BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Veränderungen der Artenkenntnis im Kontext des Biodiversitätswandels: Herausforderungen und Potentiale

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)
der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
der Bergischen Universität Wuppertal

angefertigt am
Lehrstuhl für Zoologie und Didaktik der Biologie

vorgelegt von
Luisa Marie Beunink
Wuppertal, 2024

Erstgutachterin und Betreuerin: Prof.‘in Dr. Angelika Preisfeld

Lehrstuhl für Zoologie und Didaktik der Biologie, Bergische Universität Wuppertal

Zweitgutachter: Prof. Dr. Norbert Grotjohann

Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik (Botanik und Zellbiologie) – Universität Bielefeld

Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Prof.‘in Dr. Angelika Preisfeld. Danke, dass du mir die Möglichkeit gegeben hast, dieses spannende und aktuelle Thema zu bearbeiten. Du hattest immer ein offenes Ohr, hilfreiche Ratschläge und warst auch in distanzierten Pandemiezeiten niemals weit weg.

Bei Prof. Dr. Norbert Grotjohann möchte ich mich ganz herzlich für die Erstellung des Zweitgutachtens und auch nochmals für den interessanten und anregenden Vortrag zur Eröffnung der gelungenen Schmetterlingsausstellung 2023 im Botanischen Garten Wuppertal bedanken.

Dr. Sabrina Bleidißel möchte ich ganz besonders für ihre vielen Ideen und anregenden Diskussionen danken. Danke Sabrina, dass du mich immer unterstützt hast und so viel zu dieser Arbeit beigetragen hast. Unvergessen werden auch die vielen schönen Stunden in Bockholmwik bleiben, die so abwechslungsreich, lehrreich und lustig waren.

Auch Prof. Dr. Karsten Damerau gilt ein großer Dank, ganz besonders für die Unterstützung bei den statistischen Auswertungen. Danke dir für deine verständlichen Erklärungen und deine vielen guten Ideen, Karsten.

Von Herzen möchte ich mich auch bei Dr. Nadine Domröse bedanken. Danke Nadine, für die vielen tollen Gespräche, die lustigen Momente und die zielführenden Diskussionen zu dieser Arbeit im Homeoffice und Büro. Es war eine wunderbare Zeit! Ganz besonders nachdem auch Dr. Franziska Hörner und Aida Mesanovic-Voigt das Büro komplett gemacht haben. Danke auch euch, Aida und Franzi (und natürlich Oskar), für diese unvergessliche Zeit! Und natürlich gilt euch auch ein riesiges Dankeschön für das intensive Korrekturlesen dieser Arbeit.

Auch bei meinen anderen liebgewonnenen Kolleg*innen der Arbeitsgruppe „Zoologie und Didaktik der Biologie“ möchte ich mich ganz herzlich für das angenehme Arbeiten, die tollen Projekte und vor allem für die grandiosen Frühstücksmeetings bedanken.

Ein großer Dank gilt dem Forschungsmuseum Koenig in Bonn, für das Bereitstellen der Präparate und Belegpräparate verschiedener Amphibien für die Photogrammmetrie und Dr. Benjamin Wasiljew für die tolle Unterstützung bei dieser Kooperation.

Auch bei Sven Ritzmann vom 3D-Druck-Labor der Uni Wuppertal möchte ich mich für die Möglichkeit bedanken, die vielen 3D-Drucker so häufig und selbstgesteuert nutzen zu können.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Dozierenden, die mir ermöglichten in verschiedenen Veranstaltungen Daten zu sammeln. Besonders bedanke ich mich bei Prof. Dr. Stefan Lötters,

der die Befragung ebenfalls an die Studierenden der Universität Trier getragen hat. Zudem gilt mein Dank den engagierten Mitgliedern des NABU und den interessierten Zoobesucher*innen, die an der Studie teilnahmen.

Besonders möchte ich mich auch bei den vielen Studierenden bedanken, die mit großem Interesse und Engagement an den teils umfangreichen Studien teilnahmen. Ein besonders großer Dank gilt Paulina Schulz, die im Rahmen ihrer Bachelorarbeit so mühelos mit an den digitalen 3D-Modellen arbeitete sowie Rieke Mitwollen und Johanna Boos für die grandiose Koloration der ausgedruckten Amphibienmodelle.

Auch bei meinem Lebensgefährten Florian möchte ich mich für sein stets offenes Ohr und seine lösungsorientierte Hilfsbereitschaft bedanken und dafür, dass er mich in dem, was ich mache, immer unterstützt.

Zum Schluss gilt mein ganz besonderer Dank meinen Eltern Marita und Jürgen. Danke euch beiden für eure unendliche Geduld und enorme Unterstützung in Gesprächen, durch Ideen und Diskussionen und durch das intensive Korrekturlesen. Ohne euch wäre dieser Weg nicht möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis VIII

Abkürzungsverzeichnis XII

Zusammenfassung XIII

Abstract XIV

1 Einleitung 1

2 Biowissenschaftlicher Hintergrund 2

2.1 Definition der biologischen Art 2

2.2 Biodiversität und Artenvielfalt 3

2.3 Betrachtete Tierarten 7

2.3.1 Bivalvia 8

2.3.2 Gastropoda 9

2.3.3 Insecta 13

2.3.4 Amphibia 17

2.3.5 Aves 22

2.3.6 Mammalia 29

2.4 Begriffsdefinitionen: Artenkenntnis und Formenkenntnis 35

2.5 Verlust von Artenkenntnis und Formenkenntnis 36

2.6 Vermittlung der Artenkenntnis und Formenkenntnis 40

3 Biodidaktischer Hintergrund 41

3.1 Digitale Medien in der Lehre 41

3.1.1 Das RAT-Modell und das SAMR-Modell 44

3.1.2 Medienkompetenz 47

3.1.2.1 Medienkompetenzrahmen NRW 47

3.1.2.2 Das TPACK-Modell 50

3.1.2.3 Medienkompetenz bei Lehramtsstudierenden 55

3.1.3 Motivation 56
3.2 Digitale Medien in der biologischen Lehre 56
3.3 3D-Modelle 62
4 Zielsetzung und Fragestellungen 65
5 Übergreifende Methodik 67
5.1 Gütekriterien für die Befragungen 67
5.1.1 Objektivitätsbewertung 67
5.1.2 Reliabilitätsbewertung 67
5.1.3 Validitätsbewertung 68
5.2 Personenbezogene Daten und Anonymität der Studie 68
5.3 Datenanalyse und statistische Auswertung 68
6 Teilstudie 1: Ermittlung der zoologischen Artenkenntnis verschiedener Kohorten 71
6.1 Hinführung zum Thema 71
6.2 Material und Methode 71
6.2.1 Versuchsdesign 71
6.2.2 Vorbereitung des Datensatzes 75
6.2.3 Stichprobe 76
6.2.4 Gütekriterien der Messinstrumente 77
6.3 Ergebnisse 77
6.4 Diskussion 85
6.5 Fazit und Ausblick 91
7 Teilstudie 2: Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden von 2009 – 2024 93
7.1 Hinführung zum Thema 93
7.2 Material und Methode 93
7.2.1 Versuchsdesign 93
7.2.2 Vorbereitung des Datensatzes 94
7.2.3 Stichprobe 95

7.2.4 Gütekriterien der Messinstrumente 95
7.3 Ergebnisse 96
7.4 Diskussion 114
7.5 Fazit und Ausblick 115
8 Teilstudie 3: Förderung der zoologischen Artenkenntnis mittels digitaler Medien 116
8.1 Hinführung zum Thema 116
8.2 Material und Methode 116
8.2.1 Versuchsdesign 116
8.2.2 Treatmentgruppen 118
8.2.3 Vorbereitung des Datensatzes 121
8.2.4 Stichprobe 121
8.2.5 Gütekriterien der Messinstrumente 123
8.3 Ergebnisse 124
8.4 Diskussion 130
8.5 Fazit und Ausblick 133
9 Teilstudie 4: Erhebung der Selbsteinschätzung zur Medienkompetenz 134
9.1 Hinführung zum Thema 134
9.2 Material und Methode 135
9.2.1 Versuchsdesign 135
9.2.2 Stichproben 136
9.2.3 Gütekriterien der Messinstrumente 139
9.3 Ergebnisse 143
9.4 Diskussion 159
9.5 Fazit und Ausblick 164
10 Teilstudie 5: Machbarkeitsstudie zur Entwicklung zoologischer 3D-Modelle 165
10.1 Hinführung zum Thema 165
10.2 Material und Methode 165
10.2.1 Photogrammmetrie 165

10.2.2 Modellberechnung 167
10.2.3 Anfertigung 3D-Druck 170
10.2.4 Nachbearbeitung und Kolorierung 173
10.3 Ergebnisse 174
10.4 Diskussion 177
10.5 Fazit und Ausblick 180
11 Übergreifende Diskussion und Limitationen 181
12 Fazit und Ausblick 183
Literaturverzeichnis 185
Anhang 211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Codierung der Aussagen zur Messung affektiv motivationaler Parameter mittels fünfstufiger Likert-Skala (Likert, 1932) sowie Werte der negativ formulierten Items nach Umcodierung. 68
Tabelle 2: Interpretation des Korrelationskoeffizienten *r* nach Cohens (1998) 69
Tabelle 3: Signifikanzniveaus (nach Zöfel, 2001) 70
Tabelle 4: Gruppierung der Antworten zum halbgeschlossenen Item "*Sind Sie im Natur- und Umweltschutz engagiert?*" mit Beispielen. 72
Tabelle 5: Zusammenfassung der zur Erfassung der zoologischen Artenkenntnis abgefragten Tierarten mit ihrem deutschen und wissenschaftlichen Artnamen sowie Darstellung des Punkteschemas 74
Tabelle 6: Gesamtstichprobengröße sowie Geschlechterverteilung der verschiedenen Kohorten. 76
Tabelle 7: Erreichte Punktzahl (*Md*) der Personengruppen in der Befragung sowie Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Post-hoc-Tests zum Kruskal-Wallis-Test 78
Tabelle 8: Erreichte Punktzahl in Abhängigkeit des Engagements im Natur- und Artenschutz sowie Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Post-hoc-Tests zum Kruskal-Wallis-Test .. 80
Tabelle 9: Lageparameter des Antwortverhaltens der Teilnehmenden unabhängig von der Personengruppe 82
Tabelle 10: Ergebnisse der Post-hoc-Tests und der entsprechenden Effektstärken zum paarweisen Vergleich des Antwortverhaltens der Personengruppen zu den Fotos der unterschiedlichen Taxa. 83
Tabelle 11: Items des Konstruktes *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* 94
Tabelle 12: Informationen zum Manuskript 96
Tabelle 13: Tabellarische systematische Einordnung der behandelten Arten beispielhaft am Kurstag Amphibia, die den Studierenden für ihre Unterlagen bereitgestellt wurde 120
Tabelle 14: Anzahl und Durchschnittsalter der Teilnehmenden an Pre- und Posttest in den Erhebungsjahren von 2009 bis 2023 sowie in den drei Kursformaten (*analog, digital, blended learning*) 122
Tabelle 15: Anzahl und Durchschnittsalter der Teilnehmenden am Follow-Up Test in den Jahren 2022 und 2023. 122
Tabelle 16: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* im Pre- und Posttest der dritten Teilstudie (N = 714) sowie im Follow-Up Test (N = 48) 123

Tabelle 17: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians der erreichten Punkte im Wissenstest durch den universitären Formenkenntniskurs in den Erhebungsjahren 125
Tabelle 18: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* durch den universitären Formenkenntniskurs in den Erhebungsjahren 127
Tabelle 19: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians der erreichten Punkte im Wissenstest durch die verschiedenen Kursformate 128
Tabelle 20: Erfassung der Nutzung digitaler Hard- und Software von Teilnehmenden 135
Tabelle 21: Verteilung der Fachsemester innerhalb der finalen Stichproben für die Konstrukte *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* sowie der Konstrukte *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* 137
Tabelle 22: Zusammensetzung der Stichproben in Abhängigkeit der Erhebungsjahre (Ø Alter in Jahren) 138
Tabelle 23: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TCK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 350. 140
Tabelle 24: Items und Gütekriterien des Konstruktes *PCK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 353. 140
Tabelle 25: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TPK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 376. 141
Tabelle 26: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TPACK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 306. 141
Tabelle 27: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz*. 142
Tabelle 28: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* 143
Tabelle 29: Ergebnisse der Post-hoc-Tests beim paarweisen Vergleich der *Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien* in Abhängigkeit des Fachsemesters 146
Tabelle 30: Ergebnisse der Post-hoc-Tests beim paarweisen Vergleich der Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien in Abhängigkeit des Erhebungsjahres 147
Tabelle 31: Korrelation der Skalen *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* nach Jahren 149
Tabelle 32: Verteilung der Antworten der Skalen *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* in Abhängigkeit des Fachsemesters 150

Tabelle 33: Verteilung der Antworten der Skalen *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres. 154
Tabelle 34: Korrelationen zwischen den TPACK-Skalen und dem Erhebungsjahr..... 157
Tabelle 35: Eigene Einschätzung der Kompetenzen im Umgang mit digitalen Tools von Befragten in den Erhebungsjahren auf einer visualisierten Skala von 0 (schlecht) bis 4 (sehr gut) 159
Tabelle 36: Einstellungen zum 3D-Druck der verschiedenen Amphibienmodelle 172
Tabelle 37: Kosten für das Equipment zur Erstellung von 3D-Modellen mittels Photogrammmetrie im Rahmen der vorliegenden Arbeit (Stand 2024)..... 176

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der gefährdeten Tierarten in der Roten Liste von 2000 bis 2023 5
Abbildung 2: Ausschnitt einer schematischen Darstellung der Systematik angesprochener Taxa. 7
Abbildung 3: Aufbau und wichtigste Merkmale der Schale der Bivalvia von Innen (hier die rechte Schalenhälfte von *Mya arenaria* Linnaeus, 1758) 8
Abbildung 4: *Mytilus edulis* 9
Abbildung 5: Aufbau eines rechtsgewundenen Gehäuses der Gastropoda (hier *Helix pomatia* Linnaeus, 1758) 10
Abbildung 6: *Cepaea hortensis* (a) und *Cepaea nemoralis* (b) im Vergleich 11
Abbildung 7: *Helix pomatia* 11
Abbildung 8: *Balea biplicata* 12
Abbildung 9: *Limax maximus* 12
Abbildung 10: *Libellula depressa* ♂ (a) und ♀ (b) 14
Abbildung 11: *Pyrrhocoris apterus* 15
Abbildung 12: *Melolontha melolontha* 15
Abbildung 13: *Vanessa atalanta* 16
Abbildung 14: *Aglais urticae* 17
Abbildung 15: *Hyla arborea* 18
Abbildung 16: *Bufo bufo* Paar im Amplexus 19
Abbildung 17: *Salamandra salamandra terrestris* 20
Abbildung 18: *Ichthyosaura alpestris* ♂ in Wassertracht (a) und in Landtracht (b) 22
Abbildung 19: *Troglodytes troglodytes* 23
Abbildung 20: *Fringilla coelebs* (♂) 24
Abbildung 21: *Dendrocopos major* (♂) 24
Abbildung 22: *Pica pica* 25
Abbildung 23: Vergleich von *Parus major* (a) und *Cyanistes caeruleus* (b) 26
Abbildung 24: *Erithacus rubecula* 27
Abbildung 25: *Tyto alba* 27
Abbildung 26: *Anas platyrhynchos* ♀ (a) und ♂ (b) 28
Abbildung 27: *Vulpes vulpes* 31
Abbildung 28: *Sus scrofa* ♀ mit Jungtieren 32
Abbildung 29: *Castor fiber* 33
Abbildung 30: *Marmota marmota* 34

Abbildung 31: *Ursus maritimus*..... 34
Abbildung 32: Gegenüberstellung des RAT-Modells nach Hughes et al. (2006) und des SAMR-Modells nach Puentedura (2006) zur Einbindung digitaler Medien in die Lehre. 46
Abbildung 33: Der Medienkompetenzrahmen NRW 49
Abbildung 34: Darstellung der Kompetenzbereiche des TPACK-Rahmenkonzepts 50
Abbildung 35: Kompetenzrahmen DiKoLAN..... 53
Abbildung 36: Taxonomische Organisation der Organismen auf der Webseite digitib.de (2024). 60
Abbildung 37: Darstellung der Tierarten mit qualitativ hochwertigen Fotos und Benennung mit anonymisierten Indexnummern auf der Webseite digitib.de (2024) 61
Abbildung 38: Bepunktungsschema der offenen Textantworten im Wissenstest am Beispiel der Erdkröte und des Buchfinken..... 75
Abbildung 39: Verteilung der normierten Punktzahl über die Personengruppen hinweg 79
Abbildung 40: Verteilung der normierten Summen in Abhängigkeit des Engagements im Natur- und Umweltschutz 80
Abbildung 41: Erreichte Punktzahl der Befragten in Abhängigkeit von der Umgebung, in der sie aufgewachsen sind 81
Abbildung 42: Erreichte Punktzahl innerhalb der jeweiligen Taxa in Abhängigkeit der Personengruppen 84
Abbildung 43: Versuchsdesign der dritten Teilstudie 117
Abbildung 44: Entwicklung der normierten Summe im Wissenstest (16 Items) zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests über den Erhebungszeitraum von 2009 bis 2023 124
Abbildung 45: Erhebung der *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* der Befragten zwischen Pre- und Posttest, gemessen an einer fünfstufigen Likert-Skala (0 = stimme gar nicht zu; 4 = stimme voll zu), in Abhängigkeit vom Erhebungsjahr (Anzahl Items: 5) 126
Abbildung 46: Entwicklung der normierten Summe im Wissenstest vom Pre- zum Posttest in Abhängigkeit der Kursformate..... 128
Abbildung 47: Differenz der erreichten Punktzahl im Wissenstest (WT) zwischen Pre- und Posttest in Abhängigkeit der Kurskonzepte 129
Abbildung 48: Veränderung der erreichten Punktzahl im Wissenstest vom Pretest zum Posttest und zum Follow-Up Test in den Jahren 2022 und 2023 (Kurskonzept *blended learning*) 130
Abbildung 49: Einschätzung der eigenen Kompetenz im Umgang mit einzelnen digitalen Werkzeugen..... 136

Abbildung 50: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* in Abhängigkeit vom Fachsemester 144
Abbildung 51: Veränderung der normierten Summenscores des Konstrukts *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* in Abhängigkeit der Erhebungsjahre 145
Abbildung 52: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt Motivation zum Umgang mit digitalen Medien über die Fachsemester 146
Abbildung 53: Veränderung der normierten Summenscores des Konstrukts *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* in Abhängigkeit der Erhebungsjahre 148
Abbildung 54: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TCK* in Abhängigkeit des Fachsemesters 151
Abbildung 55: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *PCK* in Abhängigkeit des Fachsemesters 151
Abbildung 56: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPK* in Abhängigkeit des Fachsemesters 152
Abbildung 57: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPACK* in Abhängigkeit des Fachsemesters 153
Abbildung 58: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TCK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres 154
Abbildung 59: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *PCK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres 155
Abbildung 60: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres 155
Abbildung 61: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt TPACK in Abhängigkeit des Erhebungs-jahres 156
Abbildung 62: Relativer Anteil der Teilnehmenden, die abgefragte digitale Tools im privaten oder universitären Kontext nutzten 158
Abbildung 63: Schematische Darstellung des Aufbaus zur Photogrammmetrie 166
Abbildung 64: Aufbau des Settings zur photogrammetrischen Erfassung der Präparate in einer Lightbox, mit Foldio360 Smart Drehteller und der Systemkamera Sony α6400 auf einem Rollei Stativ (links: *Epidalea calamita*, rechts: *Ichthyosaura alpestris*) 167
Abbildung 65: Alignment in Agisoft Metashape 168
Abbildung 66: Mesh-Generierung in Agisoft Metashape 168
Abbildung 67: Texturgebung in Agisoft Metashape 169

Abbildung 68: Nachbearbeitung der digitalen 3D-Modelle im Programm Blender am Beispiel von *Epidalea calamita*, bei der die Flanken ausgebessert (a: ursprüngliches Modell; b: bearbeitet) und die Beinstellung verändert wurden (c: ursprüngliches Modell; d: bearbeitet). Die Pfeile markieren Nachbearbeitungen..... 170
Abbildung 69: Positionierung der 3D-Modelle in der Software PrusaSlicer 171
Abbildung 70: Ansicht der Einstellungen in PrusaSlicer für den 3D-Druck der Modelle am Beispiel von *Bufotes viridis*..... 172
Abbildung 71: 3D-Druck der Amphibienmodelle am Beispiel von *Bufotes viridis.*..... 173
Abbildung 72: Glätten von unebenen Stellen am gedruckten 3D-Modell (beispielhaft *Bufotes viridis)*. Die Pfeile markieren entsprechende Stelle 173
Abbildung 73: Herausstellen charakteristischer Farbtöne anhand digitaler Bilder der Organismen hier am Beispiel von *Bufotes viridis* 174
Abbildung 74: Koloration der 3D-Modelle am Beispiel von *Bufotes viridis* 174
Abbildung 75: Vergleich der lebendigen Tiere, der für die Photogrammmetrie verwendeten alkoholfixierten (Beleg-)Präparate der Amphibien und der daraus erzeugten texturierten 3D-Modelle 175
Abbildung 76: Bearbeitung und Kolorierung der gedruckten 3D-Modelle am Beispiel von *Bombina variegata* und Vergleich mit dem realen Tier..... 177

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BArtSchV	Bundesartenschutzverordnung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetzt
Bsal	*Batrachochytrium salamandrivorans*
bspw.	beispielsweise
BUW	Bergische Universität Wuppertal
CBD	Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity)
COP15	15. Weltnaturkonferenz
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DiKoLAN	Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften
FDM	Fused Deposition Modeling
FFH-Richtlinie	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
GBF	Global Biodiversity Framework
ICT	information and communication technologies
IQR	Interquartilsabstand
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
JIM	Jugend, Information und (Multi-) Media
KMK	Kultusministerkonferenz
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
LPI	Living Planet Index
Md	Median
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NawiTec	Naturwissenschaften und Technik
PCK	Pedagogical Content Knowledge
PLA	Polylactide
SDGs	Sustainable Development Goals
TCK	Technological Content Knowledge
TPACK	Technological Pedagogical Content Knowledge
TPK	Technological Pedagogical Knowledge
UNB	Untere Naturschutzbehörde
VR	Virtual Reality
WT	Wissenstest
WWF	World Wide Fund For Nature

Zusammenfassung

Der dramatische und fortschreitende Rückgang der Biodiversität unserer heimischen Flora und Fauna rückt immer mehr in den Fokus von Gesellschaft und Politik. Die Zahl der bedrohten Tier- und Pflanzenarten steigt bereits seit Jahren stetig. Trotz eines zunehmenden Interesses vieler Menschen an der Natur nimmt die Artenkenntnis innerhalb unserer Bevölkerung gleichzeitig immer weiter ab. Die Kompetenzen, Arten erkennen, unterscheiden und benennen zu können, ist jedoch essentiell, um diese auch als schützenswert zu erachten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die zoologische Artenkenntnis verschiedener Personengruppen, darunter Biologiestudierende, Studierende ohne Bezug zum Fach Biologie sowie Personen außerhalb des universitären Raums, erfasst. Es zeigt sich dabei eine sehr geringe zoologische Artenkenntnis besonders bei jungen Menschen. Die Mammalia werden deutlich häufiger korrekt benannt als andere abgefragte Taxa wie Amphibia oder Insecta. Erneut zeigt sich hier die niedrige Bekanntheit vieler oft bedrohter Arten. Als besonders besorgniserregend ist die niedrige zoologische Artenkenntnis bei Lehramtsstudierenden des Fachs Biologie zu werten. Die vorliegenden Studie zeigt, dass die Kenntnisse dieser Kohorte über den Zeitraum von 2009 bis 2024 durchgehend sehr gering sind und eine negative Entwicklung erkannt werden kann. Ihrer Rolle als Multiplikatoren von Umweltbildung können die angehenden Lehrkräfte im späteren Berufsleben jedoch nur mit einer eigenen fundierten Artenkenntnis gerecht werden. Daher wird die fachwissenschaftliche Vermittlung der zoologischen Artenkenntnis in der Universität gefördert. Es wird deutlich, dass digitale Medien und Lernszenarien hier motivierend und unterstützend wirken können. Auch der Einsatz digitaler und gedruckter 3D-Modelle kann dabei einen positiven Effekt haben. Durch Photogrammmetrie und FDM 3D-Druck können die Modelle anwenderfreundlich und mit vergleichsweise geringem materiellen Einsatz erstellt werden. Zum sinnvollen und lernförderlichen Einsatz digitaler Tools sowohl zum Lernen als auch zum Lehren ist jedoch eine ausgeprägte Medienkompetenz notwendig. Die zusätzlich im Rahmen der Studie ermittelte Medienkompetenz zeigt, dass insbesondere durch die pandemiebedingte Ausnahmesituation und den dadurch zunehmenden Einsatz digitaler Medien in der Lehre auch die Medienkompetenz der Studierenden zugenommen hat.

Die Arbeit verdeutlicht, dass die zoologische Artenkenntnis besonders bei jungen Menschen gering ist und einer nachhaltigen Förderung bedarf. Durch digitale Medien kann die Attraktivität des Themas der organismischen Biologie gesteigert und durch selbstgesteuertes Lernen die in den befragten Kohorten geringe Artenkenntnis gefördert werden kann. Damit lässt sich für Artenvielfalt sensibilisieren und potenziell dem Verlust von Biodiversität begegnen.

Abstract

The dramatic and ongoing decline in the biodiversity of our native flora and fauna is increasingly becoming the focus of society and politics. The number of endangered animal and plant species has been rising steadily for years. Despite the increasing interest of many people in nature, the knowledge of species within our population continues to decline. However, the ability to recognize, distinguish and name species is essential if they are to be considered worth protecting.

In this study, the zoological species knowledge of various groups of people, including biology students, students with no connection to the subject of biology and people outside the university environment, is recorded. It shows a very low zoological knowledge of species, especially among young people. Mammalia are named correctly much more frequently than other taxa surveyed, such as Amphibia or Insecta. Once again, this shows the low level of awareness of many often endangered species. The low level of zoological species knowledge among student teachers of biology is particularly alarming. The present study shows that the knowledge of this cohort is consistently very low over the period from 2009 to 2024 and a negative trend can be identified. However, prospective teachers can only fulfill their role as multipliers of environmental education in their later professional life if they have a sound knowledge of species. For this reason, the scientific teaching of zoological species knowledge is promoted at the university. It is clear that digital media and learning scenarios can have a motivating and supportive effect here. The use of digital and printed 3D models can also have a positive effect. Photogrammetry and FDM 3D printing can be used to create user-friendly models with comparatively little material input. However, a high level of media literacy is required to use digital tools in a meaningful and learning-promoting way, both for learning and for teaching. The additional data on digital literacy collected as part of the study shows that students' media literacy has also increased, particularly due to the exceptional situation caused by the pandemic and the resulting increase in the use of digital media in teaching.

The work makes it clear that knowledge of zoological species is low, especially among young people, and requires sustained promotion. Digital media can increase the attractiveness of the topic of organismic biology and, through self-directed learning, the low level of species knowledge in the cohorts surveyed can be promoted. This can raise awareness of biodiversity and potentially counteract the loss of biodiversity.

1 Einleitung

Der seit einigen Jahren zu beobachtende dramatische Rückgang der Biodiversität kann nur als Problem erkannt werden, wenn dem Menschen bewusst ist, was dabei unwiederbringlich verloren geht. Ohne Artenkenntnis bleibt dieser Rückgang ein nur weitgehend abstraktes Phänomen. Eine verbesserte Artenkenntnis sollte den Bezug des Menschen zur Natur stärken und somit die Bedeutung einer artenreichen Umwelt hervorheben. Damit hat eine grundlegende Arten- und Formenkenntnis das Potential, zum Schutz der Biodiversität beizutragen. In einer zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Ausbildung ist es daher wichtig, die Entwicklung eines verantwortungsvollen und respektvollen Umgangs mit der Umwelt sowie eine Sensibilität für Biodiversität zu fördern. Studierende und Schüler*innen zeigen grundsätzlich ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein (Albert et al., 2019). Im Gegensatz dazu ist aber ihr Wissen über die heimische Biodiversität und deren Veränderungen durch den Klimawandel und andere Umweltveränderungen häufig sehr gering (Frobel & Schlumprecht, 2016). Umfangreiche Befragungen, Vergleiche zwischen Kohorten und langfristige Trends können den fortschreitenden Verlust von Artenkenntnis und der Notwendigkeit diesem zu begegnen verdeutlichen.

Das fehlende Wissen über Unterschiede zwischen Arten, gepaart mit einer geringen Motivation, diesen Mangel zu beheben, bildet den Anlass, neue Konzepte für eine nachhaltige Erweiterung der Artenkenntnis zu erstellen und deren Wirksamkeit zu ermitteln. Das vorliegende Konzept soll die traditionelle Vermittlung der zoologischen Arten- und Formenkenntnis erweitern und durch einen innovativen Ansatz zur Förderung der Kompetenz von Studierenden beitragen. Dieses ist besonders wichtig, da die meisten Biologie-Studierenden an der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) Lehrer*in werden möchten und somit zukünftig eine Multiplikatorfunktion einnehmen. Um Schüler*innen für Artenkenntnis und Umweltschutz zu begeistern, müssen auch die Lehrenden erst einmal motiviert werden, sich selbstbestimmt und kreativ damit auseinanderzusetzen. Zudem ist eine fundierte Formenkenntnis essentiell, um diese nachhaltig weiter vermitteln zu können. Diese muss daher bereits in der ersten Phase der Lehramtsausbildung gefördert werden.

Dabei können die Möglichkeiten, die digitale Tools mit sich bringen, eine entscheidende und zukunftsweisende Rolle spielen. Durch digitale Tools kann das Erlangen von Arten- und Formenkenntnis situationsbezogen ermöglicht und deutlich erleichtert werden (Mäder et al., 2021). Zudem schaffen digitale Medien unerwarteterweise neue Naturerfahrungen und passen das teils staubige Image der klassischen Vermittlung von Arten- und Formenkenntnis dem modernen digitalisierten Leben an.

2 Biowissenschaftlicher Hintergrund

2.1 Definition der biologischen Art

Der Begriff der Art ist jedem Biologen geläufig und doch ist eine einheitliche Definition des Begriffs nur schwer möglich. So existieren verschiedene Artkonzepte, die insbesondere in Abhängigkeit der verschiedenen Forschungsgebiete zum Einsatz kommen.

Das morphologische Artkonzept basiert auf phänotypischen Ähnlichkeiten von Organismen innerhalb von Arten und wurde schon von Carl von Linné (1758) in seinem System der binären Nomenklatur zur Klassifizierung und Benennung von Organismen genutzt. Gemeinsamkeiten im äußeren Erscheinungsbild innerhalb von Arten basieren in der Regel auf genetischen Grundlagen und ermöglichen es somit, Arten anhand des Aussehens zu definieren (Sadava et al., 2019). Jedoch können ähnliche Phänotypen auch durch Konvergenzen entstehen, sodass Gemeinsamkeiten im Erscheinungsbild nicht zwingend auf Verwandtschaften zurückzuführen sind (Sadava et al., 2019). Das zeigt die Grenzen des morphologischen Artkonzepts auf.

Das biologische Artkonzept definiert Arten auf Grundlage ihrer reproduktiven Isolation. Nach Mayr (1979) gehören Individuen einer Population derselben Art an, wenn sie unter natürlichen Bedingungen kreuzungsfähig sind und fruchtbare Nachkommen zeugen können, während sie von anderen Gruppen reproduktiv isoliert sind. Dieses biologische Artkonzept hat jedoch ebenfalls, wie alle Artkonzepte, seine Einschränkungen und Grenzen in der Anwendung. So lässt sich das biologische Artkonzept beispielsweise nicht auf Organismen übertragen, die sich ungeschlechtlich fortpflanzen. Ebenso bilden nah verwandte Arten wie bspw. Tiger und Löwen, deren gekreuzte Nachkommen fruchtbar sind, eine Ausnahme der Regel (Gaston & Spicer, 2004).

Im phylogenetischen Artkonzept werden Arten auf Grundlage ihrer gemeinsamen Abstammung und evolutionären Verwandtschaft definiert. Eine Art repräsentiert dabei das kleinste monophyletische Taxon in einem phylogenetischen Baum. Sie ist darin definiert als eine Gruppe von Organismen, die von einem gemeinsamen Vorfahren abstammen und sich von anderen Organismen unterscheiden (Wheeler & Platnick, 2000). Als zentraler Maßstab für die Identifikation von Arten wird im phylogenetischen Artkonzept die genetische Verwandtschaft, die Abstammungslinie und die evolutionäre Geschichte genutzt. Dies findet insbesondere in der Taxonomie und Systematik unter Verwendung genetischer Daten und zur Konstruktion phylogenetischer Stammbäume Anwendung.

2.2 Biodiversität und Artenvielfalt

Biodiversität ist ein vielschichtiger Begriff und umfasst insbesondere drei Bereiche: die Genetik, die Artenvielfalt und die Ökologie (Wittig & Niekisch, 2014). Die Gene eines Organismus definieren sein Erscheinungsbild und beeinflussen sein Verhalten (Tomiuk & Loeschcke, 2017). Sie dienen unter anderem auch als Grundlage für die Definition von Arten. Die Vielfalt der Organismen umfasst die zweite Ebene des Begriffs der Biodiversität. Diese definiert sich zum einen durch die Anzahl vorhandener Arten, zum anderen auch durch die Verteilung der Arten und durch ihre Beziehungen zueinander (Wittig & Niekisch, 2014). Nicht die Zahl der Individuen ist ausschlaggebend für eine hohe Artenvielfalt, sondern die Verschiedenheit der Arten sowie die Möglichkeiten zur Interaktion miteinander. Gemeinsam bilden die Arten einer Region eine Lebensgemeinschaft, bezeichnet als Biozönose, die in einem charakteristischen Lebensraum, dem Biotop, lebt (Wittig & Niekisch, 2014). Der Begriff Ökosystem umfasst die Biozönose und die Faktoren der abiotischen Umwelt. Da Biozönose und Biotop sich gegenseitig bedingen, sind Ökosysteme zwangsläufig ein bedeutender Aspekt der Biodiversität (Sadava et al., 2019). Artenreiche Ökosysteme sind von hoher ökologischer Bedeutung, da ihre Wiederstandfähigkeit und Anpassungsfähigkeit gegenüber Umweltveränderungen und Einflüssen deutlich größer ist, als bei weniger vielfältigen Lebensräumen und -gemeinschaften (Drenckhahn et al., 2020). So sind beispielsweise Monokulturen im modernen Ackerbau zur Gesunderhaltung auf den Einsatz von Pestiziden angewesen (Townsend et al., 2009), während Mischkulturen und das Vorhandensein von artenreiche Ackerwildkrautgesellschaften die Wiederstandfähigkeit deutlich erhöhen (Zerbe, 2019). Das auch die innerartliche genetische Vielfalt für die Überlebens- und Anpassungsfähigkeit innerhalb eines Ökosystems notwendig ist, zeigt sich am Beispiel des Birkenspanners (*Biston betularia* Linné, 1758). Der unscheinbare Nachtfalter ist mit seiner gräulichen Färbung sehr gut auf der hellen Rinde der Birken vor Fressfeinden getarnt (Kronberg, 2016). Innerhalb der Art natürlich vorkommende genetische Variationen, die deutlich dunkler gefärbt sind, werden leichter von Prädatoren erbeutet und kommen seltener zur Fortpflanzung. Zur Zeit der industriellen Revolution in England kam es vermehrt zu Rußablagerungen an der weißen Rinde der Birken, wodurch sich diese dunkler färbten (Henderson, 2010). Kettlewell beschrieb 1973, dass nach kurzer Zeit auch die dort vorkommenden Birkenspanner eine deutlich dunklere Färbung aufwiesen. Durch die Veränderung des Ökosystems wurden helle Individuen nun leichter von Fressfeinden entdeckt, dunkler gefärbte Exemplare hatten einen evolutiven Vorteil und kamen häufiger zur Fortpflanzung, sodass sich die Färbung lokal durchsetzte.

Aber nicht nur die Vielfalt innerhalb eines Ökosystems ist ausschlaggebend für die Stabilität der Biodiversität. Auch die Vielfalt verschiedener Ökosysteme und die Verbindungen zwischen ihnen sind essenziell für eine stabile Umwelt und Lebenswelt, auch für den Menschen (Díaz et al., 2018; Wittig & Niekisch, 2014).

Diese Vielfalt wird in nicht unbedeutendem Maße vom Menschen beeinflusst. Bereits seit Jahren wird im Rahmen vieler Studien ein dramatischer Rückgang der Biodiversität und Artenvielfalt beobachtet (Brühl & Zaller, 2019; Gaston & Spicer, 2004; Hallmann et al., 2017; Hallmann et al., 2020; Riedel, 2020; Schmid, 2003; Unnerstall, 2021). So zeigt beispielsweise der aktuelle globale Living Planet Index (LPI) durch die Bestandsüberwachung von 31.821 Populationen, die 5.230 Wirbeltierarten repräsentieren, dass die Bestände im überprüften Zeitraum von 1970 bis 2018 um 69 % zurückgingen (WWF, 2022). Innerhalb der Ordnung der Insekten zeigt sich der Rückgang der Biodiversität noch drastischer. In ihrer als Krefelder Studie bekannt gewordenen Untersuchung zeigten Hallmann et al. (2017) den deutlichen Rückgang der Biomasse von Fluginsekten von 1989 bis 2016 um dramatische 76 %. Auch andere Studien demonstrieren einen eindeutigen Rückgang sowohl in der Biomasse als auch in der Artenvielfalt der Insekten (Habel et al., 2016; Seibold et al., 2019; Wagner et al., 2021). Für den Rückgang der biologischen Vielfalt können als Haupttreiber die Intensivierung der Landwirtschaft, die fortschreitende Urbanisierung und die Veränderung des Klimas identifiziert werden (Drenckhahn et al., 2020; Leal Filho, 2019; Maxwell et al., 2016; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Sandifer et al., 2015; Wittig & Niekisch, 2014). So sind weltweit viele Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht und ihre Zahl steigt stetig an (Butchart et al., 2010; IUCN, 2023; WWF, 2022), wie auch durch die Zahl der Einträge der gefährdeten Tierarten in der Roten Liste verdeutlicht wird (Abbildung 1). Ähnliches gilt für die Zahl der gefährdeten Pflanzenarten.

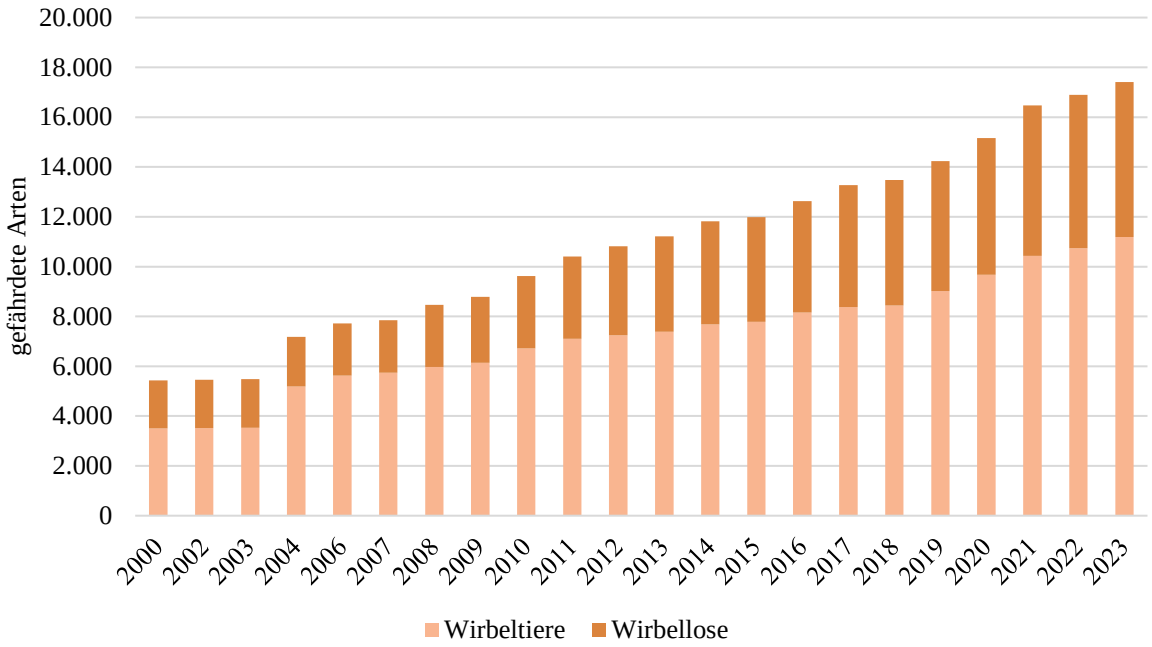


Abbildung 1: Anzahl der gefährdeten Tierarten in der Roten Liste von 2000 bis 2023 (nach IUCN, 2023)

Im Jahr 1992 wurde daher in Rio de Janeiro die Biodiversitätskonvention (*Convention on Biological Diversity*, CBD) verabschiedet, die im Jahr 2020 196 Staaten als Mitglieder zählte (CBD, 2024). Diese Konvention hat zum Ziel, unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte die biologische Vielfalt international nachhaltig zu schützen (CBD, 2024). Da trotz vieler Bemühungen der Biodiversitätsverlust weiter voranschreitet, wurde auf der 15. Weltnaturkonferenz (COP15) im Jahr 2022 in Kanada erneut über eine Strategie zum Schutz der Biodiversität diskutiert und von den Mitgliedsstaaten unter anderem beschlossen, den Verlust biologischer Vielfalt bis zum Jahr 2030 einzudämmen und bis zum Jahr 2050 zu stoppen (CBD COP, 2022). Festgesetzt wurden diese und weitere Ziele im Global Biodiversity Framework (GBF). Bereits im Jahr 2015 einigten sich die Vereinten Nationen auf den unabhängig vom GBF stehenden Aktionsplan Agenda 2030. Dieses aus 17 Entwicklungszielen (Sustainable Development Goals, SDGs) bestehende Rahmenwerk verpflichtet die Weltgemeinschaft sich für eine ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Entwicklung einzusetzen. Insbesondere die SDGs 14 und 15 thematisieren explizit den Schutz und Erhalt von Biodiversität im Wasser und an Land (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [BMZ], 2015). In Deutschland wird das Erreichen der Ziele durch verschiedene

Gesetze unterstützt. Eine Auswahl der relevantesten gesetzlichen Grundlagen wird im Folgenden kurz vorgestellt.

Bundesnaturschutzgesetz

Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) bildet eine entscheidende Rechtsgrundlage für den Schutz der Natur in Deutschland einschließlich des Erhalts der biologischen Vielfalt, des Schutzes von Lebensräumen und den nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen (BNatSchG, 2009/2022). Das BNatSchG legt verschiedene Schutzmaßnahmen fest, die darauf abzielen, die biologische Vielfalt zu bewahren und die Lebensgrundlagen von Pflanzen und Tieren zu sichern. Hierzu zählen insbesondere Regelungen zur Ausweisung von Naturschutzgebieten, Nationalparks sowie geschützten Landschaftsbestandteilen und Biotopen. Diese Schutzgebiete dienen dazu, besonders sensible Ökosysteme vor (unkontrollierten) menschlichen Eingriffen zu bewahren und eine mehr oder weniger ungestörte Entwicklung von Flora und Fauna zu ermöglichen. Ein zentrales Anliegen des BNatSchG ist auch der Erhalt und die Wiederherstellung von natürlichen Lebensräumen. Dabei werden nicht nur einzelne Arten geschützt, sondern es wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, der die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Arten und Lebensräumen berücksichtigt. Des Weiteren regelt das BNatSchG den Umgang mit geschützten Tier- und Pflanzenarten sowie die Eingriffe in die Natur durch den Menschen (BNatSchG, 2009/2022).

