, welcher die mechanische Arbeit verrichtet und auf der rechten Seite die dazugehörige elektrische Relais-Schaltung zur Ansteuerung.

Welches Vorwissen wird zum Lesen beider miteinander in enger Beziehung stehenden Repräsentationen benötigt?

Zunächst ist Wissen zu den jeweiligen Konventionen und Symbolsystemen sowie ein Wissen darüber, welche Funktion beiden Repräsentationen zukommt, nämlich die Beschreibung des Aufbaus des pneumatischen und des elektrischen Subsystems mit jeweiligen Querverweisen, von offensichtlicher Notwendigkeit. Weniger offensichtlich

hingegen ist, dass die rechte Repräsentation, der Stromlaufplan, sowohl Steuerkreise (Abzweige 1, 2 und 3, links) als auch einen Lastkreis (Zweig 4, rechts) beinhaltet. Somit sind nicht nur Elemente beider Repräsentationen miteinander zu verknüpfen, sondern auch Elemente innerhalb der rechten Repräsentation: beispielsweise findet sich das magnetisch geschaltete Ventil MB1 im pneumatischen und im elektrischen Schaltplan, Relais K1 sowie das zeitverzögerte Relais K2 hingegen betätigen diverse Schließer bzw. Öffner in Steuer- und Lastkreisen des Stromlaufplanes. Neben dem deklarativen Repräsentationswissen zu Konventionen und Funktion wird als prozedurales Repräsentationswissen ebenso die Fähigkeit des Auffindens und Verknüpfens dieser Elemente notwendig, d.h. repräsentationale Translationen zwischen und innerhalb der Repräsentationen.

Inhaltlich wird an Vorwissen eine zumindest rudimentäre Vorstellung von physikalischen Größen wie Druck, Spannung und elektrischen Stromfluss notwendig, um die Schaltpläne zu verstehen. Das Gleiche gilt für die einzelnen Bauteile 3/2-Wege-Ventil, doppeltwirkender Zylinder, Drosselventile, Öffner, Schließer und Relais sowie deren jeweilige Funktionen. Ebenso notwendig zu erkennen, aber weniger offensichtlich sind die UND- und ODER-Schaltungen in Steuerkreis 1 bzw. 2 und 3, um daraus deren Bedeutung für das System zu erkennen: eine Arbeitsschutzmaßnahme, die sicherstellen soll, dass beide Hände der bedienenden Person sich beim Auslösen des Pressvorgangs an der Steuerung (und nicht im Arbeitsraum der Presse) befinden – und während des max. 5 Sekunden langen Pressvorgangs zumindest eine Hand am Bedienfeld verbleibt.

Derartiges Wissen kann beispielsweise durch Arbeiten an vergleichbaren Systemen oder durch eine Sicherheitsunterweisung dafür erworben worden sein. Es ist zumindest hilfreich, an derartiges Wissen – sei es praktisch oder bspw. durch naturwissenschaftliche Bildung erworben – anzuknüpfen, um die in den Schaltplänen dargestellten Inhalte zu erarbeiten und zu elaborieren. Tabelle 5 fasst das am Beispiel elizitierte und mithilfe des um Repräsentationswissen erweiterte ArtWin kategorisierte Vorwissen zusammen.

Repräsentationswissen	Sachwissen		Handlungswissen	
		technisches Wissen		
Konventionen und Symbole Funktion der Repräsentationsform	deklarativ	Druck, Spannung und el. Strom (Physik), UND und ODER (Informatik)	Bauteile	eigene Arbeiten oder Beobachten der Bedienung
		Reihen- und Parallelschaltung/ Knoten-Regel (Physik)	Funktion der Bauteile, UND- und ODER-Schaltung, Steuer-/Lastkreis	Sicherheitsunterweisung zur Notwendigkeit einer Zwei-Hand-Schaltung
repräsentationale Translation, innerhalb der Repräsentation und zwischen Repräsentationen	prozedural			

Tabelle 5: Repräsentations- und Inhaltsvorwissen zu Abbildung 10

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das vorgestellte Analyseraster bei der Identifizierung von Vorwissen einer spezifischen Repräsentation unterstützt. Allerdings ist ein solches Vorgehen mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden. Schließlich muss für jede konkrete Repräsentation erneut entschieden werden, welches spezifische Wissen enthalten ist – und in welchen Wissenskategorien danach „zu suchen“ ist.

## 8.2 Anwendung auf Ebene von Repräsentationsformen

Mit den Erkenntnissen aus der Lehrbuchanalyse kann jedoch eine solche Analyse zusätzlich unterstützt werden, indem auf statistisch ermittelte Vorwissensprofile der Repräsentationsform zurückgegriffen wird. Auch dies soll im Folgenden ausblickhaft an drei im Korpus stark vertretene Repräsentationsformen aufgezeigt werden: für Fotografien, pneumatische Schaltpläne sowie mathematische Formeln.

Repräsentationsform: **Foto** (n = 388)

		notwendiges Vorwissen				
		RW	Sachwissen		Handlungswissen	
			Artefaktwissen			
deklarativ	konzeptuell	0,02	0,05	0,72	0,11	0,01
	prozedural	0	0,01	0,25	0,01	0
			0	0,01	0	0

Domäne	Rep.	Inhalt
Technik	2%	75%
Mathematik	0%	1%
Physik	0%	2%
Chemie	0%	2%
Biologie	0%	0%
Informatik	0%	0%
Soziales	0%	0%
Wirtschaft	0%	0%
Allgemeinw.	1%	0%

Repräsentationsform: **Pneumatik-SP** (n = 34)

		notwendiges Vorwissen				
		RW	Sachwissen		Handlungswissen	
			Artefaktwissen			
deklarativ	konzeptuell	0,97	0	1	0	0
	prozedural	0,24	0	0,44	0	0
			0	0	0	0

Domäne	Rep.	Inhalt
Technik	94%	97%
Mathematik	0%	0%
Physik	0%	0%
Chemie	0%	0%
Biologie	0%	0%
Informatik	0%	0%
Soziales	0%	0%
Wirtschaft	0%	0%
Allgemeinw.	0%	0%