Bundesartenschutzverordnung

Zusätzlich dazu wurde in Deutschland zum Schutz wildlebender Tier- und Pflanzenarten im Jahr 1986 die Bundesartenschutzverordnung (BArtSchV) erlassen. In der BArtSchV ist der Schutzstatus verschiedener Tier- und Pflanzenarten in Deutschland sowie der Umgang mit diesen Arten, ihr Schutz und Verbote zum Verletzen und Töten sowie zur Zerstörung von Lebensräumen, Nahrungs- und Fortpflanzungshabitaten dieser Arten geregelt (BArtSchV, 1986/2005).

Flora-Fauna-Habitats-Richtlinie

Ergänzt werden das BNatSchG und die BArtSchV durch die im Jahr 1992 in Kraft getretene europäische Flora-Fauna-Habitats-Richtline (FFH-Richtlinie). Sie verpflichtet alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union dazu, die Biodiversität insbesondere durch ein zusammenhängendes Netz aus Schutzgebieten zu schützen. Das Netzt besteht aus ausgezeichneten FFH-Schutzgebieten und Vogelschutzgebieten und wird unter der Bezeichnung Natura 2000 zusammengefasst. Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Erhaltungszustand von Arten und Lebensräumen zu gewährleisten. Dies schließt die

Entwicklung von Bewirtschaftungsplänen und die Integration von Schutzstandards in andere Entwicklungspläne ein (FFH-Richtlinie, 1992).

Doch zum nachhaltigen Umsetzen gesetzlicher Vorschriften braucht es auch immer eine entsprechende Akzeptanz und Unterstützung aus der Gesellschaft. Insbesondere im Hinblick auf den Schutz der Biodiversität spielen dabei Emotionen und die Kenntnisse über die betroffenen Arten und Ökosysteme eine entscheidende Rolle (Castillo-Huitrón et al., 2020; Herzog & Burghardt, 1988). Daher ist eine zumindest grundlegende Artenkenntnis für den Schutz der Biodiversität unerlässlich.

2.3 Betrachtete Tierarten

Im Rahmen der Studie wurden verschiedene Tierarten thematisiert, mit deren Hilfe ein Überblick über Vertreter wesentlicher heimischer Taxa sowie besonders bekannte Tierarten gegeben werden kann. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die systematische Einordnung der thematisierten Taxa. Die betrachteten Arten und übergeordnete Taxa werden im Folgenden kurz vorgestellt.

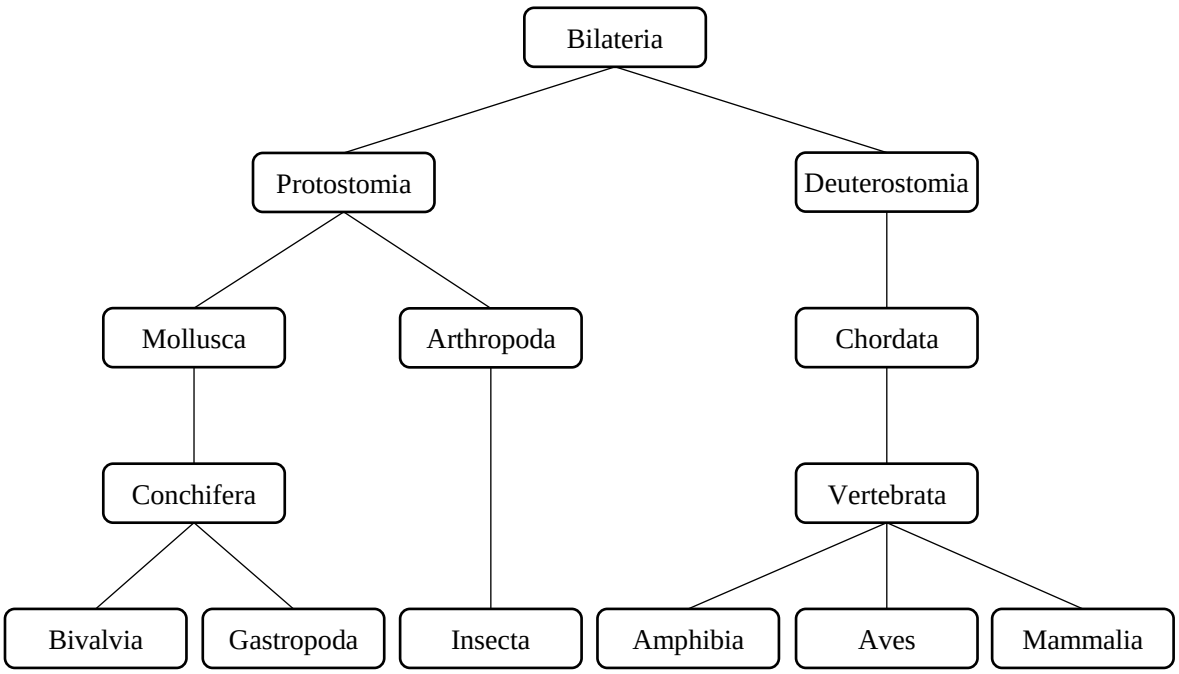


Abbildung 2: Ausschnitt einer schematischen Darstellung der Systematik angesprochener Taxa (eigene Darstellung basierend auf Schaefer (2018) und Dunn et al. (2008))

2.3.1 Bivalvia

Die Klasse der Bivalvia (Muscheln) ist durch eine zweiklappige, aus Kalk bestehende Schale und einen bilateral symmetrischen Bau charakterisiert (Lengerken, 2020). Die beiden Schalenhälften wachsen konzentrisch vom Wirbel ausgehend und sind durch das Ligament verbunden. Sie werden zudem antagonistisch zum Ligament durch einen starken Schließmuskel zusammengehalten, dessen Ansatzstellen im Inneren der Schale als Schließmuskelabdrücke erkennbar sind. Das Ligament bildet gemeinsam mit den mehr oder weniger stark ausgeprägten Schlosszähnen das Schloss der Muschel. Die Ausprägung der Schlosszähne ist für die Artbestimmung innerhalb der Bivalvia häufig ein wichtiges Merkmal. Ein ebenfalls markantes Merkmal ist die im Inneren der Muschelschale erkennbare Mantellinie, die den Rand des Mantels bezeichnet (Schaefer, 2018). Abhängig von der Siphonausprägung der Muschelart, ist eine unterschiedlich stark ausgeprägte Mantelbucht vorhanden (Abbildung 3).

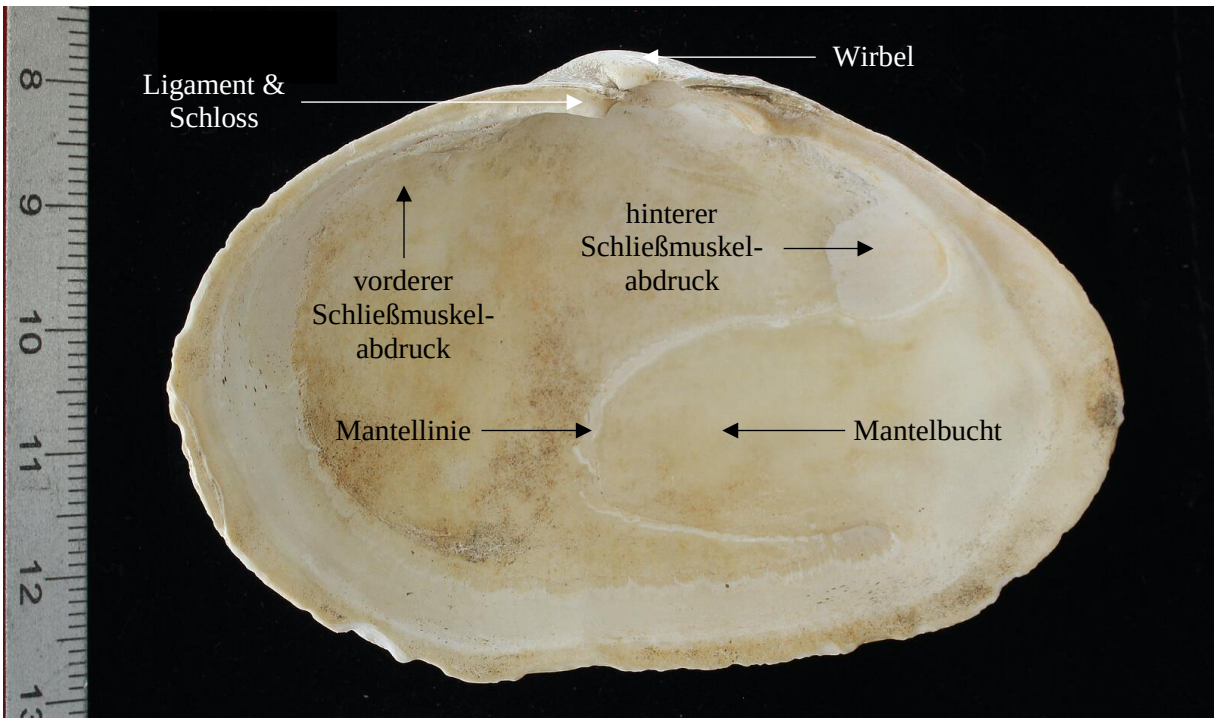


Abbildung 3: Aufbau und wichtigste Merkmale der Schale der Bivalvia von Innen (hier die rechte Schalenhälfte von *Mya arenaria* Linnaeus, 1758). (Quelle: digitib.de, 2024, verändert)

Die blauschwarze bis gelblich-braune Gemeine Miesmuschel (*Mytilus edulis* Linné, 1758) (Abbildung 4) ist eine weit verbreitete Muschelart. Sie zeigt einen charakteristischen spitzen Wirbel am Vorderende des Schalenrandes, eine langestreckte Schale und eine Größe von 30-80 mm

(Schaefer, 2018). Ihre Verbreitungsgebiete sind insbesondere küstennahe Gewässer der Nordhalbkugel, von der Gezeitenzone bis zu sublitoralen Bereichen, wobei sie sich recht tolerant gegenüber Schwankungen im Salzgehalt zeigt (Kautsky, 1982). Sie siedelt auf Hartsubstraten wie Felsen, Molen und Pfählen und bildet häufig, durch die Verbindung über Byssusfäden, dichte Miesmuschelbänke (Jungbluth et al., 2018). Für den Menschen ist *Mytilus edulis* von besonderer ökonomischer Bedeutung, da sie weltweit als Nahrungsmittelressource kommerziell in Aquakulturen kultiviert wird. Auch ökologisch nimmt die Gemeine Miesmuschel als bedeutender Filtrierer eine wichtige Rolle in den Ökosystemen der nördlichen Meere ein. Sie können bis zu einen Liter Meerwasser pro Stunde filtrieren und verbessern damit die Wasserqualität maßgeblich (Sadava et al., 2019). *Mytilus edulis* steht nicht auf der Roten Liste der gefährdeten Arten.

Abbildung 4: *Mytilus edulis* (Quelle: digitib.de, 2024)

2.3.2 Gastropoda

Die Gastropoda (Schnecken) sind innerhalb des Stamms der Mollusca das einzige Taxon, das auch an Land lebende Arten beinhaltet (Sadava et al., 2019). Die Gastropoda weisen eine charakteristische spiralige Schale auf (Schaefer, 2018). Vom Apex bis zur Mündung verlaufen die Windungen des Gehäuses um die eigene Achse und stoßen an der Mündung zusammen, wo sie einen mehr oder weniger stark ausgeprägten kegelförmigen Hohlraum, den Nabel bilden (Abbildung 5). Es wird zwischen links- und rechtsgewundenen Schneckenhäusern differenziert, wobei die Lage der Öffnung im Verhältnis zur Achse ausschlaggebend ist (Jungbluth et al., 2018). Die meisten Arten sind rechtsgewunden. Bei Schnegeln und Nacktschnecken ist das Gehäuse evolutiv zurückgebildet.

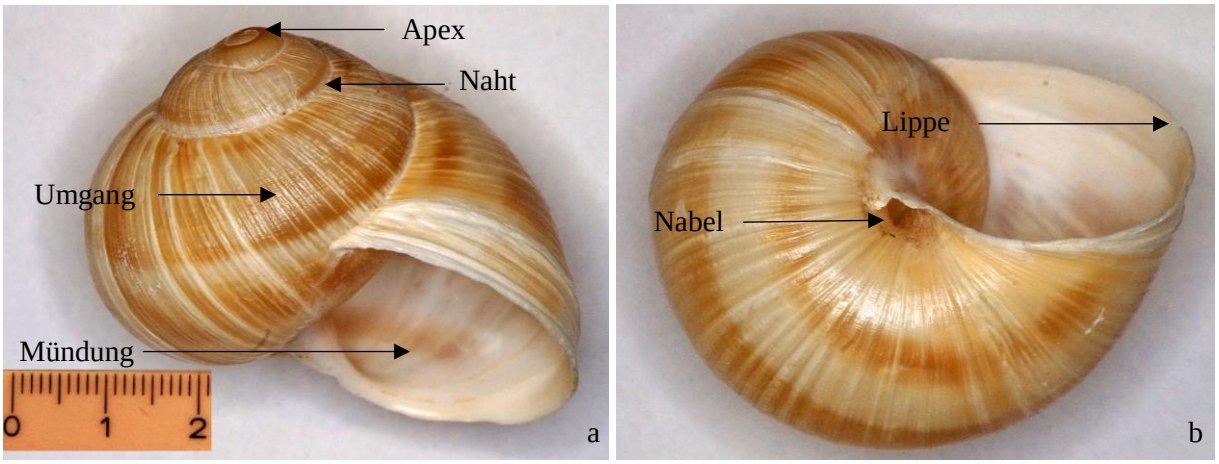


Abbildung 5: Aufbau eines rechtsgewundenen Gehäuses der Gastropoda (hier *Helix pomatia* Linnaeus, 1758). (Quelle: digitib.de, 2024, verändert)

Die landlebende Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis* (Linné, 1758)) gehört zur Familie der Schnirkelschnecken (Helicidae) und ist auf der Nordhalbkugel, insbesondere in Europa, weit verbreitet. Sie ist besonders anpassungsfähig, bewohnt vielfältige Lebensräume und ist häufig in Gärten anzutreffen. Die Art ernährt sich von abgestorbenen Pflanzenteilen und Algen. *Cepaea nemoralis* weist eine hohe Farbvariabilität auf, die meist die charakteristischen Bänder aufweist (Jones et al., 1977). Sie wird häufig mit der nah verwandten Garten-Bänderschnecke (*Cepaea hortensis* (Müller, 1774)) verwechselt. Beide Arten haben ein kugeliges, etwa 20 mm breites Gehäuse ohne offenen Nabel. Optisch lassen sich die beiden Arten durch die Färbung der Gehäusemündung unterscheiden (Schaefer, 2018). Diese ist bei der Hain-Bänderschnecke dunkel gefärbt, weshalb sie auch den Namen Schwarzmündige Bänderschnecke trägt, während die Mündung bei der Garten-Bänderschnecke hell gefärbt ist (Abbildung 6). Außerdem sind sie innerhalb eines Ökosystems als Nahrungsgrundlage für viele andere Tiere essenziell, so z. B. für die Singdrossel, deren Drosselschmieden ebenfalls einen anschaulichen Überblick über den ausgeprägten Polymorphismus der Bänderschnecken geben (Surmacki et al., 2013). *Cepaea nemoralis* steht wie ihre nahe Verwandte *Cepaea hortensis* nicht auf der Roten Liste (Neubert, 2011a) und ist nach BArtSchV in Deutschland nicht besonders geschützt.

Abbildung 6: *Cepaea hortensis* (a) und *Cepaea nemoralis* (b) im Vergleich. Die Färbung der Gehäuse und Körper sind innerhalb beider Arten sehr variabel. Zur Unterscheidung dient die Färbung der Gehäusemündung (Pfeil), die bei *Cepaea hortensis* (a) hell, bei *Cepaea nemoralis* (b) dagegen dunkel gefärbt ist. (Quelle: digitib.de, 2024, verändert)

Die ebenfalls zur Familie der Schnirkelschnecken gehörende Weinbergschnecke (*Helix pomatia* Linné, 1758) ist mit einem kugeligen Gehäuse von etwa 40 mm, teilweise auch mehr, eine der größten in Deutschland vorkommenden landlebenden Gehäuseschnecken (Jungbluth et al., 2018). Sie ist in Europa weit verbreitet, kommt in Laubwäldern sowie Kulturlandschaften vor und hat ein meist gelblich/bräunlich gefärbtes und in der Regel rechtsgewundenes Gehäuse (Abbildung 7).

Abbildung 7: *Helix pomatia* (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Weinbergschnecke ernährt sich vorwiegend von Algen und welken Pflanzenresten. Zum Überwintern, aber auch in heißen und trockenen Sommermonaten, bildet *Helix pomatia* ein Epiphragma aus (Jungbluth et al., 2018), das aus einem durch Kalkeinlagerungen verstärkten Schleimhäutchen besteht, luftdurchlässig ist und die Schnecke vor äußeren Umwelteinflüssen schützt. Die Weinbergschnecke steht nicht auf der Roten Liste (Neubert, 2011b), ist jedoch nach der BArtSchV eine besonders geschützte Art und wird auch in der FFH-Richtlinie Anhang V genannt. Gezüchtete Tiere werden jedoch traditionell auch in der Gastronomie als Delikatesse serviert.

Abbildung 8: *Balea biplicata* (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Gemeine Schließmundschnecke (*Balea biplicata* (Montagu, 1803); Synonym: *Alinda biplicata*) ist eine ebenfalls landlebende Gehäuseschnecke der Familie der Clausiliidae. Ihr Gehäuse ist auffällig turmförmig, linksgewunden und etwa 16-18 mm hoch (Schaefer, 2018) (Abbildung 8). Namengebend für Mitglieder der Familie der Clausiliidae ist das Clausilium, eine Kalkplatte zum Verschluss der Gehäuseöffnung, die über ein elastisches Band mit dem Gehäuseinneren verbunden ist. Das Clausilium ist damit fest mit dem Gehäuse der Schnecke verbunden und im Gegensatz zum Epiphragma der Schnirkelschnecken nicht nur temporär vorhanden. Es dient den Schließmundschnecken als Schutz vor Fressfeinden und analog zum Epiphragma zum Überdauern schlechter Umweltbedingungen (Lengerken, 2020). Die Gemeine Schließmundschnecke lebt in Europa an schattigen, eher feuchten Orten und ist daher insbesondere an Totholz in Wäldern zu finden. Sie ernährt sich in erster Linie von Flechten und Algen (Schaefer, 2018). *Balea biplicata* steht nicht auf der Roten Liste bedrohter Arten (Kappes, 2017) und ist auch nach BArtSchV nicht besonders geschützt. Durch möglichst extensive Forstwirtschaft und das Bewahren von Totholz in Wäldern kann die Art auch zukünftig geschützt werden.

Abbildung 9: *Limax maximus* (Quelle: digitib.de, 2024)

Der Tigerschnegel (*Limax maximus* Linné, 1758) aus der Familie der Limacidae ist eine bis zu 13 cm lange Nacktschnecke, die in Europa weit verbreitet ist und vor allem in Gärten und Parks anzutreffen ist. Die graubraune Schnecke hat ein auffallendes Muster aus schwarzen Flecken, das an die Färbung von Leoparden oder Tigern erinnert und namensgebend ist (Abbildung 9). Wie charakteristisch für Vertreter der Schnegel ist das Gehäuse auch bei dieser Art zurückgebildet (Schaefer, 2018). Der Tigerschnegel ist überwiegend dämmerungs- und nachtaktiv und versteckt sich tagsüber unter Steinen oder Hölzern. *Limax maximus* ernährt sich vorwiegend von totem Pflanzenmaterial und Pilzen, es stehen aber auch

andere Nacktschnecken und deren Gelege auf dem Speiseplan (Jungbluth et al., 2018). Daher ist der Tigerschnegel bei Gärtnern eine häufig gern gesehen Schneckenart. Der Tigerschnegel ist in Deutschland nicht gefährdet (Rowson, 2017).

2.3.3 Insecta

Die Klasse Insecta (Insekten) gehört zum Stamm der Arthropoda (Gliederfüßer) und bildet eine der vielfältigsten und zahlreichsten Gruppen im Tierreich. Mit über einer Million bekannter Arten und einer geschätzten Anzahl von mehreren Millionen bisher unentdeckter Spezies spielen Insekten eine entscheidende Rolle im globalen Ökosystem (Gaston & Spicer, 2004). Insekten zeichnen sich durch ihren charakteristischen Körperbau aus, der in drei Hauptsegmente unterteilt ist: Caput, Thorax und Abdomen. Der Kopf beherbergt die Sinnesorgane und Mundwerkzeuge. Der Thorax trägt die Extremitäten, i. d. R. bis zu zwei Flügel- und drei Beinpaare. Das Abdomen beherbergt die inneren Organe, die für die Verdauung, Fortpflanzung und Exkretion verantwortlich sind (Hickman et al., 2008).

Die Fortpflanzung erfolgt in der Regel durch Eiablage. Die schlüpfenden Larven entwickeln sich über verschiedene Stadien zum adulten Tier. Dabei wird zwischen der hemimetabolen und der holometabolen Entwicklung unterschieden. Hemimetabole Insekten, wie Wanzen und Libellen, durchlaufen eine unvollständige Metamorphose und in ihrem Entwicklungszyklus fehlt das Puppenstadium. Die juvenilen Tiere ähneln meist bereits dem Imago und entwickeln sich über mehrere Häutungen zum ausgewachsenen Individuum. Bei der holometabolen Entwicklung, typisch u.a. für Schmetterlinge und Käfer, schlüpfen Raupen oder Larven aus dem Ei. Diese zeigen bereits die für Insekten typische Dreigliedrigkeit, ähneln den adulten Tieren jedoch noch nicht. Nach mehreren Häutungen verpuppen sich die Larven. Aus der Puppe schlüpft nach einer individuellen Entwicklungsdauer das adulte Tier (Hickman et al., 2008).Viele Insektenarten verbringen einen Großteil ihres Lebens im Larvenstadium und vollziehen in ihrer adulten Form lediglich die Fortpflanzung.

Einige Insekten zeigen soziale Strukturen, so sind insbesondere Vertreter der Hymenoptera, wie Bienen oder Ameisen, staatenbildend. Viele andere Arten der Insecta leben solitär. Insekten spielen eine Schlüsselrolle in Ökosystemen, sowohl als Bestäuber für eine Vielzahl von Pflanzenarten als auch als Beutetiere für zahlreiche andere Tiere. Darüber hinaus sind sie als

Destruenten an der Zersetzung von organischen Materialien beteiligt, was einen essenziellen Beitrag zur Aufrechterhaltung des ökologischen Gleichgewichts leistet (Hickman et al., 2008).

Die Libellenart Plattbauch (*Libellula depressa* Linné, 1758) zeichnet sich durch ihre markant verbreiterten Hinterleibssegmente aus, die ihr den charakteristischen flachen Bauch verleihen, von dem der deutsche Name "Plattbauch" abgeleitet ist. Die Flügel der adulten Tiere sind durchsichtig, mit einem dunklen Fleck an der Basis, der auf dem Vorderflügel länglich, auf dem Hinterflügel dreieckig geformt ist. Der Thorax der Männchen ist hellblau gefärbt, bei jüngeren Tieren mit seitlichen gelben Flecken (Abbildung 10a). Der Hinterleib der weiblichen Tiere ist bei jungen Tieren gelbbraun, bei älteren Tieren dunkelbraun gefärbt, mit deutlichen gelben Flecken an der Seite (Abbildung 10b) (Sternberg, 2000). Die Männchen zeigen eine bemerkenswerte Standorttreue, während die Weibchen vagabundierend leben. Die hemimetabolen Tiere bevorzugen stehende oder langsam fließende Gewässer und ernähren sich vorwiegend von anderen Insekten, die im Flug gefangen werden. Dabei ist der Plattbauch als Ansitzjäger besonders gut zu beobachten (Sternberg, 2000). *Libellula depressa* ist nahezu in ganz Europa verbreitet und nicht gefährdet (Kalkman, 2014).

Abbildung 10: *Libellula depressa* ♂ (a) und ♀ (b) (Quelle: digitib.de, 2024)

Abbildung 11: *Pyrrhocoris apterus* (Quelle: K. Büscher, 2017)

Die Gemeine Feuerwanze (*Pyrrhocoris apterus* (Linné, 1758)) ist eine durch ihre auffällige Färbung bekannte flugunfähige Wanzenart innerhalb der Ordnung der Hemiptera. Die hemimetabolen Tiere zeichnen sich durch eine charakteristische Rot- und Schwarzfärbung aus, wobei das Wechselspiel dieser Farben auf dem Rücken auffällige Muster bildet. Die adulten Tiere erreichen eine Körperlänge von etwa 9 – 11 mm und haben eine längliche Form (Abbildung 11) (Schaefer, 2018). *Pyrrhocoris apterus* bevorzugt trockene und sonnige Habitate, wie Wiesen, Feldränder und Gärten. Sie sind vorwiegend bodenlebend und ernähren sich von Pflanzensäften. Zur Fortpflanzung hängen sich die Männchen und Weibchen mit den Hinterleibern aneinander, wobei die Paarung bis zu 30 Stunden dauern kann (Umweltbundesamt [UBA], 2019). Die Gemeine Feuerwanze wird häufig auch als ‘Feuerkäfer‘ bezeichnet und damit fälschlicherweise in die Ordnung der Coleoptera (Käfer) einsortiert (Kanbay, 2010). *Pyrrhocoris apterus* steht nicht auf der Roten Liste gefährdeter Arten.

Abbildung 12: *Melolontha melolontha* (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Morphologie des Feldmaikäfers (*Melolontha melolontha* (Linné, 1758)) ist gekennzeichnet durch einen robusten Körperbau, der zwischen 20 und 25 mm in der Länge variieren kann (Scheerpelz, 1950). Die Elytren sind hellbraun bis zu einem dunkeln rotbraun gefärbt. An den Flanken zeigt sich ein charakteristisches weißes Zackenmuster. Die fächerförmigen rötlichen Fühler sind ebenfalls auffällig (Abbildung 12). Die Flugzeit der Imagines erstreckt sich namensgebend vor allem im Mai. *Melolontha melolontha* ist in großen Teilen Europas verbreitet und bevorzugt offene Lebensräume. Die Böden dürfen weder sumpfig noch sehr trocken sein. Die als Engerlinge bezeichneten Larven des holometabolen

Feldmaikäfers entwickeln sich im Boden, bevor sie sich dort verpuppen und nach insgesamt etwa vier Jahren im Frühjahr als Imagines den Boden verlassen (Scheerpelz, 1950). Die Larven ernähren sich von Wurzeln, während die adulten Tiere Blätter von Laubhölzern bevorzugen. Durch den Fraß an Wurzeln wird der Feldmaikäfer häufig als Schädling angesehen und teilweise intensiv bekämpft (Börner, 2009). *Melolontha melolontha* steht nicht auf der Roten Liste gefährdeter Arten und ist in Deutschland nicht besonders geschützt.

Der Admiral (*Vanessa atalanta* (Linné, 1758)) ist ein in Europa vorkommender Vertreter der Nymphalidae (Edelfalter) innerhalb der Lepidoptera (Schmetterlinge). Ursprünglich kam die Art in Südeuropa vor und wanderte in den Sommermonaten über die Alpen nach Mitteleuropa. Dort wurden ein bis zwei Generationen hervorgebracht. Diese wanderten im Herbst wieder Richtung Süden, wo sie die Wintermonate verbrachten und eine weitere Generation ausbildeten (Smyth & Nash, 2008). Durch die milderen Temperaturen im Winter überwintern heute regelmäßig Individuen in Mitteleuropa, aus denen sich eine eigenständige Population gebildet hat, die jedoch weiterhin ein Wanderverhalten nördlich bis Skandinavien und südlich bis an die Alpen zeigt (Smyth & Nash, 2008). Dabei bewohnen die Tiere verschiedenste Habitate wie Parks, Gärten oder Wälder. *Vanessa atalanta* hat dunkelbraun gefärbte Flügel mit einer Spannweite von bis zu 65 mm (Settele et al., 2015). Auf den Vorderflügeln ist eine auffällige rot-orangene Binde zu erkennen, die Flügelspitzen sind schwarz mit weißen Flecken (Abbildung 13). Die Hinterflügel tragen an ihrem Außenrand ebenfalls einen rot-orangenen Streifen. Die Unterseite der Vorderflügel entspricht der Oberseite in blasseren Farben, während die Unterseite der Hinterflügel in Brauntönen marmoriert ist. Die Raupen der mitteleuropäischen Populationen ernähren sich ausschließlich von Brennnesseln (*Urtica* spec.) (Settele et al., 2015). Der Imago ernährt sich vorwiegend von Nektar und Säften von Fallobst (Settele et al., 2015). *Vanessa atalanta* ist in Deutschland nicht gefährdet (Walker, 2020).

Abbildung 13: *Vanessa atalanta* (Quelle: digitib.de, 2024)

Abbildung 14: *Aglais urticae* (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Schmetterlingsart Kleiner Fuchs (*Aglais urticae* (Linné, 1758)) gehört ebenfalls zur Familie der Nymphalidae. Die Art ist in ganz Europa verbreitet und bewohnt vielfältige, meist offene Habitate wie Gärten, Parkanlagen oder Heidelandschaften (Settele et al., 2015). Die Oberseiten der Flügel des Kleinen Fuchs sind auffällig orange-rot gefärbt. Insbesondere die Basis der Hinterflügel ist dunkelbraun gefärbt. Am Rand der Flügel ist ein Saum aus kleinen hellblauen Flecken mit schwarzer Umrandung zu erkennen. Die Vorderränder der Vorderflügel zeigen ein charakteristisches Bandenmuster aus schwarzen und gelb-orangen Flecken. Zwei kleine und ein größerer schwarzer Fleck auf den Vorderflügeln und ein schwarzer Fleck auf den Hinterflügeln vollenden die charakteristische Färbung der Flügeloberseite (Abbildung 14). Die Unterseite der Flügel von *Aglais urticae* ist insgesamt blasser in verschiedenen Brauntönen gefärbt, spiegelt aber das Muster der Oberseite wider. Die Spannweite beträgt 40 – 50 mm (Settele et al., 2015). Die Imagines ernähren sich von Nektar, während die Raupen des Kleinen Fuchs ebenfalls auf die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) spezialisiert sind. Die Raupen fressen meist gesellig in kleineren Gruppen, bis sie sich verpuppen und nach 7 – 14 Tagen der Imago schlüpft (Settele et al., 2015). *Aglais urticae* ist in Deutschland nicht gefährdet (van Swaay et al., 2010).

2.3.4 Amphibia

Zu den Amphibien zählen wechselwarme Tiere, die Landlebensräume bewohnen, jedoch mindestens für die Fortpflanzung auf das Vorkommen von Gewässern angewiesen sind und eine drüsenreiche Haut und somit eine feuchte Hautoberfläche besitzen (Hickman et al., 2008). Innerhalb der heimischen Amphibien wird zwischen Frosch- und Schwanzlurchen unterschieden, wobei die Froschlurche (Anura) mit 14 Arten und die Schwanzlurche (Caudata) mit sechs Arten in Deutschland vertreten sind (Schaefer, 2018). Zu den Anura zählen neben den namensgebenden Fröschen auch die Kröten und Unken. Die Caudata umfassen die Gruppen der Molche und der Salamander. Amphibien zeichnen sich durch einen biphasischen Lebenszyklus aus. I. d. R. werden die Eier in gallertartigen Schnüren oder Ballen als Laich in Gewässer abgelegt, wobei

sich hierbei artabhängige Abweichungen zeigen. Aus den Eiern schlüpfen die aquatisch lebenden Larven der Amphiben, die als Kaulquappen bezeichnet werden. Die Kaulquappen der Anura zeichnen sich insbesondere durch innenliegende Kiemen aus, während die Larven der Caudata leicht an den außen liegenden Kiemenbüscheln erkennbar sind. Während der Metamorphose entwickelt sich die Kaulquappe zum vorwiegend landlebenden, adulten Tier. In der Metamorphose entwickeln sich bei den Caudata zuerst die Vorder- dann die Hinterbeine. Die Anura bilden zuerst die Hinterbeine aus (Hickman et al., 2008).

Abbildung 15: *Hyla arborea* (Quelle: digitib.de, 2024)

Der mit 3 – 5 cm recht kleine Europäische Laubfrosch (*Hyla arborea* (Linné, 1758)) ist in Mitteleuropa heimisch und durch seine grasgrüne Färbung auf der Oberseite mit einem auffälligen schwarzen Streifen und die weißliche Färbung der Unterseite gut wiederzuerkennen (Abbildung 15). Charakteristisch sind die runden Haftscheiben an den Fingern und Zehen des Laubfroschs, die es ihm ermöglichen, auf Büsche und Bäume zu klettern. *Hyla arborea* bevorzugt für die Fortpflanzung fischfreie Kleingewässer, wobei insbesondere das Vorkommen von Hochstaudenflur in der nahen Umgebung für die adulten Tiere notwendig ist (Andersen et al., 2004). Da diese Lebensräume durch eine intensive Landnutzung teilweise stark zurückgehen ist der Europäische Laubfrosch in Deutschland streng geschützt, wird auf der Roten Liste jedoch nicht als gefährdet geführt (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2022a).

Abbildung 16: *Bufo bufo* Paar im Amplexus (Quelle: digitib.de, 2024)

Ein in Deutschland weit verbreiteter und vergleichsweise bekannter Vertreter der Amphibien ist die Erdkröte (*Bufo bufo* (Linné, 1758)) (Abbildung 16). Die Körperlänge der Tiere beträgt bis zu 15 cm (Glandt & Trapp, 2022). Die Körperoberseite ist bräunlich gefärbt, die Unterseite schmutzig weiß. Die Iris der Erdkröten ist bernsteinfarben bis kupferfarben gefärbt, die Pupille waagerecht elliptisch geformt. *Bufo bufo* ist in ganz Europa verbreitet, mit Ausnahme des äußersten Nordens Skandinaviens. Die Krötenart bewohnt im Vergleich zu anderen Amphibien vielfältige Habitate. Die Landlebensräume müssen Versteckmöglichkeiten wie Steine aufweisen und möglichst strukturreich sein, wobei auch trockenere Gegenden nicht gemieden werden. Für die Fortpflanzung suchen Erdkröten mittelgroße bis große stehende Seen, Teiche und Tümpel auf (Günther, 2009). Auch fischbesetzte Gewässer sind für die Kaulquappen der Erdkröte geeignet, da sie im Gegensatz zu vielen anderen Amphibien nur in geringem Maße von Fischen beeinträchtigt werden (Spolwind et al., 2001). Kleinstgewässer werden gemieden. Das Männchen umklammert während der Paarungszeit ein beanspruchtes Weibchen mit seinen Vorderbeinen direkt hinter den Vorderbeinen des Weibchens. Dieser Klammerreflex wird als Amplexus bezeichnet (Abbildung 16) und durch die auffälligen Brunftschwielen an den Vorderfüßen der Männchen unterstützt. Im Gewässer gibt das Weibchen eine große Zahl an Eiern in Laichschnüren ab (Günther, 2009). Die Nahrung der Erdkröte besteht aus Würmern, Schnecken, Asseln und Insekten. *Bufo bufo* ist vergleichsweise anpassungsfähig und in Deutschland nicht gefährdet (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2023a), gilt aber nach dem BNatSchG als besonders geschützte Art.

Abbildung 17: *Salamandra salamandra terrestris* (Quelle: A. Glöckner)

Der Feuersalamander (*Salamandra salamandra* (Linné, 1758)) gehört zur Familie der Echten Salamander (Salamandridae). Er ist gut an seiner auffälligen schwarz-gelben Zeichnung zu erkennen. In Mitteleuropa werden zwei Unterarten unterschieden, die sich insbesondere in ihrer Zeichnung differenzieren. Bei der gebänderten Form *Salamandra salamandra terrestris* sind die gelben Flecken in Streifen angeordnet, während die Nominatform *Salamandra salamandra salamandra* ein Fleckenmuster zeigt (Glandt, 2018) (Abbildung 17). Die auffällige Färbung des Feuersalamanders dient der Warnung von potenziellen Fressfeinden und weist auf die toxischen Substanzen auf der Haut hin, insbesondere Alkaloide, die zur Verteidigung eingesetzt werden (Lüddecke, 2019). Das giftige Sekret wird in den Drüsen der paarigen Parotiden (Ohrdrüsen) und den daran anschließenden dorsal liegenden Drüsenreihen produziert. Für den Menschen ist das toxische Sekret des heimischen Feuersalamanders nicht gefährlich (Lüddecke, 2019). Der Feuersalamander erreicht eine Länge von bis zu 22 cm und ist in weiten Teilen Europas verbreitet (Schaefer, 2018). Er bewohnt feuchte Laubmischwälder mit sauberen Quellbächen oder Kleingewässern. Als Rückzugsorte sucht *Salamandra salamandra* Nischen in Totholz, unter Baumstämmen oder in Felsspalten auf (Glandt, 2016). Diese dienen ihm auch als Winterquartier, in denen sich adulte Tiere in den Wintermonaten sammeln. Die dämmerungs- und nachtaktiven Tiere ernähren sich überwiegend von Insekten, Asseln und Würmern. Die Paarung der Feuersalamander findet an Land statt. Anschließend reifen die Larven im Körper des Weibchens für acht bis neun Monate heran. Für die Geburt sucht das Weibchen ein Gewässer auf, in das die fertig entwickelten Larven abgesetzt werden. Feuersalamander legen somit keine Eier sondern sind lebendgebärend, es wird von Ovoviviparie gesprochen (Glandt, 2016). Die Larven sind gut an ihren für Schwanzlurche typischen außenliegenden Kiemen und den gelben Flecken an den Beinansätzen erkennbar. *Salamandra salamandra* ist im BNatSchG als besonders geschützt beschrieben. Durch anthropogene Einflüsse wird sein Lebens- und

Fortpflanzungsraum stark eingeschränkt. Zudem ist der Feuersalamander durch den aus Asien eingeschleppten Chytridpilz *Batrachochytrium salamandrivorans* (*Bsal*) seit einigen Jahren stark bedroht (Glandt, 2016). Ein erster Nachweis von *Bsal* in Deutschland fand im Jahr 2015 in der Eifel statt (Spitzen-van der Sluijs et al., 2016), aber auch im Ruhrgebiets und dem Bergischen Land sowie in einzelnen Regionen in Hessen und Bayern konnte *Bsal* in den letzten Jahren nachgewiesen werden (Jung et al., 2024; Lötters et al., 2020; Schmeller et al., 2020; Schulz et al., 2018). *Bsal* befällt die empfindliche Haut adulter Feuersalamander, führt zu schweren Hautläsionen und i. d. R. innerhalb von zwei Wochen zum Tod (Martel et al., 2013). Daher wird die Erkrankung auch als Salamanderpest bezeichnet (Lötters et al., 2020). Durch die hohe Mortalität der Mykose und die leichte Übertragbarkeit werden ganze Populationen ausgelöscht und der Bestand der Feuersalamander regional dramatisch reduziert (Böning et al., 2024). *Salamandra salamandra* wird auf der Roten Liste als gefährdet geführt (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2023b).

Der Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris* (Laurenti, 1768)) als Vertreter der Molche gehört ebenfalls zur Familie der Salamandridae innerhalb der Caudata. Die Tiere werden bis zu 12 cm lang (Glandt & Trapp, 2022). In seiner Landtracht, außerhalb der Paarungszeit, zeigt der Bergmolch eine unscheinbare dunkle, granulierte Färbung der Oberseite. Die Körperunterseite ist blass orange. Zur Paarungszeit entwickelt sich die prächtige Wassertracht. Die Oberseite der Männchen färbt sich blau, mit schwarz-weiß punktierten Flanken und einem flachen, nicht gezackten und ebenfalls gepunkteten Rückenkamm. Die Weibchen sind etwas dunkler und weniger intensiv gefärbt. Die Unterseite beider Geschlechter färbt sich in der Wassertracht leuchtend orange, ohne Flecken (Abbildung 18). *Ichthyosaura alpestris* ist in Mitteleuropa verbreitet. Die Art ist in Deutschland vor allem im mittleren und südlichen Teil des Landes verbreitet, Richtung Nordwesten wird sie seltener, im Nordosten fehlt sie gänzlich (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2022b). Der Bergmolch bewohnt gewässerreiche Laubwälder sowie Parks und Gartenanlagen mit Gewässern. Die nachtaktiven Tiere ernähren sich von Insekten und Würmern. Für die Fortpflanzung suchen die Tiere kleinere Gewässer oder Tümpel auf, in denen die Eier an Falllaub oder vorhandene Vegetation geheftet werden (NABU, 2024). Durch den Verlust von Kleingewässern nimmt der Lebensraum für den Bergmolch immer weiter ab. Zudem ist auch diese Art, wie andere Amphibien, stark durch den Straßenverkehr während ihrer Wanderungen zu den Laichgewässern bedroht. Auch Infektionen mit *Bsal* bedrohen den Bergmolch (Schulz et al., 2018). Nach BNatSchG ist *Ichthyosaura alpestris* besonders geschützt, ist jedoch auf der

Roten Liste noch als nicht gefährdet, jedoch mit einem rückläufigen Bestand vermerkt (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2022b).

Abbildung 18: *Ichthyosaura alpestris* ♂ in Wassertracht (a) und in Landtracht (b) (Quelle: a: digitib.de, 2024; b: K. Büscher, 2021)

2.3.5 Aves

Die Klasse der Aves (Vögel) ist durch das Vorhandensein von Federn charakterisiert, die zur Fortbewegung im Flug aber auch zur Thermoregulation, zur Tarnung und für Balzrituale genutzt werden. Für ein reduziertes Gewicht und zur Erleichterung des Flugs besitzen sie zudem Hohlraumknochen. Kennzeichnend ist außerdem der Schnabel der Vögel, der je nach Ernährungsweise und Funktionalität sehr unterschiedlich geformt ist (Hickman et al., 2008). Vögel sind auf der ganzen Welt verbreitet und leben auf allen Kontinenten. Einige auf der Nordhalbkugel vorkommende Arten ziehen über die Wintermonate in südlichere Regionen und werden als Zugvögel bezeichnet. Vogelarten, die standorttreu sind, werden als Standvögel bezeichnet (Schaefer, 2018). Insbesondere als Folge des Klimawandels und die dadurch milderen Winter bleiben Teile ursprünglicher Zugvogel-Populationen über den Winter an ihrem Sommerstandort und werden daher als Teilzieher bezeichnet (Barthel & Helbig, 2005).