Repräsentationsform: **mathematische Formeln** (n = 136)

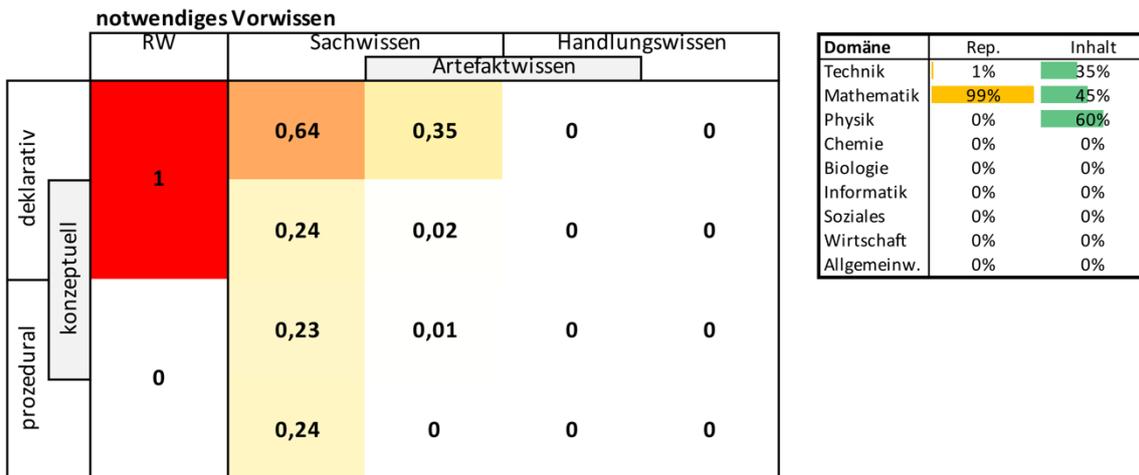


Abbildung 11: Vorwissens- und Domänen-Profile für die Repräsentationsformen Fotografie, pneumatische Schaltpläne sowie mathematische Formeln (RW: Repräsentationswissen, IVW: Inhaltsvorwissen)

Abbildung 11 stellt die Vorwissensprofile dar, in denen Wissensfelder sowie Domänen im ArtWin farblich hervorgehoben sind entsprechend der statistischen Häufigkeit, mit der der jeweilige Wissensbereich für diese Repräsentationsform durchschnittlich auftritt.

Für Fotografien ist sofort zu erkennen, dass diese im gewerblich-technischen Kontext so gut wie keine Anforderungen an Lernende bezüglich notwendigen Repräsentationswissens zu stellen scheinen, jedoch technisches Sachwissen – in Form eines dargestellten Gegenstandes – erfordern.<sup>19</sup> Allerdings können ebenso deklaratives, technisches Handlungswissen oder technische Zusammenhänge bedeutsam werden.

Bei Pneumatik-Schaltplänen sowie mathematischen Formeln ist deklaratives Repräsentationswissen nahezu ausnahmslos Voraussetzung für eine erfolgreiche Rezeption. Dies rührt daher, dass diese auf eigenen Konventionen beruhen, durch deren Kenntnis erst Informationen entnommen werden können. Zusätzlich wird z. T. bei den Schaltplänen prozedurales Repräsentationswissen benötigt, meist in Form von inner-repräsentationalen Translationen. Schließlich zeichnen sich Pneumatik-Schaltpläne bezüglich des inhaltlichen Vorwissens durch hohe Anteile an deklarativ-technischem Sachwissen über enthaltene Bauteile und Funktionalgruppen aus, während bei mathematischen Formeln (im gewerblich-technischen Kontext) häufig Konstanten und Arbeitsparameter die deklarativ-technischen Wissensbestandteile ausmachen.

Mithilfe derartiger Informationen zu einer gegebenen Repräsentationsform lässt sich die Unterrichtsvorbereitung von Lehrenden hinsichtlich der Frage anleiten, welches Vorwissen bei der Verarbeitung einer konkreten, für den Einsatz im Unterricht vorgesehenen Repräsentation notwendig werden kann und aus welcher Domäne dieses Wissen wahrscheinlich entstammt. Es ist zu betonen, dass Lehrende auch weiterhin jede individuelle Repräsentation auf deren Inhalte, Gestaltungsmerkmale sowie Einsatzzweck hin aufzubereiten haben. Jedoch können solche Vorwissensprofile, wenn diese in unterrichtsvorbereitenden Routinen eingesetzt werden, Hinweise auf anknüpfungsfähiges Vorwissen bereitstellen und Lehrende grundsätzlich sensibilisieren, stärker auf kognitive Voraussetzungen bei der Repräsentationsarbeit zu schauen.

Da weitere vertiefende Auseinandersetzungen mit diesem Gedanken den Rahmen der Arbeit verlassen und keine weiteren Beiträge zur übergeordneten Fragestellung leisten

<sup>19</sup> In der Regel wird dieses Vorwissen durch die Bildunterschrift mitgeliefert.

würden, soll es an dieser Stelle bei diesem Ausblick auf mögliche Praxisanwendungen von ArTWin in der Repräsentationsarbeit belassen werden – mit dem Verweis auf zukünftige (hoffentlich fruchtbare) weitere Beiträge in diesem Feld.

## Teil IV: Schlussbemerkungen

Nachdem bereits im letzten Abschnitt ein Blick nach vorn gewagt wurde, sollen im Folgenden theoretische und praktische Aspekte des Promotionsvorhabens in der Gesamtschau und im Hinblick auf die übergeordnete Fragestellung aus Abschnitt 3 zusammengefasst werden.

### 9. Zusammenfassung des Dissertationsvorhabens

Ausgangspunkt dieser Arbeit stellt die Beobachtung dar, dass Repräsentationen trotz ihres potenziellen Beitrags zum Lernprozess von Lernenden nicht immer effektiv zum Lernen genutzt werden können. Dies wird im wissenschaftlichen Diskurs als Repräsentationales Dilemma benannt, nach welchem Lernende Repräsentationen nicht zureichend verstehen, weil sie Funktion oder Inhalt nicht verstehen – und Funktion und Inhalt sich nicht erschließen können, weil sie gleichzeitig die Repräsentationen nur unzureichend verstehen.

Wie in Abschnitt 2 dargestellt, gestaltet sich die Forschungslage auf diesem Gebiet nicht einheitlich und zuweilen fragmentiert, wobei es an Vorschlägen zu möglichen Interventionen nicht mangelt (vgl. z.B. Krey & Schwanewedel, 2018). Allerdings sind die Ergebnisse nur bedingt vergleich- und verallgemeinerbar. Die Überblicksartikel von Scheiter, Richter und Renkl (2018) sowie Renkl und Scheiter (2017) haben die Lage im Forschungsfeld insofern verbessert, als dass durch diese Beiträge die Interventionen und deren Ergebnisse mit den kognitionspsychologischen Grundlagen der Repräsentationsverarbeitung verknüpft und bezüglich der Oberflächen- und Tiefenstruktur eingeordnet werden.

In Abschnitt 3 wurde aufgezeigt, dass speziell die Frage, welche Art von Vorwissen und in welcher Tiefe bei den Lernenden vorliegen muss, eine offene Forschungslücke darstellt. Als offenes Desiderat stellte sich eine Modellierung des Vorwissens heraus, die die kognitiven Anforderungen einer Repräsentation an die Lernenden aus kognitionspsychologischer, inhaltlicher sowie didaktischer Perspektive berücksichtigt.

Die Arbeit nimmt daher in Abschnitt 4 die Aufarbeitung des Vorwissens bei der Repräsentationsverarbeitung vor, indem die Rolle und der Einfluss des Vorwissens auf verschiedenen Verarbeitungsebenen differenziert herausgearbeitet und im Besonderen zwischen Repräsentations- und Inhaltsvorwissen differenziert wurden.

In Abschnitt 5 wurde das Inhaltsvorwissen, im Speziellen für den Kontext der Technikdidaktik, in Form eines Analyserasters – ArTWin – aufgearbeitet und modelliert. Wichtiger Aspekt dieses Ansatzes ist die klare Trennung zwischen technischem und bezugswissenschaftlichem Wissen. Zugleich werden lernpsychologische Erkenntnisse berücksichtigt und wiedergegeben.

Das entwickelte Modell wurde in Abschnitt 6 durch ein Interrater-Verfahren erfolgreich validiert, sodass eine grundsätzliche Messfähigkeit eines auf dieser Modellierung gestalteten Instrumentes gegeben ist. An dieser Stelle soll daher noch einmal betont werden, dass mit der Modellierung – dem Wissen des Autors nach erstmalig – ein empirisch abgesichertes Instrument zur Verfügung steht, welches die Schwierigkeit einer Repräsentationsverarbeitung an die kognitiven Anforderungen eben jener Repräsentation im Sinne des benötigten Vorwissens knüpft. Dies ist besonders für zukünftige Untersuchungen von Lernprozessen mit Repräsentationen im Prä-Post-Design für die Konzeption der Wissenstests von Interesse: Mittels einer Analyse der Anforderungen mithilfe von ArTWin lassen sich valide Test-Items konstruieren, sowohl bezüglich des relevanten Vorwissens als auch bezüglich des zu erlernenden Wissens.

Insofern ist die Hoffnung, dass entsprechend an den Anforderungen gemessene Vorkenntnisse der Lernenden zu einer konsistenteren Ergebnislage hinsichtlich des Einflusses von Vorwissen führen.

Aus Sicht der didaktischen Praxis ist das übergeordnete Ziel der Arbeit, durch eine differenzierte Betrachtung des Vorwissens im Rahmen der Modellierung mittels ArTWin ein Verständnis für die kognitiven Anforderungen beim Lernen allgemein sowie mit Repräsentationen im Speziellen zu entwickeln.

In Abschnitt 7 wurde deshalb die Einsatzmöglichkeit im Rahmen gewerblich-technischer Unterrichtsplanung vorgestellt und der sich dadurch ergebende lernenden-zentrierte Ansatz anhand von drei fiktiven Lernendenpersönlichkeiten verdeutlicht. An diesem Beispiel konnte gezeigt werden, dass durch ArTWin trotz eines erhöhten Planungs- und Vorbereitungsaufwandes eine Unterrichtsgestaltung ermöglicht wird, welche die unterschiedliche Lebensweltlichkeiten der Lernenden berücksichtigt und individuelle als auch an den Anforderungen des Lerngegenstandes orientierte Lernwege eröffnet.

Ähnliche Potenziale werden auch speziell für den Einsatz zur Analyse von Repräsentationen erhofft. In Abschnitt 8 wurde daher einerseits am Beispiel einer konkreten Repräsentation und andererseits an drei für die gewerblich-technische Ausbildung im Berufsfeld Metall prominenten Repräsentationsformen – Fotografien, pneumatische Schaltpläne und mathematische Formeln - eine Möglichkeit aufgezeigt, dies mithilfe von ArTWin und unter Bereitstellung des im Rahmen des Dissertationsvorhabens erarbeiteten Repräsentationskorpus umzusetzen.

## **10. Rückblickender Ausblick**

Seit Erscheinen des ersten Artikels dieser Dissertation haben sich bereits diverse Entwicklungen um dieses Vorhaben ergeben, sodass sich statt eines reinen Blickes in die Zukunft auch ein Blick zurück lohnt, um die sich abzeichnenden Entwicklungstendenzen aufzuspüren und diese hier aufzuzeigen. der Bautechnik beim Aufbau einer digitalen Lernumgebung (Handwerkskammer Unterfranken, 2022) sowie für die Konzeption von Lehrinhalten bei Krüger et al. (o. J., S. 16) eingesetzt.