Die von einer kalkhaltigen, harten und wiederstandfähigen Schale umgebenen Eier legen Vögel in meist jährlich neu errichtete Nester. Die Nester bestehen häufig aus Zweigen und Füllmaterial wie Moos oder Federn. Sie werden mehr oder weniger aufwändig in Ästen, Baumkronen, Höhlen, Büschen oder am Boden errichtet. Die Zahl der Eier pro Brut sowie der Bruten pro Jahr variiert zwischen den Arten und abhängig von klimatischen Bedingungen. Das Gelege wird häufig vom Weibchen, manchmal von beiden Partnern, selten nur vom Männchen bebrütet. Die Jungtiere brechen beim Schlupf die Eischale mit dem Eizahn, einem kleinen harten Höcker auf dem Oberschnabel, auf. Bei nesthockenden Arten schlüpfen die Jungtiere

unbefiedert, meist blind und sind auf die Fürsorge der Elterntiere, ihre Wärme und die Nahrungsbeschaffung vollständig angewiesen. Bei Nestflüchtern schlüpfen die Jungtiere bereits weiterentwickelt und befiedert aus dem Ei. Sie sind deutlich selbstständiger, jedoch weiterhin auf den Schutz der Elterntiere angewiesen (Hickman et al., 2008).

Abbildung 19: *Troglodytes troglodytes* (Quelle: digitib.de, 2024)

Der nur etwa 9,5 cm große und bräunlich gefärbte Zaunkönig (*Troglodytes troglodytes* (Linné, 1758)) ist der einzige Vertreter der Familie der Troglodytidae in Europa (Schaefer, 2018). Der kleine, rundliche braune Vogel ist besonders durch seinen stets aufgestellten Schwanz zu erkennen (Abbildung 19). An den Flanken und den Flügeln sowie am Schwanz weist das Gefieder eine dunkle Wellenfärbung auf. Er lebt vor allem in Wäldern, Gärten und Parks und bevorzugt Hecken und Sträucher als Deckung und für den Nestbau. Der tag- und dämmerungsaktive Zaunkönig ist ein typischer Insektenfresser, ernährt sich im Winter aber auch von kleineren Sämereien (Schaefer, 2018). In den meisten Regionen ist der Zaunkönig ein Standvogel, während Tiere in nördlichen Regionen für die Wintermonate in den Süden ziehen und die Art daher auch als Teilzieher bezeichnet werden kann. *Troglodytes troglodytes* hat eine besonders laute und schmetternde Stimme (Schaefer, 2018). Im Frühling baut das Männchen mehrere ovale und geschlossene Kugelnester an verschiedenen Orten. Interessierte Weibchen begutachten die Nester vor einer möglichen Paarung. Das Gelege besteht aus fünf bis acht Eiern, das von dem Weibchen bebrütet wird (Mullen & Karwinkel, 2024). *Troglodytes troglodytes* ist nach der Roten Liste nicht gefährdet (BirdLife International, 2018b), in Deutschland nach BNatSchG jedoch streng geschützt.

Der zur Familie der Finken gehörende Buchfink (*Fringilla coelebs* Linné, 1758) ist eine der am häufigsten in Deutschland vorkommenden Vogelarten und ist besonders in Wäldern, Gärten und Parks anzutreffen (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Weibchen sind unauffällig bräunlich gefärbt und haben eine charakteristische weiße Binde an den Flügeln. Die Männchen zeigen

Abbildung 20: *Fringilla coelebs* (♂) (Quelle: digitib.de, 2024)

eine prachtvolle rotbraune Färbung an Rücken und Brust, die Haube und der Nacken sind blaugrau gefärbt. Der Bürzel ist grünlich und auch die Männchen weisen die auffallende weiße Flügelbinde auf (Abbildung 20). *Fringilla coelebs* besitzt einen für die Fringillidae typischen kegelförmigen Schnabel, der an das Fressen von Körnern und Sämereien angepasst ist (Schaefer, 2018). Der Buchfink frisst besonders gerne Bucheckern, aber auch andere Sämereien, Beeren und Insekten stehen auf dem Speiseplan (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Brutzeit beginnt hierzulande meist im April. Das Nest ist dickwandig und napfförmig. Das Gelege besteht i. d. R. aus drei bis sechs Eiern. Der Buchfink ist Schätzungen zufolge die zweit häufigste Brutvogelart in Deutschland (Gerlach et al., 2019; Mullen & Karwinkel, 2024), damit ebenfalls nicht gefährdet (BirdLife International, 2019a) und kann beispielweise in den Wintermonaten an Futterstationen häufig beobachtet werden. Nach BNatSchG ist *Fringilla coelebs* jedoch wie alle anderen europäischen Vogelarten in Deutschland besonders geschützt.

Abbildung 21: *Dendrocopos major* (♂) (Quelle: digitib.de, 2024)

Der Buntspecht (*Dendrocopos major* (Linné, 1758)) ist ein etwa 24 cm großer und in Europa sowie Nord- und Ostasien weit verbreitete Vertreter der Picidae (Spechte) (Mullen & Karwinkel, 2024). Er ist durch seine charakteristische schwarz-weiße Färbung, eine rot gefärbte Unterschwanzdecke und, bei den Männchen, einen roten Scheitelfleck leicht erkennbar. Im Gegensatz zu den ähnlich aussehenden Klein- und Mittelspechten ist der Buntspecht etwas größer und hat eine nicht gänzlich rot gefärbte Haube (Abbildung 21). *Dendrocopos major* ernährt sich in erster Linie von in Totholz lebenden Insekten und Larven, die er durch das typische Hämmern mit

seinem spitzen Schnabel aus dem Holz erbeutet. Außerdem ernährt sich der Buntspecht von Fichten- und Kiefernsamen und kann als Standvogel auch an Futterstationen ganzjährig häufig beobachtet werden (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Art ist im Vergleich zu anderen Spechten wenig spezialisiert und kommt daher sowohl in Laub- und Nadelwäldern als auch in Kulturlandschaften wie Gärten und Parks häufig vor. Zur Paarungszeit markieren die Männchen ihr Revier durch schnelles Trommeln an Bäumen (Mullen & Karwinkel, 2024). Wie alle anderen Spechtarten ist auch der Buntspecht ein Höhlenbrüter (Schaefer, 2018). Das Männchen fertigt in Baumstämmen durch Hämmern eine Bruthöhle an, in die das Weibchen vier bis sieben Eier legt (Mullen & Karwinkel, 2024). Der Buntspecht ist in Deutschland nach BNatSchG besonders geschützt, jedoch nicht bedroht (BirdLife International, 2021b) und kann durch das Lauschen auf sein charakteristisches Klopfen an hohen Bäumen gut beobachtet werden.

Die Elster (*Pica pica* (Linné, 1758)) gehört zu den Rabenvögeln und hat eine charakteristische schwarz-weiße Färbung mit einem bläulich metallischen Schimmer, einem schwarzen Kopf und schwarzen Schwanzfedern. Sie ist etwa 45 cm groß, mit einem besonders langen Schwanz, der länger als der Körper ist (Abbildung 22) (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Elster ist in Europa und Asien weit verbreitet und kommt insbesondere in Kulturlandschaften und Siedlungsräumen vor, wobei sie durch ihre vergleichsweise hohe Intelligenz recht anpassungsfähig ist. *Pica pica* ernährt sich sowohl von tierischer als auch von pflanzlicher Nahrung und legt häufig Nahrungsdepots an (Mullen & Karwinkel, 2024). Im urbanen Raum bedient sie sich auch gerne an Abfällen. Im Februar beginnen die monogam lebenden und sehr territorialen Vögel mit dem Bau des kugelförmigen Nests. Überdacht wird das Nest durch eine Haube aus Zweigen zum Schutz vor Krähen und Greifvögeln. Das Gelege besteht i. d. R. aus fünf bis sieben Eiern (Mullen & Karwinkel, 2024). *Pica pica* ist in Deutschland nicht gefährdet (BirdLife International, 2017) aber als europäische Vogelart laut BNatSchG besonders geschützt und lässt sich in Parks und Gärten ganzjährig gut beobachten.

Abbildung 22: *Pica pica* (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Familie der Meisen ist in unseren Gärten mit verschiedenen Arten sehr oft zu beobachten. Insbesondere die in ganz Europa verbreitete Kohlmeise (*Parus major* Linné, 1758) ist eine der häufigsten Vogelarten in Deutschland (Gerlach et al., 2019). Sie ist durch ihren auffallend schwarz-weißen Kopf, den grünlichen Rücken und die überwiegend gelbe Unterseite gut zu erkennen ist. Durch die namensgebende schwarze Kopffärbung und ihre etwas größere und plumpere Gestalt lässt sich die Kohlmeise gut von der ebenfalls häufig vorkommenden Blaumeise (*Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758)), die eine blaue Kopfkappe hat, unterscheiden (Abbildung 23) (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Kohlmeise erreicht eine Körperlänge von etwa 14 cm (Schaefer, 2018). Sie ernährt sich insbesondere in den Sommermonaten zur Brutzeit von Insekten, Spinnen, Larven und Raupen. In den Wintermonaten bevorzugt sie Sämereien und ist als Standvogel besonders häufig an bereitgestellten Futterstationen zu beobachten. *Parus major* bewohnt Laub- und Mischwälder sowie Gärten und Parks. Als Höhlenbrüter nistet die Kohlmeise in verlassenen Spechthöhlen oder Höhlen in alten Baumbeständen. Auch Nisthilfen werden gerne angenommen und erweitern das Habitat der Kohlmeisen deutlich (Mullen & Karwinkel, 2024). Das Gelege besteht aus sechs bis zwölf Eiern (Mullen & Karwinkel, 2024). Schätzungen zufolge ist *Parus major* in Deutschland die dritthäufigste Vogelart (Gerlach et al., 2019) und damit nicht bedroht, jedoch als europäische Vogelart nach BNatSchG besonders geschützt.

Abbildung 23: Vergleich von *Parus major* (a) und *Cyanistes caeruleus* (b). Gut zu unterscheiden sind die Arten an der Färbung der Haube und der Rücken- sowie Flügelpartie. *Parus major* ist zudem größer und kräftiger als *Cyanistes caeruleus*. (Quelle: digitib.de, 2024)

Abbildung 24: *Erithacus rubecula* (Quelle: digitib.de, 2024)

Ebenfalls häufig in Gärten und Parks zu beobachten ist das Rotkehlchen (*Erithacus rubecula* (Linné, 1758)), das durch seine typische und namensgebende rote Kehle leicht zu erkennen ist (Abbildung 24). Das Gefieder auf der Oberseite des 14 cm großen Vogels ist olivgrau gefärbt, während die Unterseite weiß ist (Schaefer, 2018). *Erithacus rubecula* ist in ganz Europa verbreitet und in Deutschland als Standvogel oder nördlich auch als Kurzstreckenzieher beheimatet (Mullen & Karwinkel, 2024). Die Art ernährt sich in erster Linie von Insekten, Würmern, Spinnen, Larven und Schnecken, im Winter auch von weichen Früchten und Beeren (Mullen & Karwinkel, 2024). Das in monogamer Brutehe lebende Rotkehlchenpaar baut als Bodenbrüter das napfförmige Nest meist in Bodenvertiefungen oder Wurzelwerk. Auch Nisthilfen für Nischenbrüter werden angenommen. Das Gelege besteht aus vier bis sechs Eiern (Mullen & Karwinkel, 2024). Rotkehlchen sind nach BNatSchG besonders geschützt, stehen aber nicht auf der Roten Liste gefährdeter Arten (BirdLife International, 2018a) und lassen sich durch ihre sehr geringe Fluchtdistanz sehr gut und häufig beobachten.

Abbildung 25: *Tyto alba* (Quelle: P. Kucharzewski, 2012)

Die Schleiereule (*Tyto alba* (Scopoli, 1769)) ist durch ihren namensgebenden herzförmigen, weißen Gesichtsschleier gut von anderen Eulenarten zu unterscheiden (Abbildung 25). Die Rückenseite ist in einem hellen Graubraun gefärbt, mit zarter schwarz-weißer Marmorierung. Die Vorderseite ist heller gefärbt und ohne eine solche deutliche Musterung. Die Schleiereule wird etwa 35 cm groß, ist streng nachtaktiv und ernährt sich in erster Linie von Kleinsäugern wie Feldmäusen, seltener auch von Amphibien und Reptilien, die sie in der fortgeschrittenen Dämmerung mit ihren eulentypisch nach vorn gerichteten Augen erspäht

und mit langen Krallen und einem hakenförmigen Schnabel erbeutet (LANUV, 2024). *Tyto alba* ist auf der Nordhalbkugel weit verbreitet und bevorzugt offenes Gelände mit exponierten Gebäuden, in denen sie gerne auf Dachböden nistet, wobei das Gelege aus vier bis zwölf Eiern besteht (Mullen & Karwinkel, 2024). *Tyto alba* gilt in Deutschland als nicht gefährdet (BirdLife International, 2019b). Wie alle europäischen Vogelarten ist die Schleiereule ebenfalls durch das BNatSchG besonders geschützt.

Eine der bekanntesten Entenarten ist die Stockente (*Anas platyrhynchos* Linné, 1758), die bei uns als Teilzieher sehr häufig an Teichen und Seen zu beobachten und auf der ganzen Nordhalbkugel verbreitet ist (Schaefer, 2018). Die Stockente hat dabei außer dem Vorhandensein eines Gewässers wenige Ansprüche an ihr Habitat. Der Erpel der etwa 58 cm großen Entenart ist grau-braun gefärbt, hat einen auffallend grün gefärbten Kopf und einen weißen Ring am Hals (Abbildung 26 b). Der Flügelspiegel ist blau gefärbt, der Schnabel gelb. Das Weibchen hat eine unauffällige braune Farbe mit graubrauner Musterung und einem ebenfalls blauen Flügelspiegel (Abbildung 26 a). *Anas platyrhynchos* ernährt sich von Pflanzen im Wasser, am Ufer und an Land, von Sämereien, Früchten aber auch von Würmern, Schnecken und Laich von Fischen und Amphibien (Mullen & Karwinkel, 2024). Während der Balz konkurrieren häufig mehrere Männchen um ein Weibchen. Das Nest der Stockente wird meist im Uferbereich von Gewässern errichtet, wobei eine flache Mulde in den Untergrund gedrückt und diese durch wenige Halme verstärkt wird. Das Gelege besteht aus zehn bis zwölf Eiern, die ausschließlich vom Weibchen bebrütet werden (Mullen & Karwinkel, 2024). In Europa ist *Anas platyrhynchos* die am häufigsten vorkommende Entenart (Gerlach et al., 2019). Sie ist somit auch in Deutschland als nicht gefährdet einzustufen (BirdLife International, 2021a), jedoch ebenfalls nach BNatSchG besonders geschützt.

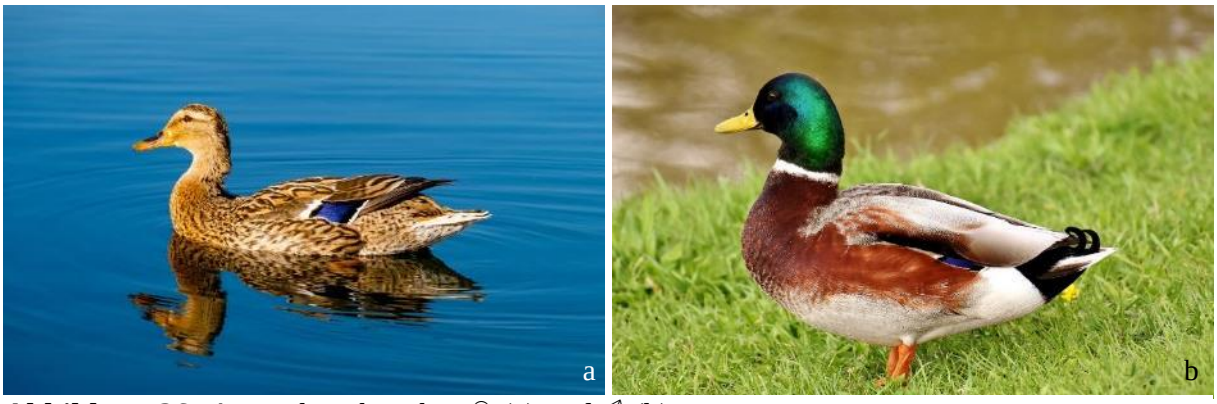


Abbildung 26: *Anas platyrhynchos* ♀ (a) und ♂ (b)

2.3.6 Mammalia

Die Klasse der Mammalia (Säugetiere) ist ein sehr vielfältiges und hochentwickeltes Taxon. Säugetiere zeichnen sich durch ein Fellkleid aus Haaren aus, das bei einigen Arten sekundär reduziert ist. Die Haare übernehmen verschiedenste Funktionen. Sie dienen den homoiothermen Tieren insbesondere zur Thermoregulation. Auch für den Tastsinn sind bei vielen Arten besonders einzelne als Vibrissen (Tasthaare) spezialisierte Haare meist im Gesicht ausgeprägt (Hickman et al., 2008). Die Färbung des Fellkleids dient häufig der Tarnung sowohl für Beutetiere als auch für Jäger. Einige Arten passen ihre Fellfarbe dazu im Jahresverlauf der Umgebung an. So tragen z. B. *Lepus timidus* Linné 1758 (Schneehase) und *Mustela erminea* Linné 1758 (Hermelin) im Winter ein weißes Fellkleid, während dieses in den Sommermonaten überwiegend braun gefärbt ist (Hickman et al., 2008). Häufig weisen Arten zudem einen Sexualdimorphismus in der Ausprägung des Fellkleids auf. Bekannte Arten sind *Panthera leo* (Linné 1758) (Löwe) mit einer nur bei männlichen Tieren ausgeprägten Mähne und *Homo sapiens* Linné 1758, mit einer unterschiedlich starken Gesichts- und Brustbehaarung bei Männern und Frauen (Sadava et al., 2019). Bei einigen Säugetierarten, wie *Erinaceus europaeus* Linné 1758 (Europäischer Igel) sind die Harre zu Stacheln umgebildet und dienen der Abwehr von Fressfeinden (Sadava et al., 2019).

Neben der Bildung von Haaren ist ein heterodontes Gebiss ein Charakteristikum des Taxons Mammalia. Das Gebiss der Säugetiere besteht aus vier Zahntypen, den Incisivi (Schneidezähne), den Canini (Eckzähne), den Prämolaren (Vorbackenzähne) und den Molaren (Backenzähne) (Hickman et al., 2008). Die im vorderen Teil der Mundhöhle liegenden Incisivi sind relativ scharf und werden zum Abbeißen von Nahrung genutzt. Bei verschiedenen Taxa innerhalb der Mammalia sind die Schneidezähne sehr unterschiedlich ausgeprägt. Bei den Ruminantia (Wiederkäuer) fehlen diese im Oberkiefer ganz, bei den Rodentia (Nagetiere) und Lagomorpha (Hasenartige) sind sie zu kräftigen, stetig wachsenden Nagezähnen umgebildet (Schaefer, 2018). Hinter den Schneidezähnen befinden sich im Oberkiefer und Unterkiefer i. d. R. jeweils zwei Canini. Die kegelförmigen Eckzähne sind innerhalb der Säugetiere sehr divers ausgebildet, haben jedoch immer nur eine Spitze und eine Wurzel. Bei den Suidae (Schweine) sind die Eckzähne zu kräftigen Hauern ausgebildet. Die Canini der Carnivora sind meist deutlich verlängert und werden als Fangzähne bezeichnet, die zum Ergreifen und Erlegen der Beute geeignet sind (Hickman et al., 2008). Bei den Rodentia und den Lagomorpha fehlen die Eckzähne komplett, die Ruminantia besitzen im Oberkiefer keine Canini (Schaefer, 2018). Die Prämolaren schließen an die Canini an und finden sich im Ober- und Unterkiefer. Sie sind im Gegensatz zu den Molaren schon im Milchgebiss enthalten und dienen in dieser Zeit dem Zerkleinern und

Zermahlen der Nahrung (Hickman et al., 2008). Die hintersten Zähne im heterodonten Gebiss der Mammalia sind die ein- bis mehrhöckerigen Molaren (Schaefer, 2018). Diese sind bei den Carnivora als Reiszähne besonders zum Zerteilen von Beute geeignet. Omnivore Tiere haben meist mehrhöckerige Backenzähne, die zum Zerkleinern vielfältiger Nahrung geeignet sind. Bei herbivoren Arten sind die Höcker der Molaren meist weniger stark ausgebildet und nutzen sich durch das Zermahlen von Pflanzenteilen im Laufe des Lebens immer weiter ab. Einige Arten der Mammalia zeigen abweichend von diesem Schema eine homodonte Bezahnung, die sich sekundär entwickelt hat und deutliche weniger differenzierte Zahntypen zeigt. Ein typisches Beispiel hierfür sind die Zahnwale (Hickman et al., 2008).

Die drei Gehörknöchel (Hammer, Amboss und Steigbügel) stellen ebenfalls eine charakteristische autapomorphe Eigenschaft der Mammalia dar. Diese knöchernen Strukturen, die Teil des Mittelohrs sind, ermöglichen eine verbesserte Übertragung von Schallwellen vom Trommelfell zum Innenohr, was eine präzise Hörleistung bei Säugetieren ermöglicht (Sadava et al., 2019).

Namensgebend für das Taxon der Mammalia ist die Ausbildung von Milchdrüsen. Sie bestehen aus Milchleisten, an denen die Mammae hervortreten. Bei weiblichen Säugetieren sind diese nach der Pubertät vollständig ausgebildet, bei männlichen nur rudimentär vorhanden. Während der Laktation, beginnend kurz vor der Geburt des Nachwuchses, produzieren die Milchdrüsen Milch, die der Ernährung des Jungtieres dient (Hickman et al., 2008). Über die Milch werden die Jungtiere mit allen wichtigen Nährstoffen versorgt. Auch das Immunsystem der Jungtiere wird durch die Milch, insbesondere durch das zellenreiche Kolostrum kurz nach der Geburt, unterstützt. Bis die Jungtiere normale Nahrung aufnehmen und verwerten können, werden sie über die Muttermilch versorgt. Mit abnehmender Säugezeit nimmt auch die Milchproduktion deutlich ab. Die Ernährung der Jungtiere mit Milch brachte für die Säugetiere evolutive Vorteile insbesondere in der Unabhängigkeit vom aktuellen Nahrungsangebot (Suter, 2017).

Abbildung 27: *Vulpes vulpes* (Quelle: digitib.de, 2024)

Der heimische Rotfuchs (*Vulpes vulpes* (Linné, 1758)) ist ein in Eurasien und Nordamerika weit verbreitetes Säugetier und der einzige im mitteleuropäischen Raum vorkommende Vertreter der Echten Füchse (Vulpini). Das 5 – 8 kg schwere und 100 – 120 cm lange Tier besitzt ein rötliches bis rotbraunes Fell, das an der Bauchseite weiß, an Beinen und Ohrspitzen schwarz gefärbt ist (Abbildung 27) (Schaefer, 2018). Rotfüchse sind anspruchslose, opportunistische Allesfresser und können sich damit gut an verschiedenste Lebensräume anpassen. Auch in Städten kommt der Rotfuchs recht häufig vor, bewegt sich vor allem an störungsarmen Plätzen wie Friedhöfen und Parks und ernährt sich dort auch von Essensresten und Müll. Rotfüchse galten lange Zeit als Einzelgänger. Untersuchungen der letzten 50 Jahre zeigen jedoch eine komplexe Sozialstruktur und das Zusammenleben von Familiengruppen. Demnach leben Rotfüchse mindestens als Paar zusammen. Bei höheren Populationsdichten bilden sich Familiengruppen, die von einem dominanten Paar und mehreren anderen Mitgliedern gebildet werden. Diese wechseln teilweise zwischen verschiedenen Gruppen, sodass eine reguläre Gruppengröße selten ermittelt werden kann (Dorning & Harris, 2019; Kistler et al., 2023). Abhängig von der Populationsdichte passt sich auch die Reproduktionsrate der Rotfüchse an. Bei einer geringen Populationsdichte steigt die Paarungszahl und auch die Zahl der Jungtiere je Wurf an (Marlow et al., 2016). *Vulpes vulpes* ist in Deutschland nicht gefährdet und auch auf der Roten Liste als nicht gefährdet eingestuft (Hoffmann & Sillero-Zubiri, 2021).

Abbildung 28: *Sus scrofa* ♀ mit Jungtieren (Quelle: M. Renčo)

Ein ebenfalls weit verbreitetes heimisches Säugetier ist das Wildschwein (*Sus scrofa* Linné, 1758) (Abbildung 28). Die dunkelbraune bis grau-schwarze, wildlebende Stammform des Hausschweins (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) ist anpassungsfähig und in ganz Eurasien verbreitet. Das Wildschwein kommt insbesondere in Laub- und Mischwäldern vor, ist durch seine Anpassungsfähigkeit aber auch in Sumpfgebieten und (borealen) Nadelwäldern zu finden (Schaefer, 2018). Einzig dauerhaft gefrorene Böden und größere Mengen Schnee im Norden sowie fehlende Wasserquellen in Wüsten des Südens begrenzen das Ausbreitungsgebiet. Die Allesfresser durchwühlen auf der Suche nach Nahrung mit ihrer Nase den Boden und können dadurch erhebliche Schäden für die Landwirtschaft verursachen (Barrios-Garcia & Ballari, 2012). Ihre Körpergröße und ihr Gewicht variieren teils stark in Abhängigkeit von Verbreitung und Jahreszeit. Ausgewachsene Weibchen erreichen eine Kopf-Rumpf-Länge von 130 – 170 cm und ein Gewicht von etwa 150 kg. Adulte Männchen sind mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 140 – 180 cm und einem Gewicht von rund 200 kg deutlich größer (Schaefer, 2018). Das Fell der Tiere besteht aus dichten Borsten als Deckhaar und in den Wintermonaten zusätzlich aus feinen kürzeren Wollhaaren zur Isolation. Die als Frischlinge bezeichneten Jungtiere tragen ein deutlich weniger borstiges und etwas helleres Fell mit gelblichen Streifen auf dem Rücken. Durch diese Musterung sind die Jungtiere im Unterholz sehr gut getarnt. Das Gebiss der männlichen Tiere ist durch die zu starken Hauern umgebildeten Canini gekennzeichnet. Bei weiblichen Tieren sind die Canini weniger stark ausgeprägt (Schaefer, 2018). Die Paarungszeit der Wildschweine findet in den Wintermonaten von Dezember bis Februar statt. Die weiblichen Nachkommen werden zum Teil bereits mit acht Monaten geschlechtsreif, was die hohe Reproduktionsfähigkeit von *Sus scrofa* begründet. Häufig bleiben insbesondere die weiblichen Jungtiere bei der Mutter, auch wenn sie bereits eigenen Nachwuchs führen. Solche Mutterverbände kennzeichnen die typische Sozialstruktur von *Sus scrofa*, während die adulten männlichen Tiere meist als Einzelgänger unterwegs sind (Gethöffer et al., 2007). *Sus scrofa* ist laut der Roten Liste nicht gefährdet (Herrero et al., 2007).

Abbildung 29: *Castor fiber* (Quelle: digitib.de, 2024)

Ein bekannter Vertreter der Ordnung der Rodentia ist der Europäische Biber (*Castor fiber* Linné, 1758). Die Art war ursprünglich in ganz Eurasien verbreitet. Durch rapiden Lebensraumverlust und Bejagung durch den Menschen wurde die Art jedoch in vielen Teilen verdrängt (Halley et al., 2012). Adulte Tiere haben eine Kopf-Rumpf-Länge von etwa 80 – 100 cm, eine Schwanzlänge von 30 cm und wiegen 20 – 35 kg (Schaefer, 2018). Das Fell ist grau-braun und besonders dicht (Abbildung 29). Der Schwanz ist haarlos, abgeflacht und sehr breit und dient beim Schwimmen als Steuer. Die semiaquatisch lebenden Säugetiere sind reine Pflanzenfresser und ernähren sich insbesondere von jungen Trieben und Blättern verschiedener Weichhölzer (Zahner, 2018). Charakteristisch für den Europäischen Biber ist das Anlegen von aufwändigen Bauten an Gewässerufern oder selbst angelegten Burgen aus Bäumen und Ästen, die sie mit ihren kräftigen Nagezähnen fällen. Der Eingang zum Bau liegt stets unter Wasser, um Angreifern das Eindringen zu erschweren. Die Höhle im Inneren des Baus liegt oberhalb des Wasserstandes und ist trocken. Sinkt der Wasserstand so, dass der Eingang zum Bau trockenfallen könnte, stauen Biber durch den Bau von Dämmen Wasserläufe auf. Durch das Stauen von Flüssen tragen Biber erheblich zur Entwicklung des Landschaftsbildes bei und spielen eine wichtige Rolle in der Entwicklung wertvoller Biotope (Zahner, 2018). Die Bestände von *Castor fiber* haben sich in den vergangenen Jahrzehnten deutlich erholt (Halley et al., 2012). Die Art wird gemäß der Roten Liste der IUCN als nicht gefährdet eingestuft (Kryštufek et al., 2007).

Abbildung 30: *Marmota marmota* (Quelle: digitib.de, 2024)

Das zur Familie der Sciuridae (Hörnchen) gehörende Alpenmurmeltier (*Marmota marmota* (Linné, 1758)) ist mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 47 – 60 cm und einem 13 – 16 cm langen Schwanz nach dem Europäischen Biber eines der größten heimischen Nagetiere (Schaefer, 2018). Die tagaktiven Alpenmurmeltiere haben ein braunmarmoriertes dichtes Fell (Abbildung 30) und kommen in Höhenlagen oberhalb von 1000 Höhenmetern vor (Schaefer, 2018). Sie sind auf alpine Rasen angewiesen, die ihnen als Nahrungsgrundlage dienen, sowie auf ausreichend tiefe Böden zum Anlegen von Bauten. Dort leben die Tiere in Familienbanden zusammen, die aus einem dominanten Paar und ihrem Nachwuchs bestehen. Die Bauten dienen als Behausung für den Winterschlaf, zur Aufzucht der Jungen und als Deckung vor Prädatoren. *Marmota marmota* ist sehr gut an kalte Bedingungen der Höhenlagen angepasst, leidet jedoch schnell unter Hitzestress (Türk & Arnold, 1988). Die vergleichsweise hohen Ansprüche an den spezialisierten Lebensraum bedingen, dass das Alpenmurmeltier überwiegend punktuell in mehr oder weniger isolierten Populationen vorkommt. Die zunehmende Verdrängung in höhere Gebirgslagen durch die Klimaerwärmung verstärkt diesen Effekt, wodurch die genetische Variabilität innerhalb der Populationen sinkt (Da Silva et al., 2006). Auf der Roten Liste der IUCN wird das Alpenmurmeltier jedoch noch als nicht gefährdet geführt (Cassola, 2016).

Abbildung 31: *Ursus maritimus* (Quelle: M. Tanenbaum, 2018)

Der Eisbär (*Ursus maritimus* Phipps, 1774) ist eine besonders bekannte Säugetierart, die ausschließlich in der Arktis vorkommt. Das weißlich-gelbe Fell ist charakteristisch für den Bären, der mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 2,00 – 2,50 m eine beachtliche Größe erreicht (Abbildung 31) (DeMaster & Stirling, 1981). Die Einzelgänger sind wie alle Bärenarten omnivor, aufgrund ihres speziellen

Lebensraums jedoch besonders auf Fleisch als Nahrungsgrundlage angewiesen (DeMaster & Stirling, 1981). Sie ernähren sich dabei vorwiegend von Robben, die sie im Packeis jagen. Durch die Klimaerwärmung verschlechtern sich jedoch die Jagdbedingungen für Eisbären auf Robben, sodass sie immer häufiger auf Nahrungsalternativen angewiesen sind. Durch den Klimawandel-bedingten Rückgang des Polareises und die zunehmende Nutzung der Arktis für die Erdöl- und Erdgasgewinnung ist der Bestand von *Ursus maritimus* stark bedroht (Regehr et al., 2016). Das IUCN führt den Eisbären daher seit dem Jahr 2015 auf der Roten Liste gefährdeter Arten als gefährdet (Wiig et al., 2015).

2.4 Begriffsdefinitionen: Artenkenntnis und Formenkenntnis

Die Kompetenz, Arten wie die hier beschriebenen zu erkennen, zu unterscheiden und zu benennen wird als Artenkenntnis bezeichnet (Eschenhagen, 1982; Hollstein, 2002). Vergleichbar mit dem morphologischen Artkonzept beruft sich die Artenkenntnis in der Regel auf phänotypische Merkmale der Organismen. Bestimmungsschlüssel zum Identifizieren von Organismen und Arten basieren auf morphologischen Merkmalen (Malicky, 2019). So arbeiten dichotome Bestimmungsschlüssel mit Vergleich und Ausschluss einzelner äußerer Merkmale von Individuen, um sie Arten zuzuordnen. Auch populärwissenschaftliche Bestimmungsbücher, Bildbände und Bestimmungsapps benennen Arten nach ihrem äußeren Erscheinungsbild.

Synonym zur Artenkenntnis wird in der Literatur häufig der Begriff der Formenkenntnis verwendet (Mayer, 1992). Nach Mayer und Horn (1993) wird die Formenkenntnis im Vergleich zur Artenkenntnis jedoch deutlich umfassender definiert. Neben dem Erkennen und Benennen von Arten umfasst die Formenkenntnis demnach auch das Wissen über die Ökologie der Arten sowie über ihre taxonomische Beziehung zu anderen Arten und impliziert sogar ein gewisses Interesse an der Art (Hollstein, 2002; Mayer, 1992; Mayer & Horn, 1993).

In diesem Zusammenhang führten Hooykaas et al. (2019) den Begriff der *Species Literacy* ein. Dabei zielen sie darauf ab, Artenkenntnisse mit emotionalen Empfindungen und Bildern zu verknüpfen, um das persönliche Bewusstsein für Artenvielfalt und eine emotionale Bindung zu Arten zu fördern (Hooykaas et al., 2019; Verboom et al., 2004). Der Begriff *Species Literacy* umfasst dabei sowohl breites Wissen über verschiedene Arten und deren Zusammenhänge als auch spezielles Wissen über einzelne Arten (Hooykaas et al., 2019). Das breite Wissen über verschiedene Arten bedingt ein Gefühl und Bewusstsein für Artenvielfalt und Biodiversität. Spezielles Wissen über einzelne Arten umfasst auch die Rolle einer Art im Ökosystem, die

Lebensweise und Besonderheiten. Nach Stichmann et al. (2012) wird dieses spezielle Wissen über Arten auch als Stützwissen zusammengefasst. Stützwissen beinhaltet in erster Linie bemerkenswerte, nützliche oder unterhaltsame Fakten zu einzelnen Arten und fördert dadurch die emotionale Bindung und das persönliche Interesse an einer Art (Hense, 2021; Kokott & Scheersoi, 2021; Stichmann et al., 2012). Am Beispiel der Insekten sind dabei nach Kokott und Scheersoi (2021) vor allem die Ästhetik der Tiere, besondere Fähigkeiten und der Nutzen von Relevanz. Das Stützwissen ist durch die Vermittlung einer emotionalen Bindung wichtig für das Aneignen einer fundierten und insbesondere nachhaltigen Artenkenntnis und schlägt eine Brücke zwischen dieser und einer tiefergehenden Formenkenntnis.

2.5 Verlust von Artenkenntnis und Formenkenntnis

Innerhalb der Gesellschaft, insbesondere der jüngeren Generationen wächst die Aufmerksamkeit für die Umwelt und ihre Veränderungen. Extremwetterereignisse und spürbare Klimaveränderungen bedingen auch eine zunehmende Fokussierung auf Schutzmaßnahmen (Albert et al., 2019). Allerdings ist die Bereitschaft, selbst etwas gegen eine Verschlechterung der Umweltbedingungen zu unternehmen, vielfach eher gering (Hupke, 2020). Es stellt sich also die Frage, wie in der Gesellschaft eine entsprechende Motivation zur Verhaltensänderung geweckt werden kann.

Für das Interesse an der Umwelt, zum Schutz der Biodiversität und zur Unterstützung der Einhaltung der Ziele der COP15 ist eine grundlegende Artenkenntnis essenziell (Hense, 2021; Hooykaas et al., 2019; Kokott & Scheersoi, 2021; Prokop & Fančovičová, 2013; Sturm et al., 2020). Nur durch die Kenntnis von Arten kann der Rückgang von Biodiversität erkannt werden, denn „Man schützt nur, was man liebt – man liebt nur, was man kennt“ (Konrad Lorenz). Personen, die sich aktiv im Natur- und Artenschutz engagieren, zeigen in einigen Studien eine verbesserte Artenkenntnis (Hosaka et al., 2017; Sturm & Berthold, 2015). Doch trotz des allgemein wachsenden Umweltinteresses und vieler Bemühungen, dieses zu wecken, zeigen die meisten Studien, dass die Zahl der Artenkenner*innen, besonders unter jungen Menschen, bereits seit Jahrzehnten drastisch abnimmt (Frobel & Schlumprecht, 2016; Gerl & Aufleger, 2022; Sturm et al., 2020; Zahner et al., 2007).

In früheren Studien wurde die Artenkenntnis unterschiedlicher Kohorten, meist über die Präsentation von Fotos verschiedener Tier- und Pflanzenarten, die die Befragten so genau wie möglich benennen sollten, objektiv ermittelt (Gerl et al., 2018; Randler, 2008; Sturm et al.,

2020). Im Folgenden soll eine Auswahl vorangegangener Studien zur Ermittlung der Arten- und Formenkenntnis vorgestellt werden.

Gerl et al. (2018) ermittelten die Artenkenntnis von knapp 2.000 Schüler*innen im Alter von 9 - 16 Jahren anhand ihrer Fähigkeit 15 heimische Vogelarten anhand von Fotos zu erkennen. Insgesamt zeigte sich in ihrer Studie eine gering ausgeprägte Artenkenntnis in der befragten Stichprobe. Mädchen konnten dabei zahlreichere Vögel korrekt benennen als Jungen. Zudem war die Artenkenntnis bei Teilnehmenden aus größeren Städten besser als bei Befragten aus kleineren Städten. Es zeigte sich jedoch auch, dass insbesondere Naturerfahrungen zu einer verbesserten Artenkenntnis beitragen (Gerl et al., 2018). Auch Sturm et al. (2020) überprüften die Fähigkeit, heimische Vogelarten zu benennen, anhand einer Stichprobe von 186 Schüler*innen und zeigten ebenfalls eine gering ausgeprägte zoologische Artenkenntnis. Zudem erhoben sie in ihrer Studie die Selbsteinschätzung der Teilnehmenden hinsichtlich ihrer Artenkenntnis. Dabei schätzten sie sich größtenteils deutlich besser ein als ihre tatsächliche Kenntnis war (Sturm et al., 2020). Gerl et al. (2021) ermittelte in einer zweiten Studie die Artenkenntnis von Schüler*innen der sechsten Klasse im Gymnasium. Dabei fragten sie verschiedene Wirbeltiere, demografische Daten, Einflussfaktoren wie den Wohnort sowie die eigene Erwartung an die Testleistung ab. Insgesamt zeigten die Schüler*innen auch hier eine eher geringe Artenkenntnis, wobei Säugetierarten deutlich besser erkannt wurden als Vögel oder Reptilien. Die Größe des Wohnort hatte keinen signifikanten Einfluss auf die zoologische Artenkenntnis der Befragten. Schülerinnen erkannten in der Befragung deutlich mehr Tierarten als Schüler. Zudem zeigte bei Gerl et al. (2021) im Gegensatz zu der genannten Studie von Sturm et al. (2020) ein deutlicher Zusammenhangs zwischen der eigenen Erwartung auf die Testleitung und der tatsächlichen Anzahl erkannter Tierarten (Gerl et al., 2021).

Randler (2008) untersuchte ebenfalls durch das Benennen von Fotos die Artenkenntnis von 879 Schüler*innen. Er fragte dabei in einem umfangreichen Fragebogen 54 verschiedene Arten der Vertebraten ab. Die Teilnehmenden zeigten eine insgesamt mäßig ausgeprägte Artenkenntnis, die sich mit dem Alter leicht veränderte und am besten bei den 14-Jährigen ausgeprägt war. Zudem zeigten auch hier Mädchen eine bessere Artenkenntnis als Jungen (Randler, 2008).

Enzensberger et al. (2022) analysierten die zoologische Artenkenntnis von Erwachsenen in Bayern, indem die Befragten 15 heimische Vogelarten benennen sollten. Die Teilnehmenden erkannten im Durchschnitt weniger als die Hälfte der Arten, wobei sich ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Arten und ihrer Bekanntheit ermitteln ließ. Zudem zeigten sie, dass

Befragte mit einer erhöhten zoologischen Artenkenntnis eher bereit waren, sich im Natur- und Artenschutz zu engagieren, als jene mit einer geringeren Kenntnis (Enzensberger et al., 2022).

Die Artenkenntnis einer großen und diversen Stichprobe von 4750 Befragten analysierten Hooykaas et al. (2019) in den Niederlanden. Sie konnten bei der Abfrage von 27 heimischen Tierarten ebenfalls feststellen, dass die Artenkenntnis bei vielen Personen gering ausgeprägt ist. Positiven Einfluss hatten laut Hooykaas et al. (2019) das Alter und das Bildungsniveau sowie die persönliche Einstellung zur Natur und Umwelt.

In der besonders groß ausgelegten, online durchgeführte Befragung arten|pisa (Schulemann-Maier & Munzinger, 2018) nahmen mehr als 7800 Befragte teil. Die Teilnehmenden sollten 36 heimische Tier- und Pflanzenarten anhand von Fotos benennen. Auch hier zeigte sich eine insgesamt mäßig ausgeprägte Artenkenntnis, obwohl die Umfrage, bedingt durch die Veröffentlichung auf Webseiten verschiedener Naturschutzverbände, vorrangig im Umweltschutz aktive Personen erreichte. Dabei nahm die Artenkenntnis mit zunehmenden Alter ebenfalls zu (Schulemann-Maier & Munzinger, 2018).

Palmberg et al. (2015) erfassten in ihrer Studie die zoologische und botanische Artenkenntnis Studierender des Grundschullehramts in verschiedenen skandinavischen und baltischen Ländern. Die Teilnehmenden konnten auch in dieser Studie im Schnitt nur die Hälfte der präsentierten Tier- und Pflanzenarten korrekt benennen. Es zeigte sich erneut ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen dem Interesse an der Natur und der Anzahl erkannter Arten (Palmberg et al., 2015).

Auch Schmäing und Grotjohann (2023) zeigten in ihrer Studie, dass die Naturverbundenheit und Naturerfahrungen positiv mit der Artenkenntnis zusammenhängen. Sie analysierten in ihrer Studie die Artenkenntnis von 206 Studierenden der Biologie und des Sachunterrichts zum Ökosystem Wattenmeer. Die Teilnehmenden sollte dazu 18 Tierarten des Wattenmeers benennen. Insgesamt zeigte sich auch hier eine geringe Artenkenntnis, wobei besonders prägnante Arten häufiger korrekt benannt wurden (Schmäing & Grotjohann, 2023).

Randler und Heil (2021) untersuchten die zoologische Artenkenntnis von Studierenden sowie Dozierenden anhand der Benennung von 28 in Deutschland heimischen Vogelarten. Die Befragten konnten im Schnitt etwa die Hälfte der Arten korrekt benennen, wobei die Artenkenntnis bei Dozierenden besser ausgeprägt war aus bei den befragten Studierenden. Männliche Teilnehmer erkannten in dieser Studie mehr Vogelarten als Teilnehmerinnen. Zudem zeigte sich

erneut ein großer Zusammenhang zwischen dem Interesse an Vögeln im Allgemeinen und der erreichten Punktzahl in der Befragung (Randler & Heil, 2021).

Die Artenkenntnis ist somit insbesondere bei jungen Menschen schlecht ausgebildet und die emotionale Bindung zu Natur und Umwelt aber auch zu verschiedenen Tiergruppen sowie das Engagement im Naturschutz haben einen großen Einfluss auf die Artenkenntnis.

Balmford et al. (2002) zeigten in diesem Zusammenhang, dass in der Vielfalt der teils abstrakten Artnamen keine Hürde zur Ausprägung einer Artenkenntnis liegt und Interesse und Motivation wichtige Faktoren darstellen. Sie verglichen in ihrer Studie, wie viele von je zehn Tierarten und zehn Pokémon (Fantasiewesen aus einer virtuellen Spielwelt der The Pokémon Company, Tokio, Japan) die befragten Kinder benennen konnten. Im Alter von acht Jahren konnten die Kinder innerhalb der Studie 80 % der aus einer Gesamtmenge von 150 Pokémon zufällig ausgewählten Fantasiewesen korrekt identifizieren. Von den abgefragten heimischen Tierarten konnten die Kinder nur etwa 50 % richtig benennen. Hierbei spielten erneut insbesondere das Interesse, die Begeisterung und die intrinsische Motivation der Kinder eine entscheidende Rolle für das Identifizieren der Arten (Balmford et al., 2002).

Das familiäre Umfeld beeinflusst das Wissen über verschiedene Pflanzen- und Tierarten von Kindern. So konnten Remmele und Lindemann-Matthies (2018) in ihrer Studie zum Zusammenhang der Artenkenntnis von Eltern und ihren Kindern zeigten, dass gut ausgeprägte Kenntnisse der Eltern ebenfalls bessere Artenkenntnisse der Kinder bedingten. Zudem sahen sich die Eltern als wichtige Faktoren für die Vermittlung von Artenkenntnis an ihre Kinder (Remmele & Lindemann-Matthies, 2018). Besonders die heimische Flora und Fauna direkt vor der Haustür bleiben jedoch oft unentdeckt, während die exotische Tierwelt beispielsweise durch Zoos oder Filme fragmentarisch, aber für Kinder und Familien attraktiv, abgebildet wird. So zeigten Ballouard et al. (2011), dass exotische Tiere von Kindern häufig als schützenswerter erachtet werden als die heimische Fauna. Zudem wird vielfach die Meinung vertreten, dass authentische Naturbegegnungen nur an weit entfernten Orten möglich sind (Fraser et al., 2010) und daher mit entsprechendem Aufwand und Eventcharakter verknüpft werden, während die Begeisterung für die Natur zuhause oftmals mäßig ausgeprägt ist (Soga & Gaston, 2016).

2.6 Vermittlung der Artenkenntnis und Formenkenntnis

Doch auch im urbanisierten Raum lassen sich begeisternde Naturerfahrungen erleben, die eine emotionale Bindung zur Umwelt, das Interesse an dieser und die Arten- und Formenkenntnis fördern können.

Eine entscheidende Rolle für die Bereitschaft, Arten zu schützen, spielen die (Natur-)Erfahrungen und die daraus resultierenden positiven aber auch negativen Emotionen, die Menschen mit verschiedenen Tierarten verbinden (Larson et al., 2016). Die emotionale Einstellung gegenüber Säugetieren und Vögeln ist dabei meist positiver ausgeprägt als z. B. gegenüber Insekten, Spinnen oder Amphibien (Castillo-Huitrón et al., 2020; Prokop & Fančovičová, 2013; Prokop et al., 2016).

Besonders in städtischen Regionen spielen Kindertagesstätten, Schulen, Universitäten und außerschulische Lernorte eine bedeutende Rolle bei der Vermittlung von Arten- und Formenkenntnis an junge Menschen (Frobel & Schlumprecht, 2016). Eine fokussierte Bildung für nachhaltige Entwicklung (Haan, 2008; Varela-Candamio et al., 2018; Weber, 2018; Wittig & Niekisch, 2014) mit der Ausbildung einer fundierten biologischen Artenkenntnis kann bei der Bevölkerung die Bedeutung und Wertschätzung eines intakten biologischen Systems Erde stärken (Gaston & Spicer, 2004; Palmberg et al., 2015; Randler & Bogner, 2006; Randler et al., 2005; White et al., 2018). Die Kinder, Schüler*innen und Studierenden sollen dort die Vielfalt der heimischen Flora und Fauna kennen und die Bedeutung der Biodiversität für den Menschen schätzen lernen, um diese nachhaltig zu schützen. Doch zusätzlich zum abnehmenden zeitlichen Spielraum im Unterricht durch eine zunehmende Fülle an curricular verpflichtend einzubindenden Inhalten, spielen in Teilen auch eine unzureichende Ausstattungen von Schulen mit zoologischen Präparaten und weiterem Anschauungsmaterial sowie lückenhafte Kenntnisse der Lehrpersonen innerhalb des Themenfelds eine entscheidende Rolle (Bebbington, 2005).

Dennoch geben Lehramtsstudierende neben dem Elternhaus vor allem die Schule als wichtigste Quelle ihrer Artenkenntnis an (Lindemann-Matthies et al., 2017) und unterstreichen damit die Bedeutung von Schulen und Biologieunterricht. Defiziten in der Artenkenntnis von Biologielehrkräften muss daher durch eine fundierte Ausbildung bereits in der ersten Phase der Lehrer*innenbildung entgegengewirkt werden, um essenzielles Fachwissen nachhaltig zu fördern. Auf die Möglichkeiten dieser Wissensvermittlung wird in Kapitel 3.2 genauer eingegangen.

3 Biodidaktischer Hintergrund

Digitale Medien sind auch für Kinder und Jugendliche bereits seit einigen Jahren ständige Begleiter im Alltag. Im Rahmen der durch den Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2023) geführten Studie Jugend, Information und (Multi-)Media (JIM-Studie) geben 99 % der befragten Kinder und Jugendlichen im Alter von 12-19 Jahren an, dass ihr Haushalt mit einem Smartphone und einem Computer sowie in 97 % der Fälle mit einem Fernseher ausgestattet ist. Dabei ist das Smartphone das am häufigsten von den Kindern und Jugendlichen genutzte Gerät, wobei sie es vor allem zur Internetnutzung und zum Musikhören einsetzten. Besonders wichtig sind den Befragten in diesem Zusammenhang Programme zur Kommunikation wie die App WhatsApp und die Video-Plattform YouTube. Junge Menschen wachsen also mit digitalen Medien auf und haben täglich Zugang zu ihnen. Sie werden daher häufig als *Digital Natives* (Prensky, 2001) bezeichnet, denen ein kompetenter Umgang mit digitalen Tools schnell unterstellt wird (Bennett et al., 2008). Die reale Medienkompetenz insbesondere im Sinne einer sicheren und zukunftsweisenden Nutzung digitaler Medien bedarf jedoch häufig einiger Förderung. Daher soll im Folgenden die Wichtigkeit einer ausgeprägten Medienkompetenz junger Menschen als Vorbereitung auf ein Leben in einer zunehmend digitalisierten Welt dargestellt und Möglichkeiten zur Förderung insbesondere im naturwissenschaftlichen Kontext abgebildet werden.

3.1 Digitale Medien in der Lehre

Auch das Bildungswesen ist zunehmend durch multimediale Tools und digitale Medien geprägt. Der Einsatz von Smartphones und Tablets, Laptops und Whiteboards hat für die Lehre und das Lernen ebenso an Bedeutung gewonnen, wie die digitale Umsetzung und Vermittlung von Lerninhalten in Form von teils interaktiven Videos, virtuellen Umgebungen, digitalen Spielen sowie *Augmented Reality* (AR) und *Virtual Reality* (VR) (Haleem et al., 2022).

Die Begriffe der digitalen Tools oder digitalen Medien umfasst auf der einen Seite die Hardware, also Smartphones, Tablets und Computer sowie Whiteboards, Beamer und weitere digitale Präsentationsgeräte aber auch spezifische Geräte wie digitale Messinstrumente. Auf der anderen Seite umfassen die Begriffe verschiedenste Software, wie bspw. das bekannte Textbearbeitungsprogramm Microsoft Word, das Präsentationsprogramm Microsoft PowerPoint oder das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel, 3D-Programme sowie Zeichentools, Lernmanagementsysteme und Software zur Kommunikation wie E-Mails oder Chats. In der

Literatur ist zum Teil außerdem die Bezeichnung Informations- und Kommunikationstechnologien (*information and communication technologies*, kurz: ICT) etabliert (Petko, 2020). Auch in Schulen und Universitäten hat sich damit eine große Vielfalt an digitalen Medien etabliert, die unterschiedliche neue Möglichkeiten für das Lehren und Lernen mit sich bringen.

Die Begriffe digitale Medien, digitale Tools und ICT werden auf Grund überschneidender Bedeutungen im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet.

Nach einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts forsa (2023) sind 90 % aller befragten Schulen mit mindestens einem Klassensatz an digitalen Endgeräten (i. d. R. Tablets oder Laptops) ausgestattet. Damit verfügt jedoch auch immer noch jede zehnte Schule über keine oder nicht für eine Klasse ausreichende digitale Tools. Es zeigt sich in den vergangenen Jahren eine deutlich verbesserte Ausstattung der Schulen mit digitalen Medien, wobei die Corona-Pandemie im Jahr 2020 als Katalysator für die Ausstattung sowie das Lehren und Lernen mit digitalen Medien diente (Faridah et al., 2020). So gaben in der entsprechenden forsa-Umfrage von 2020, vor Beginn der pandemiebedingten Ausnahmesituation, noch 63 % der befragten Schulen an, keine Klassensätze digitaler Endgeräte für Schüler*innen zu haben (forsa, 2023).

Der Einsatz digitaler Medien in der Lehre ist aus verschiedenen Gründen sinnvoll und gewinnbringend.

Die Vorteile digitaler Lehr- und Lern-Medien liegen vor allem in ihrer Vielschichtigkeit, Multimedialität und Multimodalität (Mayer, 2002; Schanze & Girwidz, 2018; Stockwell et al., 2015). Ihr Einsatz verändert das Lernen und Lehren an Schulen, Hochschulen und Universitäten indem sich die räumliche und zeitliche Gestaltung des Lernens variabler gestalten lässt. Dies schafft einen Mehrwert (Scheiter, 2021), der sich positiv auf die Lernmotivation auswirken kann (Schulz-Zander et al., 2002; Stockwell et al., 2015).

Digitale Medien ermöglichen es, Sachverhalte auf mannigfaltige Art und Weise abzubilden. Ergänzend zu klassischen Texten und Audios sind z. B. in Videos Bild und Ton kombiniert und können in der Geschwindigkeit durch Pausieren und/oder Wiederholen individuell angepasst werden (Stockwell et al., 2015). Gamifizierte Inhalte ermöglichen einen spielerischen und interaktiven Zugang zu Sachverhalten (Robson et al., 2015). Ein orts- und zeitunabhängiger Zugang zu digitalisierten Inhalten schafft eine flexiblere Lernumgebung, von der eine heterogene Lernerschaft profitieren kann (Haleem et al., 2022; Kerres, 2013; Kramer et al., 2019). Durch diese Vielschichtigkeit können Lehrende auf verschiedene Lernstile und Bedürfnisse der

Lernenden eingehen und Lernende Inhalte auf vielfältige und individuelle Art und Weise erarbeiten.

Die Multimedialität ermöglicht die Umsetzung der vielschichtigen Informationsvermittlung durch unterschiedliche Informationsträger. So können auch durch die der multimedialen Bildung innewohnenden Multimodalität Informationen über auditive, visuelle und kombinierte Sinneskanäle vermittelt und nachhaltig verarbeitet werden (Kramer et al., 2019; Mayer, 2014; Schanze & Girwidz, 2018). Durch die gleichzeitige Ansprache unterschiedlicher Sinne, kombiniert mit interaktiven Elementen, können digitale Medien so eine ganzheitliche (Lern-)Erfahrung ermöglichen.

Digitale Medien schaffen eine lernendenorientierte und individuelle Gestaltung der Inhaltsvermittlung (Eickelmann & Gerick, 2020; Thoms et al., 2022) und tragen zu einem Ausgleich von Heterogenität der Lernenden bei (Kerres, 2013). Zeitlich und räumlich flexiblere Konzepte wie *blended learning* oder *flipped classroom* schaffen neue Lernarten, fördern das selbstgesteuerte Lernen und sichern auch in digitalisierten Lernszenarien die Kommunikation und Unterstützung. Im Konzept *blended learning* wird klassisches Präsenzlernen mit digitalen (Selbst-)Lernelementen kombiniert (Graham, 2006). Bei dem Konzept *flipped classroom* werden Inhalte und Aktivitäten aus dem gemeinsamen Lernen ins Selbststudium ausgelagert, um die Vor- und Nachbereitung individueller und die gemeinsame Lernzeit effektiver und interaktiver gestalten zu können (Abeysekera & Dawson, 2015; Kunze & Frey, 2021). Diese hybriden Szenarien verzahnen so verschiedene Lernphasen, unterstützen das Lernen an unterschiedlichen Orten und variabler Gruppen und können so das Lernen effizienter gestalten (Kerres, 2013; Thoms et al., 2022).

Außerdem kann durch digitale und flexible Kommunikationswege kommunikatives und kollaboratives Arbeiten sowie zusätzliches informelles Lernen gefördert werden (Kerres, 2013). Die spielerische Vermittlung teils komplexer Inhalte wird durch gamifizierte digitale Anwendungen erleichtert und fördert das Interesse an Inhalten und die Motivation zum Lernen (Robson et al., 2015; Stockwell et al., 2015). Interaktive Inhalte mit automatisiertem, individuellem und möglichst adaptivem Feedback ermöglichen eigenverantwortliches und selbstgesteuertes Lernen und fördern Erfolgserlebnisse und die Wirksamkeit des Lernprozesses (Scheiter, 2021). Zudem kann die eigenverantwortliche Nutzung digitaler Medien sowie die Möglichkeit des Autonomieerlebens (Deci & Ryan, 1993) in digital gestützten Selbstlernphasen die Motivation und den Lernerfolg steigern (Kuhn et al., 2017; Kuhn & Vogt, 2013; Schaal et al., 2013). Aber auch der

kollaborative und kommunikative Einsatz digitaler Tools verbessert den Lernerfolg deutlich (Hillmayr et al., 2017).

Der Einsatz digitaler Tools für das Lernen bringt aber auch Nachteile und Grenzen mit sich. Diese wurden insbesondere während des pandemiebedingt kurzfristig veränderten Umfelds an Schulen und Universitäten deutlich (Breitenbach, 2021). Der unterschiedliche Zugang zu digitalen Tools und Endgeräten kann eine soziale Ungleichheit verstärken (Eickelmann & Gerick, 2020). Die Ausstattung von Schulen und Universitäten mit digitalen Endgeräten für Klassen und Kurse hilft, dieser Problematik entgegenzuwirken. Jedoch besteht hier insbesondere in Deutschland noch großes Entwicklungspotenzial, um allen Schüler*innen und Studierenden gleiche Chancen für eine gute digitale Bildung zu ermöglichen.

Auch die Kompetenz der Lehrenden stellt eine potenzielle Hürde in der digitalen Inhaltsvermittlung dar. Daher muss eine fundierte Medienkompetenz bei Lehrenden ausgebildet werden, um gute und lernförderliche Lehre mit digitalen Medien zu ermöglichen. Hierauf wird in Kapitel 3.1.2.2 genauer eingegangen.

Nicht zuletzt ist auch eine teils schlechte IT-Infrastruktur begrenzend für eine gute Bildung mit digitalen Medien (Eickelmann & Gerick, 2020). Insbesondere die Verfügbarkeit des Internets ist dabei limitierend und muss ausgebaut werden (forsa, 2023).

Heute beschäftigen sich die meisten Studien mit dem Vergleich digitaler und analoger Unterrichtsmedien und dem daraus resultierenden Lernengagement und -erfolg der Schüler*innen oder Studierenden (Bond et al., 2020). Häufig bringen digitale Medien dabei zumindest kurzfristig den bereits thematisierten Mehrwert für das Lehren und Lernen mit sich (Hillmayr et al., 2017). Abhängig von der Art und Weise des Einsatzes digitaler Tools kann sich der Effekt jedoch mehr oder weniger schnell verlieren. So hat ein ausschließlicher Ersatz analoger Medien durch digitale Alternativen häufig keine langfristig bessere Inhaltsvermittlung zur Folge. Daher soll im Folgenden die Integration digitaler Tools in die Lehre an Schulen und Universitäten genauer betrachtet werden.

3.1.1 Das RAT-Modell und das SAMR-Modell

Die Einbindung digitaler Medien in das Lehren und Lernen kann auf sehr unterschiedliche Art und Weise und wie dargestellt mit unterschiedlich starkem Nutzen stattfinden. Keane (2012) definierte dazu verschiedene Unterteilungen des digitalen Lernens. Lerninhalte können durch die Lernenden aus digitalen Medien extrahiert werden. Dabei dienen die digitalen Medien

ausschließlich als Informationsträger. Zudem können Lernende die notwendigen Informationen selbstständig oder angeleitet aus dem Internet recherchieren. Intensiver eingebunden führen Lernende ihre Lernaktivitäten primär mit den digitalen Medien durch. Als letzter Bereich wird der Einsatz digitaler Tools für das selbstgesteuerte Lernen genannt. Dabei agieren die Lernenden unabhängig online oder offline mit digitalen Tools, wodurch autonomes Lernen gefördert wird (Keane, 2012).

Neben dieser Unterteilung digitaler Medien in der Lehre kommen in der mediendidaktischen Forschung häufig das RAT-Modell von Hughes et al. (2006) oder das SAMR-Modell nach Puentedura (2006) zur Klassifizierung der Einbindung digitaler Tools in die Lehre zum Einsatz.

Das RAT-Modell nach Hughes et al. (2006) unterteilt den Einsatz digitaler Tools in verschiedene Stufen (Abbildung 32). Auf der ersten Stufe des Modells, dem *Replacement*, ersetzen digitale Technologien bestehende analoge Prozesse, ohne diese wesentlich zu verändern. In der Lehre findet hier beispielsweise ein Austausch analoger Arbeitsblätter durch digitale Dokumente statt. Die Arbeitsweise wird hierdurch digitalisiert, ohne eine Veränderung für den Prozess des Lehrens oder Lernens zu bringen. Auf der zweiten Stufe des Konzeptmodells, der *Amplification*, werden digitale Medien eingesetzt, um bestehende Prozesse durch die Digitalisierung zu modifizieren und wenn möglich zu verbessern. Die Einbindung von Lehrvideos in die Lehre kann beispielsweise auf dieser Stufe genannt werden, da sie eine multisensorische Inhaltsverarbeitung für die Lernenden ermöglicht. Auf der höchsten Stufe des RAT-Modells nach Hughes et al. (2006), der Stufe der *Transformation*, werden Lehr- und Lernprozesse durch digitale Medien grundlegend verändert. Digitale Tools ermöglichen beispielsweise eine zeitgleiche und ortsunabhängige Zusammenarbeit von Lernenden, welche ohne den Einsatz der Technologie nicht möglich wäre.

Ebenfalls im Jahr 2006 entwickelte Puentedura das SAMR-Modell, welches ebenfalls die Integration digitaler Medien in die Lehre in verschiedene Intensitätsstufen unterteilt (Abbildung 32). Auch hier wird auf der ersten Stufe des Modells, der *Substitution*, der ausschließliche Einsatz digitaler Tools als Ersatz für analoge Techniken ohne Verbesserungen der Prozesse genannt. Auf der darauffolgenden Stufe, der *Augmentation*, werden Lernprozesse durch den Einsatz digitaler Techniken bereits abgewandelt, jedoch nicht grundlegend verändert. Hier lassen sich beispielhaft Textverarbeitungstools nennen, die durch integrierte Rechtschreibprüfungen und Formatierungsmöglichkeiten Lernende unterstützen. Auf der Stufe der *Modification* werden Lehr- und Lernprozesse durch digitale Tools neugestaltet, wie dies beispielsweise durch kooperatives und kollaboratives Arbeiten an Dokumenten oder Präsentationen ermöglicht wird.

Die höchste Stufe der Integration digitaler Medien in die Lehre nach dem SAMR-Modell (Puentedura, 2006) ist die *Redefinition*, bei der das Lehren und Lernen durch digitale Technologie grundlegend verändert, verbessert und effizienter gestaltet wird. Hier finden sich beispielsweise virtuelle Realitäten wieder, die für die Inhaltsvermittlung zum Einsatz kommen.

Sowohl das RAT-Modell (Hughes et al., 2006) als auch das SAMR-Modell (Puentedura, 2006) zielen somit auf die Klassifizierung der Integration von digitaler Technologie in die Lehre ab (Abbildung 32).

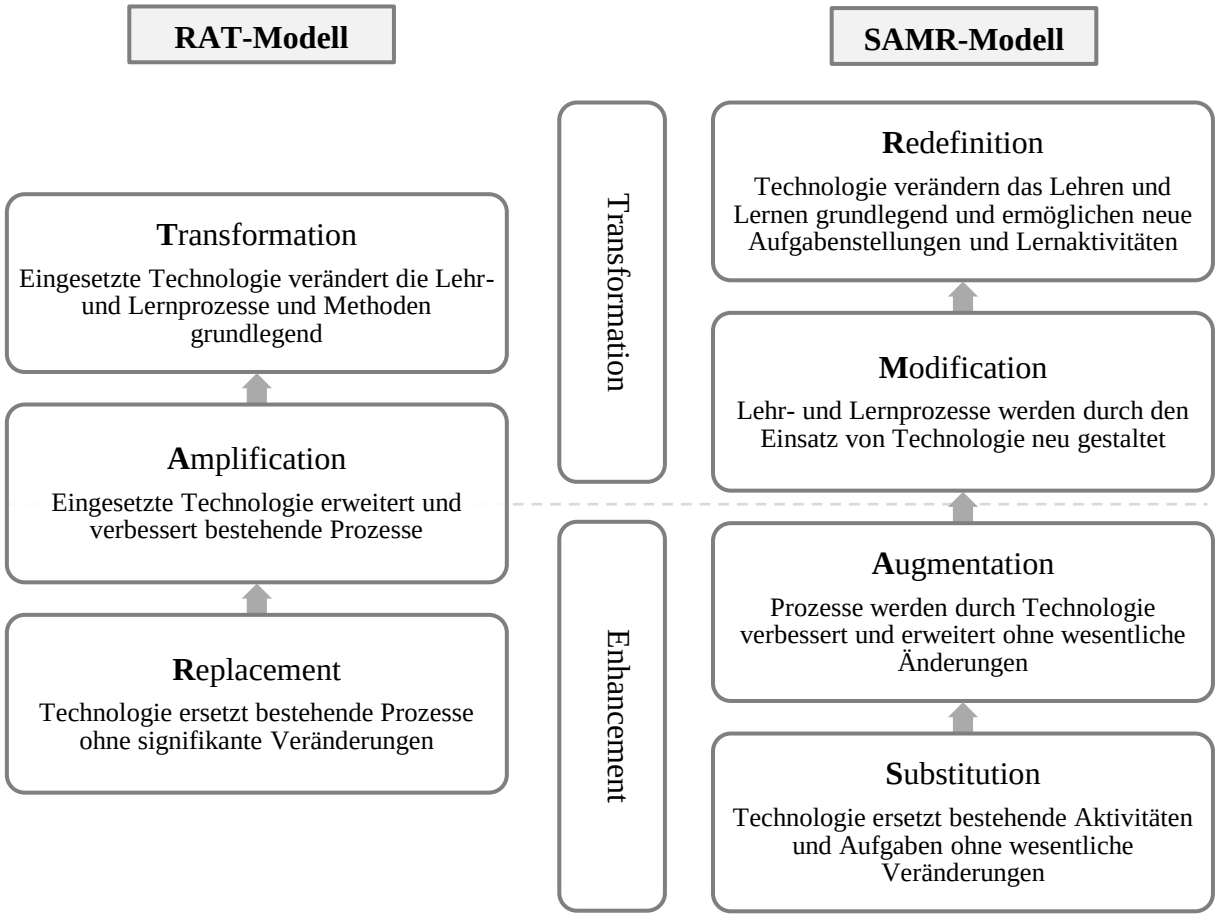


Abbildung 32: Gegenüberstellung des RAT-Modells nach Hughes et al. (2006) und des SAMR-Modells nach Puentedura (2006) zur Einbindung digitaler Medien in die Lehre.

3.1.2 Medienkompetenz

Baacke definiert den Begriff der Medienkompetenz als die Fähigkeit, Medien sinnvoll und zielorientiert nutzen zu können, sie zur Kommunikation einzusetzen, sie kritisch bewerten und selbst kreativ verwenden zu können (Baacke, 1996). Dabei betont er vier Facetten der Medienkompetenz. Die Medienkunde umfasst die Kenntnis über verschiedene Medien und die Fähigkeit, mit unterschiedlichen Medien umgehen zu können. Die Medienkritik beschreibt die Kompetenz, entsprechende Medien für verschiedene Tätigkeiten passend auszuwählen und im Zusammenhang qualitativ zu bewerten. Die Kompetenz der Mediennutzung beschreibt Baacke als die Möglichkeit, Medien zur Herstellung eigener Produkte und der persönlichen Weiterentwicklung zu nutzen. Die Mediengestaltung beschreibt er abschließend als die Fähigkeit, Medien flexibel, aktuell und kreativ einzusetzen. Diese Kompetenzen lassen sich auch heute auf den Umgang mit neuen digitalen Medien übertragen. Zur eindeutigen Verständlichkeit und genaueren Beschreibung wird hierbei häufig auch von digitaler Kompetenz (Ferrari, 2012) oder *Digital Literacy* (Bawden, 2008; Gilster, 1997) gesprochen. Gemeint ist dabei immer eine mehr oder weniger eng gefasste Kompetenz im Umgang mit digitalen Medien zur Information, Kommunikation und Gestaltung. Medienkompetenz beinhaltet dabei weiterhin nicht nur die Fähigkeiten im Umgang mit der Technologie, sondern umfasst auch die kritische und reflektierte Nutzung digitaler Angebote, indem die damit verbundenen Möglichkeiten und Risiken für die eigene Person berücksichtigt werden (Scheiter, 2021). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher der Begriff der Medienkompetenz synonym mit den Begriffen digitale Kompetenz und *Digital Literacy* verwendet.

3.1.2.1 Medienkompetenzrahmen NRW

Für einen sinnvollen und zielführenden Umgang mit digitalen Medien wird daher sowohl im privaten als auch im beruflichen Alltag *Digital Literacy* benötigt. Eine nachhaltige und zukunftsorientierte Bildung bereitet daher fachunabhängig auf ein Leben in einer digitalisierten Welt vor und hat zum Ziel, eine fundierte Medienkompetenz bei jungen Menschen auszubilden (Scheiter, 2021). Sie nutzt digitale Tools aber auch zur Vermittlung von Fachwissen und ermöglicht damit einen individuellen Zugang zu teils komplexen Inhalten.

Daher wurde in NRW seit der Kultusministerkonferenz (KMK) im Jahr 2016 die systematische Förderung digitaler Kompetenzen bei Schüler*innen geplant (KMK, 2016) und im darauffolgenden Medienkompetenzrahmen NRW aus dem Jahr 2019 festgeschrieben (Medienberatung

NRW, 2020). Dieser umfasst sechs Kompetenzbereiche, unterteilt in insgesamt 24 Teilkompetenzen, die für den Umgang mit digitalen Medien notwendig sind (Abbildung 33).

Der erste Kompetenzbereich beinhaltet das Bedienen und Anwenden digitaler Medien. Der Bereich bildet somit die Basis aller anderen Kompetenzen im Medienkompetenzrahmen. Auch der Umgang mit Daten sowie Kenntnisse über und Sensibilisierung für den Datenschutz finden sich als Teilkompetenzen in diesem Bereich.

Der zweite Kompetenzbereich befasst sich mit der Recherche und Auswahl von Informationen sowie der Bewertung und dem kritischen Umgang mit diesen. Mit diesen Kompetenzen sollen Schüler*innen auf unterschiedliche Quellen, ihre Relevanz und ihre Zuverlässigkeit aufmerksam gemacht werden.

Ergänzend dazu steht der dritte Kompetenzbereich, der das Kommunizieren und Kooperieren über digitale Wege umfasst. Die darunter zusammengefassten Teilkompetenzen ermöglichen eine sichere und zielgerichtete digitale Kommunikation und Zusammenarbeit. Zudem lernen die Schüler*innen Risiken durch Cyberkriminalität kennen und lernen, vorbeugend zu handeln und auf Gefahren zu reagieren.

Der vierte Kompetenzbereich umfasst Teilkompetenzen, die das Produzieren und Präsentieren digitaler Medienprodukte betreffen. Hierunter fällt die Kenntnis über verschiedene Gestaltungsmittel sowie die geübte Produktion adressatengerechter Medienprodukte wie beispielsweise Präsentationen, Filme oder Audiodateien. Auch der Umgang mit fremdem Material und der Schutz geistigen Eigentums in der digitalisierten Welt wird in diesem Kompetenzbereich geschult.

Der fünfte Kompetenzbereich adressiert die Kenntnis über die Vielfalt des digitalen Medienangebots einerseits sowie die reflektierte und kritische Auseinandersetzung mit den Medien und dem eigenen Nutzungsverhalten andererseits.

Der sechste und letzte Kompetenzbereich beschreibt das Problemlösen und Modellieren. Darin finden sich das Verstehen und Nachvollziehen grundlegender Prinzipien der digitalen Welt sowie das Erkennen von Algorithmen und digitalen Mustern. In fortgeschrittenen Teilkompetenzen dieses Kompetenzbereichs sollen die Schüler*innen zudem dazu befähigt werden, selbst digitalisierte Problemlösestrategien zu entwickeln und diese durch eigenständiges Programmieren zu lösen. Sie sollen außerdem befähigt werden, Algorithmen zu beschreiben und zu bewerten.

1. Bedienen und Anwenden	2. Informieren und Recherchieren	3. Kommunizieren und Kooperieren	4. Produzieren und Präsentieren	5. Analysieren und Reflektieren	6. Problemlösen und Modellieren
1.1 Medien-ausstattung (Hardware)	**2.1** Informations-recherche	**3.1** Kommunikations- und Kooperations-prozesse	**4.1** Medien-produktion und Präsentation	**5.1** Medienanalyse	**6.1** Prinzipien der digitalen Welt
1.2 Digitale Werkzeuge	**2.2** Informations-auswertung	**3.2** Kommunikations- und Kooperations-regeln	**4.2** Gestaltungsmittel	**5.2** Meinungsbildung	**6.2** Algorithmen erlernen
1.3 Daten-organisation	**2.3** Informations-bewertung	**3.3** Kommunikation und Kooperation in der Gesellschaft	**4.3** Quellen-dokumentation	**5.3** Identitätsbildung	**6.3** Modellieren und Programmieren
1.4 Datenschutz und Informations-sicherheit	**2.4** Informations-kritik	**3.4** Cybergewalt und -kriminalität	**4.4** Rechtliche Grundlagen	**5.4** Selbstregulierte Mediennutzung	**6.4** Bedeutung von Algorithmen

Abbildung 33: Der Medienkompetenzrahmen NRW (nach KMK 2016)

Die im Medienkompetenzrahmen NRW beschriebenen Kompetenzen sollen Schüler*innen durch die fächerübergreifende Integration digitaler Anwendungen im Unterricht erlernen und am Ende ihrer Schullaufbahn beherrschen. Damit sollen sie auf einen verantwortungsvollen, sicheren und kompetenten Umgang mit digitalen Medien und auf ein Leben in einer zunehmend digitalisierten Welt vorbereitet werden (Medienberatung NRW, 2020).

Die pandemiebedingte Ausnahmesituation für die Lehre an Schulen und Universitäten hat als Multiplikator für digitale Lehr- und Lernszenarien gewirkt (Faridah et al., 2020). Neben Entwicklung und Evaluation vieler neuer Umsetzungs- und Einsatzmöglichkeiten sowie dem Aufzeigen des Potenzials digital gestützter Lehre, konnten auch Schwachstellen, Hürden und Grenzen erkannt und zukünftig nach Möglichkeit behoben oder gemieden werden (Breitenbach, 2021; Kreidl & Dittler, 2021). Insbesondere die Notwendigkeit einer verbesserten Medienkompetenz bei Lehrkräften für den didaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Tools im Unterricht wurde deutlich.

3.1.2.2 Das TPACK-Modell

Der sinnvolle und zielsuchende Einsatz digitaler Medien in der Lehre ist vor allem durch die Lehrkraft geprägt und von ihrer Steuerung abhängig (Lin et al., 2017). Zur Vermittlung der geforderten Kompetenzen sind daher gut ausgeprägte digitale Kompetenzen der Lehrkräfte unerlässlich (Rubach & Lazarides, 2019; KMK, 2016). Dieses gilt sowohl für die fachübergreifende als auch für die fachspezifische Medienbildung der Schüler*innen (Herzig & Martin, 2018). Diese wird in verschiedenen etablierten Modellen definiert und kann mit darauf basierenden Messinstrumenten ermittelt und erfasst werden. Ein bekanntes Rahmenkonzept ist in diesem Zusammenhang das TPACK-Modell (*technology, pedagogy, and content knowledge*) von Mishra und Koehler (2006/2009). Aufbauend auf dem von Shulman (1986/1987) veröffentlichten PCK-Modell wird dieses um die Kompetenz des technologischen Wissens erweitert. Das TPACK-Modell umfasst somit drei Kompetenzbereiche der Lehrkräfte, die Überschneidungen aufweisen und systematisch ineinandergreifen (Abbildung 34).

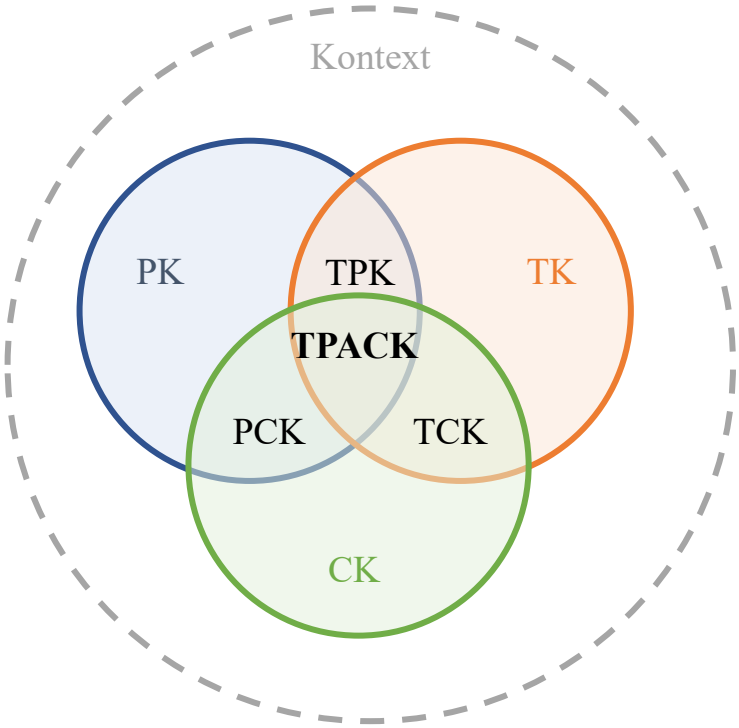


Abbildung 34: Darstellung der Kompetenzbereiche des TPACK-Rahmenkonzepts. Verändert nach Koehler und Mishra (2009). PK = pädagogisches Wissen, TK = technologisches Wissen, CK = Fachwissen, TPK = mediendidaktisches Wissen, PCK = fachdidaktisches Wissen, TCK = fachtechnologisches Wissen, TPACK = medienfachdidaktisches Wissen

Der Kompetenzbereich des pädagogischen Wissens (*pedagogical knowledge*, PK) beschreibt das Wissen über effektive Lehr- und Lernstrategien, Unterrichtsdesigns,

Klassenzimmermanagement und pädagogische Theorien. Es bezieht sich auf die Fähigkeit des Lehrers, Lerninhalte auf eine Weise zu vermitteln, die den Schülern zugänglich und verständlich ist (Koehler & Mishra, 2009).

Das Fachwissen (*content knowledge*, CK) umfasst das spezifische inhaltliche Wissen der Lehrkraft zu ihren Fächern. Sie müssen ein fundiertes Wissen über die Inhalte, Theorien und Konzepte ihres Fachs besitzen, um dieses angemessen an ihre Schüler*innen vermitteln zu können (Koehler & Mishra, 2009; Shulman, 1986). Das entsprechende Fachwissen wird in der Regel im Studium erlangt, in dem sich die Lehramtsstudierenden intensiv mit den spezifischen Inhalten ihrer Fächer befassen. Dabei lernen sie sowohl Theorien, Erkenntnisse und Arbeitsweisen als auch Fragestellungen und Lösungsansätze ihres Fachs kennen (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020).

Wie in Abbildung 34 dargestellt, überschneiden sich die Kompetenzbereiche innerhalb des Rahmenkonzepts. Die Schnittstelle zwischen den Kompetenzbereichen PK und CK wird als fachdidaktisches Wissen (*pedagogical content knowledge*, PCK) zusammengefasst. Dieses beschreibt die Fähigkeit von Lehrkräften, angemessene Lehr- und Lernstrategien für die Vermittlung der fachspezifischen Inhalte auszuwählen und die Inhalte des Fachs für die Lernenden didaktisch sinnvoll aufzubereiten (Koehler & Mishra, 2009; Shulman, 1986).

Der dritte Kompetenzbereich, das technologische Wissen (*technological knowledge*, TK), bezieht sich auf das Wissen und die Fähigkeiten von Lehrkräften zu technologischen Werkzeugen, ihrer Funktionsweise sowie der Anwendung und Einbindung in den Unterricht. Dabei sollen Lehrkräfte grundlegende Fähigkeiten im Umgang mit verschiedenen Technologien besitzen, um diese zur Informationsverarbeitung und Kommunikation einsetzen zu können (Koehler & Mishra, 2009).

Die Schnittmenge zwischen den Kompetenzbereichen TK und CK beschreibt das fachtechnologische Wissen (*technological content knowledge*, TCK). Lehrkräfte müssen dazu in der Lage sein, die Bedeutung verschiedener digitaler Technologien für ihr Fach zu erkennen und entsprechend einzusetzen. In den Naturwissenschaften sind digitale Tools beispielsweise von besonderer Bedeutung sowohl für die Forschung und Erkenntnisgewinnung als auch für die Darstellung teils abstrakter Vorgänge oder mikroskopisch kleiner Strukturen (Kramer et al., 2019). So sollen Lehrkräfte ein Verständnis für die gegenseitige Beeinflussung von Technologie und Inhalt entwickeln und Möglichkeiten für die flexible und vielfältige Darstellung fachspezifischer Inhalte erhalten (Koehler & Mishra, 2009).

Dies bedingt auch die Schnittmenge zwischen dem technologischen Wissen (TK) und dem pädagogischen Wissen (PK), die sich als mediendidaktisches Wissen (*technological pedagogical knowledge*, TPK) zusammenfassen lässt. Dieses beinhaltet das Wissen über pädagogische Möglichkeiten und Einschränkungen von Technologien in verschiedenen didaktischen Kontexten. Durch den kreativen und überlegten Einsatz digitaler Technologie können das Lernen für Schüler*innen so erleichtert und gefördert sowie potenziell durch den Einsatz digitaler Medien entstehende Hürden und Probleme frühzeitig erkannt und ausgeglichen werden. Die Kenntnis der Lehrkraft über didaktische Möglichkeiten und Grenzen digitaler Tools ist dazu essenziell.

Eine flexible, kreative und didaktisch sinnvolle Inhaltsvermittlung ergänzt durch digitale Medien erfordert gleichzeitige Fähigkeiten der Lehrkraft in allen drei Kompetenzbereichen, die Koehler und Mishra (2009) als medienfachdidaktisches Wissen (*Technological Pedagogical Content Knowledge*, TPACK) zusammenfassen. Digitale Kompetenzen erweitern demnach die fachlichen, pädagogischen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrkräfte in einem modernen Unterricht (Becker et al., 2020). Die TPACK-Kompetenzen müssen dabei immer im Kontext gesehen werden. So variieren die notwendigen Kompetenzen der Lehrenden zwischen verschiedenen Fächern und Klassenstufen (Porras-Hernández & Salinas-Amescua, 2013; Rosenberg & Koehler, 2015; Thoms et al., 2022). Lehrkräfte müssen somit in der Lage sein, Technologie für ihr Fach und ihre Klasse didaktisch sinnvoll und inhaltsbezogen auszuwählen und einzusetzen.

Nach der Einführung des TPACK-Modells wurde dieses in verschiedensten Studien genutzt, um sowohl Auswirkungen digital gestützter Lehr-Lern-Settings zu prüfen als auch die Kompetenzen der Lehrkräfte zu ermitteln und weiterzuentwickeln (Baran et al., 2019; Drugova et al., 2021; Erdogan & Sahin, 2010; Max et al., 2020). Die TPACK-Kompetenzen der Lehrkräfte werden dabei durch unterschiedliche Messinstrumente erhoben, wobei standardisierte Fragebögen, offene Befragungen und Interviews aber auch direkte Beobachtungen und Bewertungen des Unterrichts zum Einsatz kommen.

Die Ausgestaltung der Kompetenzen im TPACK-Modell sowie standardisierte Fragebögen zur Erfassung von TPACK-Kompetenzen weisen dabei häufig eine geringe Spezifizierung in den Formulierungen auf, sodass der Bezug zum Kontext gering ist und keine speziellen Anforderungen an verschiedene Fächer angesprochen werden (Becker et al., 2020; Becker, Meßinger-Koppelt & Thyssen, 2020; Koehler & Mishra, 2009; Thoms et al., 2022). Dies ist jedoch für eine korrekte Erfassung der Kompetenzen und eine curriculare Einbindung von Kompetenzförderung und -anforderung notwendig (Thoms et al., 2022).

Becker et al. (2020) entwickelten, aufbauend auf dem TPACK-Modell, den Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN), mit dem Ziel, für Lehramtsstudierende der Naturwissenschaften spezifische digitale Kompetenzen zu definieren und ihre Schulung curricular einzubinden. Eine besondere Bedeutung haben dabei anwendungsbezogene Bereiche der Digitalisierung innerhalb der Naturwissenschaften. So müssen Lehrkräfte Überschneidungen zwischen (fach-)didaktischen Kompetenzen und fachwissenschaftlichen digitalen Neuerungen erkennen, berücksichtigen (Becker et al., 2020; Thoms et al., 2022) und digitale Einflüsse auf fachspezifische Arbeitsweisen umsetzen. Der Orientierungsrahmen DiKoLAN berücksichtigt diese Kombination spezifischer digitaler Kompetenzen in den Naturwissenschaften und unterteilt sie, basierend auf spezifischen Basiskompetenzen (Bäuml, 1976; Nerdel, 2017), in sieben zentrale Basiskompetenzbereiche (Abbildung 35). Diese werden, angelehnt an die Kompetenzbereiche des TPACK-Rahmenmodells, in je vier Schwerpunkte und drei Kompetenzniveaus, dem Nennen, dem Beschreiben und dem Anwenden, unterteilt (Becker et al., 2020).