In Bezug auf den unterrichtspraktischen Einsatz von ArTWin für die allgemeine Unterrichtsplanung liegt mittlerweile im Lehrbuch „Bildungspsychologie: Ein Lehrbuch“ eine Empfehlung zur Nutzung des Instruments vor (Gräsel & Rochnia, 2022, S. 169). Ebenso wurde ArTWin in vereinfachter Form zur Analyse von Lerngegenständen in der Bautechnik beim Aufbau einer digitalen Lernumgebung (Handwerkskammer Unterfranken, 2022) als auch für die Konzeption von Lehrinhalten bei Krüger et al. (o. J., S. 16) eingesetzt. Vor diesem Hintergrund ist zu hoffen, dass ArTWin auch in Zukunft sowohl Didaktiker als auch Praktiker dabei unterstützt, Lerngegenstände für den Unterricht geeignet zu analysieren und aufzubereiten.

Weiterhin wurde ArTWin als Analyse-Instrument praktisch zur Untersuchung von Repräsentationen außerhalb dieses Dissertationsvorhabens eingesetzt. Vor dem Hintergrund immersiver Technologien analysieren Krüger und Stallmeier (2024) mithilfe des hier entwickelten und validierten Instruments technische AR- und VR-Lernumgebungen hinsichtlich der in diesen enthaltenen und durch ArTWin beschriebenen Wissensarten. Hierbei konnten entscheidende Unterschiede zwischen dem mit beiden Technologien vermittelten Wissen im prozeduralen Bereich des Handlungswissens ermittelt werden. Besonders interessant ist diese Verwendung deshalb, weil sie sich nicht auf klassische Lehrbuch-Repräsentationen bezieht, sondern die Umsetzungen in repräsentationalen

Welten vornimmt, die Lernenden erheblich mehr Spielraum zur Manipulation und eigenen Handlungen an und mit Repräsentationen einräumen.

Nicht zuletzt findet sich das Analyseraster technischen Wissens mittlerweile in theoretischen Auseinandersetzungen anderer Forschender wieder. So zum Beispiel in der Frage nach der Vermittlung von Verantwortung in Forschung und Wissenschaft durch Lehrkräfte in den Naturwissenschaften an allgemeinbildenden Schulen, wobei die Grundlagen für das vorliegende Analyseraster von Bub und Rabe (2023) zur Klärung des Verhältnisses von Physik und Technik herangezogen wurden. Es ist bemerkenswert, dass theoretische Erkenntnisse aus der anwendungs-orientierten Disziplin in grundlagenorientierte Disziplinen wie die der Physik zurückfließen und es so innerhalb des wissenschaftlichen Diskurses über Domänengrenzen hinweg zu einer Verständigung und einem Verständnis kommt.

Es bleibt zu wünschen, dass dem Analyseraster im Besonderen wie auch der Repräsentationsverarbeitung im Allgemeinen in Zukunft weitere Impulse zuteilwerden mögen – und Schüler:innen sowie Studierende der Zukunft dank eines besseren Verständnisses der Problematik deutlich weniger vor ihrem eigenen Repräsentationalen Dilemma stehen.

## Literatur

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple representations when Learning Complex Scientific Concepts. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Hrsg.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (S. 191–208). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_9)
- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27(4), 669–681. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog2704\\_5](https://doi.org/10.1207/s15516709cog2704_5)
- Alabi, O. O., Magana, A. J., & Garcia, R. E. (2013). Exploring student representational approaches in solving rechargeable battery design problems. *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1685–1687.
- Altmayer, C. (2002). Kulturelle Deutungsmuster in Texten. Prinzipien und Verfahren einer kulturwissenschaftlichen Textanalyse im Fach Deutsch als Fremdsprache. *Zeitschrift für interkulturellen Fremdsprachenunterricht*, 6(3).
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. J. (1997). ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4), 439–462.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Ericsson & J. Smith (Hrsg.), *Towards a general theory of expertise* (S. 64–92). Cambridge University Press.
- Autorengruppe Bildungsberichterstattung. (2014). *Bildung in Deutschland 2014. Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zur Bildung von Menschen mit Behinderungen*. W. Bertelsmann Verlag.
- Autorengruppe Bildungsberichterstattung. (2016). *Bildung in Deutschland 2016. Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu Bildung und Migration*. W. Bertelsmann Verlag. [www.bildungsbericht.de/de/bildungsberichte-seit-2006/bildungsbericht-2016](http://www.bildungsbericht.de/de/bildungsberichte-seit-2006/bildungsbericht-2016)
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4(10), 829–839.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1–29.
- Bergner, O., Fehrmann, M., Hillebrand, T., Ignatowitz, E., Kluge, M., Kinz, U., Lämmlein, G., & Steinmüller, A. (2017). *Metallbau- und Fertigungstechnik. Grundbildung* (11. erweiterte Auflage). Verlag Europa-Lehrmittel.
- Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 70–87. <https://doi.org/10.1037/a0013247>
- Berthold, K., Röder, H., Knörzer, D., Kessler, W., & Renkl, A. (2011). The double-edged effects of explanation prompts. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.025>
- Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior*, 22(1), 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.01.005>
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I., & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14(3), 325–341. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.006>
- Boucheix, J.-M., & Guignard, H. (2005). What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students? Format, signaling and control of the presentation. *European Journal of Psychology of Education*, 20(4), 369–388. <https://doi.org/10.1007/BF03173563>
- Boucheix, J.-M., & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and instruction*, 19(2), 112–127.
- Bowen, G. M., & Roth, W.-M. (2002). Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. *Research in Science Education*, 32(3), 303–327. <https://doi.org/10.1023/A:1020833231966>
- Brenke, K. (2010). Fachkräftemangel kurzfristig noch nicht in Sicht. *Wochenbericht des DIW Berlin*, 46, 2–15.
- Brünken, R., Seufert, T., & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen: Fostering Coherence Formation in Learning with Multiple Representations. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, 19(1/2), 61–75. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.19.12.61>