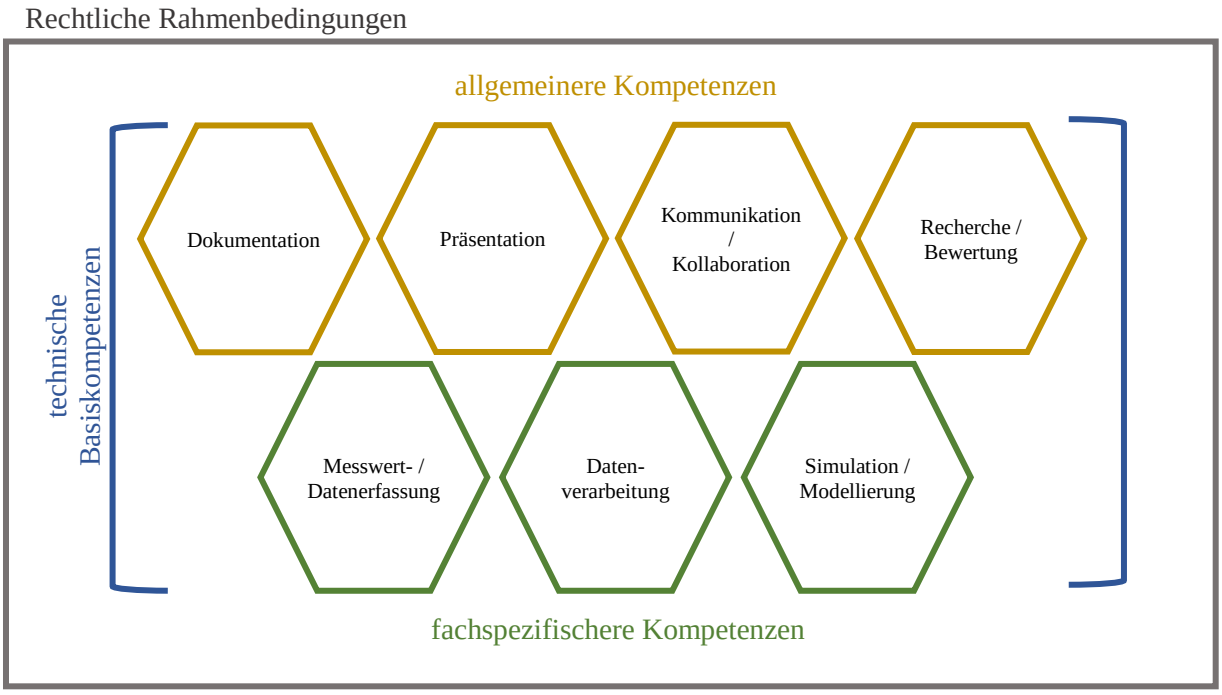


Abbildung 35: Kompetenzrahmen DiKoLAN (nach Becker et al., 2020)

Die rechtlichen Rahmenbedingungen bilden die Grundlagen für den Einsatz digitaler Medien.

Die technischen Basiskompetenzen umfassen die fundamentalen Kompetenzen der Studierenden im Umgang mit digitalen Medien. So sollen sie im Umgang mit alltäglichen Programmen

vertraut sein und übliche technische Probleme selbstständig lösen können. Diese Kompetenzen müssen und sollen im Sinne der Lehrfreiheit nicht genauer spezifiziert werden, bilden aber die Grundlage des Einsatzes digitaler fachspezifischer Medien (Becker et al., 2020).

Der Kompetenzbereich der Dokumentation umfasst den Umgang mit Daten sowohl in der Unterrichtsdurchführung, mit ihrer Vor- und Nachbereitung als auch in der Organisation von Schüler*innendaten oder weiteren Unterlagen und meint somit vor allem Kompetenzen im Bereich der *Data Literacy* und den Umgang mit *Big Data* (Sander, 2020), der insbesondere in naturwissenschaftlichen Fächern eine bedeutende Rolle spielt.

Der Bereich der Präsentation beschreibt, wie der vierte Kompetenzbereich des Medienkompetenzrahmens NRW (Kapitel 3.1.2.1), Kenntnisse und Fertigkeiten in der zielgenauen und adressatengerechten Präsentation von Ideen, Abläufen und Ergebnissen mit neuen digitalen Medien.

Fähigkeiten innerhalb des Bereichs Kommunikation und Kollaboration beinhalten die Kenntnis von verschiedenen Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit digitalen Werkzeugen sowohl synchron als auch asynchron (Becker et al., 2020).

Tiefgehende Kenntnisse im Bereich der Recherche und Bewertung nehmen in ihrer Bedeutung immer mehr zu. So müssen Lernende Informationen zielgerichtet suchen, finden und präsentieren können. Von besonderer Wichtigkeit ist aber die Selektion und Bewertung der gefundenen Informationen (Becker et al., 2020).

Speziell innerhalb der Naturwissenschaften spielt der Kompetenzbereich der Messwert- und Datenerfassung eine wichtige Rolle, da wissenschaftliche Daten in den Naturwissenschaften in großen Mengen in kürzester Zeit generiert werden können. Der Kompetenzbereich umfasst die Fähigkeit, mit digitalen Medien (z. B. Apps) Daten zu gewinnen (Becker et al., 2020).

Die gewonnenen oder gesammelten Daten müssen anschließend weiterverarbeitet, organisiert und bearbeitet werden. Dies beschreibt der Kompetenzbereich der Datenverarbeitung, wobei sich dieser nicht ausschließlich auf selbstgewonnene Daten beschränkt, sondern auch die Interpretation fremder Daten umfasst (Becker et al., 2020).

Der siebte Kompetenzbereich des Orientierungsrahmens DiKoLAN ist definiert als der Einsatz von und Umgang mit digitalen Simulationen und Modellierungen. Dabei sollen diese bewertet, für Kommunikation und Erkenntnisgewinnung eingesetzt und selbst generiert werden (Becker et al., 2020).

Die von Becker et al. (2020) definierten Kompetenzbereiche für angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften decken sich überwiegend mit den Kompetenzen des Medienkompetenzrahmen NRW (KMK, 2016) und spezifizieren die vorhandenen Kompetenzanforderungen innerhalb des TPACK-Rahmenmodells. So bringt eine Kombination der Rahmenmodelle eine fundierte und zukunftsfähige Grundlage und Orientierung für die Ausbildung angehender Lehrkräfte, um sie zu einer entsprechenden Lehrqualität zu befähigen.

3.1.2.3 Medienkompetenz bei Lehramtsstudierenden

Damit lassen sich auch Anforderungen an Lehramtsstudierende definieren, fachspezifisch ausformulieren und die digitale Förderung curricular etablieren (Thoms et al., 2022).

Besonders in Schulen liegt große Hoffnung auf jungen Lehrer*innen, von denen als sogenannte *Digital Natives* häufig eine selbstverständlich gut ausgebildete Medienkompetenz erwartet wird (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020). Im Rahmen der eingangs dargestellten Umfrage des Meinungsforschungsinstituts forsa (2023) gaben 61 % der befragten Schulleiter*innen an, dass Lehrkräfte, die kürzlich ihr Studium abgeschlossen haben, gut bis sehr gut auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht vorbereitet sind. Dieser Anteil ist damit im Vergleich zum Jahr 2020, vor der Corona-Pandemie, mit einer Zunahme von 18 Prozentpunkten deutlich gestiegen (forsa, 2023). Schulen sind somit mindestens teilweise auf die Initiative und Innovation junger Lehrkräfte angewiesen, deren Medienkompetenz in der Ausbildung frühzeitig geschult werden muss.

Insbesondere in der ersten Phase der Lehrkräftebildung an Universitäten und Pädagogischen Hochschulen muss daher eine fundierte Medienkompetenz ausgebildet werden, um die angehenden Lehrkräfte auf einen zukunftsorientierten und mediendidaktisch sinnvollen späteren Unterricht vorzubereiten (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020). Entgegen der Einschätzungen der befragten Schuleiter*innen (forsa, 2023) wiesen zumindest vor einigen Jahren Studierende häufig eine geringe Medienkompetenz auf (Senkbeil et al., 2018), wobei insbesondere Studierende des Lehramts geringe Kompetenzen im Einsatz von und Umgang mit digitalen Medien haben und auch eine geringe Motivation zeigen, digitale Tools zum Lernen einzusetzen (Farjon et al., 2019; Schmid et al., 2017). Lehramtsstudierende der MINT-Fächer zeigen eine im Vergleich mit anderen Lehramtsstudierenden leicht höhere Affinität zu digitalen Medien. Diese wird durch den engen Zusammenhang zwischen den Fachinhalten und digitalen Medien begründet (Barak, 2014).

Dabei ist die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz ein ausschlaggebender Punkt für den späteren (kompetenten) Einsatz digitaler Medien im Unterricht (Dertinger, 2021; Ehm et al., 2019; Meiners et al., 2022). Diese kann durch den gezielten und sinnvollen Einsatz digitaler Medien in der (universitären) Lehre und in planvollen Lernsettings positiv beeinflusst und gestärkt werden (Vogelsang et al., 2019).

3.1.3 Motivation

Der Begriff der Motivation beschreibt den Antrieb etwas zu tun. Dabei kann die Motivation durch intrinsische Anreize, also einen inneren Antrieb ausgelöst werden. Persönliches Interesse an Inhalten oder Ergebnissen des Handelns wirken sich positiv auf die Motivation aus, während andere intrinsische Effekte wie eine persönliche Abneigung negativen Einfluss auf die Motivation haben können (Rheinberg & Engeser, 2018). Auch äußere Effekte, die extrinsischen Einflüsse, können die Motivation beeinflussen. Anspruch und Urteile von Außenstehenden sowie positive und negative Konsequenzen aus dem eigenen Handeln lassen sich als extrinsische Einflüsse nennen (Heckhausen & Heckhausen, 2018).

Das Verständnis für die intrinsischen und extrinsischen Anreize, die Studierende dazu bewegen, digitale Medien zu evaluieren und zu nutzen, ist von essenzieller Relevanz für die Gestaltung zukunftsorientierter Bildungskonzepte und den Einsatz neuer Tools in der Lehre (Ertmer et al., 2012; Knezek & Christensen, 2016).

Innovative Lehrmethoden und der Einsatz digitaler Medien haben das Potenzial, traditionelle Lehr-Lern-Konzepte zu transformieren. Durch die Integration moderner Technologie kann die Motivation und das Interesse der Studierenden nachhaltig gesteigert werden (Lin et al., 2017; Thoms et al., 2022), wodurch eine zeitgemäße und effektive Hochschulbildung gewährleistet wird.

3.2 Digitale Medien in der biologischen Lehre

Neben fachunabhängigen mediendidaktischen Vorteilen bieten digitale Medien auch für das fachwissenschaftliche Lehren und Lernen das Potenzial für eine verbesserte Inhaltsvermittlung und -verarbeitung und können somit fachspezifisches Lernen erleichtern (Eickelmann & Gerick, 2020).

Wie angeführt, kommen digitale Tools in der Forschung und Lehre der Naturwissenschaften und im Speziellen der Biologie im Vergleich zu anderen Forschungsfeldern und Fächern naturgemäß bereits vermehrt zum Einsatz (Barak, 2014). Naturwissenschaftliche Schulklassen sind häufig vergleichsweise angemessen mit digitalen Medien ausgestattet (Bos et al., 2017), sodass sie aus technischer Sicht in einem ausreichenden Umfang im Unterricht Einsatz finden könnten. Dazu sind wie zuvor erörtert Medienkompetenzen der Lehrkraft in all ihren Dimensionen notwendig, um eine zeitgemäße und gewinnbringende Inhaltsvermittlung in der Biologie, auch im Sinne der klassischen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, zu ermöglichen (Becker et al., 2020). Zudem gehen Jong et al. (2010) sowie Kramer et al. (2019) darauf ein, dass die Vermittlung von Fachwissen für Lernende mit wenig Vorwissen durch die Integration von adaptiven Hinweisen und (kleineren) Hilfestellungen durch digitale Medien den Lernerfolg positiv beeinflussen kann.

Kramer et al. (2019) haben vor allem Explorations-, Visualisierungs- und Rechenfunktionen digitaler Medien eine besondere Bedeutung für die Lehre in der Biologie zugeschrieben. Der Einsatz digitaler Tools in den MINT-Fächern, so auch in der Biologie, ermöglicht hier die Nachvollziehbarkeit komplexer Prozesse, die sonst nicht sichtbar sind (Kramer et al., 2019). Dadurch können das Lehren und Lernen in den MINT-Fächern deutlich erleichtert und veranschaulicht werden. Die Visualisierung durch Animationen und Videos verbessert die Nachvollziehbarkeit abstrakter Prozesse. Durch Videodokumentationen und die interaktive Anreicherung digitaler Formate lassen sich insbesondere praktische Experimente, aber auch andere naturwissenschaftliche Arbeitsweisen für alle gleichermaßen darstellen und erkundbar machen (Kramer et al., 2019). Die Rechenfunktion von Kalkulationsprogrammen wie Microsoft Excel ermöglicht das schnelle und übersichtliche Verarbeiten und Auswerten von teils großen Datenmengen und die einfache Darstellung dieser in Form von Grafiken oder Diagrammen (Schaal et al., 2013).

Eine sinnvolle Kombination und Ergänzung klassischer analoger Medien durch digitale Tools ermöglichen den Ausgleich von Schwächen und die Förderung von Stärken der einzelnen Medien (Schaal et al., 2013). Dabei ist besonders die kognitiv aktivierende Einbindung digitaler Medien in die Lehre und der eigenverantwortliche Einsatz dieser von Nutzen für Lernende (Hillmayr et al., 2017; Prasse, 2012). Durch die daraus folgende Flexibilisierung des Lernprozesses kann die Inhaltsvermittlung neu organisiert werden.

Durch eine drastisch zunehmende Fülle an Erkenntnissen in der Biologie seit Mitte des 20. Jahrhunderts hat der Anteil der organismischen Biologie im Unterricht an Schulen deutlich

abgenommen (Gerl & Urbasik, 2019). Im Kernlehrplan der Biologie für die Sekundarstufe I findet sich z. B. im Inhaltsfeld „Ökologie und Naturschutz“ als Lernziel das Bestimmen von in einem heimischen Ökosystem vorkommenden Taxa (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019). Zudem ist das Ziel verankert, bei den Schüler*innen „[…] ein gesundheits- und umweltbewusstes, nachhaltiges Handeln sowohl in individueller als auch in gesellschaftlicher Verantwortung und für lebenslanges Lernen […]“ zu generieren (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019, S. 8). Weiter soll der Biologieunterricht „[…] primäre Naturerfahrungen, die einen wesentlichen Beitrag zur Wertschätzung und Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten sowie affektive Haltungen beeinflussen und ästhetisches Empfinden wecken […]“ (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019, S. 8). In der Sekundarstufe II wird z. B. im Inhaltsfeld „Evolution“ sowohl für den Grund- als auch für den Leistungskurs die Artenvielfalt thematisiert (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2022). Selten kann dabei jedoch auf die Ausbildung einer soliden Artenkenntnis und explizit auf das Bestimmen von Organismen eingegangen werden (Gerl & Urbasik, 2019). Hier können digitale Tools wie z. B. Apps durch den selbstgesteuerten und flexiblen Einsatz unterstützend wirken (Wäldchen et al., 2016).

In einigen europäischen Ländern spielen besonders mit zunehmendem Alter der Jugendlichen digitale Medien auch eine wesentliche Rolle für die Entwicklung der Artenkenntnis (Patrick et al., 2013). Denn der Einstieg in die organismische Biologie lässt sich durch digitale Umsetzungen wie interaktive Apps deutlich attraktiver und niederschwelliger gestalten (Beudels et al., 2021), während der Einstieg mit traditionellen dichotomen Bestimmungsschlüsseln schnell unattraktiv und aufwendig auf Lernende wirkt (Wäldchen et al., 2016).

Gerl und Aufleger (2022) unterscheiden drei Schwierigkeitsstufen verschiedener Bestimmungsmethoden, die unterschiedliche Aktivität und Fachwissen der Nutzer erfordern. Auf der ersten Stufe findet sich der Einsatz automatisierter Bestimmungsapps. Die zweite Stufe umfasst das genaue Vergleichen realistischer Fotos mit dem Originalobjekt zur Identifikation der Art. Die dritte und schwierigste Stufe der Bestimmungsmethoden umfasst das klassische Bestimmen von Organismen mit dichotomen Bestimmungsschlüsseln.

Bestimmungsapps schaffen es, durch ihren niedrigen Schwierigkeitsgrad (Gerl & Aufleger, 2022) den Einstieg und die Vermittlung von Artenvielfalt und Artenkenntnis im Unterricht zu erleichtern (Rzanny et al., 2019). Die Apps sind auf den mobilen Endgeräten ortsunabhängig verfügbar und somit, teils abhängig von einer stabilen Internetverbindung, überall einsatzbereit. Sie sind zumeist mindestens in einer, für eine Benennung verschiedenster Organismen

ausreichenden Basisversion, kostenlos verfügbar und übersichtlich gestaltet, sodass die *Usability* möglichst hoch ist (Hastedt & Grospietsch, 2024). Die (teil-)automatisierte Identifikation der Organismen findet in der Regel über Fotos statt. Dabei leiten einige Apps, wie bspw. „Flora Incognita“ zur Benennung von Pflanzen (Mäder et al., 2021), den User an, in welcher Reihenfolge Pflanzenteile fotografiert werden sollen. Andere Apps analysieren spontan geschossene Fotos des Users und identifizieren jeden auf dem Fotos sichtbaren Organismus, so z. B. „ObsIdentify“ (Observation.org, 2019). Damit wird die Komplexität der klassischen dichotomen Bestimmung durch die Apps stark reduziert (Groß, 2018; Rzanny et al., 2019; Wäldchen et al., 2016). Jedoch beschäftigt sich der User durch die automatisierte Bestimmung der Apps im Vergleich zur klassischen Bestimmung nur oberflächlich mit dem Organismus, was einer nachhaltigen Verbesserung der Artenkenntnis hinderlich sein kann (Schmidt, 2021). Um diesem Problem zu begegnen, bieten einige Apps z. B. zusätzliche Informationen zu Lebensraum und Lebensart der benannten Organismen und fördern somit das beschriebene Stützwissen (Stichmann et al., 2012). Der Einsatz digitaler Bestimmungsapps kann durch den erleichterten Einstieg in der Lehre förderlich für die Vermittlung von Artenvielfalt sein (Finger et al., 2022; Iskrenovic-Momcilovic, 2023; Rzanny et al., 2019).

Moderne digitale Konzepte wie *blended learning* und digitale Lehrelemente, 3D-Modelle und Gamification können dem partiell unattraktiven Image der Artenbestimmung (Schulte et al., 2019) entgegenwirken und eine wertvolle Bereicherung des Unterrichts darstellen.

Federführend durch die Universität Greifswald und die TU Darmstadt wurde dazu im Frühjahr 2020 die Webseite digitib.de (2024) erstellt. Die zoologische Lernplattform ermöglicht durch qualitativ hochwertige Fotos verschiedenster Organismen aus unterschiedlichen Perspektiven und entsprechenden Maßstäben einen virtuellen und ortsunabhängigen Zugang zu Präparaten und Objekten mit dem zentralen Ziel, zoologische Bestimmungsübungen um digitale und interaktive Elemente zu erweitern (Meier et al., 2022). Die in der webbasierten Lernplattform enthaltenen Organismen sind in die Gruppen der Mollusca (Weichtiere), der Arthropoda (Gliederfüßer) und der Chordata (Chordatiere) sortiert und darunter systematisch organisiert, sodass auch taxonomische Grundlagen vermittelt werden (Abbildung 36).

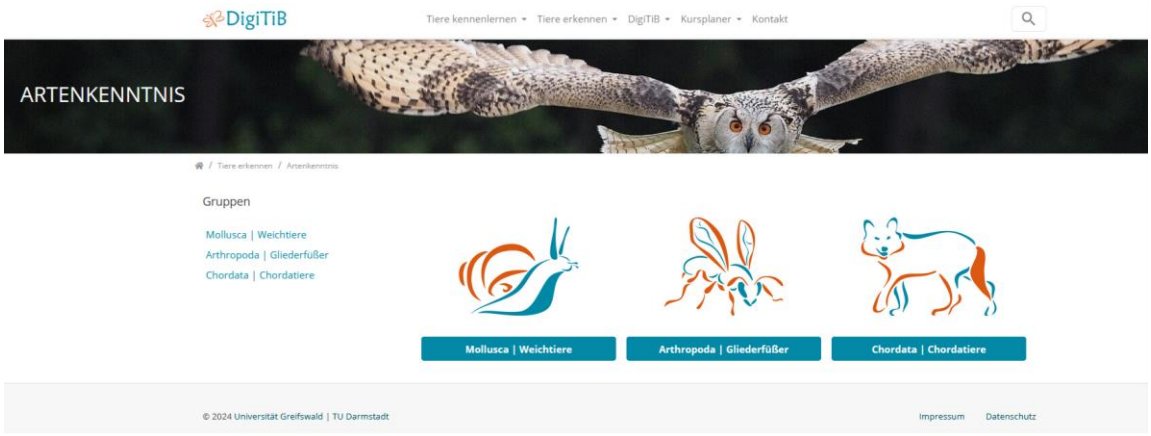


Abbildung 36: Taxonomische Organisation der Organismen auf der Webseite digitib.de (2024)

Die Lernenden können ihre Ergebnisse der Artbestimmung über interaktive Lösungsfelder überprüfen und erhalten direktes, systembasiertes Feedback zur Korrektheit der eingegebenen Lösung. Bei erfolgreicher Bestimmung werden weiterführende Informationen zur Art gezeigt. Die Arten werden innerhalb der Lernplattform unter einer Indexnummer geführt, die keinen Hinweis auf die Artbezeichnung gibt (Meier et al., 2022). Die selbstständige Überprüfung der korrekten Bestimmung kann dabei mit dem Taxon der Familie bereits zu einem relativ frühen Zeitpunkt im Bestimmungsprozess erfolgen, um ein „Verlaufen“ im zusätzlich einzusetzenden dichotomen Bestimmungsschlüssel zu verhindern (Abbildung 37).

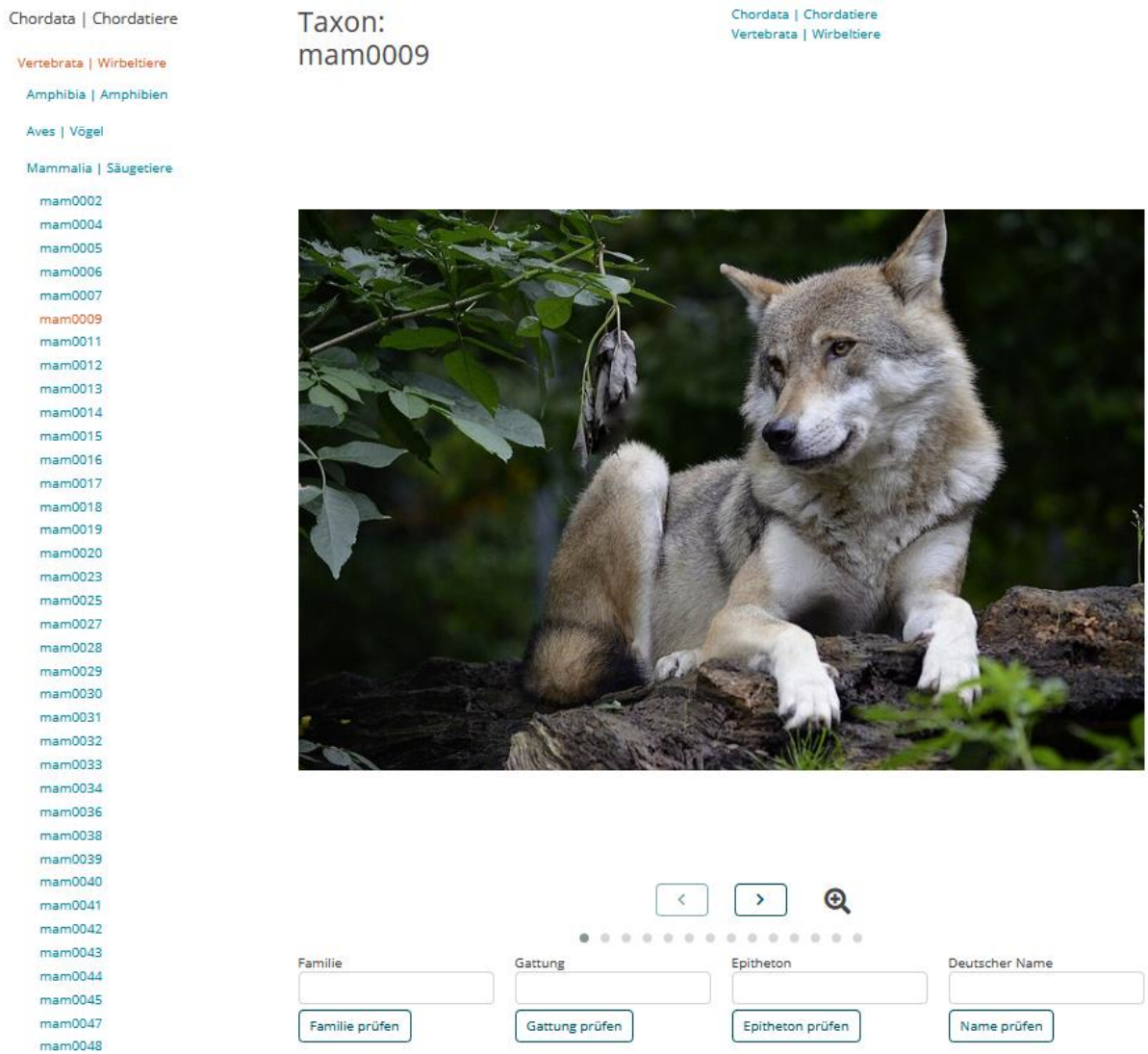


Abbildung 37: Darstellung der Tierarten mit qualitativ hochwertigen Fotos und Benennung mit anonymisierten Indexnummern auf der Webseite digitib.de (2024) am Beispiel des Wolfes. (Quelle: digitib.de, 2024)

Die Zielgruppe der frei verfügbaren Plattform sind alle interessierten Personen, die sich in digitaler Art und Weise mit der Vielfalt der Tierarten auseinandersetzen wollen. Insbesondere die Einbindung in die Lehre wird angestrebt, um für Schüler*innen und Studierende die Lernmöglichkeiten zu erweitern (Meier et al., 2022).

Ob die dargestellten vielfältigen digitalen Tools für die Vermittlung komplexer Inhalte wie der zoologischen Artenkenntnis lernförderlich sind und wenn, dann in welcher Weise, ist jedoch noch wenig erforscht. Dieses Forschungsdesiderat soll im Rahmen dieser Arbeit betrachtet und dem Anspruch aktueller Erkenntnisgewinnung gerecht werden.

Digitale Tools haben wie angemerkt das Potential, die Vermittlung von Arten- und auch Formenkenntnis zu erleichtern. Sie lassen dabei jedoch die haptischen Erfahrungen vermissen und vermitteln häufig Größenverhältnisse weniger deutlich. Ein möglicher Lösungsansatz liegt hier im Einsatz von digitalen und gedruckten realistischen 3D-Modellen der Tiere in Ergänzung zu klassischen Präparaten.

3.3 3D-Modelle

3D-Modelle sind in der naturwissenschaftlichen Forschung, insbesondere in der Biologie, von großer Bedeutung und ermöglichen z. B. die digitale Dokumentation und Sicherung von Museumsbeständen (Mathys et al., 2013) sowie eine noch detailliertere Analyse von Organismen (Profico et al., 2019; van der Niet et al., 2010), ohne diese, teils empfindlichen, häufig einzigartigen und fragilen Objekte durch häufiges Benutzen zu beschädigen (Mathys et al., 2013). Zudem nennen Mathys et al. (2013) als großen Vorteil digitaler 3D-Modelle, dass Vergleiche von Objekten zwischen Institutionen enorm erleichtert werden und neue Forschungsmöglichkeiten eröffnet werden können.

In der Vergangenheit wurden dreidimensionale Analysen von Organismen häufig durch computertomografische (CT) Techniken durchgeführt. Diese sind zwar sehr genau und für die meisten zoologischen Organismen gut geeignet, jedoch ist die Modellgenerierung mittels CT-Techniken sehr kostenintensiv und bedarf hochspezialisierter Ausrüstung (Garvin & Stock, 2016; Mathys et al., 2013; Profico et al., 2019). Als Alternative hat daher die Photogrammmetrie immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dieses Verfahren wurde ursprünglich zur Abbildung von großen Objekten und Landschaften entwickelt (Leménager et al., 2023; Mathys et al., 2013) aber in der Folge auch für die Aufnahme kleiner Objekte weiter modifiziert (Lussu & Marini, 2020). So kam die Photogrammmetrie in den vergangenen Jahrzehnten immer häufiger zum Einsatz, z. B. im Jahr 1998 zur Digitalisierung und genaueren Analyse der bekannten Mumie ‘Ötzi‘ (Gaber & Künzel, 1998).

Bei dem Verfahren der Photogrammmetrie wird das Objekt vor und auf einem einfarbigen Hinter-/Untergrund platziert und von allen Seiten mit einer Kamera fotografiert, wobei entweder das Objekt z. B. mittels Drehteller oder die Kamera bewegt werden (Rourk, 2019). Die Bilder werden in entsprechender Software anhand von gemeinsamen Punkten ausgerichtet und im Zuge des Alignments zu einem Punktwolkenmodell zusammengefügt. Das vorläufige Punktwolkenmodell repräsentiert dabei die räumliche Verteilung der Punkte im dreidimensionalen

Raum, wobei jeder Punkt Informationen über die Oberfläche des Objekts enthält. Im Schritt der Mesh-Generierung wird anschließend die Oberfläche des Objekts generiert und die Struktur abgebildet. Die Rekonstruktion besteht aus sogenannten Faces, meist Dreiecke, die zur Oberfläche des Objekts zusammengefügt werden. Abschließend wird die Färbung des Modells durch die Texturgebung realistisch nachgebildet und vorhandene Artefakte entfernt, bis das entstandene 3D-Modell dem Originalobjekt entspricht (Rourk, 2019).

Mathys et al. (2013) vergleichen verschiedene Techniken des dreidimensionalen Scans. Dabei stellte dich die Photogrammmetrie als besonders kostengünstig im Vergleich mit Techniken wie dem CT-Scan und Laser-Scannern heraus, was auch andere Autoren betonen (Garvin & Stock, 2016; Hassett & Lewis-Bale, 2017; Lussu & Marini, 2020). Hinsichtlich der Genauigkeit der erzeugten 3D-Modelle, gemessen am Vergleich mit einem Referenzmodell, liefert die Photogrammmetrie sehr genaue Modelle. Auch in der Texturgebung kann die Photogrammmetrie im Vergleich zu anderen Techniken in dieser Studie überzeugen. Nur hinsichtlich der Arbeitszeit unterliegt die Photogrammmetrie anderen Verfahren, da insbesondere die Rechenzeit des Computers viel Zeit in Anspruch nimmt. Dieser Nachteil ist mit der Rechenleistung heutiger Computer jedoch häufig auszugleichen. So zeigt sich die Photogrammmetrie als kostengünstige Möglichkeit zur Erstellung von vergleichsweise detaillierten 3D-Modellen. Die Technik stößt jedoch insbesondere bei spiegelnden (z. B. Glas) oder sehr strukturreichen und diffusen Oberflächen (z. B. Gefieder) an ihre Grenzen, für die andere Verfahren zu bevorzugen sind (Mathys et al., 2013; Rourk, 2019). Zudem gibt es noch keine allgemein gültige Vorgehensweise für die Erfassung von Objekten mittels Photogrammmetrie (Mathys et al., 2013), da einige Einstellungen abhängig vom Objekt sehr spezifisch variieren können. Zudem lassen sich mit der Photogrammmetrie ausschließlich außenliegende Oberflächen abbilden. Für die Darstellung innenliegender Strukturen ist weiterhin die CT-Technik das führende Verfahren (Mathys et al., 2013).

Die digitalen 3D-Modelle lassen sich nach der Erstellung mittels 3D-Druck ausdrucken. Der 3D-Druck wird technisch zu den additiven Verfahren gezählt, da durch Hinzufügen von Material ein Modell erstellt wird. Die populärste Methode des 3D-Drucks ist das *Fused Deposition Modeling* (FDM), bei dem Kunststoff geschmolzen und durch dünn aufgetragene Schichten in die Form des generierten Modells gebracht wird (Solomon et al., 2021). Dabei wird zumeist Filament aus Polyactiden (PLA) verwendet. PLA wird aus Maisstärke gewonnen und ist unter bestimmten Bedingungen biologisch abbaubar (Canessa, 2013). PLA schmilzt bei Temperaturen von 170 – 250 °C, hat ein vergleichsweise geringes Gewicht und ist kostengünstig zu

erwerben (Canessa, 2013). Da PLA das gebräuchlichste Filament im konventionellen 3D-Durck ist, werden andere Materialen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter thematisiert.

Der 3D-Druck lässt sich in drei Schritte unterteilen. Zunächst wird z. B. mit der beschriebenen Technologie der Photogrammmetrie ein digitales 3D-Modell erstellt. Dieses wird exportiert und in der zum Drucker gehörigen Software für den Druck vorbereitet. Im zweiten Schritt können die Größe und Position auf dem Druckbett bestimmt, die Füllung des Modells (*Infill*) eingestellt und Stützen am Modell generiert werden. Dieser Schritt wird auch als *slicing* bezeichnet (Fonda, 2013). Die Füllung des Modells hat Einfluss auf die Robustheit sowie auf das Gewicht des fertigen Modell. Mit zunehmender Füllung steigt jedoch auch die Druckdauer sowie der Filamentbedarf. Übliche Füllungen liegen daher bei der Verwendung von PLA zwischen 10 – 20 % (Fonda, 2013). Die generierte Stützen am Modell dienen der Stabilität während des Drucks. Sie ermöglichen die Herstellung von überhängenden Strukturen und können nach dem Druck unter Verwendung von Zangen oder Messern leicht entfernt werden (Fonda, 2013). Zudem werden im Schritt des *slicings* Einstellungen zur Schichthöhe im Druck sowie zur Druckgeschwindigkeit festgelegt, die Auswirkungen auf die Qualität des Modells haben (Dilling, 2019). Mit zunehmender Schichthöhe singt die Genauigkeit der gedruckten Strukturen deutlich (Fonda, 2013). Nach dem *slicing* wird die fertige Druckdatei im letzten Schritt an den 3D-Durcker übermittelt und der eigentliche 3D-Druck des Modells findet statt.

4 Zielsetzung und Fragestellungen

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit zielt darauf ab, die zoologische Artenkenntnis Biologiestudierender zu erfassen, mit anderen Personengruppen zu vergleichen und erfolgreiche Einsatzmöglichkeiten digitaler Tools für die Vermittlung von Arten- und Formenkenntnis zu ermitteln. Basierend auf dem so erfassten aktuellen Stand der Artenkenntnis können Notwendigkeit und Möglichkeiten für die Vermittlung dieser Kompetenzen neu diskutiert werden. Zudem soll die Medienkompetenz angehender Lehrkräfte erfasst werden, um den Mangel in der Ausbildung konkret ausmachen zu können. Dabei stehen in fünf Teilstudien folgende übergeordnete Fragestellungen im Fokus.

1. Wie ausgeprägt ist die zoologische Artenkenntnis innerhalb verschiedener Personengruppen?

Wie eingangs erläutert wurde die abnehmende Artenkenntnis in vorangegangenen Studien meist an sehr spezifischen Zielgruppen und einzelnen Taxa dargestellt. Im Rahmen der vorliegenden Studie soll die zoologische Artenkenntnis verschiedener Kohorten übergreifend über verschiedenste zoologische Taxa abgebildet werden. Dazu wird die Hypothese aufgestellt, dass die Artenkenntnis bei verschiedenen Personengruppen insgesamt niedrig ist, sich jedoch in Abhängigkeit von Faktoren wie dem Alter oder der Häufigkeit von Naturerfahrungen verändert.

2. Wie hat sich die zoologische Artenkenntnis von Biologiestudierenden im Zeitraum von 2009 – 2024 entwickelt?

Insbesondere bei jungen Menschen scheint die Artenkenntnis vielfach gering zu sein. Für Studierende des Fachs Biologie wird hier jedoch eine grundlegende Artenkenntnis basierend auf eine potentiell erhöhten Interesse an Artenvielfalt angenommen. Um die Artenkenntnis dieser Kohorte explizit zu ermittelt, wird diese über einen Zeitraum von 15 Jahren erhoben und Entwicklungen in der zoologischen Artenkenntnis abgebildet.

3. Welchen Einfluss haben verschiedene digital gestützte Kurskonzepte auf die zoologische Artenkenntnis der Studierenden?

Die Förderung der zoologischen Arten- und Formenkenntnis könnte durch den Einsatz digitaler Tools angereichert werden. Dies wurde in vorangegangener Forschung noch nicht genauer analysiert. Dieser Forschungslücke wird im Rahmen der Studie begegnet. Dazu wird die Hypothese aufgestellt, dass die Umsetzung digital gestützter Kurskonzepte einen positiven Einfluss auf die

zoologische Artenkenntnis der Studierenden hat, indem sie interaktive und immersive Lernerfahrungen ermöglichen können.

4. Wie verändert sich die Medienkompetenz von Lehramtsstudierenden der Biologie und ihre Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien im Studium?

Wie vorausgehend dargestellt ist die Medienkompetenz von Lehrkräften essenziell für einen sinnvollen Einsatz digitaler Tools in der Lehre, so auch zur Vermittlung von organismischer Biologie. Nur so können Inhalte modern und individualisiert vermittelt werden. Es wird die Hypothese verfolgt, dass die selbsteingeschätzte Medienkompetenz und die Motivation der Lehramtsstudierenden zur Nutzung digitaler Medien im Verlauf des Studiums zunehmen, insbesondere durch die Integration entsprechender Lehr- und Lernmethoden.

5. Lassen sich zur Vermittlung von Artenkenntnis realistische (digitale) zoologische 3D-Modelle erstellen?

Zur Vermittlung der zoologischen Arten- und Formenkenntnis können auch digitale 3D-Modelle und daraus erstellte gedruckte Modelle zum Einsatz kommen. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie soll erprobt werden, ob digitale sowie gedruckte Modelle aus Originalobjekten realitätsnah und effizient erstellt werden können.

5 Übergreifende Methodik

Im Folgenden wird die über alle Teilstudien übergreifende Methodik zur Erhebung und Auswertung der Daten dargelegt. Im Anschluss werden die einzelnen Teilstudien präsentiert und diskutiert.

5.1 Gütekriterien für die Befragungen

5.1.1 Objektivitätsbewertung

Die Objektivität eines Messinstruments beschreibt die Unabhängigkeit des Tests von der durchführenden Person, weiteren individuellen Einflüssen und Interpretationen, sodass die Ergebnisse unabhängig und reproduzierbar sind (Bortz & Schuster, 2010; Döring et al., 2016). Zur Sicherung der Objektivität wurden im Rahmen der Studie standardisierte und in folgenden Kapiteln dokumentierte Erhebungs- und Auswertungsverfahren angewandt. Die eindeutig abzulesenden Ergebnisse der Likert-Skalen (Likert, 1932) genügen der Objektivitätsbewertung. Die Durchführung und Auswertung der Parameter in den Wissenstests werden transparent dargelegt und sichern somit ebenfalls die Objektivität der Datenerhebung und -auswertung in allen Teilstudien.

5.1.2 Reliabilitätsbewertung

Die Reliabilität der Messinstrumente, also die Genauigkeit mit der ein Konstrukt ein bestimmtes Merkmal erhebt (Döring et al., 2016), wird durch den Reliabilitätskoeffizienten Cronbachs α ermittelt. Werte von Cronbachs $\alpha \geq 0{,}7$ werden als zufriedenstellend, Werte von $\alpha \geq 0{,}8$ als gut bewertet (Krebs & Menold, 2022). Im Rahmen der Reliabilitätsoptimierung wurden hier Einzelbefunde (Items) aus der Auswertung ausgeschlossen, die zu einer deutlichen Verschlechterung der Reliabilität des Konstruktes führen bzw. deren Ausschluss eine deutliche Verbesserung der Reliabilität zur Folge hat. Neben der Reliabilität der Konstrukte ist die Trennschärfe ein ausschlaggebendes Gütekriterium zur Bewertung der Skalenzusammensetzung (Döring et al., 2016). Werte von $r_{i(t\text{-}i)} \leq 0{,}3$ für die korrigierte Item-Skala-Korrelation sollten hinterfragt und die betroffenen Items aus der Auswertung des Konstruktes ausgeschlossen werden (Döring et al., 2016). Die Werte von Cronbachs α aller Skalen sowie die Trennschärfe der enthaltenen Items werden hier zur Sicherung der Reliabilität in allen Teilstudien dargelegt.

5.1.3 Validitätsbewertung

Neben der Objektivitätssicherung und der Reliabilitätsmessung muss die Validität der Befragung zur Bewertung der Genauigkeit beachtet werden. Dabei wird zwischen Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität und Konstruktvalidität unterschieden (Döring et al., 2016). Zusammengefasst stellt die Validität sicher, dass ein Messinstrument das, was es messen soll, in konsistenter und zuverlässiger Weise misst. Die Befragungen innerhalb der vorliegenden Arbeit orientieren sich in Aufbau und Fragentyp an bereits bestehenden Studien, die an entsprechender Stelle genannt werden, sodass von einer ausreichenden Validität ausgegangen werden kann.

5.2 Personenbezogene Daten und Anonymität der Studie

Zur Sicherung der Anonymität der Teilnehmenden wurden in allen Teilstudien als personenbezogene Daten ausschließlich das Geburtsdatum und das Geschlecht (weiblich (w), männlich (m), divers (d)) erhoben. Zur anonymisierten Zuordnung von Pre-, Posttest und Follow-Up-Test dienten die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter als unveränderliches und anonymes Zuordnungsmerkmal zwischen den Messzeitpunkten.

5.3 Datenanalyse und statistische Auswertung

Die Datenanalyse wurde mit Microsoft Excel (Version 2019) und IBM SPSS Statistics (Version 29.0.0.0) durchgeführt.

Affektiv motivationale Parameter wurden im Rahmen dieser Arbeit quantitativ mittels fünfstufiger Likert-Skala (Likert, 1932) erhoben, die zur statistischen Auswertung wie in Tabelle 1 dargestellt codiert wurde. Negativ formulierte Items wurden umcodiert, um sie statistisch vergleichbar zu machen (Bühl, 2010). Eine Umcodierung ist an entsprechender Stelle vermerkt.

Tabelle 1: Codierung der Aussagen zur Messung affektiv motivationaler Parameter mittels fünfstufiger Likert-Skala (Likert, 1932) sowie Werte der negativ formulierten Items nach Umcodierung.

Formulierung	Wert	Wert nach dem Umcodieren
Trifft nicht zu	0	4
Trifft eher nicht zu	1	3
Trifft teils teils zu	2	2
Trifft eher zu	3	1
Trifft voll zu	4	0

In einigen Teilstudien wurde neben affektiv-motivationalen Parametern zusätzlich das Fachwissen in Form eines Wissenstests abgefragt. Die individuelle Befragung, Bepunktung und Auswertung werden an entsprechender Stelle erörtert.

Die Verteilung der Ergebnisse wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test (Zöfel, 2001) festgestellt. Da in allen Teilstudien nicht normalverteilte Datensätze enthalten waren ($p < 0{,}05$), musste auf robustere Verfahren zurückgegriffen werden. Als Lageparameter wird daher in allen Teilstudien der Median (*Md*) der Datensätze angegeben, die Streuung wird durch den Interquartils-Radius (*IQR*) verdeutlicht (Zöfel, 2001).

Unterschiede zwischen zwei unverbundenen Stichproben wurden mittels Mann-Whitney-U-Test analysiert, als alternatives nicht-parametrisches Auswertungsverfahren zum ungepaarten t-Test (Ruxton, 2006). Zur Analyse von Unterschieden zwischen zwei verbundenen Stichproben kamen der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (Wilcoxon, 1945) als nicht parametrische Alternative zum gepaarten t-Test zum Einsatz. Für die Verfahren wurde an entsprechender Stelle der Pearson Korrelationskoeffizient als Effektstärke nach Fritz et al. (2012) mit der Formel $r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$ ermittelt und nach Cohen (1988) bewertet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Interpretation des Korrelationskoeffizienten *r* nach Cohens (1998)

Korrelationskoeffizient	Interpretation
$\|r\| = 0{,}1$	kleiner / schwacher Effekt
$\|r\| = 0{,}3$	mittlerer / moderater Effekt
$\|r\| = 0{,}5$	großer / starker Effekt

Beim Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurde als nicht-parametrisches Verfahren der Kruskal-Wallis-Test verwendet, der bewertet, ob sich die zentralen Tendenzen der verglichenen Stichproben unterscheiden (Kruskal & Wallis, 1952). Zur Analyse der Unterschiede zwischen mehreren verbundenen Stichproben kamen als robustes Verfahren der Friedmann-Test (Friedman, 1937) zum Einsatz. Beide Tests zeigen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den verglichenen Gruppen gibt. Zeigen die Ergebnisse der Tests, dass die Gruppenzugehörigkeit einen signifikanten Effekt auf die abhängige Variable hat, so kamen Post-hoc-Tests zum Einsatz, um zu bestimmen, welche Gruppen sich signifikant unterscheiden. Als Post-hoc-Test wurde im Rahmen der Datenanalyse auf Dunn-Bonferroni-Tests zurückgegriffen (Dunn, 1961). Abschließend wurde auch für die Ergebnisse der Post-hoc-Tests bei allen

Vergleichen die Effektstärke ermittelt (Fritz et al., 2012) und interpretiert (Cohen, 1988)(Tabelle 2).

Zusammenhänge zwischen Variablen werden im Rahmen der Arbeit mittels der nicht-parametrischen Spearman-Korrelation ermittelt und Spearmans ρ nach Cohen (1988) bewertet (Tabelle 2).

Die Irrtumswahrscheinlichkeit *p* gibt an, ob es sich bei ermittelten Unterschieden zwischen Stichproben um statistisch relevante Abweichungen handelt. Werte von $p \leq 0{,}05$ werden als signifikant bezeichnet (Zöfel, 2001). Im Rahmen der Arbeit verwendete Signifikanzniveaus werden in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Signifikanzniveaus (nach Zöfel, 2001)

Signifikanzniveau	Bezeichnung
$p \leq 0{,}05$	signifikant
$p \leq 0{,}01$	sehr signifikant
$p \leq 0{,}001$	höchst signifikant

6 Teilstudie 1: Ermittlung der zoologischen Artenkenntnis verschiedener Kohorten

6.1 Hinführung zum Thema

Wie einleitend dargestellt, wurde bereits in vorangegangenen Studien die zoologische Artenkenntnis verschiedener Kohorten ermittelt. Die Tierarten wurden den Befragten als Fotos (Gerl et al., 2018; Gerl et al., 2021; Schulemann-Maier & Munzinger, 2018) oder als farbige wissenschaftliche Zeichnung (Schmäing & Grotjohann, 2023) präsentiert, anhand derer die Arten möglichst genau benannt werden sollten. Dabei fokussieren viele Studien ein bestimmtes Taxon, so z. B. die Gruppe der Vögel (Enzensberger et al., 2022; Gerl et al., 2018; Randler & Heil, 2021; Sturm et al., 2020). Viele Studien zur Ermittlung der Artenkenntnis konzentrieren sich zudem auf die Befragung einer bestimmten Personengruppe, so z. B. Schüler*innen (Gerl et al., 2018; Gerl et al., 2021; Randler, 2008; Sturm et al., 2020), Studierende (Palmberg et al., 2015; Randler & Heil, 2021; Schmäing & Grotjohann, 2023) oder Erwachsene (Enzensberger et al., 2022; Hooykaas et al., 2019; Schulemann-Maier & Munzinger, 2018). Ein konkreter Vergleich verschiedener Kohorten insbesondere auch zwischen Studierenden verschiedener Fächer sowie mit Kohorten außerhalb des universitären Raum fehlt bislang.

Daher wird im Rahmen der ersten Teilstudie anhand mehrerer Gelegenheitsstichproben aus verschiedenen Kohorten die zoologische Artenkenntnis durch das Benennen von Fotos ermittelt und quantitativ ausgewertet. Ergänzend zur eingangs aufgestellten übergeordneten Fragestellung und Hypothese sollen die folgenden kleinschrittigen Forschungsfragen beantwortet werden:

> **F1.1** Wie ausgeprägt ist die zoologische Artenkenntnis innerhalb der befragten Personengruppen? Gibt es Unterschiede zwischen den Kohorten?
>
> **F1.2** Gibt es Unterschiede in der Benennung der verschiedenen Tiergruppen?

6.2 Material und Methode

6.2.1 Versuchsdesign

Ergänzend zu den bereits in der übergreifenden Methodik (Kapitel 5.2) aufgeführten demographischen Daten (Alter & Geschlecht) wurde in dieser Teilstudie in einer Single-Choice-Frage die Umgebung, in der die Befragten aufgewachsen sind (eher städtisch/eher ländlich), sowie ihr Engagement im Natur- und Umweltschutz in einer halbgeschlossenen Frage erhoben. Hierbei

gaben die Teilnehmenden an, ob sie im Natur- und Umweltschutzschutz engagiert sind und wenn ja, in welchem Bereich sie tätig sind. Die offenen Angaben der Befragten wurde für die statistische Auswertung gruppiert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Gruppierung der Antworten zum halbgeschlossenen Item "*Sind Sie im Natur- und Umweltschutz engagiert?*" mit Beispielen.

Gruppierung	**Beispiel**
Nicht engagiert	-
Privat	Veganismus, Mülltrennung
Verein/politisch/beruflich	NABU, WWF, Die Grünen, Ausbildung zum Zootierpfleger

Zur Ermittlung der zoologischen Artenkenntnis sollten von den Teilnehmenden Fotos verschiedener heimischer und exotischer Tierarten in Freitextfeldern möglichst genau benannt werden (siehe Anhang). Dabei wurde das reine Erkennen der Tierarten auf Fotos abgefragt, nicht das Erarbeiten von Artbezeichnungen durch dichotome Bestimmungsschlüssel. Den Anforderungen zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage zur Analyse der zoologischen Artenkenntnis verschiedener Kohorten genügt diese Art der Befragung jedoch. Denn das Erkennen, Unterscheiden und Benennen von Arten ist ausreichend, um diese als schützenswert zu erachten und eine Beziehung zu diesen aufzubauen (Lindemann-Matthies, 2005). In einem ersten Teil der Studie wurden 16 heimische Tierarten abgefragt. Die Tierauswahl fand im Jahr 2009 basierend auf ihrer Relevanz im schulischen Kontext statt (u.a. Beobachtbarkeit, Häufigkeit, Schutzstatus). In einer erweiterten Befragung wurde die Zahl der abgefragten Tierarten um weitere 11 Arten auf eine Gesamtzahl von 27 Arten erweitert, um die Organismengruppen repräsentativ abbilden zu können und auch die Gruppe der Mammalia in die Befragung zu integrieren. Dabei wurde auch der Eisbär (*Ursus maritimus*) als exotische Tierart auf Grund seines hohen Bekanntheitsgrades in die Befragung eingebunden.

In der hier dargestellten ersten Teilstudie werden nur die Kohorten betrachtet, die den umfassenderen Fragebogen aus 27 Tierarten bearbeitet haben. Eine genauere Betrachtung der Entwicklung der Artenkenntnis seit 2009 findet im Rahmen der zweiten Teilstudien (Kapitel 7) statt. Die Befragung nahm ungefähr 10 – 15 Minuten in Anspruch, zuzüglich weniger Minuten für die Einführung.

Die Gruppe der Mollusca wurde durch eine Art innerhalb der Bivalvia repräsentiert, um auch die Unterscheidung zwischen Bivalvia und Gastropoda zu beleuchten. Die Klasse der Gastropoda wurde durch vier häufige heimischer Landschneckenarten abgebildet (Tabelle 5). Die

Vielfalt der Schnecken, insbesondere auch der Wasserschnecken kann durch die Befragung nicht abgebildet werden.

Die Klasse der Insecta wurde durch charakteristische und auffällige Ordnungen repräsentiert. Teil der Befragung waren daher die Ordnungen der Lepidoptera, der Odonata, der Coleoptera und der Heteroptera (Tabelle 5). Die Hymenoptera und Diptera waren nicht Teil der Befragung. Auch weitere Arthropoda wurden nicht abgefragt.

Die Auswahl der Amphibienarten für die Befragung sollte alle wesentlichen Taxa der Klasse wiederspiegeln. Daher wurden innerhalb der Froschlurche sowohl eine Frosch- als auch eine Krötenart abgefragt und innerhalb der Schwanzlurche eine Salamander- und eine Molchart (Tabelle 5). Einzig die Familie der Bombinatoridae, die in Deutschland nur durch die Gattung *Bombina* (Unken) repräsentiert ist (Glandt & Trapp, 2022), war nicht Teil der Befragung.

Innerhalb des Taxons Aves wurde bei der Artenauswähl darauf Wert gelegt, die unterschiedlichen heimischen Familien innerhalb der Avifauna abzubilden, um die Artenkenntnis möglichst vielfältig abzufragen (Tabelle 5).

Bei der Auswahl der in der Befragung enthaltenen Mammalia wurde zum einen darauf geachtet, sowohl sehr bekannte (z. B. *Sus scrofa*) als auch eher seltene Arten (z. B. *Marmota marmota*) abzubilden. Zum anderen wurde der Eisbär als „Kontrollart" eingeführt, für den angenommen wurden, dass ihn nahezu alle Befragten erkennen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Zusammenfassung der zur Erfassung der zoologischen Artenkenntnis abgefragten Tierarten mit ihrem deutschen und wissenschaftlichen Artnamen sowie Darstellung des Punkteschemas. Mit * markierte Arten wurden in einer Umfrage mit reduzierten Umfang ebenfalls in der zweiten und dritten Teilstudie abgefragt. (Verändert nach: Beunink et al., im Druck)

	1 Punkt	2 Punkte	3 Punkte	4 Punkte
Nr.	**Stamm / Klasse**		**Deutscher Artname**	**Wissenschaftlicher Artname**
1*	Mollusca	Muschel	Miesmuschel	*Mytilus edulis*
2*		Schnecke	Hain-Bänderschnecke	*Cepaea nemoralis*
3*		Schnecke	Weinbergschnecke	*Helix pomatia*
4		Schnecke	Schließmundschnecke	*Balea biplicata*
5		Schnecke	Tigerschnegel	*Limax maximus*
6*	Aves	Sperlingsvogel	Zaunkönig	*Troglodytes troglodytes*
7*		Fink	Buchfink	*Fringilla coelebs*
8*		Specht	Buntspecht	*Dendrocopos major*
9*		Rabenvogel	Elster	*Pica pica*
10*		Meise	Kohlmeise	*Parus major*
11*		Sperlingsvogel	Rotkehlchen	*Erithacus rubecula*
12*		Eule	Schleiereule	*Tyto alba*
13*		Ente	Stockente	*Anas platyrhynchos*
14*	Amphibia	Frosch	Laubfrosch	*Hyla arborea*
15*		Kröte	Erdkröte	*Bufo bufo*
16*		Salamander	Feuersalamander	*Salamandra salamandra*
17		Molch	Bergmolch	*Ichthyosaura alpestris*
18*	Insecta	Libelle	Plattbauch	*Libellula depressa*
19		Wanze	Feuerwanze	*Pyrrhocoris apterus*
20*		Käfer	Feldmaikäfer	*Melolontha melolontha*
21		Schmetterling	Admiral	*Vanessa atalanta*
22		Schmetterling	Kleiner Fuchs	*Aglais urticae*
23	Mammalia / Nagetier	Nutria	Biber	*Castor fiber*
24		Hörnchen	Murmeltier	*Marmota marmota*
25	Mammalia	Fuchs	Rotfuchs	*Vulpes vulpes*
26		Schwein	Wildschwein	*Sus scrofa*
27		Bär	Eisbär	*Ursus maritimus*

Die Freitextantworten der Teilnehmenden wurden zur quantitativen Auswertung mit Punkten belegt (Tabelle 5 & Abbildung 38). Das Punktesystem wurde dabei in Ansätzen angelehnt an vorangegangene Studien (Gerl et al., 2018; Randler, 2008; Zahner et al., 2007). Für die korrekte Nennung der Klasse wurde ein Punkt vergeben (z. B. Amphibia), für eine genauere Beschreibung der Art wurden zwei Punkte vergeben (z. B. Kröte). Der korrekte deutsche Artname wurde mit drei Punkten gewertet (z. B. Erdkröte), die korrekte wissenschaftliche Artbenennung, auch ohne die Angabe des Erstbeschreibers, wurde mit vier Punkten bewertet (z. B. *Bufo bufo*). Genauere, aber falsche Antworten, bspw. die Nennung „Frosch" bei der Benennung der Erdkröte oder „Gimpel" bei der Benennung des Buchfinken, wurden auf die nächste zutreffende Stufe heruntergruppiert. Im Beispiel gab die Bezeichnung „Frosch" einen Punkt, da der*die Befragte erkannte, dass es sich um ein Amphibium handelt. Für die Bezeichnung „Gimpel" unter dem Foto des Buchfinken wurden zwei Punkte vergeben, da der*die Teilnehmende die Art in das Taxon der Fringillidae eingruppieren konnte. Rechtschreibfehler oder Wortveränderungen durch die Rechtschreibprüfung des Smartphones (bspw. „Buffet bufo") wurden vernachlässigt.

Abbildung 38: Bepunktungsschema der offenen Textantworten im Wissenstest am Beispiel der Erdkröte und des Buchfinken. (Quelle: digitib.de (2024), verändert)

Zur Auswertung der Antworten wurde die Punktzahl normiert, sodass die Summe der Antworten zum Vergleich der Personengruppen zwischen null und vier Punkten variierte. Bereits eine normierte Punktzahl von drei Punkten bescheinigte dabei eine sehr gute Artenkenntnis, bei der die Befragten gezeigte Arten unterscheiden und mit deutschem Namen genau benennen konnten.

6.2.2 Vorbereitung des Datensatzes

Nach Ausschluss unvollständig ausgefüllter Fragebögen und bedingt durch die Bepunktung der Freitextantworten enthielt der Datensatz zur Ermittlung der Artenkenntnis keine Fehlwerte, da

nicht gegebene Antworten bzw. nicht ausgefüllte Antwortfelder mit null Punkten gewertet wurden. Fehlende Angaben zu demografischen Daten werden an entsprechender Stelle angegeben.

6.2.3 Stichprobe

An der Befragung nahmen insgesamt $N = 625$ Teilnehmende ($N_w = 344$; $N_m = 218$; $N_d = 3$; Keine Angabe: $N = 60$) teil. Die Stichprobe setzte sich dabei aus verschiedenen Personengruppen zusammen. Die erste Kohorte bestand aus Studierenden des Fachs Biologie im Kombinatorischen Bachelor of Arts an der BUW, die in der Regel das Berufsziel Lehrer*in verfolgen und überwiegend im vierten Fachsemester waren. Die zweite Gruppe umfasste Studierende des Teilstudiengangs Grundlagen der Naturwissenschaften und Technik (NawiTec) im Kombinatorischen Bachelor of Arts für den Sachunterricht im Grundschullehramt an der BUW. Zusätzlich wurden Studierende der Fächer Sicherheitstechnik, Maschinenbau und Informatik der BUW befragt. Eine vierte Stichprobe setzte sich aus Studierenden des Fachs Biologie im Bachelor of Science an der Universität Trier, mit fachwissenschaftlichem Schwerpunkt zusammen, die sich überwiegend im zweiten und vierten Semester befanden. Die Studierenden waren zum Zeitpunkt der Befragung überwiegend zwischen 20 und 25 Jahre alt. Als außeruniversitäre Gruppen konnten Mitglieder des Naturschutzbundes Deutschland (NABU) für die Erhebung gewonnen werden, die überwiegend zwischen 55 und 65 Jahre alt waren, sowie eine sechste Gruppe von interessierten Zoobesucher*innen mit einem am häufigsten vertretenen Alter zwischen 30 und 40 Jahren (Tabelle 6).

Tabelle 6: Gesamtstichprobengröße sowie Geschlechterverteilung der verschiedenen Kohorten. Die Differenzen zwischen der Gesamtgröße der jeweiligen Kohorten und der Geschlechterverteilung ergeben sich durch Teilnehmende, die keine Angaben zu ihrem Geschlecht machten.

Kohorte	***N***
Studierende Biologie Lehramt	141 (w = 92; m = 49; d = 0)
Studierende NawiTec Sachunterricht	181 (w = 120; m = 34; d = 1)
Studierende Maschinenbau, Sicherheitstechnik & Informatik	114 (w = 25; m = 71; d = 1)
Studierende Biologie fachwissenschaftlich	62 (w = 49; m = 12; d = 1
NABU-Mitglieder	76 (w = 31; m = 37; d = 0)
Zoobesucher*innen	51 (w = 27; m = 15; d = 0)
Gesamt	**625**

Neben dem Vergleich der zoologischen Artenkenntnis in den verschiedenen Personengruppen sowie dem Vergleich der Artenkenntnis in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht wurde der Einfluss des Engagements im Natur- und Umweltschutz sowie die Auswirkung der Umgebung, in der die Befragten aufwuchsen, ermittelt. Die Stichprobengröße der Teilnehmenden, die angaben in einer eher ländlichen Umgebung aufgewachsen zu sein, betrug $N = 313$, wobei die Zugehörigkeit zu den sechs Personengruppen vernachlässigt wurde. $N = 309$ Teilnehmende gaben an, ihre Kindheit in einer eher städtischen Umgebung verbracht zu haben. Drei Personen enthielten sich der Angabe. In der halbgeschlossenen Frage zum Engagement im Umweltschutz gaben $N = 38$ Teilnehmende an, dass sie sich im privaten Rahmen einsetzten. $N = 58$ Teilnehmende engagierten sich in Vereinen, politisch oder durch ihre berufliche Tätigkeit. $N = 528$ Befragte gaben an, sich nicht im Natur- und Umweltschutz zu engagieren. Eine befragte Person machte zu dieser Frage keine Angabe.

6.2.4 Gütekriterien der Messinstrumente

Die Reliabilität der 27 Items zur Erfassung der zoologische Artenkenntnis betrug Cronbachs $\alpha = 0{,}931$. Auch die korrigierte Item-Skala-Korrelation aller enthaltenen Items entsprach den Ansprüchen dieser Arbeit, sodass kein Item ausgeschlossen werden muss.

6.3 Ergebnisse

F1.1 Wie ausgeprägt ist die zoologische Artenkenntnis innerhalb der befragten Personengruppen? Gibt es Unterschiede zwischen den Kohorten?

Die Artenkenntnis, erhoben anhand der Benennung verschiedener Tierfotos, schwankte teilweise erheblich zwischen den verschiedenen Personengruppen (Tabelle 7 & Abbildung 39). Die maximale Punktzahl lag bei 4 Punkten, wobei bereits 3 Punkte eine sehr gute Kompetenz, Arten mit deutschem Namen zu benennen, verzeichneten (Abbildung 39).

Der Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben zeigte signifikante Unterschiede zwischen dem Antwortverhalten der Personengruppen ($\chi^2 = 192{,}448$; $p < 0{,}001$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten hoch signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen (Tabelle 7). Abbildung 39 präsentiert die Unterschiede grafisch.

Tabelle 7: Erreichte Punktzahl (*Md*) der Personengruppen in der Befragung sowie Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Post-hoc-Tests zum Kruskal-Wallis-Test. Zur Übersicht werden die Zielgruppen in der Tabelle wie folgt abgekürzt: Bio LA = Studierende Biologie (Lehramt), NawiTec = Studierende NawiTec (Grundschullehramt), Technik = Studierende Maschinenbau / Sicherheitstechnik / Informatik, Bio = Studierende Biologie (fachwissenschaftlich), NABU = Mitglieder des NABU, Zoo = Zoobesucher*innen. * = $p < 0{,}05$; ** = $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$

Personengruppe		**Bio LA**	**NawiTec**	**Technik**	**Bio**	**NABU**
	Punktzahl *Md* (*IQR*)				**Post-hoc-Test** *p* *(r)*	
Bio LA	1,929 (0,41)					
NawiTec	2,000 (0,43)	0,846				
Technik	1,929 (0,47)	1,000	0,380			
Bio	2,607 (0,49)	*** (0,606)	*** (0,480)	*** (0,654)		
NABU	2,714 (0,57)	*** (0,695)	*** (0,567)	*** (0,739)	1,000	
Zoo	2,192 (0,50)	** (0,296)	0,061	*** (0,334)	* (0,321)	*** (0,386)

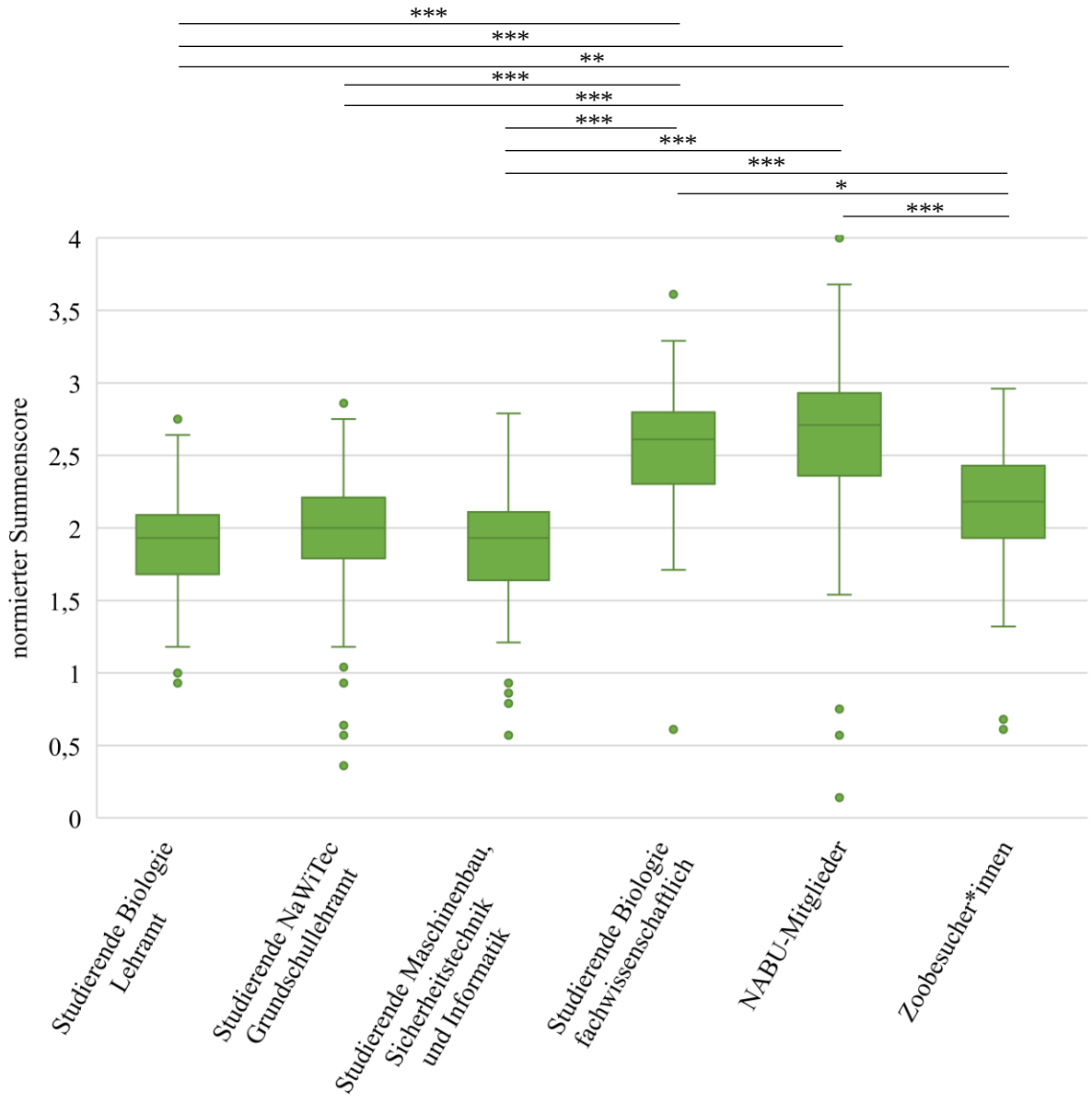


Abbildung 39: Verteilung der normierten Punktzahl über die Personengruppen hinweg. ($N_{\text{Studierende Biologie Lehramt}} = 141$; $N_{\text{Studierende NawiTec Grundschullehramt}} = 181$; $N_{\text{Studierende Maschinenbau, Sicherheitstechnik und Informatik}} = 114$; $N_{\text{Studierende Biologie fachwissenschaftlich}} = 62$; $N_{\text{NABU-Mitglieder}} = 76$; $N_{\text{Zoobesucher*innen}} = 51$) (* = $p < 0{,}05$; ** = $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$).

Es wurde zudem ein potenzieller Zusammenhang zwischen dem Engagement im Natur- und Umweltschutz und der durch den Test ermittelten Artenkenntnis betrachtet. Personen, die innerhalb der Studie angaben, ehrenamtlich in Vereinen (z. B. NABU, WWF), politisch oder beruflich (z. B. Untere Naturschutzbehörde (UNB), Ausbildung Tierpfleger) im Natur- und Umweltschutz aktiv zu sein, erreichten deutlich höhere Punktzahlen in der Befragung als Personen, die nicht im Natur- und Umweltschutz aktiv waren oder dies privat taten (z. B. Mülltrennung, Veganismus) (Tabelle 8 & Abbildung 40). Der Kruskal-Wallis-Test zeigte signifikante

Unterschiede zwischen den Gruppen ($\chi^2 = 69{,}722$; $p < 0{,}001$), anschließende Post-hoc-Tests verdeutlichten diese im paarweisen Vergleich (Tabelle 8). Abbildung 40 zeigt die Unterschiede grafisch.

Tabelle 8: Erreichte Punktzahl in Abhängigkeit des Engagements im Natur- und Artenschutz sowie Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Post-hoc-Tests zum Kruskal-Wallis-Test. *** = $p < 0{,}001$

Engagement		**kein Engagement**	**Privat**
	Punktzahl *Md* (*IQR*)	**Post-hoc-Test** *p* *(r)*	
Kein Engagement	2,000 (0,46)		
Privat	2,143 (1,02)	0,586	
Ehrenamt, Politik, Beruf	2,732 (0,64)	*** (0,344)	*** (0,457)

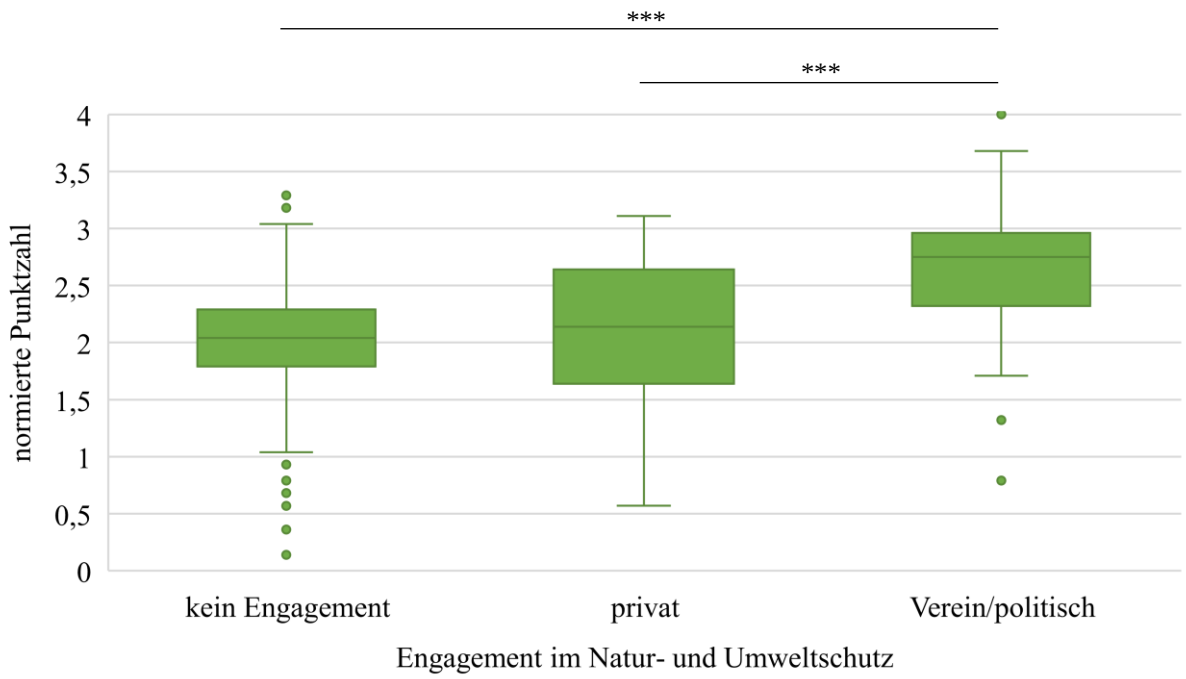


Abbildung 40: Verteilung der normierten Summen in Abhängigkeit des Engagements im Natur- und Umweltschutz ($N_{\text{kein Engagement}} = 528$; $N_{\text{privat}} = 38$; $N_{\text{Verein/politisch}} = 58$) (*** = $p < 0{,}001$)

Ergänzend wurde mittels Mann-Whitney-U-Test überprüft, ob ein signifikanter Unterschied im Antwortverhalten der Befragten durch die Umgebung in der sie aufgewachsen sind (eher ländlich / eher städtisch), bestand. Befragte, die angaben in einer eher ländlichen Umgebung aufgewachsen zu sein (*Md* = 2,142; *IQR* = 0,64), erreichten dabei eine signifikant höhere Punktzahl als Teilnehmende, die angaben in einer eher städtischen Umgebung aufgewachsen zu sein (*Md* = 1,964; *IQR* = 0,50) (*U* = 58342,50; *Z* = 4,457; *p* < 0,001) (Abbildung 41), mit kleinem Effekt (*r* = 0,179).

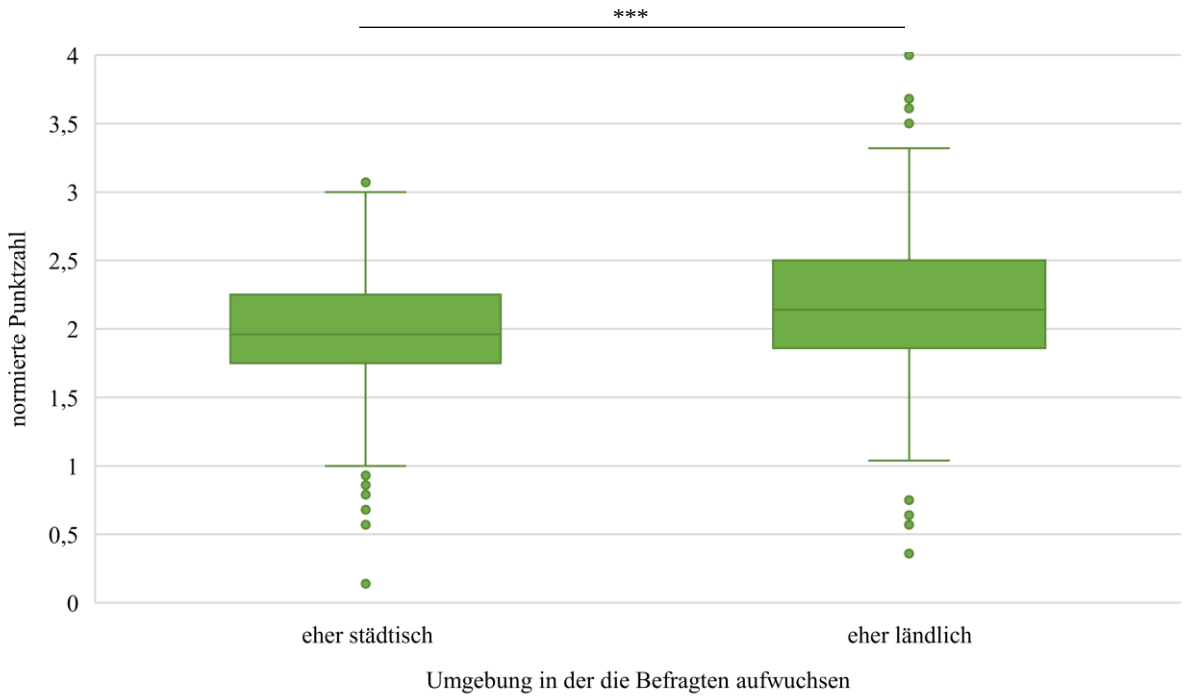


Abbildung 41: Erreichte Punktzahl der Befragten in Abhängigkeit von der Umgebung, in der sie aufgewachsen sind. ($N_{\text{eher städtisch}}$ = 309; $N_{\text{eher ländlich}}$ = 313) (*** = p < 0,001)

Abschließend wurde ein potenzieller Unterschied in der ermittelten zoologischen Artenkenntnis zwischen den Geschlechtern und abhängig vom Alter ermittelt. Dabei ließ sich kein Unterschied in der erreichten Punktzahl zwischen weiblichen (*Md* = 2,036; *IQR* = 0,50) oder männlichen (*Md* = 2,071; *IQR* = 0,65) Befragten ermitteln (*U* = 36448,000; *Z* = -0,559; *p* = 0,576). Personen, die sich keinem der beiden Geschlechter zuordneten, konnten aufgrund der besonders geringen Stichprobengröße (N_d < 5) hier statistisch nicht berücksichtigt werden.

Die Verteilung der Mediane im Antwortverhalten aller Personengruppen über das Alter unterschied sich teilweise stark (Tabelle 9) und war nach Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben signifikant unterschiedlich (χ^2 = 59,202; p < 0,001). Anschließende Post-hoc-Tests

zeigten im paarweisen Vergleich der Gruppen jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Tabelle 9: Lageparameter des Antwortverhaltens der Teilnehmenden unabhängig von der Personengruppe

Alter (Jahre)	20-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	>70
N	330	58	18	12	8	7	10	8	6	5	6
Md (*IQR*)	2,000 (0,50)	2,196 (0,70)	2,393 (0,65)	2,554 (0,54)	2,571 (0,38)	2,679 (0,64)	2,314 (0,43)	2,571 (0,37)	2,464 (1,10)	2,357 (1,20)	2,286 (1,70)

F1.2 Gibt es Unterschiede in der Benennung der verschiedenen Taxa?

Neben der Analyse des Antwortverhaltens in Abhängigkeit verschiedener demographischer Aspekte wurde auch die Benennung verschiedener Tiergruppen durch die Befragten analysiert (Abbildung 42). Die Fotos der Tiere des Taxons Mammalia wurden über alle Teilnehmenden hinweg auffallend genau benannt (*Md* = 2,800; *IQR* = 0,60). Besonders ungenau wurde bei der Zusammenfassung aller Personengruppen das Taxon Amphibia benannt (*Md* = 1,750; *IQR* = 0,75), wobei sich hier die einzelnen Personengruppen teils stärker unterschieden.

Innerhalb der Taxa unterschieden sich die Benennung der Arten deutlich zwischen den Personengruppen (Abbildung 42). Der Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben zeigt statistisch signifikante Unterschiede innerhalb des Taxons der Mollusca ($\chi^2 = 85{,}236$; $p < 0{,}001$). Innerhalb des Antwortverhaltens zum Taxon der Vögel konnten ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Personengruppe ermittelt werden ($\chi^2 = 198{,}269$; $p < 0{,}001$). Ebenso wurden signifikante Unterschiede zwischen den Personengruppen zum Taxon der Amphibia ($\chi^2 = 192{,}038$; $p < 0{,}001$) sowie für das Taxon der Insecta ($\chi^2 = 163{,}058$; $p < 0{,}001$) und der Mammalia ($\chi^2 = 76{,}931$; $p < 0{,}001$) ermittelt werden. Anschließende Post-hoc-Tests zeigten beim paarweisen Vergleich des Antwortverhaltens der Zielgruppen zu den unterschiedlichen Taxa signifikante Unterschiede, die in Tabelle 10 mit der zugehörigen Effektstärke zusammengefasst werden.

Tabelle 10: Ergebnisse der Post-hoc-Tests und der entsprechenden Effektstärken zum paarweisen Vergleich des Antwortverhaltens der Personengruppen zu den Fotos der unterschiedlichen Taxa. Zur Übersicht werden die Zielgruppen in der Tabelle wie folgt abgekürzt: Bio LA = Studierende Biologie (Lehramt), NawiTec = Studierende NawiTec (Grundschullehramt), Technik = Studierende Maschinenbau / Sicherheitstechnik / Informatik, Bio = Studierende Biologie (fachwissenschaftlich), NABU = Mitglieder des NABU, Zoo = Zoobesucher*innen. * = $p < 0{,}05$; ** = $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$.

Taxon	Personengruppe	Bio LA	NawiTec	Technik	Bio	NABU
				p *(r)*		
Mollusca	**Bio LA**					
	NawiTec	* (0,128)				
	Technik	1,000	1,000			
	Bio	** (0,216)	** (0,132)	*** (0,180)		
	NABU	*** (0,330)	*** (0,263)	*** (0,304)	0,329	
	Zoo	*** (0,164)	1,000	* (0,126)	1,000	* (0,131)
Insecta	**Bio LA**					
	NawiTec	* (0,125)				
	Technik	1,000	0,125			
	Bio	*** (0,279)	*** (0,208)	*** (0,279)		
	NABU	*** (0,413)	*** (0,366)	*** (0,428)	0,112	
	Zoo	* (0,125)	1,000	0,124	* (0,133)	*** (0,246)
Amphibia	**Bio LA**					
	NawiTec	1,000				
	Technik	1,000	1,000			
	Bio	*** (0,312)	*** (0,396)	*** (0,410)		
	NABU	*** (0,296)	*** (0,387)	*** (0,401)	1,000	
	Zoo	0,050	** (0,172)	*** (0,200)	** (0,164)	* (0,141)
Aves	**Bio LA**					
	NawiTec	1,000				
	Technik	1,000	0,203			
	Bio	*** (0,299)	*** (0,333)	*** (0,389)		
	NABU	*** (0,325)	*** (0,370)	*** (0,425)	1,000	
	Zoo	0,092	0,078	*** (0,185)	** (0,160)	*** (0,176)

Mammalia	**Bio LA**					
	NawiTec	0,203				
	Technik	1,000	1,000			
	Bio	*** (0,240)	*** (0,214)	*** (0,239)		
	NABU	*** (0,234)	*** (0,208)	*** (0,234)	1,000	
	Zoo	0,111	1,000	0,963	* (0,130)	0,077

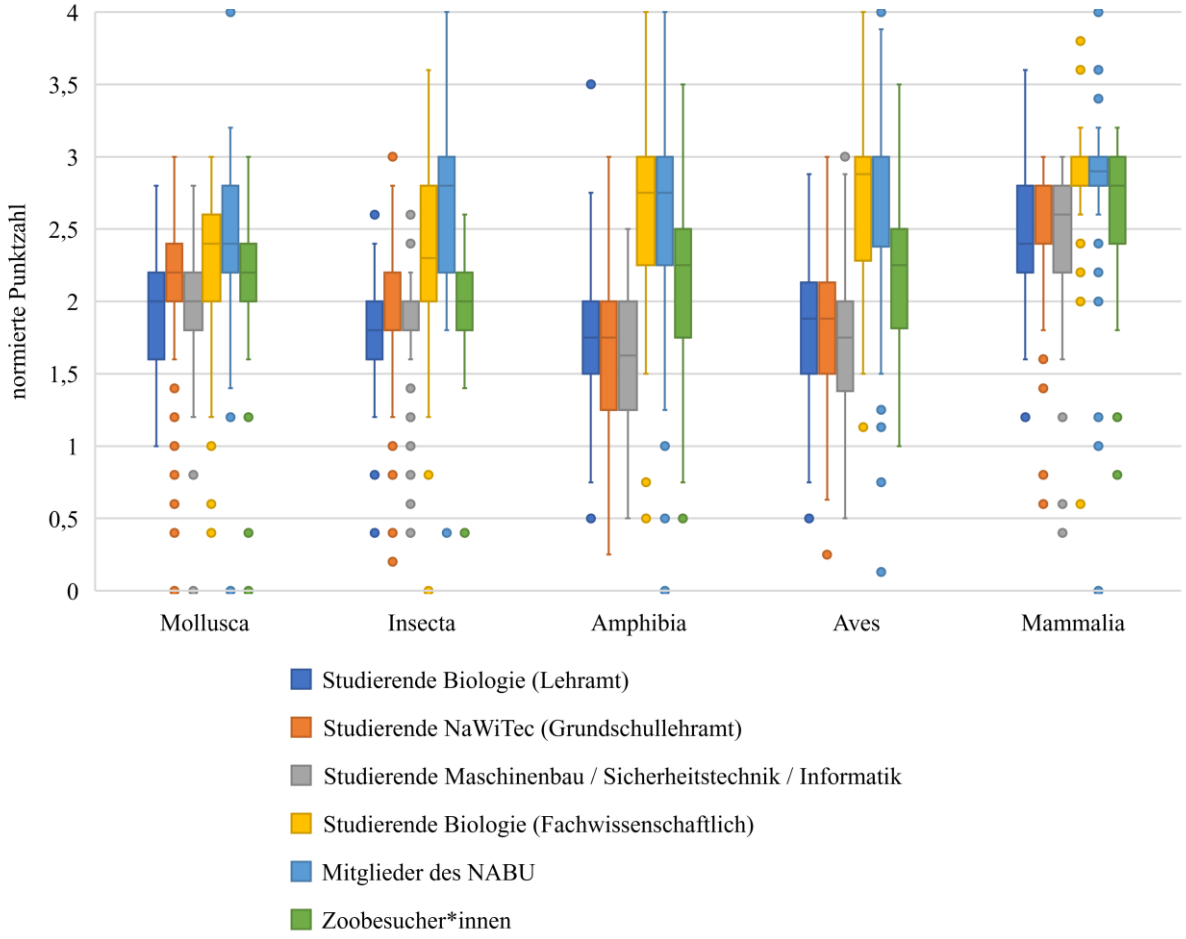


Abbildung 42: Erreichte Punktzahl innerhalb der jeweiligen Taxa in Abhängigkeit der Personengruppen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden keine Signifikanzen abgebildet. Signifikante Unterschiede zwischen den Personengruppen sind in Tabelle 10 dargestellt.

6.4 Diskussion

Die erste Teilstudie gibt einen Überblick über die vorhandene zoologische Artenkenntnis verschiedener Personengruppen und betont unterschiedliche Einflussfaktoren sowie die Unterschiede in der Bekanntheit von verschiedenen Taxa.

Die zoologische Artenkenntnis wurde im Rahmen dieser Studie durch das Benennen von Fotos verschiedener Tiere ermittelt. Das Erkennen von Arten anhand von äußeren Merkmalen kann dadurch valide erfasst werden, wie bereits durch frühere Studien bezeigt wurde (Gerl et al., 2018; Randler, 2008; Sturm et al., 2020).