- Bub, F., & Rabe, T. (2023). Orientierungen von Physiklehrkräften zur Rolle von Technik und Verantwortung im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s40573-023-00156-x>
- Bundesagentur für Arbeit. (2023). *Blickpunkt Arbeitsmarkt. Fachkräfteengpassanalyse 2022*.
- Byrt, T., Bishop, J., & Carlin, J. B. (1993). Bias, prevalence and kappa. *Journal of Clinical Epidemiology*, 46(5), 423–429. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(93\)90018-V](https://doi.org/10.1016/0895-4356(93)90018-V)
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. Cambridge University Press.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62(2), 233–246.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121–152.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science education*, 90(6), 1073–1091.
- Dilworth, J. (2004). Internal versus external representation. *The Journal of aesthetics and art criticism*, 62(1), 23–36.
- Eitel, A., Scheiter, K., Schüler, A., Nyström, M., & Holmqvist, K. (2013). How a picture facilitates the process of learning from text: Evidence for scaffolding. *Learning and Instruction*, 28, 48–63.
- Erlebach, R., & Frank, C. (2021). Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 59–86. <https://doi.org/10.48513/joted.v9i2.205>
- Erlebach, R., & Frank, C. (2022). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen: Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview. *Unterrichtswissenschaft*, 50, 479–516. <https://doi.org/10.1007/s42010-022-00143-0>
- Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 38.
- Feinstein, A. R., & Cicchetti, D. V. (1990). High agreement but low Kappa: I. the problems of two paradoxes. *Journal of Clinical Epidemiology*, 43(6), 543–549. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(90\)90158-L](https://doi.org/10.1016/0895-4356(90)90158-L)
- Felder, R. M., & Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering education*, 78(7), 674–681.
- Flight, L., & Julious, S. A. (2015). The disagreeable behaviour of the kappa statistic: L. Flight and S. A. Julious. *Pharmaceutical Statistics*, 14(1), 74–78. <https://doi.org/10.1002/pst.1659>
- Frank, C., Bernholt, S., & Parchmann, I. (2016). Modellierung des Zusammenhangs allgemeiner und beruflicher Kompetenzen für die Domäne Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 43–60.
- Frank, C., Härtig, H., & Neumann, K. (2017). Schulisch erworbene Kompetenzen als Voraussetzung für berufliches Wissen gewerblich-technischer Auszubildender. *Unterrichtswissenschaft*, 1, 22–35.
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y., & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness fading in mathematics and science instruction: A systematic review. *Educational Psychology Review*, 26(1), 9–25.
- Ginns, P. (2005). Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction*, 15(4), 313–331.
- Ginns, P. (2006). Integrating information: A meta-analysis of the spatial contiguity and temporal contiguity effects. *Learning and Instruction*, 16(6), 511–525.
- Glancy, A. W., & Moore, T. J. (2013). Theoretical foundations for effective STEM learning environments. *Engineering Education Working Papers, Paper 1*.
- Gräsel, C., & Rochnia, M. (2022). Kapitel 6. Bildungspsychologie des Tertiärteils. In C. Spiel, T. Götz, P. Wagner, M. Lüftenegger, & B. Schober (Hrsg.), *Bildungspsychologie: Ein Lehrbuch* (2. Aufl., S. 155–180). Hogrefe Verlag. <https://doi.org/10.1026/03108-000>
- Haffer, R., Becker-Kavan, A., van den Boom, G., Brandt, F., Braun, C., Lindner, V., Schulz, E., & Timm, J. (2014). *Grundkenntnisse Industrielle Metallberufe. Lernfelder 1-4* (6. aktualisierte Auflage). Handwerk und Technik.

- Handwerkskammer Unterfranken. (2022, Juni 23). *DigiBau-3D - Es geht los*. <https://www.digibau-3d.de/post/es-geht-los>
- Hattie, J. (2017). *The Research of John Hattie | Visible Learning*. Visible Learning Plus. <https://www.visiblelearningplus.com/content/research-john-hattie>
- Hegarty, M., & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22(4), 411–430.
- Hegarty, M., & Steinhoff, K. (1997). Individual differences in use of diagrams as external memory in mechanical reasoning. *Learning and Individual Differences*, 9(1), 19–42.
- Heidemann, W. (2012). *Zukünftiger Qualifikations- und Fachkräftebedarf. Handlungsfelder und Handlungsmöglichkeiten*. Hans Böckler Stiftung.
- Henderson, K. (1991). Flexible sketches and inflexible data bases: Visual communication, conscription devices, and boundary objects in design engineering. *Science, technology & human values*, 16(4), 448–473.
- Hengesbach, K. (2016). *Fachwissen Metall, Grundstufe und Fachstufe 1, Lehrbuch* (11. Auflage). Bildungsverlag EINS.
- Herrlinger, S., Höffler, T. N., Opfermann, M., & Leutner, D. (2016). When Do Pictures Help Learning from Expository Text? Multimedia and Modality Effects in Primary Schools. *Research in Science Education*, 1–20.
- Hettmannsperger, R., Schnotz, W., Müller, A., & Scheid, J. (2015). Understanding Basic Concepts in Ray Optics: A Representational Approach. In *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning* (S. 224–238). Springer.
- Hettmannsperger, R., Schnotz, W., Scheid, J., Kuhn, J., Müller, A., Telli, S., & Vogt, P. (2011). *Fostering representational and experimental competence considering students' prior knowledge in middle school physics classes*. GIREP-ICPE-MPTL 2010– Teaching and Learning Physics Today: Challenges? Benefits?, Reims.
- Heublein, U., Hutzsch, C., & Schmelzer, R. (2022). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. *DZHW Brief*. [https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW\\_BRIEF](https://doi.org/10.34878/2022.05.DZHW_BRIEF)
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D., & Besuch, G. (2009). *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen*. HIS Hochschul Information Systeme.
- Heublein, U., Richter, J., & Schmelzer, R. (2014). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen: Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012*. Deutsches Zentrum für Hochsch.- und Wissenschaftsforschung.
- Höffler, T. N. (2010). Spatial ability: Its influence on learning with visualizations—A meta-analytic review. *Educational psychology review*, 22(3), 245–269.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738.
- Höffler, T. N., Prechtel, H., & Nerdel, C. (2010). The influence of visual cognitive style when learning from instructional animations and static pictures. *Learning and Individual Differences*, 20(5), 479–483.
- Höffler, T. N., & Schwartz, R. N. (2011). Effects of pacing and cognitive style across dynamic and non-dynamic representations. *Computers & Education*, 57(2), 1716–1726.
- Imhof, B., Scheiter, K., Edelmann, J., & Gerjets, P. (2012). How temporal and spatial aspects of presenting visualizations affect learning about locomotion patterns. *Learning and Instruction*, 22(3), 193–205.
- Jee, B., Gentner, D., Forbus, K., Sageman, B., & Uttal, D. H. (2009). Drawing on experience: Use of sketching to evaluate knowledge of spatial scientific concepts. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society, Amsterdam, The Netherlands*.
- Johnson, A. M., Butcher, K. R., Ozogul, G., & Reisslein, M. (2014). Introductory circuit analysis learning from abstract and contextualized circuit representations: Effects of diagram labels. *IEEE Transactions on Education*, 57(3), 160–168.
- Johnson, A. M., Ozogul, G., Moreno, R., & Reisslein, M. (2013). Pedagogical agent signaling of multiple visual engineering representations: The case of the young female agent. *Journal of Engineering Education*, 102(2), 319–337.
- Johnson, A. M., Reisslein, J., & Reisslein, M. (2014). Representation sequencing in computer-based engineering education. *Computers & Education*, 72, 249–261.

- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive science*, 4(1), 71–115.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75–83.
- Johri, A., Roth, W.-M., & Olds, B. M. (2013). The role of representations in engineering practices: Taking a turn towards inscriptions. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 2–19.
- Juhl, J., & Lindegaard, H. (2013). Representations and visual synthesis in engineering design. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 20–50.
- Kaese, J., Langanke, L., Schmid, K.-G., Sokele, G., & Tiedt, G. (2016). *Metalltechnik. Grundwissen Lernfelder 1-4* (4. Auflage). Westermann.
- Kaiser, A., & Kaiser, R. (2018). Bildverstehen. In A. Kaiser, A. Lambert, R. Kaiser, & K. Hohenstein (Hrsg.), *Metakognition—Die Neue Didaktik. Metakognitiv fundiertes Lehren und Lernen ist Grundbildung* (S. 165–220). Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2005). Rapid dynamic assessment of expertise to improve the efficiency of adaptive e-learning. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 83–93.
- Kane, M. T. (1992). An argument-based approach to validity. *Psychological Bulletin*, 112(3), 527–535. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.3.527>
- Kane, M. T. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. *Journal of Educational Measurement*, 50(1), 1–73. <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological review*, 95(2), 163.
- Klein, P. D. (2003). Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: Alternatives to „learning styles“ and „multiple intelligences“. *Journal of Curriculum Studies*, 35(1), 45–81.
- Koć-Januchta, M. (2016). *Does cognitive style make a difference?: Consequences of different types of visualization and modalities for learning outcome in relation to visual and verbal cognitive style*. Dissertation, Duisburg, Essen, Universität Duisburg-Essen, 2016.
- Koedinger, K. R., & Anderson, J. R. (1990). Abstract planning and perceptual chunks: Elements of expertise in geometry. *Cognitive Science*, 14(4), 511–550.
- Koedinger, K. R., Corbett, A. T., & Perfetti, C. (2012). The Knowledge-Learning-Instruction framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning. *Cognitive science*, 36(5), 757–798.
- Kothiyal, A., Majumdar, R., Pande, P., Agarwal, H., Ranka, A., & Chandrasekharan, S. (2014). How does representational competence develop? Explorations using a fully controllable interface and eye-tracking. In L. C.-C. (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Computers in Education*.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*, 34(9), 949–968. [https://psycnet.apa.org/doi/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9%3C949::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-U](https://psycnet.apa.org/doi/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9%3C949::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-U)
- Kragten, M., Admiraal, W., & Rijlaarsdam, G. (2013). Diagrammatic literacy in secondary science education. *Research in Science Education*, 43(5), 1785–1800.
- Krey, O., & Schwanewedel, J. (2018). Lernen mit externen Repräsentationen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 159–175). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_10)
- Krüger, M., & Stallmeier, N. (o. J.). *Workbook ARiHA. Das 4x4 Konzept*. FH Münster. [https://www.fh-muenster.de/ibl/downloads/projekte/technikdidaktik/20240100\\_Workbook\\_ARiHA\\_V1.pdf](https://www.fh-muenster.de/ibl/downloads/projekte/technikdidaktik/20240100_Workbook_ARiHA_V1.pdf)
- Krüger, M., & Stallmeier, N. (2024). Analyse gewerblich-technischer AR- und VR-Anwendungen mit dem Analyseraster Technischer Wissensinhalte (ArTWIn). In A. Grimm, V. Herkner, T. Karges, & R. Schlausch (Hrsg.), *Dekarbonisierung, Digitalisierung, Demographie*. Peter Lang Verlag. <https://doi.org/10.3726/b21167>
- Kürschner, C., Seufert, T., Hauck, G., Schnotz, W., & Eid, M. (2006). Konstruktion visuell-räumlicher Repräsentationen beim Hör- und Leseverstehen. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 214(3), 117–132.

- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159–174.
- Larsen, T. J., & Naumann, J. D. (1992). An experimental comparison of abstract and concrete representations in systems analysis. *Information & Management*, 22(1), 29–40.
- Lebiere, C., & Anderson, J. R. (2008). *A connectionist implementation of the ACT-R production system*.
- Leisen, J. (1998). Physikalische Begriffe und Sachverhalte. Repräsentationen auf verschiedenen Ebenen. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik*, 47(2), 14–18.
- Leisen, J. (2005). Wechsel der Darstellungsformen. Ein Unterrichtsprinzip für alle Fächer. *Der Fremdsprachliche Unterricht Englisch*, 78, 9–11.
- Lesh, R. (1981). Applied mathematical problem solving. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 235–264.
- Lesh, R., & Doerr, H. M. (2003). Foundations of a Models and Modelling Perspective on Mathematics Teaching, Learning, and Problem Solving. In R. Lesh & H. M. Doerr (Hrsg.), *Beyond Constructivism. Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching* (S. 3–33). Mahwah.
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *ECTJ*, 30(4), 195–232.
- Lutjeharms, M. (2010). Vermittlung der Lesefertigkeit. In H.-J. Krumm, C. Fandrych, & C. Riemer (Hrsg.), *Deutsch als Fremd- und Zweitsprache: Ein internationales Handbuch* (Bd. 1, S. 976–982). Walter de Gruyter.
- Majumdar, R., Kothiyal, A., Ranka, A., Pande, P., Murthy, S., Agarwal, H., & Chandrasekharan, S. (2014). The enactive equation: Exploring how multiple external representations are integrated, using a fully controllable interface and eye-tracking. *Technology for Education (T4E), 2014 IEEE Sixth International Conference on*, 233–240.
- Mani, K., & Johnson-Laird, P. N. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory & Cognition*, 10(2), 181–187.
- Mason, L., Pluchino, P., Tornatora, M. C., & Ariasi, N. (2013). An eye-tracking study of learning from science text with concrete and abstract illustrations. *The Journal of Experimental Education*, 81(3), 356–384.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640–652.
- Mayer, R. E. (1993). Comprehension of graphics in texts: An overview. *Learning and Instruction*, 3(3), 239–245.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition, Bde. 43–71). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of educational psychology*, 82(4), 715.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of educational psychology*, 90(2), 312.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of educational psychology*, 86(3), 389.
- McCormick, R. (1997). Conceptual and Procedural Knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), 141–159.
- McCracken, W. M., & Newstetter, W. C. (2001). Text to diagram to symbol: Representational transformations in problem-solving. *Frontiers in Education Conference, 2001. 31st Annual*, 2, F2G-13.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889.
- McTigue, E., & Croix, A. (2010). Visual Literacy in Science. *Science Scope*, 33(9), 17–22.
- McTigue, E. M., & Flowers, A. C. (2011). Science visual literacy: Learners' perceptions and knowledge of diagrams. *The Reading Teacher*, 64(8), 578–589.
- Messick, S. (1989). Meaning and Values in Test Validation. The Science and Ethics of Assessment. *Educational Researcher*, 18(2), 5–11.
- Messick, S. (1993). Foundation of Validity. Meaning and Consequences in Psychological Assessment. *ETS Research Report Series*, 1993(2). <https://doi.org/10.1002/j.2333-8504.1993.tb01562.x>

- Miller, D. I., & Halpern, D. F. (2013). Can spatial training improve long-term outcomes for gifted STEM undergraduates? *Learning and Individual Differences*, 26, 141–152.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141–178. <https://doi.org/10.1002/jee.20004>
- Nitz, S., Nerdel, C., & Precht, H. (2012). Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 117–139.
- O'Keefe, P. A., Letourneau, S. M., Homer, B. D., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2014). Learning from multiple representations: An examination of fixation patterns in a science simulation. *Computers in Human Behavior*, 35, 234–242.
- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1–10.
- Ollerenshaw, A., Aidman, E., & Kidd, G. (1997). Is an illustration always worth ten thousand words? Effects of prior knowledge, learning style and multimedia illustrations on text comprehension. *International Journal of Instructional Media*, 24(3), 227.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Peirce, C. S. S. (1906). Prolegomena to an apology for pragmatism. *The Monist*, 492–546.
- Piening, D., Hauschildt, U., Heinemann, L., & Rauner, F. (2012). *Hintergründe vorzeitiger Lösungen von Ausbildungsverträgen aus der Sicht von Auszubildenden und Betrieben in der Region Leipzig*.
- Piening, D., Hauschildt, U., & Rauner, F. (o. J.). „...eigentlich wäre der Abbruch nicht notwendig gewesen...“. *Lösung von Ausbildungsverträgen aus Sicht von Auszubildenden und Betrieben*.
- Quinn, H., Schweingruber, H., & Keller, T. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29, 717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Rau, M. A., & Scheines, R. (2012). *Searching for variables and models to investigate mediators of learning from multiple representations*.
- Reisslein, J., Johnson, A. M., & Reisslein, M. (2015). Color coding of circuit quantities in introductory circuit analysis instruction. *IEEE Transactions on Education*, 58(1), 7–14.
- Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying visual displays: How to instructionally support learning. *Educational Psychology Review*, 29(3), 599–621.
- Rohrbach-Schmidt, D., & Uhly, A. (2015). Determinanten vorzeitiger Lösungen von Ausbildungsverträgen und berufliche Segmentierung im dualen System. Eine Mehrebenenanalyse auf Basis der Berufsbildungsstatistik. *KZfSS Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 67(1), 105–135.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, G. (2010). Jenseits der Disziplinen-Transdisziplinarität als neues Paradigma. *LIFIS ONLINE*, 21(03), 2010.
- Rosenberg, J. (2007). Building models by coloring diagrams. *power*, 9, 10.
- Scaife, M., & Rogers, Y. (1996). External cognition: How do graphical representations work? *International journal of human-computer studies*, 45(2), 185–213.
- Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1975). *Scripts, plans, and knowledge*. Yale University New Haven, CT.
- Scheid, J. (2013). *Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur* (Bd. 151). Logos Verlag Berlin GmbH.
- Scheid, J., Müller, A., Schnotz, W., Kuhn, J., & Müller, W. (2011). Development of Representational Competence via Cognitive Activating Tasks for Physical Experiments. *Proceedings of GIREP 2010 – Teaching and Learning Physics Today: Challenges? Benefits?*
- Scheiter, K., Richter, J., & Renkl, A. (2018). Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern. In H. Niegemann (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 1–26). Springer.
- Schnieder, E., & Schnieder, L. (2013). Formulierung und Formalisierung der Beschreibung. In E. Schnieder & L. Schnieder (Hrsg.), *Verkehrssicherheit: Maße und Modelle, Methoden und Maßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr* (S. 17–38). Springer-Verlag.

- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292–318.
- Schnotz, W. (2014). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second Edition, S. 72–103). Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, 13(2), 141–156.
- Schnotz, W., & Mikkilä, M. (1991). Symbolische und analoge Repräsentationen beim Verstehen technischer Geräte. *Zeitschrift für Psychologie, Suppl.*, 11, 223–235.
- Schnotz, W., Picard, E., & Hron, A. (1993). How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics? *Learning and Instruction*, 3(3), 181–199.
- Schuster, M. (2016). *Ursachen und Folgen von Ausbildungsabbrüchen*. EIKV-Schriftenreihe zum Wissens- und Wertemanagement.
- Schwonke, R., Berthold, K., & Renkl, A. (2009). How multiple external representations are used and how they can be made more useful. *Applied Cognitive Psychology*, 23(9), 1227–1243.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), 227–237.
- Slough, S. W., McTigue, E. M., Kim, S., & Jennings, S. K. (2010). Science textbooks' use of graphical representation: A descriptive analysis of four sixth grade science texts. *Reading Psychology*, 31(3), 301–325.
- Starauschek, E. (2003). Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 135–146.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295–312.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International journal of human-computer studies*, 57(4), 247–262.
- Uhly, A. (2015). *Vorzeitige Vertragslösungen und Ausbildungsverlauf in der dualen Berufsausbildung. Forschungsstand, Datenlage und Analysemöglichkeiten auf Basis der Berufsbildungsstatistik*. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung.
- Ullrich, M. (2011). *Einflüsse der Verarbeitungsreihenfolge auf den Wissenserwerb mit Texten und Bildern*. Universität Koblenz-Landau.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological bulletin*, 139(2), 352.
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational psychology review*, 17(2), 147–177.
- VDI (Hrsg.). (2007). *Bildungsstandards für den mittleren Berufsabschluss Technik*. [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur/bg-bilder/bildungsstandards\\_2007.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/bg-bilder/bildungsstandards_2007.pdf)
- VDI & IW (Hrsg.). (2024). *Ingenieurmonitor 2023/III*. <https://www.vdi.de/ueberuns/presse/publikationen/details/vdi-iw-ingenieurmonitor-3quartal-2023>
- Verhoeven, L., & Perfetti, C. (2008). Advances in text comprehension: Model, process and development. *Applied Cognitive Psychology*, 22(3), 293–301.
- Ziepprecht, K., Schwanewedel, J., Heitmann, P., Jansen, M., Fischer, H. E., Kauertz, A., Kobow, I., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2017). Modellierung naturwissenschaftlicher Kommunikationskompetenz – ein fächerübergreifendes Modell zur Evaluation der Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 113–125. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0061-8>

## Danksagung

Diese Arbeit und ihre Publikationen wären ohne die Unterstützung und vielfältigen Rückmeldungen einiger wichtiger Personen nicht möglich gewesen, denen ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Zuallererst möchte ich meiner Betreuerin und Doktormutter, Prof. Dr. Carolin Frank, meinen Dank aussprechen. Auch im Strudel des Abgabestresses behielt sie das Steuer fest in der Hand. Das Thema stammt von ihr. In den letzten knapp acht Jahren der „Repräsentationsverarbeitung“ haben wir gemeinsam einen Weg durch unser ganz eigenes Repräsentationales Dilemma gefunden und sind von einem gewissen Vorwissen über technische Inhalte und Repräsentationen zu einem deutlich tieferen Verständnis über technische Inhalte und Repräsentationen gelangt – auch wenn unsere ursprüngliche Vorstellung einer „knackigen“ empirischen Studie sich zu einer deutlich stärker theoretieorientierteren Ausrichtung um-entwickelte.

Ebenso möchte ich Prof. Dr. Johannes Naumann danken für seine Unterstützung und Beratung in statistischen Angelegenheiten sowie dafür, dass er trotz der geringen Verteilungsdichte an Zahlen- und Datenmaterial im endgültigen Vorhaben bereit ist, diese Arbeit als Zweitgutachter zu lesen und bewerten.

Meinen Kolleginnen und Kollegen, die ArtWin in verschiedenen Kontexten angewendet und auf dessen Gebrauchsfähigkeit und Verständlichkeit hin ausprobiert haben, möchte ich ebenfalls danken. Dank ihrer Geduld und ihrer Bereitschaft, die Idee hinter ArtWin weiterzuentwickeln und anzupassen, konnten wir neue Herausforderungen ausmachen, ArtWin aus verschiedenen Perspektiven durchdenken und so besser verstehen.

Mein besonderer Dank gilt meinem geschätzten Kollegen Peer Leske, M.Ed., und Herrn Alexander Fröbisch, M.Sc., die als Zweitgutachter für die Publikation des Jahres 2024 zur Verfügung standen. Ihr Fleiß und ihre Geduld ermöglichten das berichtete Interrater-Verfahren.

Meiner Lektorin, Frau Claudia Putsche, M.A., gebührt ein ebenso besonderer Dank für ihr Lektorat meiner Artikel. Ihre strengen Blicke auf meine Textentwürfe haben mir geholfen, viele schwerfällige und schwer verständliche Formulierungen zu verbessern. Dank ihrer professionellen Arbeit, Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge blieben meinen Leser:innen zahlreiche Knotenbildungen in Satzstruktur und Verständnis erspart.

Auch meiner Kollegin Frau Annegret Scheller-Hornik, M.Ed., möchte ich danken, die die nervenaufreibende Endkorrektur dieses Textes übernommen hat.

Meiner wunderbaren Frau Hui Chen, M.A., danke ich von Herzen für ihre Nachsicht, Geduld und die Bereitstellung ihres Lieblingssitzplatzes auf der Couch als temporäres Promotionshauptquartier. Sie musste von allen meiner Mitmenschen in den vergangenen Monaten am meisten meine Anwesenheit in Abwesenheit aushalten und ertragen. Dieser Dank gilt auch meinen beiden noch sehr jungen Katzen (keine akademischen Titel verfügbar), die gegen Ende des Dissertationsvorhabens in unserem Haus und Heim Einzug hielten und mit ihrem Drang nach Aufmerksamkeit die eine oder andere Sonderkorrektur der Abfassung veranlasst haben.<sup>20</sup>

Ich möchte an dieser Stelle auch allen lieben Mitmenschen danken, die ich in letzter Zeit mit ihren Anliegen auf die „Zeit nach der Abgabe“ vertrösten musste – privat wie auch beruflich. Wir holen das nach. Versprochen.

---

<sup>20</sup> Einziges Direktzitat ohne Angabe der Autorenschaft in dieser Arbeit: „609ztko32ê rt0gn dpüguz öl“