Die vorliegende Befragung verbleibt auf der Ebene der Artenkenntnis und fragt keine zusätzlichen Informationen zur Ökologie der Tiere, zur weiteren Taxonomie oder zu ergänzendem Stützwissen ab. Die zoologische Formenkenntnis der Befragten im engeren Sinne wurde hier somit nicht erhoben. Ähnlich bewertete Eschenhagen (1982) die Antworten innerhalb seiner Befragung, in der das Benennen von Tieren abgefragt wurde. Die korrekte Zuordnung der Organismen zu übergeordneten Taxa kann nach Eschenhagen (1982) jedoch bereits als Grundzug von Formenkenntnis gewertet werden. Die vermutlich meist unbewusst erfolgte Zuordnung von Arten zu übergeordneten Taxa, zeigt das grundlegende Erkennen von Formen und Strukturen. So lässt eine Zuordnung des Buchfinken in die Familie der Finken bereits das Erkennen von typischen Strukturen und Merkmalen der Finken, wie dem an der Basis verbreiterten und kegelförmigen Schnabel, vermuten. Dieses Erkennen von Formen zeigt sich im Rahmen der vorliegenden Studie auch häufig bei der Benennung der Kohlmeise, die fälschlicherweise als Blaumeise bezeichnet wurde, aber damit korrekt in die Familie der Paridae (Meisen) eingruppiert wurde. Eschenhagen (1982) definiert Formenkenntnis dabei jedoch im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit weniger umfassend als Erkennen von Formen und Strukturen, wodurch im Rahmen seiner Arbeit die Artenkenntnis genauere Informationen zu den Arten umfasst als die Formenkenntnis.

Das Erkennen verschiedener Merkmale von Arten sensibilisiert für die Artenvielfalt und schult das Differenzieren von Organismen. Randler und Metz (2005) weisen in ihrer Studie zur Artenkenntnis bei Schüler*innen darauf hin, dass ein Artname, der mit äußeren Merkmalen der Art verknüpft ist, deutlich besser in Erinnerung bleibt, als abstraktere Artbezeichnungen. Ein beliebtes Beispiel hierzu ist das Rotkehlchen, bei dem der Phänotyp durch den Trivialnamen deutlich beschrieben wird. Auch Bezeichnungen, die mit bestimmten Assoziationen zur Art in Verbindung stehen, zu nennen sei hier die Brennnessel oder die Stechmücke, bleiben häufiger im Gedächtnis (Gerl et al., 2018; Randler & Metz, 2005). Gleichzeitig werden Arten, die

ähnliche Merkmale aufweisen, von Befragten häufiger verwechselt (Gerl et al., 2018). So wurde auch in der vorliegenden Studie häufig der Buchfink als Rotkehlchen benannt. Die leicht rötlich gefärbte Kehle des männlichen Buchfinken auf dem Foto, in Kombination mit dem gräulichen Kopf (Abbildung 20), assoziierten vermutlich einige der Befragten mit den typischen Merkmalen des Rotkehlchens. Bei dem im späteren Verlauf der Befragung abgefragten tatsächlichen Rotkehlchen wurde dann häufig mit „nochmal Rotkehlchen“ geantwortet. In der vorliegenden Studie erkannten Personen mit einer ausgeprägteren Artenkenntnis und damit verbunden einer vermutlich stärkeren Differenzierungsfähigkeit die Unterschiede zwischen den Arten leichter und erreichten höhere Punktzahlen (Abbildung 39). Dies deckt sich mit Forschungsergebnissen von Hooykaas et al. (2019), die herausfanden, dass Experten für Biodiversitätsforschung deutlich mehr Tier- und Pflanzenarten erkannten, als Laien.

F1.1 Wie ausgeprägt ist die zoologische Artenkenntnis innerhalb der befragten Personengruppen? Gibt es Unterschiede zwischen den Kohorten?

Die meisten befragten Biologiestudierenden mit dem Berufsziel Lehrer*in konnten bekannte Tierarten benennen und die Arten häufig übergeordneten Taxa zuordnen. Studierende des Grundschullehramts mit dem Fach NawiTec sowie Studierende des Maschinenbaus, Sicherheitstechnik und Informatik zeigten eine ähnliche Ausprägung der zoologischen Artenkenntnis. Das genaue Benennen der Arten fällt ihnen in vielen Fällen schwer, wobei sie selten 3 Punkte in der Befragung erreichen.

Die vergleichsweise geringe zoologische Artenkenntnis der Biologiestudierenden entspricht dabei nicht den eingangs aufgestellten Erwartungen. Zwar konnten sowohl Palmberg et al. (2015) als auch Randler und Heil (2021) eine eher geringe Artenkenntnis bei Lehramtsstudierenden darstellen, jedoch kann Studierenden des Fachs Biologie ein grundlegendes Interesse an Artenvielfalt unterstellt werden (Urhahne, 2006), die eine verbesserte Artenkenntnis bedingen kann. In diesem Zusammenhang ist auch der Vergleich der erreichten Punktzahl der Studierenden der Biologie im Lehramtsstudium und der fachwissenschaftlich Biologie Studierenden auffällig. Die fachwissenschaftlich Biologiestudierenden erreichten eine deutlich höhere Punktzahl als Studierende der Biologie mit dem Berufsziel Lehrer*in.

Die befragten Zoobesucher*innen erkannten wie die Studierenden der Biologie mit dem Berufsziel Lehrer*in, die Studierenden des Grundschullehramts mit dem Fach NawiTec und die Studierenden der Fächer Informatik, Sicherheitstechnik und Maschinenbau sehr bekannte Tierarten mit deutschem Artnamen. Insbesondere die Mammalia wurden von diesen

Personengruppen gut erkannt, worauf im späteren Verlauf genauer eingegangen werden soll. Viele weitere Arten konnten die Befragten dieser Kohorten in übergeordnete Taxa einteilen. So wurden *Helix pomatia* und *Cepaea nemoralis* als Schnecken erkannt, die Artbenennung war jedoch häufig nicht möglich. Die Ergebnisse decken sich mit den berichteten Ergebnissen verschiedener Artenkenntniserhebungen, die ebenfalls eine geringe zoologische Artenkenntnis bei Laien (Hooykaas et al., 2019) und gemischten Kohorten (Balmford et al., 2002; Enzensberger et al., 2022; Schulemann-Maier & Munzinger, 2018) erfassten. Die Kohorte der NABU-Mitglieder konnte besonders viele Tierarten mit deutschem, teils sogar mit wissenschaftlichem Artnamen benennen und erreichte im Mittel eine hohe Punktzahl.

Dies legt die Fragestellung nahe, ob das Engagement im Natur- und Artenschutz einen Einfluss auf die zoologische Artenkenntnis hat. In der vorliegenden Studie zeigten befragte Personen, die sich in Vereinen oder politisch für den Natur- und Artenschutz engagierten, eine höhere zoologische Artenkenntnis, als diejenigen, die sich nicht engagierten. Einen ähnlich Zusammenhang konnten auch Gerl et al. (2018) darstellen. In welche Richtung diese Korrelation zwischen Engagement im Umweltschutz und einer gesteigerten Artenkenntnis wirkt, konnte bisher nicht ermittelt werden (Gerl et al., 2018). Im Zusammenhang mit dem alleinigen Engagement in Form von Spenden oder vegetarischer/veganer Ernährung konnte keine gesteigerte zoologische Artenkenntnis gezeigt werden.

Häufigere Naturerfahrungen in der Kindheit bedingen eine größere Bereitschaft zum Engagement im Umweltschutz, während dieses wiederum vermehrte Naturerfahrungen ermöglicht. Zudem zeigen Personen, die sich aktiv im Natur- und Artenschutz engagierten ein höheres Interesse an der Natur und einer damit verknüpften intrinsischen Motivation zur Beschäftigung mit ebendieser (Bixler et al., 2002; Gebhard et al., 2021; Gebhard & Menzel, 2019). Dadurch werden die Artenkenntnis gefördert und die Differenzierungsfähigkeit gesteigert. Naturerfahrungen und damit verbundene Emotionen sind daher einer der bedeutendsten Aspekte für die Ausbildung der Artenkenntnis. Sowohl Erfahrungen in der Kindheit als auch aktive und mehr oder weniger passive Erfahrungen im Erwachsenenalter zeigen positive Auswirkungen auf die Einstellung und das Interesse gegenüber der Umwelt (Hosaka et al., 2017; Soga & Gaston, 2016).

Teilnehmende, die in einer eher ländlichen Umgebung aufgewachsen sind, zeigten eine höhere Artenkenntnis als Befragte, die angaben in einer eher städtischen Umgebung aufgewachsen zu sein. Gerl et al. (2021) konnten diesen Zusammenhang nicht abbilden. Eine Kindheit in einer eher ländlichen Umgebung ist jedoch häufig geprägt durch vermehrte direkte Naturerfahrungen

und fördert daher die Verbundenheit mit der Umwelt (Gebhard & Menzel, 2019). Zudem hat das Elternhaus einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Artenkenntnis insbesondere im Kindesalter (Lindemann-Matthies et al., 2017) und fördert somit nachhaltig das Erkennen und Differenzieren von Arten. Dem entgegen steht, dass die zunehmende Verstädterung auch ländlicher Teile die Differenzierung zwischen der Umgebung, in der die Teilnehmenden aufwuchsen, erschwert. Die Einschätzung der Umgebung, in der die Befragten aufwuchsen, fanden im Rahmen dieser Studie rein subjektiv statt. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass Befragte, die als Kinder häufig in der umgebenden Natur aktiv waren, ihr Umfeld als eher ländlich empfinden. Während Befragte, die als Kinder in einer ähnlichen Umgebung aufwuchsen, jedoch eher Aktivitäten ohne Bezug zur Natur nachgingen, ihre Umgebung als weniger ländlich einschätzten würden. Erstere erlebten dabei deutlich mehr Naturerfahrungen, die einen bereits dargestellten stark positiven Effekt auf die Artenkenntnis haben. Daher kann der Zusammenhang zwischen der Umgebung, in der die Befragten aufwuchsen im Rahmen der Studie als Trend angesehen werden, jedoch nicht abschließend interpretiert werden. Objektiver wäre eine Abfrage der Größe des Wohnortes, um städtische und ländliche Bereiche voneinander abzugrenzen, wie von Gerl et al. (2018) angewandt.

Das Alter hatte in dieser Studie keinen eindeutigen Effekt auf die zoologische Artenkenntnis. Die signifikanten Auswirkungen waren beim paarweisen Vergleich nicht nachweisbar, sodass von nicht stringenten Auswirkungen auszugehen ist, wobei auch die unterschiedlichen Stichprobengrößen Effekte verzerren können. In vergleichbaren Studien zeigte sich teilweise eine Abnahme der Artenkenntnis bei Jugendlichen im Vergleich zu Kindern (Jaun-Holderegger, 2019) und eine Zunahme der Artenkenntnis bei älteren Erwachsenen im Vergleich zu jungen Menschen (Hooykaas et al., 2019; Schulemann-Maier & Munzinger, 2018).

Sowohl Randler (2008) als auch Gerl et al. (2018) sowie Sturm et al. (2020) konnten in ihren Studien eine verbesserte Artenkenntnis bei Mädchen im Vergleich zu Jungen ermitteln. In der Studie von Randler und Heil (2021) erkannten jedoch männliche Teilnehmer eine höhere Punktzahl als weibliche. Auch wenn somit in einigen Studien ein signifikanter wenn auch nicht einheitlicher Unterschied in der zoologischen Artenkenntnis abhängig vom Geschlecht ermittelt werden konnte, zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung kein entsprechender Zusammenhang. Die hier befragten Kohorten waren im Schnitt mindestens 20 Jahre alt und somit deutlich älter als die Teilnehmenden Schüler*innen in der Studie von Gerl et al. (2018) oder von Sturm et al. (2020). Ein entsprechender Unterschied in der zoologischen Artenkenntnis zwischen den

Geschlechtern scheint somit entweder nicht stringent aufzutreten oder mit zunehmendem Alter abgeschwächt zu werden.

F1.2 Gibt es Unterschiede in der Benennung der verschiedenen Taxa und zwischen den verschiedenen Personengruppen?

Viele Studien zur zoologischen Artenkenntnis fragen in erster Linie verschiedene Vogelarten ab (Enzensberger et al., 2022; Gerl et al., 2018; Sturm et al., 2020; Zahner et al., 2007). Die Auswahl der abgefragten Arten im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte möglichst verschiedene, fast ausschließlich heimische Tiergruppen repräsentieren. Eine besondere Rolle spielten dabei sowohl die ökologische Bedeutung der Arten für heimische Biotope, ihre Relevanz für die Lehre als auch ihr vermeintlich hoher Bekanntheitsgrad. Insbesondere der Eisbär wurde als Kontrollart in die Befragung integriert, unter der Annahme, dass dieser von allen Befragten erkannt wird.

Die Unterscheidung zwischen Bivalvia und Gastropoda fiel vielen Teilnehmenden der Befragung leicht, potentiell auch bedingt durch die Thematisierung dieser Klassen in Unterricht oder an außerschulischen Lernorten. Jedoch war insbesondere die Benennung der Gastropoda auf Artniveau für viele Teilnehmende schwierig. *Cepaea nemoralis* wurde in der Befragung häufig als ‘gewöhnliche Schnecke‘ bezeichnet. Das Antwortverhalten unterstreicht die geringe Differenzierung der Teilnehmenden zischen verschiedenen Arten, insbesondere bei Organismen mit einem geringen emotionalen Bezug.

Eine Zuordnung der Organismen zur Klasse der Insecta gelang vielen Befragten. Häufig wurde aber keine genauere Beschreibung der Organismen innerhalb dieser Klasse gegeben. Einzelne markante Gruppen, wie Schmetterlinge oder Libellen wurden öfter erkannt, jedoch selten bis auf Artniveau benannt. Schwierigkeiten im Benennen traten besonders bei der Unterscheidung von Käfern und Wanzen auf, die für ungeübte Betrachter häufig einen recht ähnlichen Körperbau zeigen (Schaefer, 2018). Die Feuerwanze, redensartlich häufig auch als ‘Feuerkäfer‘ bezeichnet, wurde daher seltener als Wanze erkannt.

Insgesamt fiel eine Bezeichnung von Insekten auf Artniveau häufig schwer, da die Unterschiede zwischen Arten teilweile mit bloßem Auge im Alltag schlecht zu erkennen sind. Dennoch ist eine Zuordnung von Insekten zu verschiedenen Gruppen wichtig, um ihre ökologische Bedeutung nachvollziehen zu können. Hierbei spielen, insbesondere innerhalb der Klasse der Insecta, Erfahrungen mit den Organismen und damit verbundene Emotionen eine bedeutende Rolle. Häufig werden Insekten innerhalb der Hymenoptera per se als ‘Bienen‘ oder ‘Wespen‘

bezeichnet und mit schmerzhaften Emotionen durch Stiche oder aber mit positiven Emotionen wie ihrer Rolle als Bestäuber verbunden (Castillo-Huitrón et al., 2020). Durch diese emotionale Bedeutung bleiben die Organismen in Erinnerung, wobei es bei der Kenntnis der Art nicht ausschlaggebend ist, ob die emotionalen Verknüpfungen positiv oder negativ sind (Castillo-Huitrón et al., 2020). Ähnliche Verknüpfungen lassen sich auch zu Mücken und morphologisch ähnlichen Arten erkennen. Auf eine genauere Betrachtung der Organismen wird meist verzichtet, wodurch die Vielfalt der Organismen weniger detailliert wahrgenommen wird. Eine genauere Betrachtung der Artenvielfalt innerhalt der Insecta kann jedoch essenziell sein, um die Notwendigkeit dem drastischen Insektensterben (Hallmann et al., 2017) entgegenzuwirken, zu erkennen.

Insbesondere innerhalb der Amphibia stellte die Benennung der korrekten Klasse viele Befragte vor große Herausforderungen. Die Unterscheidung zwischen Amphibien und Reptilien fiel vielen Befragten schwer. So wurde besonders bei den Schwanzlurchen als Antwort vermehrt ‘Eidechse‘ oder ‘Leguan‘ genannt. Typische Merkmale zur wissenschaftlichen Unterscheidung von Amphibien und Reptilien, wie eine dünne, drüsenreiche Haut bei den Amphibien im Vergleich zu einer Beschuppung bei Reptilien (Schaefer, 2018) scheinen für viele Befragte kein bekanntes und ausschlaggebendes Merkmal zu sein, wie auch durch Jaun-Holderegger (2019) bereits betont wurde.

Auch bei der Bekanntheit von Säugetieren spielt die emotionale Empfindung für einzelne Arten eine bedeutende Rolle (Jaun-Holderegger, 2019; Yorek et al., 2009). So war der Eisbär, der morphologisch besonders auffällig ist und auch medial häufig insbesondere im Zusammenhang mit emotionalen Kontexten wie dem Klimawandel präsentiert wird, nahezu allen Befragten bekannt. Den wenigen Befragten, die diese Art nicht als solchen benannten, können motivationale Gründe im Ausfüllen des Fragebogens und nicht Unkenntnis unterstellt werden, da von einer allgemeinen Bekanntheit des Eisbären ausgegangen werden kann. Auch *Sus scrofa* wurde von vielen Befragten eindeutig erkannt und korrekt, mindestens mit deutschem Artnamen, benannt. Hier liegt die Bekanntheit der Art vermutlich ebenfalls in dem für die heimische Fauna einzigartigen Aussehen und der Häufigkeit der Art. Zudem sind das Wildschwein und besonders sein domestizierter Verwandter, das Hausschwein, als Nahrungsquelle bekannt. Der ebenfalls prominente Rotfuchs wird von vielen Befragten als ‘Fuchs‘ bezeichnet. Diese Benennung ist zwar für die heimische Fauna ausreichend, da es in Deutschland keine weiteren Fuchsarten gibt, lässt jedoch andere Fuchsarten außer Acht. Seltener wird innerhalb der abgefragten Mammalia das Alpenmurmeltier erkannt, während *Castor fiber* häufig korrekt bezeichnet wird. Die

ungenauere Benennung von *Marmota marmota* durch die Befragten lässt sich zum einen durch das Verbreitungsgebiet der Art begründen. Da die Befragung überwiegend in NRW stattgefunden hat, haben die wenigsten einen alltäglichen Bezug zum Alpenmurmeltier. Zudem ähnelt *Marmota marmota* in seiner Fellstruktur und Färbung anderen mehr oder weniger heimischen Arten wie dem Biber. Dadurch lassen sich Verwechslungen bei einer Abfrage per Foto begründen. Insgesamt wurden die in der Befragung enthaltenen Säugetierarten von allen befragten Kohorten besonders gut erkannt. Dieses Ergebnis deckt sich mit denen von Gerl et al. (2021) sowie Hooykaas et al. (2019), die in ihren Studien ebenfalls eine erhöhte Bekanntheit von Säugetierarten im Vergleich zu anderen Taxa feststellten. Dies lässt sich zum einen im verstärkt ausgeprägten Interesse an Säugetieren bei vielen Personen begründen (Moss & Esson, 2010), zum anderen ist die emotionale Bindung zu diesen Tieren ausgeprägter (Yorek et al., 2009).

6.5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie verdeutlichen, dass die zoologische Artenkenntnis zwischen verschiedener Kohorten stark variiert und wie eingangs angenommen bei vielen Gruppen gering ausgeprägt ist. Dieser Befund unterstreicht die Notwendigkeit einer intensiveren Vermittlung von Artenkenntnis, auch um das Verständnis und die Wertschätzung für Biodiversität zu fördern. Demographische Faktoren wie das Alter scheinen einen untergeordneten Einfluss auf die Artenkenntnisse zu haben, während eine aktive Auseinandersetzung mit der Natur und Umwelt (z. B. im Naturschutz) diese fördert.

Ebenso scheint die emotionale Bindung zu bestimmten Tierarten, wie beispielsweise Säugetieren, einen positiven Einfluss auf die Artenkenntnis zu haben. Dies legt nahe, dass auch die emotionale Komponente in der Vermittlung von Artenwissen berücksichtigt werden sollte. Hierzu kann auch die Vermittlung von Stützwissen förderlich sein. Zusätzliche Erkenntnisse könnten subjektive Einschätzungen der emotionalen Bindung zu Tierarten durch die Befragten liefern.

Die Schwierigkeit bei der Benennung und Differenzierung weniger bekannter Tiergruppen, wie Amphibien und Insekten, zeigt, dass es wichtig ist, auch diese Gruppen stärker in Bildungsmaßnahmen zu integrieren. Denn ein umfassendes Verständnis der Artenvielfalt ist essenziell, um ökologische Zusammenhänge zu begreifen und Schutzmaßnahmen gezielt umsetzen zu können. Hier besteht besonders im Hinblick auf das Insektensterben ein dringender Handlungsbedarf.

In zukünftigen Studien können zudem zusätzliche Personengruppen in die Befragung aufgenommen sowie bestehende Gruppen ausgeweitet werden, um einen zunehmend umfassenden Blick über die zoologische Artenkenntnis zu erlangen, in die durch die vorliegende Studie ein erster Einblick gegeben werden konnte.

7 Teilstudie 2: Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden von 2009 – 2024

7.1 Hinführung zum Thema

Der fortschreitende Verlust von Biodiversität stellt eine zentrale Herausforderung für Gesellschaft und Forschung dar, da viele Ökosysteme und Arten weltweit bedroht sind (IUCN, 2023). Eine fundierte Bildung für nachhaltige Entwicklung könnte das Verständnis und die Wertschätzung für die biologische Vielfalt stärken (Hesse, 2002; Hooykaas et al., 2019; Sturm et al., 2020). Wie in der ersten Teilstudie gezeigt werden konnte, ist jedoch die zoologische Artenkenntnis bei vielen Menschen gering. Insbesondere die fehlenden Kenntnisse bei Lehramtsstudierenden mit dem Fach Biologie sind besorgniserregend. Lehrkräfte spielen bei der frühen Vermittlung von Artenkenntnis eine zentrale Rolle, was jedoch auch ihrerseits eine fundierte Ausbildung in diesem Bereich erfordert. Um die Ausbildung in Schulen und Universitäten auch im Sinne der globalen Nachhaltigkeitsziele zu verbessern, ist es hilfreich, zusätzlich zu den aktuellen Artenkenntnissen von Studierenden auch die Entwicklung über die vergangenen Jahre systematisch zu untersuchen. Zudem lassen vorangegangene Studien einen Zusammenhang zwischen der Bewertung der eigenen Kompetenz und der tatsächlichen Artenkenntnis vermuten. Ein entsprechender Zusammenhang könnte auch neue Erhebungs- und Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen. Daher wurde die zweite Teilstudie der vorliegenden Arbeit mit den folgenden Fragestellungen durchgeführt:

> **F2.1** Wie hat sich die tatsächliche zoologische Artenkenntnis Lehramtsstudierender des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?
>
> **F2.2** Wie hat sich die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis Lehramtsstudierender des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?
>
> **F2.3** Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis und der tatsächlichen Artenkenntnis?

7.2 Material und Methode

7.2.1 Versuchsdesign

Die Erfassung der Artenkenntnis erfolgte durch einen anonymisierten Fragebogen. Es wurden neben demografischen Daten (Alter / Geschlecht) die *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* (Tabelle 11) mittels einer fünfstufigen Likert-Skala erhoben.

Tabelle 11: Items des Konstruktes *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis*. *Das Item wurde vor der Analyse umcodiert.

Variablen-name	Item
SF01	Mit Hilfe von Bestimmungsbüchern oder -apps kann ich jedes Tier bestimmen, wenn ich mich anstrenge.
SF02*	Es fällt mir schwer, Tiere zu bestimmen.*
SF03	Wenn ich ein unbekanntes Tier bestimmen soll, glaube ich, dass ich das schaffen werde.
SF04	Auch wenn andere an meiner Artenkenntnis zweifeln, bin ich mir sicher, dass ich gute Leistungen erzielen kann.
SF05	Ich bin mir sicher, dass ich eine gute Artenkenntnis der Tiere besitze.

Zudem wurde die tatsächliche Artenkenntnis durch das Benennen von Tierfotos überprüft. Im Jahr 2023 wurden zusätzliche Arten, einschließlich der Klasse der Mammalia, in den Test aufgenommen. Dadurch sollte die zoologische Artenkenntnis umfassender abgebildet werden können. Die abgefragten Tierarten sind in Tabelle 5 (Teilstudie 1, Kapitel 6.2.1) präsentiert.

Von 2009 bis 2019 wurde ein Papierfragebogen verwendet, wobei die Tierfotos den Teilnehmenden per Beamer gezeigt wurden. In den Jahren 2020 und 2021 wurde pandemiebedingt ein Online-Fragebogen verwendet, ab 2022 wurde auch bei der Rückkehr zur Präsenzlehre weiterhin das Online-Format des Fragebogens genutzt.

Die Befragung wurde durch den Lehrstuhl der Zoologie und Didaktik der Biologie der BUW im Jahr 2009 etabliert. Die Methodik der Datenerhebung änderte sich in den angebenden Zeiträumen unabhängig vom durchführenden Dozenten nur soweit wie angebenden. Die gesammelte Digitalisierung und Auswertung aller seit 2009 erfassten Daten fand erst ab dem Jahr 2020 statt.

7.2.2 Vorbereitung des Datensatzes

Die Datenanalyse wurde mit IBM SPSS Statistics Version 29 durchgeführt. Für das Konstrukt *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* wurden nach Feststellung der Zufälligkeit von Fehlwerten mittels MCAR-Test nach Little ($\chi^2(48) = 51{,}88$; n.s.), Fehlwerte (< 10 % pro Variable) durch Verwendung des EM-Algorithmus ersetzt. Daraus ergab sich ein vollständiger Datensatz von $N = 840$ Fällen.

7.2.3 Stichprobe

Im Zeitraum von 2009 bis 2024 nahmen insgesamt N = 840 Studierende (N_w = 590; N_m = 244; $N_{keine\ Antwort}$ = 6) an der Studie teil. Die Studierenden waren im Durchschnitt 22 Jahre alt und mehrheitlich im vierten Semester ihres Biologiestudiums. Der Großteil studierte den Teilstudiengang Biologie im Kombinatorischen Bachelor of Arts mit dem Berufsziel Lehrer*in an Gymnasien und Gesamtschulen (81,0 %), während 19,0 % Studierende des Sachunterrichts an Grundschulen oder der Sonderpädagogischen Förderung im Biologieunterricht waren.

7.2.4 Gütekriterien der Messinstrumente

Die Reliabilität des Konstruktes *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* wurde durch Cronbachs α überprüft, wobei ein Wert von α = 0,833 erreicht wurde. Zur Auswertung der Freitextantworten zu den Tierfotos wurde das vorgestellte Punkteschema verwendet (Tabelle 5). Aufgrund der nicht-normalverteilten Daten wurden nicht-parametrische Testverfahren (u.a. Kruskal-Wallis-Test und Spearman-Korrelationen) verwendet (Kapitel 5.3). Effektstärken wurden nach Cohen (1988) bewertet.

7.3 Ergebnisse

Tabelle 12: Informationen zum Manuskript

Titel	Die Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden
Autor*innen	Luisa Beunink[1], Karsten Damerau[2], Angelika Preisfeld[1], Ingo Busse[3], Sabrina Bleidißel[1] [1] Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Zoologie und Didaktik der Biologie [2] Europa-Universität Flensburg, Institut für Biologie und ihre Didaktik [3] Berufskolleg-Senne, Bielefeld
Journal	Naturschutz und Landschaftsplanung
Verlag	Eugen Ulmer, Stuttgart
Review	Double-blind peer review
Jahr	2024
DOI	10.1399/NuL.79735
Eigenanteil	Der Eigenanteil an der Arbeit betrug 90 %. Dazu gehört die Entwicklung der Forschungsfragen, die Digitalisierung und Durchführung der Befragung ab dem Jahr 2020 inkl. der Erweiterung des Fragebogens im Jahr 2023 und die Auswertung der gesamten Daten zur Publikation.
Status	veröffentlicht

Die Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden

Luisa Beunink[1], Karsten Damerau[2], Angelika Preisfeld[1], Ingo Busse[3], Sabrina Bleidißel[1]

[1] Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Zoologie und Didaktik der Biologie
[2] Europa-Universität Flensburg, Institut für Biologie und ihre Didaktik
[3] Berufskolleg-Senne, Bielefeld

Zusammenfassung

Der fortschreitende Biodiversitätsverlust unserer heimischen Flora und Fauna rückt immer mehr in den Fokus von Gesellschaft und Politik. Doch trotz zunehmenden Interesses vieler Menschen an der Natur nimmt die Artenkenntnis innerhalb unserer Bevölkerung immer weiter ab. Eine Chance dieser Entwicklung entgegenzuwirken, bietet ein vielseitiger Biologieunterricht, in dem Artenvielfalt und Artenschutz im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung thematisiert werden. Ihrer Rolle als Multiplikatoren von Umweltbildung können Lehrkräfte in diesem Rahmen jedoch nur mit einer eigenen fundierten Artenkenntnis gerecht werden. In der vorliegenden Studie wurde im Zeitraum von 2009 - 2024 die zoologische Artenkenntnis und die Selbsteinschätzung der eigenen Artenkenntnis mittels Fragebogen von $N = 840$ Lehramtsstudierenden der Biologie erhoben ($N_W = 590$; $N_M = 244$; $N_{\text{ohne Angabe}} = 6$). Im Erhebungszeitraum liegt die Artenkenntnis auf einem anhaltend niedrigen Niveau. Eine leichte Abnahme über die Erhebungsjahre (2009 - 2024) kann statistisch gezeigt werden.

Abstract

The progressive loss of biodiversity in our native flora and fauna is increasingly becoming the focus of society and politics. Yet, despite the growing interest of many people in nature, species knowledge within our population continues to decline. Versatile biology lessons, in which biodiversity and conservation are addressed within the framework of education for sustainable development, offers an opportunity to counteract this trend. However, teachers can only fulfill their role as multipliers of environmental education if they themselves have a solid knowledge of species. In the present study, the zoological species knowledge of $N = 840$ biology student teachers ($N_W = 590$; $N_M = 244$; $N_{no\ answer} = 6$) was assessed, along with their self-perceived competence in species knowledge, through a questionnaire survey from 2009 to 2024. During the survey period, species knowledge remains at a persistently low level. A slight decrease over the survey years (2009 – 2024) can be shown statistically.

1 Einleitung

1.1 Artenkenntnis

Der fortschreitende Verlust von Biodiversität steht seit geraumer Zeit im Fokus von Gesellschaft und Forschung. So sind weltweit viele Ökosysteme, Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht, und ihre Zahl steigt stetig an (Butchart et al., 2010; IUCN, 2022).

Eine fokussierte Bildung für nachhaltige Entwicklung (De Haan, 2008; Varela-Candamio et al., 2018; Weber, 2018; Wittig & Niekisch, 2014) mit der Ausbildung einer fundierten biologischen Artenkenntnis kann - implementiert bereits in der frühkindlichen Bildung - die Bedeutung und Wertschätzung eines intakten biologischen Systems Erde zusätzlich aufbauen und stärken (Gaston & Spicer, 2004; Palmberg et al., 2015; Randler & Bogner, 2006; Randler et al., 2005; White et al., 2018). Die darüber erworbenen Kenntnisse über Flora und Fauna ermöglichen es, unsere Umwelt in besonderem Maße als schützenswert zu erkennen und den Einsatz für den Erhalt von Ökosystemen und Biodiversität zu fördern (Hosaka et al., 2017; Schulte et al., 2019). So hat ein verbessertes Verständnis für Biodiversität auch das Potential, dem Image des Naturschutzes als Planungs- und Bauverzögerer entgegenzuwirken (Schulte et al., 2019). Auch politisch werden der Biotopschutz sowie der Schutz von Artenvielfalt als eine der wichtigsten Umweltaufgaben erkannt. Daher wird der Einsatz zum Erhalt der Biodiversität auch zukünftig auf vielfältige Art und Weise, unter anderem durch Naturschutzrichtlinien oder die Agenda 2030, gefördert (Martens, 2018).

Eschenhagen (1982) unterscheidet in seiner Studie zur Artenkenntnis von Schüler*innen zwischen den Begriffen Arten- und Formenkenntnis. Dabei beschreibt die Artenkenntnis das genaue Benennen einer Art, während die Formenkenntnis das Einordnen einer Art in ein übergeordnetes Taxon beschreibt. Da die Begriffe in der Literatur jedoch häufig synonym verwendet werden und eine klare Abgrenzung an vielen Stellen fehlt, wird im Weiteren nicht zwischen diesen beiden Begriffen unterschieden.
In vorangegangenen Studien wurde bereits die Artenkenntnis von Schüler*innen, meist über die Präsentation von Fotos oder Bildern verschiedener Tier- und Pflanzenarten, die die Befragten so genau wie möglich benennen sollten, objektiv ermittelt (Gerl et al., 2018; Gerl et al., 2021; Prokop et al., 2015; Sturm et al., 2020). Dabei wurden meist einzelne Taxa abgefragt, so z.B. die Gruppe der Vögel (Sturm et al., 2020). Andere Studien wie Enzensberger et al. (2022) oder Randler & Heil (2021) behandeln die Artenkenntnis von Erwachsenen. Auch die Artenkenntnis Studierender wurde u.a. durch Schmäing & Grotjohann (2023), hier anhand der Fauna des Wattenmeers, auf diese Weise erfasst. Palmberg et al. (2015) ermittelten bei einer Gruppe von Studierenden des Grundschullehramts die botanische und zoologische Artenkenntnis ebenfalls durch einen kurzen Fragebogen. Auch Hooykaas et al. (2019) untersuchten die zoologische Artenkenntnis einer großen und recht diversen Stichprobe in den Niederlanden und fragten verschiedenste dort heimische Tierarten ab. Ähnlich erfragten Randler et al. (2007) die Bezeichnungen verschiedener heimischer Tierarten bei Besuchern eines Parks in Deutschland. Remmele & Lindemann-Matthies (2018) untersuchten in ihrer Studie die

Artenkenntnis von Eltern und ihren Kindern, um den Einfluss des Elternhauses auf die Artenkenntnis abbilden zu können. Besonders groß angelegt war die Studie arten|pisa von Schulemann-Maier & Munzinger (2018), in der die zoologische Artenkenntnis von mehr als 7800 Teilnehmenden anhand von Bildern verschiedener heimischer Tierarten ermittelt wurde.

Die meisten dieser Studien zeigen, dass die Artenkenntnis in unserer Gesellschaft zumeist gering ist und die Zahl der Artenkenner*innen, besonders unter jungen Menschen, bereits seit Jahrzehnten drastisch abnimmt (Frobel & Schlumprecht, 2016; Schulte et al., 2019).
Die Vermittlung von Artenkenntnis an junge Menschen muss daher besonders in den Bildungseinrichtungen, allen voran Schulen, Universitäten und außerschulische Lernorte aber auch Kindertagesstätten, gefördert werden (Frobel & Schlumprecht, 2016). Die Kinder, Schüler*innen und Studierenden sollen dort die Vielfalt der heimischen Flora und Fauna von gut ausgebildeten und erfahrenen Lehrenden erleben, kennenlernen und die Bedeutung der Biodiversität für den Menschen schätzen lernen, um diese nachhaltig zu schützen. Für diese Vermittlung ist eine solide Artenkenntnis bei den Lehrenden notwendig.

Lehramtsstudierende geben vor allem die Schule und ihr Elternhaus als wichtigste Quelle ihrer (recht geringen) Artenkenntnis an (Lindemann-Matthies et al., 2017). Dies unterstreicht die Bedeutung von Schulen und Biologieunterricht. In den Lehrplänen der Länder wird die Vermittlung der Artenkenntnis unterschiedlich stark gewichtet, findet sich jedoch in den meisten Fachlehrplänen im Laufe der schulischen Ausbildung wieder (Kelemen-Finan & Dedova, 2014). Defiziten in der Artenkenntnis von Biologielehrkräften muss daher durch eine fundierte Ausbildung bereits in der ersten Phase der Lehrer*innenbildung entgegengewirkt werden, um nachhaltig essentielles Fachwissen und spezifisches fachdidaktisches Vermittlungswissen zu fördern. Das vorhandene generelle Interesse an Umweltbelangen dieser Kohorte (Urhahne, 2006) kann dabei unterstützend wirken.

Wie insbesondere die zoologische Artenkenntnis angehender Biologielehrkräfte ausgeprägt ist, wurde bisher nur in wenigen Studien ermittelt (u.a. Palmberg et al., 2015; Schmäing & Grotjohann, 2023), ohne dabei einen Fokus auf eine bestimmte Tiergruppe oder ein Ökosystem zu legen. Für eine sinnvolle Förderung in der Lehramtsausbildung ist das Wissen über die aktuelle Artenkenntnis Studierender zielführend. Implikationen für eine Ausbildung im Sinne der Nachhaltigkeitsziele 14 „Leben unter Wasser“ und 15 „Leben an Land“ werden diskutiert.

1.2 Fragestellungen

Daher ergaben sich aus dem Stand der aktuellen Forschung und der in verschiedenen Studien dargestellten gering ausgeprägten zoologischen Artenkenntnis die folgenden Fragestellungen:

F1 Wie hat sich die tatsächliche zoologische Artenkenntnis Lehramtsstudierender

des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?

F2 *Wie hat sich die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis Lehramtsstudierender des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?*

F3 *Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis und der tatsächlichen Artenkenntnis?*

2 Material und Methode

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen im Zeitraum von 2009 bis 2024 insgesamt N = 840 Studierende teil (N_W = 590; N_M = 244; $N_{\text{ohne Angabe}}$ = 6). Die Befragten waren zum Zeitpunkt der Erhebung durchschnittlich 22 Jahre alt. Sie studierten mehrheitlich den Teilstudiengang Biologie im Kombinatorischen Bachelor of Arts (81,0 %) mit dem Berufsziel Lehrer*in an Gymnasien und Gesamtschulen, zudem nahmen Studierende des Sachunterrichts an Grundschulen und der Sonderpädagogischen Förderung im Biologieunterricht (∑ 19,0 %) teil. Die Befragten waren zum Zeitpunkt der Befragung mehrheitlich im vierten Semester ihres Biologiestudiums.

Die Fallzahlen (Tab. 1) variierten zwischen den Erhebungszeitpunkten im Zeitraum von 2009 bis 2024 zwischen minimal N_{2012} = 40 und maximal N_{2021} = 92. Aus organisatorischen Gründen fehlen Daten aus den Jahren 2013, 2016 und 2017.

Tabelle 1: *Stichprobenzusammensetzung zu den Erhebungszeitpunkten im Zeitraum von 2009 bis 2024*

Erhebungsjahr	**Anzahl Fälle**			
	Gesamt	Weiblich	männlich	keine Angabe
2009	89	73	16	/
2010	61	44	17	/
2011	67	48	19	/
2012	40	31	9	/
2014	41	31	10	/
2015	57	41	16	/
2018	72	52	20	/
2019	56	36	20	/
2020	60	39	17	4
2021	92	62	28	2
2022	64	41	23	/
2023	76	48	28	/
2024	65	44	21	/
Gesamt	**840**	**590**	**244**	**6**

2.2 Studiendesign und Messinstrumente

Die Erfassung der Artenkenntnis fand mittels anonymisiertem Fragebogen statt. Im ersten Teil der Befragung wurden demographische Daten (Alter/Geschlecht) und die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis erhoben. Diese wurde über die Bewertung von fünf Aussagen zur Einschätzung der eigenen zoologischen Artenkenntnis anhand einer fünfstufigen Likert-Skala von 0 (stimme gar nicht zu) bis 4 (stimme voll

zu) erfasst (Beispielitems: „Ich bin mir sicher, dass ich eine gute Artenkenntnis der Tiere besitze.“ „Es fällt mir schwer, Tiere zu bestimmen.“).

Im zweiten Teil der Befragung wurde die tatsächliche zoologische Artenkenntnis ermittelt. Dazu wurden den Studierenden Fotos von Tieren gezeigt, die in offenen Textfeldern möglichst genau benannt werden sollten. Dabei wurden verschiedene Tierarten abgefragt, deren Auswahl im Jahr 2009 insbesondere basierend auf ihrer Relevanz im schulischen Kontext (u.a. Beobachtbarkeit, Häufigkeit, Schutzstatus) getroffen wurde. Im Jahr 2023 wurden zusätzliche Arten zur Befragung hinzugefügt. Dadurch konnte zum einen die Klasse der Mammalia integriert werden. Als anzunehmende „Kontrollart“, die von allen Teilnehmenden erkannt wird, wurde der Eisbär in die Befragung aufgenommen. Ein leeres Antwortfeld bei diesem Foto lies eine geringe Antwortmotivation des/der Teilnehmer*in vermuten. Zum anderen waren die enthaltenen Taxa (mit Ausnahme der Vögel) durch eine annähernd vergleichbare Anzahl von Tierarten vertreten und konnten vielfältiger abgebildet werden (Tab. 2). Die Bearbeitungszeit des Fragebogens betrug insgesamt 10 – 15 Minuten zuzüglich weniger Minuten für die Instruktion.

Tabelle 2: *Auflistung der im Wissenstest mit Fotos abgefragten Tierarten mit deutschem und wissenschaftlichem Artnamen sowie Angabe des Punkteschemas je Art (angegeben ist eine Auswahl der Antwortmöglichkeiten für 1 und 2 Punkte). Mit * markierte Tierarten waren seit 2009 in der Befragung enthalten. Mit + markierte Arten wurden im Jahr 2023 der Befragung hinzugefügt.*

1 Punkt	2 Punkte	3 Punkte	4 Punkte	
		Deutscher Artname	**Wiss. Artname**	**Befragung**
Mollusca	Bivalvia/Muschel	Miesmuschel	*Mytilus edulis*	*
	Gastropoda/Schnecke	Hain-Bänderschnecke	*Cepaea nemoralis*	*
	Gastropoda/Schnecke	Weinbergschnecke	*Helix pomatia*	*
	Gastropoda/Schnecke	Schließmundschnecke	*Balea biplicata*	+
	Gastropoda/Schnecke	Tigerschnegel	*Limax maximus*	+
Aves / Vogel	Fink	Buchfink	*Fringilla coelebs*	*
	Specht	Buntspecht	*Dendrocopos major*	*
	Rabenvogel	Elster	*Pica pica*	*
	Meise	Kohlmeise	*Parus major*	*
	Sperlingsvogel	Rotkehlchen	*Erithacus rubecula*	*
	Sperlingsvogel	Zaunkönig	*Troglodytes troglodytes*	*
	Eule	Schleiereule	*Tyto alba*	*
	Ente	Stockente	*Anas platyrhynchos*	*
Amphibia	Frosch	Laubfrosch	*Hyla arborea*	*
	Kröte	Erdkröte	*Bufo bufo*	*
	Salamander	Feuersalamander	*Salamandra salamandra*	*
	Molch	Bergmolch	*Ichthyosaura alpestris*	+
Insecta	Libelle	Plattbauch	*Libellula depressa*	*
	Wanze	Feuerwanze	*Pyrrhocoris apterus*	+
	Käfer	Feldmaikäfer	*Melolontha melolontha*	*
	Schmetterling	Admiral	*Vanessa atalanta*	+
	Schmetterling	Kleiner Fuchs	*Aglais urticae*	+
Mammalia / Säugetier	Fuchs	Rotfuchs	*Vulpes vulpes*	+
	Schwein	Wildschwein	*Sus scrofa*	+
	Bär	Eisbär	*Ursus maritimus*	+
Mammalia / Säugetier / Nagetier	Nutria/Bisamratte	Biber	*Castor fiber*	+
	Hörnchen	Murmeltier	*Marmota marmota*	+

Der Fragebogen wurde am ersten Kurstag eines universitären Praktikums zur Förderung der zoologischen Artenkenntnis eingesetzt.

Die Befragung fand in den Jahren 2009 bis 2019 als Papierfragebogen statt. Die Fotos der in der zweiten Phase des Fragebogens zu benennenden Organismen wurden nacheinander per Beamer dem gesamten Kurs präsentiert. In den Jahren 2020 und 2021 musste die Datenerhebung pandemiebedingt online durchgeführt werden, wobei der zuvor eingesetzte Fragebogen mit SoSci Survey (Leiner, 2019) in einen Online-Fragebogen

umgewandelt wurde. Die Fotos der Organismen für die zweite Phase der Befragung konnten in diesen integriert werden. Ab dem Jahr 2022 fand die Befragung auch bei Rückkehr zur Präsenzlehre weiterhin im Online-Format statt, der Zugang wurde durch einen QR-Code generiert.

2.3 Datenanalyse

Die Datenanalyse wurde mit IBM SPSS Statistics Version 29 durchgeführt.
Der Datensatz zum Konstrukt *Selbsteinschätzung zoologische Artenkenntnis* wurde auf Fehlwerte und deren zufälliges Auftreten per MCAR-Test nach Little (Little, 1988) überprüft. Zufällig auftretende Fehlwerte wurden anschließend mittels EM-Algorithmus ersetzt. Im Wissenstest wurden fehlende Antworten mit 0 Punkten bewertet, sodass dort keine Fehlwertersetzung notwendig war.

Die Reliabilitätsanalyse des Konstruktes *Selbsteinschätzung zoologische Artenkenntnis* mittels Cronbachs α (Zöfel, 2001) sowie die Analyse der Trennschärfe der einzelnen Items, stellten die Einhaltung notwendiger Gütekriterien der Erhebung sicher. Werte von Cronbachs $\alpha > 0{,}7$ wurden dabei als gut gewertet (Schmitt, 1996) und Werte der Trennschärfe der implizierten Items von $r_{i(t\text{-}i)} > 0{,}2$ noch als akzeptabel angesehen (Möltner et al., 2006).
Für das angesprochene Konstrukt *Selbsteinschätzung zoologische Artenkenntnis* ergab sich ein Wert von Cronbachs $\alpha = 0{,}833$. Aufgrund guter Reliabilitätswerte und Trennschärfen $\geq 0{,}576$ bei allen Items, wurden keine Items aus der Analyse ausgeschlossen. So flossen fünf Items in die Berechnung der Summenscores (normiert auf ein gemeinsames Maximum von 4 Punkten) und die weiteren Analysen des Konstruktes ein.

Für die Bepunktung der Freitextantworten zu den Fotos der Tierarten wurde folgendes Schema verwendet (Tab. 2). Wissenschaftliche Artnamen zur Benennung der Organismen (bspw. „*Bufo bufo*“) wurden mit vier Punkten bewertet. Der korrekte deutsche Artname (bspw. „Erdkröte“) erzielte drei Punkte, ungenauere aber korrekte Beschreibungen der Organismen (bspw. „Kröte“) wurden mit zwei Punkten gewertet. Innerhalb der Mammalia ergab die Antwort Nutria/Bisamratte zwei Punkte, auf Grund der großen Ähnlichkeit der Arten und der damit hohen Verwechslungsgefahr. Die Nennung übergeordneter Taxa mit ihrer deutschen oder wissenschaftlichen Bezeichnung (bspw. Amphib/Amphibia) ergab einen Punkt. Falsche Antworten wurden auf die nächste korrekte Bezeichnung herabgestuft. So ergab die Bezeichnung der Erdkröte als ‘Frosch’ noch einen Punkt, da das Tier korrekt als Amphib erkannt wurde.

Da die vorliegenden Daten nach den Ergebnissen des K-S-Tests nicht normalverteilt waren, wurde auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen. Es wurden erreichte Punkte im Wissenstest und der Selbsteinschätzung mittels Median (*Mdn*) angegeben. Die Streuung wurde durch den Interquartilsabstand (*IQR*) ermittelt.
Zusammenhänge zwischen Variablen wurden mittels Spearman-Korrelationskoeffizienten ermittelt (Spearman, 1910). Der Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben, mit anschließenden Dunn-Bonferroni-Tests als Post-hoc-Tests, wurde zum Vergleich aufeinanderfolgender Jahre eingesetzt (Zöfel, 2001). Die jeweiligen

Effektstärken wurden nach Cohen (1988) bewertet, wonach Werte von $r > 0{,}1$ als schwacher, $r > 0{,}3$ als mittlerer und $r > 0{,}5$ als großer Effekt gewertet wurden.

2.4 Vorbereitung des Datensatzes

Nach Feststellung der Zufälligkeit der Fehlwerte im Datensatz zum Konstrukt *Selbsteinschätzung zoologische Artenkenntnis* mittels MCAR-Test nach Little ($\chi^2(48) = 51{,}88$; n.s.), wurden Fehlwerte (< 10 % pro Variable) durch Verwendung des EM-Algorithmus ersetzt. Somit ergab sich ein vollständiger Datensatz von $N = 840$ Fällen.

3 Ergebnisse

F1 *Wie hat sich die tatsächliche zoologische Artenkenntnis Lehramtsstudierender des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?*

Als Indikator für die Veränderung der zoologischen Artenkenntnis der Teilnehmenden im analysierten Zeitraum diente das Ergebnis der zweiten Phase des Fragebogens. Die in der Benennung aller Tierfotos erreichte Punktzahl (maximal 4 Punkte) variierte abhängig vom Erhebungsjahr zwischen $Mdn_{2023} = 1{,}88$ Punkten ($IQR = 0{,}51$) und $Mdn_{2020} = 2{,}18$ Punkten ($IQR = 0{,}59$) (Abb. 1). Zwischen den Erhebungszeitpunkten variierte die erreichte Punktzahl teilweise signifikant ($\chi^2 = 62{,}183$; $p \leq 0{,}001$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten zwischen einigen aufeinanderfolgenden Jahren signifikante Unterschiede (Abb. 1). Aus Gründen der Relevanz und Übersichtlichkeit werden nur signifikante Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren berichtet.
Das Jahr der Datenerhebung und die zoologische Artenkenntnis über alle Tiergruppen hinweg korrelierten schwach negativ (Cohen, 1988) miteinander (Spearmans $\rho = -0{,}150$; $p \leq 0{,}001$).

Das Geschlecht hatte keinen Einfluss auf die erreichte Punktzahl ($U = 66279{,}000$; $Z = -1{,}804$; $p = 0{,}071$). Zwischen den Studiengängen ließ sich ein signifikanter Unterschied ermitteln ($\chi^2 = 7{,}187$; $p \leq 0{,}05$) wobei anschließende Post-hoc-Tests einen signifikanten Unterschied zwischen Studierenden des Teilstudiengangs Biologie im Kombinatorischen Bachelor of Arts und Studierenden der Sonderpädagogischen Förderung im Biologieunterricht zeigten ($p \leq 0{,}05$). Auf den Einfluss des Studiengangs soll jedoch auf Grund sehr unterschiedlich großer Stichproben an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

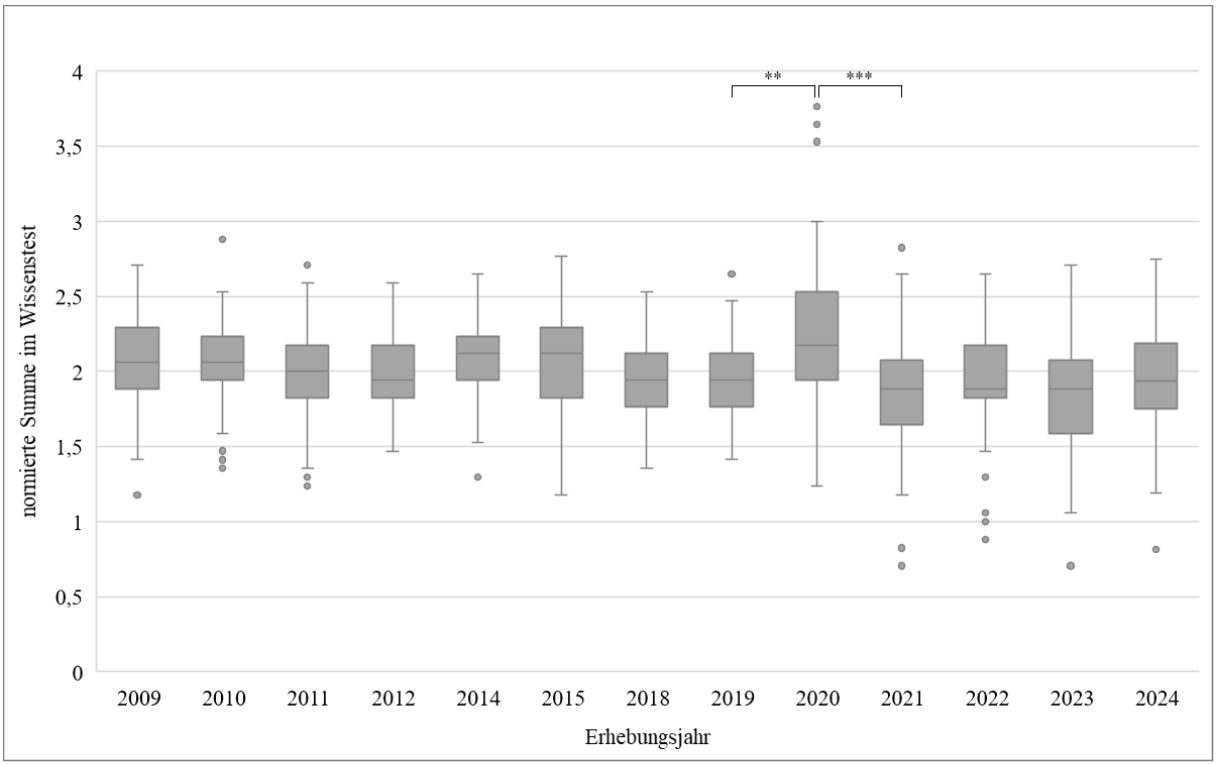


***Abbildung 1**: Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Lehramtsstudierenden der Biologie, gemessen an der Kompetenz, Fotos von verschiedenen Tierarten zu benennen. Enthalten sind hier zusammengefasst die Tierarten der ursprünglichen Befragung (in Tabelle 2 mit * markiert). Es werden nur signifikante Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren dargestellt. ** = $p \leq 0{,}01$; *** = $p \leq 0{,}001$*

In der nachfolgenden Analyse wurde die erreichte Punktzahl innerhalb der unterschiedlichen Artengruppen betrachtet (Abb. 2). Die Punktzahl zur Benennung des Taxons Mollusca variierte zwischen den Erhebungszeitpunkten teils signifikant ($\chi^2 = 78{,}121$; $p \leq 0{,}001$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Erhebungszeitpunkten. Das Jahr der Datenerhebung und die erreichte Punktzahl zum Taxon Mollusca korrelierten schwach negativ miteinander (Spearmans $\rho = -0{,}239$; $p \leq 0{,}001$).

Auch die Artenkenntnis zum Taxon der Aves variierte signifikant zwischen den Erhebungsjahren ($\chi^2 = 69{,}515$; $p \leq 0{,}001$), mit signifikanten Unterschieden im paarweisen Vergleich (Abb. 2). Das Erhebungsjahr und die Punktzahl korrelierten schwach negativ miteinander (Spearmans $\rho = -0{,}128$; $p \leq 0{,}001$).

Die erreichte Punktzahl zur Benennung im Taxon Amphibia veränderte sich ebenfalls signifikant zwischen den Erhebungsjahren ($\chi^2 = 27{,}543$; $p \leq 0{,}01$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten signifikante Unterschiede zwischen einigen Erhebungsjahren (Abb. 2). Zwischen der erreichten Punktzahl zum Taxon Amphibia und dem Erhebungsjahr konnte keine signifikante Korrelation festgestellt werden (Spearmans $\rho = -0{,}065$; $p = 0{,}058$).

Auch die erreichte Punktzahl zum Taxon Insecta variierte signifikant zwischen den Erhebungsjahren ($\chi^2 = 28{,}487$; $p \leq 0{,}01$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erhebungsjahren (Abb. 2). Das Jahr der Datenerhebung und die erreichte Punktzahl korrelierten schwach negativ miteinander (Spearmans $\rho = -0{,}145$; $p \leq 0{,}001$).

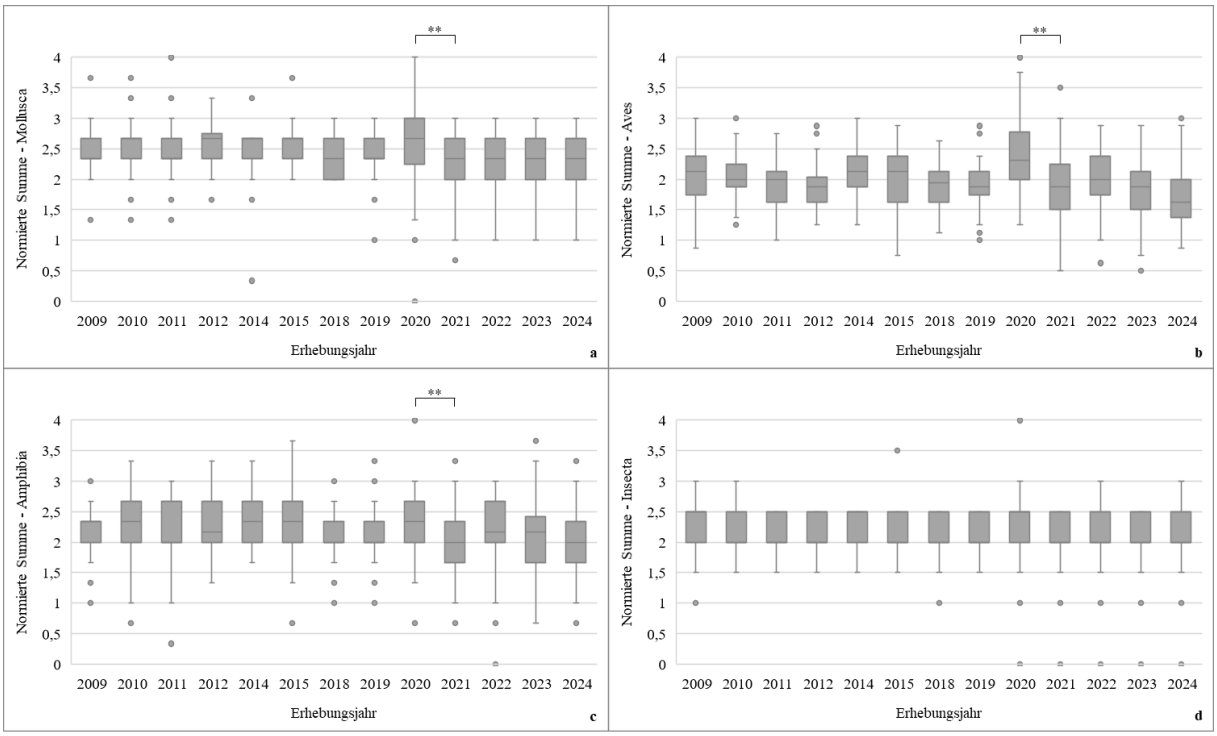


***Abbildung 2**: Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Lehramtsstudierenden der Biologie, gemessen an der Kompetenz, Fotos von verschiedenen Tierarten zu benennen. Enthalten sind hier die Tierarten der ursprünglichen Befragung (in Tabelle 2 mit * markiert), sortiert nach Taxa: a) Mollusca, b) Aves, c) Amphibia, d) Insecta. Es werden nur signifikante Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren dargestellt. ** = $p \leq 0{,}01$*

Im Jahr 2023 wurde der Wissenstest um Fotos weiterer Tierarten ergänzt (Tab. 2). Die Ergebnisse des erweiterten Fragebogens sind in Abbildung 3 dargestellt.

Die erreichte Punktzahl zum Taxon der Mollusca unterschied sich signifikant zwischen dem Jahr 2023 und dem Jahr 2024 (U = 1956,500; Z = -2,155; $p \leq 0{,}05$). Die erreichte Punktzahl in der Benennung der Arten der Amphibia (U = 2465,500; Z = -0,019; p = 0,985), der Aves (U = 2155,000; Z = -1,307; p = 0,191), der Insecta (U = 2240,500; Z = -1,001; p = 0,317) sowie der Mammalia (U = 2301,000; Z = -0,711; p = 0,477) unterschied sich nicht signifikant zwischen den beiden Jahren.

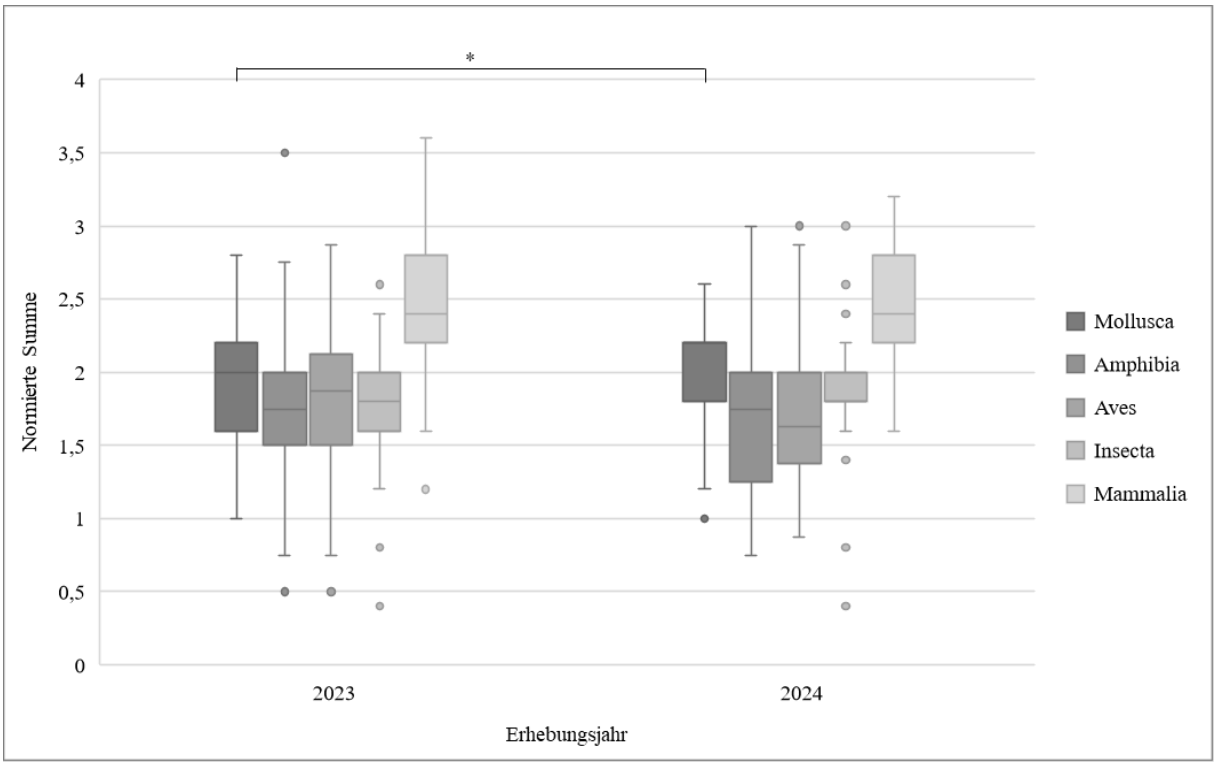


Abbildung 3: *Normierte Summen im erweiterten Wissenstest in den Jahren 2023 und 2024 in Abhängigkeit der abgefragten Taxa. * = $p \leq 0{,}05$*

F2 *Wie hat sich die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis Lehramtsstudierender des Fachs Biologie von 2009 bis 2024 verändert?*

Die Selbsteinschätzung zur zoologischen Artenkenntnis der Studierenden variierte zwischen $Mdn_{2019} = 0{,}80$ ($IQR = 0{,}55$) und $Mdn_{2024} = 2{,}00$ ($IQR = 1{,}10$) auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 0 bis 4 (Abb. 4). Zwischen den Erhebungszeitpunkten variierte die Selbsteinschätzung nach dem Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben signifikant ($\chi^2 = 93{,}809$; $p \leq 0{,}001$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten signifikante Unterschiede im paarweisen Vergleich. Auch hier werden nur signifikante Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren dargestellt (Abb. 4).

Das Jahr der Datenerhebung und die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis korrelierten schwach positiv (Cohen, 1988) miteinander (Spearmans $\rho = 0{,}124$; $p \leq 0{,}001$).

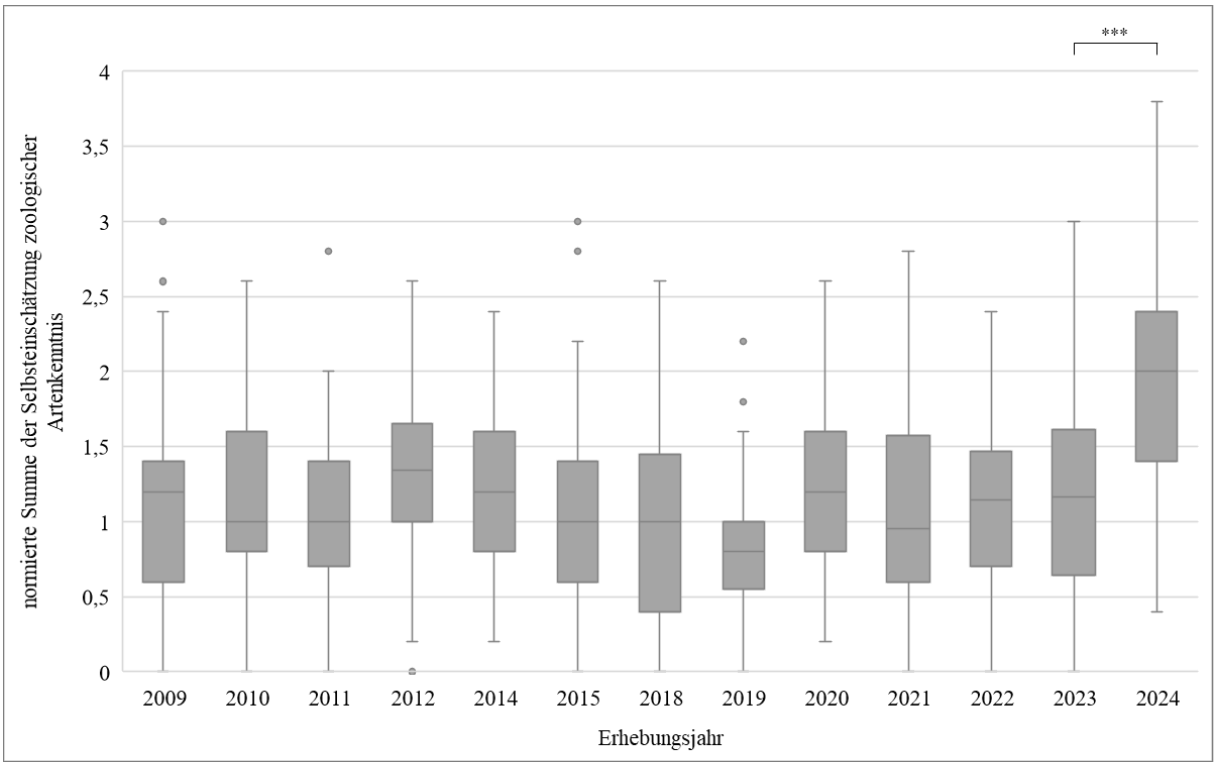


Abbildung 4: *Entwicklung der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis auf einer fünfstufigen Likert-Skala in Abhängigkeit der Erhebungsjahre. *** = $p \leq 0{,}001$*

F3 Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis und der tatsächlichen Artenkenntnis?

Ein Zusammenhang zwischen den Angaben der Befragten zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* und der tatsächlichen Kompetenz Tierarten zu benennen, wurde mittels Spearman-Korrelationskoeffizienten ermittelt. Dabei wurden in fast allen Jahren signifikant positive Korrelationen zwischen beiden Variablen ermittelt. Es ergaben sich überwiegend mittlere, teilweise auch große Effekten der Zusammenhänge (Tab. 3). Die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis und die gemessene Kompetenz, Tierarten zu benennen, hängen demnach positiv zusammen.

Tabelle 3: *Zusammenhang zwischen dem Ergebnis des Wissenstests und der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis (Spearman-Korrelationskoeffizienten) in Abhängigkeit des Erhebungsjahres (* = $p \leq 0{,}05$; ** = $p \leq 0{,}01$).*

Jahr	*N*	Spearmans ρ		Jahr	*N*	Spearmans ρ
2009	89	0,420**		2019	56	0,403**
2010	61	0,169		2020	60	0,378**
2011	67	0,293*		2021	92	0,403**
2012	40	0,347*		2022	64	0,357**
2014	41	0,391*		2023	76	0,392**
2015	57	0,299*		2024	65	0,365**
2018	72	0,182				

4 Diskussion

Unsere Ergebnisse bestätigen die bereits in Studien u.a. durch Gerl et al. (2018) oder Sturm et al. (2020) bei Schüler*innen sowie u.a. durch Schmäing & Grotjohann (2023) bei Studierenden der Biologie und des Sachunterrichts festgestellte schlechte zoologische Artenkenntnis, erkennbar an der sehr niedrigen erreichten Punktzahl von maximal Mdn_{2020} = 2,18 Punkten (*IQR* = 0,59) bei einem erreichbaren Maximum von 4 Punkten. Zusätzlich werden diese Erkenntnisse um die leichte Abnahme der zoologischen Artenkenntnis bei angehenden Biologielehrer*innen im Zeitraum von 2009 bis 2024 erweitert, die durch die signifikante leichte negative Korrelation zumindest statistisch gezeigt werden kann.

Die Daten verdeutlichen die zunehmende Problematik der schwindenden Artenkenntnis in der Gesellschaft, insbesondere bei der jüngeren Generation (Frobel & Schlumprecht, 2016), trotz gesteigerten Bewusstseins für und Interesse an der Umwelt (Albert et al., 2019).

Die Analyse der Kompetenz im Benennen einzelner Artengruppen zeigt den negativen Entwicklungstrend ebenfalls. Sowohl verschiedene Arten innerhalb der Mollusca als auch die abgefragten Vogelarten werden über den Erhebungszeitraum immer seltener mit korrektem Artnamen benannt, wie die negativen Korrelationen zwischen dem Erhebungsjahr und der erreichten Punktzahl verdeutlichen. Bei dem Taxon Insecta zeigt sich bereits im Jahr 2009, dass die Teilnehmenden die Tiere als Insekten (Abb. 2 und Tab. 2, erreichen von 1 Punkt), häufig sogar als Mitglieder einer bestimmten Ordnung innerhalb der Insecta (Abb. 2 und Tab. 2, erreichen von 2 Punkten) erkennen, die Arten jedoch nicht genauer benennen können.

Auffällig viele Punkte erreichen die Teilnehmenden im Erhebungsjahr 2020. Bedingt durch die Corona-Pandemie musste der Fragebogen online im Rahmen der Distanzlehre durchgeführt werden. Es kann dabei nicht ausgeschlossen werden, dass unter anderem, bedingt durch den fehlenden Bezug zur Lehrperson, das Internet als Hilfestellung zum Benennen der Tierarten verwendet und die Ergebnisse dadurch teilweise verfälscht wurden. Dieser Effekt relativierte sich im Jahr 2021 jedoch auch durch die erneute Betonung der Bedeutsamkeit der studentischen Mithilfe und den expliziten Hinweis, auf Hilfsmittel zu verzichten.

Nach der Erweiterung des Fragebogens im Jahr 2023 zeigt sich deutlich, dass das Taxon der Mammalia von den Studierenden besonders genau erkannt und benannt werden kann. Die Ergebnisse decken sich mit denen anderer Studien (Gerl et al., 2021; Hooykaas et al., 2019), die ebenfalls einen erhöhten Bekanntheitsgrad von Säugetierarten im Vergleich zu anderen Artengruppen zeigen. Das hier innerhalb der Mammalia abgefragte Murmeltier, das im Umfeld der Befragten nicht heimisch ist und äußerlich vergleichsweise unauffällig erscheint, ist dabei das am wenigsten bekannte Säugetier der Befragung. Gleichzeitig wird der Eisbär als exotische Tierart von allen Teilnehmenden als solcher erkannt und korrekt benannt und erfüllt somit die angenommene Eigenschaft als „Kontrollart“. Tierarten, die für ein Ökosystem besonders charakteristisch

sind (Schmäing & Grotjohann, 2023), durch mediale Betonung präsent sind oder charismatisch wirken (Hooykaas et a., 2019), genießen demnach einen besonders hohen Bekanntheitsgrad.

Zumeist schätzen die Studierenden ihre Fähigkeiten, die heimische Fauna zu benennen und zu bestimmen, realistisch ein und erkennen die Unsicherheiten in ihren Fähigkeiten. So ist die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis in fast allen Erhebungsjahren gering ausgeprägt und zeigt signifikante Zusammenhänge mit der erreichten Punktzahl im Wissenstest. Dies unterstreicht, dass sich, wie unter anderem durch Gerl et al. (2021), Hesse (2002) sowie Jäkel und Schaer (2004) gezeigt, auch die subjektive Selbsteinschätzung zur Ermittlung der aktuellen zoologischen Artenkenntnis in Ansätzen eignet und den Wissensstand befragter Kohorten abbilden kann. Die Richtung des positiven Zusammenhangs und ob eine höhere tatsächliche Kompetenz im Benennen von Tierarten eine verbesserte Selbsteinschätzung bedingt oder umgekehrt, lässt sich nicht abschließend ermitteln.
Das Erhebungsjahr 2024 zeigt abweichende Tendenzen, mit einer vergleichsweise hohen Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis und einem sehr niedrigen Wert der tatsächlich erreichten Punktzahl im Benennen der Tierarten im Erhebungszeitraum. Gründe für diese Abweichungen können hier nicht abschließend benannt werden. Die Entwicklung sollte in den kommenden Jahren weiterverfolgt werden, um Aussagen über mögliche Ursachen dieser Abweichung treffen zu können.

Besonders bedeutsam ist, dass bei der hier beobachteten Kohorte aus Lehramtsstudierenden mit dem Fach Biologie ein allgemeines Interesse an der Natur und Umwelt (Urhahne, 2006) sowie eine basale Artenkenntnis-Kompetenz zu erwarten sein sollte. Diese ist jedoch scheinbar nur bedingt vorhanden. Als spätere potentielle Multiplikatoren von Artenkenntnis an Schulen ist diese geringe Wissensausprägung bei den angehenden Lehrer*innen besonders bedeutsam. Daher sollte eine fundierte Artenkenntnis spätestens in der ersten Phase der Lehramtsausbildung, durch spezielle Kursangebote, den unterstützenden Einsatz von Apps (Wäldchen et al., 2016) und Exkursionen (Kaasinen, 2019; Schmäing & Grotjohann, 2022) gefördert werden. Auch wenn die Vermittlung von Artenkenntnis in den Curricula von Schulen und Universitäten deutlich abgenommen hat (Schulte et al., 2019), ist diese Sensibilisierung für Artenvielfalt und Vermittlung von Artenkenntnis nicht zuletzt für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele 14 & 15 der Agenda 2030 förderlich. Mit einer sicheren Artenkenntnis können Lehrende befähigt werden, Artenvielfalt und Artenkenntnis sowie ihre Bedeutung authentisch und begeisternd im Unterricht zu vermitteln (Roth, 2021) und so effektiv zu einer Sensibilisierung auch für Nachhaltigkeit und Umweltschutz beitragen.

5 Limitationen und Ausblick

Limitiert wird die Studie unter anderem durch die begrenzte Anzahl der abgefragten Tierarten und die unterschiedliche Gewichtung der Tiergruppen, die nur einen begrenzten Einblick in die Kompetenzen der Studierenden ermöglichen. Auch der seit dem Jahr 2023 erweiterte Fragebogen kann nur einen ersten Einblick in die Kompetenz, heimische Arten zu benennen, geben. Um den zeitlichen Aufwand der Befragung möglichst

gering zu halten, ist eine Erweiterung des Fragebogens um zusätzliche Arten jedoch vorerst nicht geplant. Die Studie zeigt einen umfassenden Einblick in die Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis von Biologiestudierenden, ohne Spezifizierung auf ein bestimmtes Taxon. Zukünftig sollte die weitere Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis beobachtet werden, um auch potentielle Einflüsse verstärkter Vermittlung von Artenkenntnis in der Lehramtsausbildung und an Schulen zu erfassen. Dabei kann auch die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis als zusätzlicher Indikator genutzt werden, wobei der Zusammenhang weiterverfolgt werden sollte.

6 Fazit für die Praxis

- Die zoologische Artenkenntnis bei Biologiestudierenden ist seit 2009 bis 2024 auf einem sehr niedrigen Niveau.
- Säugetierarten sind bei den Befragten vergleichsweise deutlich bekannter als andere Artengruppen.
- Zur Förderung von Artenkenntnis sollte die organismische Biologie in der Lehre an Schulen und Universitäten wieder intensiviert werden.
- Die Studierenden schätzen ihre eigene zoologische Artenkenntnis realistisch ein.
- Durch Exkursionen sollen echte Naturerfahrungen erlebbar gemacht werden und so die emotionale Bindung zu Umwelt gefördert werden.

Literaturverzeichnis

Albert, M., Hurrelmann, K., Quenzel, G. & Schneekloth, U. (2019). Die 18. Shell Jugendstudie – Eine Generation meldet sich zu Wort. *Diskurs Kindheits- und Jugendforschung 4*(4-2019), 484–490.

Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G. M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., . . . Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science (New York, N.Y.), 328*(5982), 1164–1168.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Erlbaum.

Enzensberger P, Schmid B, Gerl T & Zahner V. (2022). Robin Who? Bird Species Knowledge of German Adults. *Animals 12(17):* 2213

Eschenhagen, D. (1982). Untersuchung zu Tierartenkenntnissen von Schülern. *Unterricht Biologie, 68,* 40–44.

Frobel, K. & Schlumprecht, H. (2016). Erosion der Artenkenner: Ergebnisse einer Befragung und notwendige Reaktionen. *Naturschutz und Landschaftsplanung 48 (4).*

Gaston, K. J. & Spicer, J. I. (2004). *Biodiversity: An introduction* (Second edition). Blackwell Publishing.

Gerl, T., Almer, J., Zahner, V. & Neuhaus, B. J. (2018). Der BISA-Test: Ermittlung der

Formenkenntnis von Schülern am Beispiel einheimischer Vogelarten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 235–249.

Gerl, T., Randler, C., & Neuhaus, B. J. (2021). Vertebrate species knowledge: an important skill is threatened by extinction. *International Journal of Science Education*, *43*(6), 928–948.

Gerl, T., & Aufleger, M. (2022). Artenkenntnis–ein Fall für die Rote Liste? Mit digitalen Medien die Natur neu entdecken. *Unterricht Biologie*, *2022*(473), 2-9.

De Haan, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann & G. De Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (1. Aufl., S. 23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Hesse, M. (2002). Eine neue Methode zur Überprüfung von Artenkenntnissen bei Schülern. Frühblüher: Benennen–Selbsteinschätzen–Wiedererkennen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *8*(8), 53–67.

Hooykaas, M. J., Schilthuizen, M., Aten, C., Hemelaar, E. M., Albers, C. J., & Smeets, I. (2019). Identification skills in biodiversity professionals and laypeople: A gap in species literacy. *Biological Conservation*, *238*, 108202.

Hosaka, T., Sugimoto, K. & Numata, S. (2017). Childhood experience of nature influences the
willingness to coexist with biodiversity in cities. *Palgrave Communications, 3(1)*, 17071.

IUCN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species.* https://www.iucnredlist.org

Jäkel, L. & Schaer, A. (2004). Sind Namen nur Schall und Rauch? Wie sicher sind Pflanzenkenntnisse von Schülerinnen und Schülern? *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, *13*, 1–24.

Kaasinen, A. (2019). Plant species recognition skills in Finnish students and teachers. *Education Sciences*, 9(2), 85.

Kelemen-Finan, J. & Dedova, I. (2014). Artenkenntnis im Schulunterricht. *Naturschutz und Landschaftsplanung 46 (7)*, 219-225.

Leiner, D. J. (2019). *SoSci Survey* (Version 3.4.00) [Computer software]. https://www.soscisurvey.de

Lindemann-Matthies, P., Remmele, M. & Yli-Panula, E. (2017). Professional competence of student teachers to implement species identification in schools – a case study from Germany. *CEPS Journal*, *7*(1), 29-47.

Little, R. J. (1988). A Test of Missing Completely at Random for Multivariate Data with Missing Values. *Journal of the American Statistical Association*, *83*(404), 1198–1202.

Martens, J. (2018). *Zivilgesellschaft und Agenda 2030: Neue Allianzen für die sozial-ökologische Transformation?* Online verfügbar unter (Stand 30.06.2024): https://www.2030agenda.de/de/publication/zivilgesellschaft-und-agenda-2030

Möltner, A., Schellberg, D. & Jünger, J. (2006). Grundlegende quantitative Analysen medizinischer Prüfungen. *GMS Z Med Ausbild*, *23*(3), 2006–2023.

Palmberg, I., Berg, I., Jeronen, E., Kärkkäinen, S., Norrgård-Sillanpää, P., Persson, C., Vilkonis, R. & Yli-Panula, E. (2015). Nordic–Baltic Student Teachers' Identification of and Interest in Plant and Animal Species: The Importance of Species

Identification and Biodiversity for Sustainable Development. *Journal of Science Teacher Education, 26*(6), 549–571.

Prokop, P., Kubiatko, M., & Fančovičová, J. (2008). Slovakian Pupils' Knowledge of, and Attitudes toward, Birds. *Anthrozoös, 21*(3), 221–235.

Randler, C., Ilg, A. & Kern, J. (2005). Cognitive and Emotional Evaluation of an Amphibian Conservation Program for Elementary School Students. *The Journal of Environmental Education, 37*(1), 43–52.

Randler, C. & Bogner, F. X. (2006). Cognitive achievements in identification skills. *Journal of Biological Education, 40*(4), 161–165.

Randler, C., Höllwarth, A., & Schaal, S. (2007). Urban Park Visitors and Their Knowledge of Animal Species. *Anthrozoös, 20*(1), 65–74.

Randler, C & Heil, F. (2021) Determinants of Bird Species Literacy - Activity/Interest and Specialization Are More Important Than Socio-Demographic Variables. *Animals 11(6):* 1595.

Remmele, M. & Lindemann-Matthies, P. (2018). Like Father, Like Son? On the Relationship between Parents' and Children's Familiarity with Species and Sources of Knowledge about Plants and Animals. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14(10):* em1581

Roth, G. (2021). *Bildung braucht Persönlichkeit: wie Lernen gelingt*. Klett-Cotta.

Schmäing, T., & Grotjohann, N. (2022). Out-of-School learning in the Wadden Sea: The influence of a mudflat hiking tour on the environmental attitudes and environmental knowledge of secondary school students. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(1), 403.

Schmäing, T., & Grotjohann, N. (2023). Die Artenkenntnis von angehenden Biologie- und Sachunterrichtslehrkräften zum Ökosystem Wattenmeer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 29*(1), 3.

Schmitt, N. (1996). Uses and abuses of coefficient alpha. *Psychological Assessment, 8*(4), 350–353.

Schulemann-Maier, G. & Munzinger, S. (2018). Das Artenwissen naturaffiner Menschen
analysiert - Ergebnisse der arten|pisa-Umfrage. *Naturschutz und Landschaftsplanung, 50(11)*: 412-417.

Schulte, R., Jedicke, E., Lüder, R., Linnemann, B., Munzinger, S., von Ruschkowski, E., & Wägele, W. (2019). Eine Strategie zur Förderung der Artenkenntnis. *Naturschutz und Landschaftsplanung, 51*(5), 210-217.

Spearman, C. (1910). Correlation calculated from faulty data. *British Journal of Psychology, 1904-1920, 3*(3), 271–295.

Sturm, U., Voigt-Heucke, S., Mortega, K. G. & Moormann, A. (2020). Die Artenkenntnis von Berliner Schüler_innen am Beispiel einheimischer Vögel. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 26*(1), 143–155.

Urhahne, D. (2006). Ich will Biologielehrer (-in) werden! – Berufswahlmotive von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12*, 111-125.

Varela-Candamio, L., Novo-Corti, I. & García-Álvarez, M. T. (2018). The importance of environmental education in the determinants of green behavior: A meta-analysis approach. *Journal of Cleaner Production, 170*, 1565–1578.

Wäldchen, J., Thuille, A., Seeland, M., Rzanny, M., Schulze, E. D., Boho, D., ... & Mäder, P. (2016). Flora Incognita–Halbautomatische Bestimmung der Pflanzenarten Thüringens mit dem Smartphone. *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 53*(3), 121-125.

Weber, E. (2018). *Biodiversität - Warum wir ohne Vielfalt nicht leben können*. Springer Berlin Heidelberg.

White, R. L., Eberstein, K. & Scott, D. M. (2018). Birds in the playground: Evaluating the effectiveness of an urban environmental education project in enhancing school children's awareness, knowledge and attitudes towards local wildlife. *PloS one*, *13*(3), e0193993.

Wittig, R. & Niekisch, M. (2014). *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Springer Berlin Heidelberg.

Zöfel, P. (2001). *Statistik verstehen: ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung.* Pearson Deutschland GmbH.

7.4 Diskussion

Die vorliegende Studie bestätigt das niedrige Niveau der zoologischen Artenkenntnis unter Biologiestudierenden und zeigt statistisch einen leichten Rückgang der Artenkenntnis über den Erhebungszeitraum. Diese Entwicklung ist besorgniserregend, da eine solide Artenkenntnis für die Vermittlung von Biodiversität im Unterricht unerlässlich ist (Bebbington, 2005). Trotz eines wachsenden Umweltbewusstseins bleibt die tatsächliche Kompetenz im Erkennen und Benennen von Tierarten gering.

Besonders bedeutsam ist dabei, dass der hier betrachteten Kohorte aus Lehramtsstudierenden mit dem Fach Biologie ein allgemeines Interesse an der Natur und Umwelt (Urhahne, 2006) zu unterstellten ist. Eine zuvor vermutete und durch das gesteigerte Interesse an der Natur potenziell begünstigte basale Artenkenntnis konnte wider Erwarten nicht dargestellt werden. Als spätere Multiplikatoren von Artenkenntnis an Schulen ist diese geringe Wissensausprägung bei den angehenden Lehrkräften besonders gravierend.

Bei der Formulierung der Items im Konstrukt *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* wurde in der vorliegenden Studie nicht zwischen Arten- und Formenkenntnis differenziert. Da auch Studierende in ihrem Sprachgebrauch selten explizit zwischen Arten- und Formenkenntnis unterscheiden (Mayer, 1992), kann ein potenzieller Einfluss auf das Antwortverhalten vernachlässigt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Selbsteinschätzung der Studierenden weitgehend mit ihrem tatsächlichen Wissen übereinstimmt, was auf ein realistisches Selbstbild schließen lässt. Einen solchen Zusammenhang konnten auch Gerl et al. (2021), Hesse (2002) sowie Jäkel und Schaer (2004) in ihren Studien feststellen, während sich die Teilnehmenden

der Befragung von Sturm et al. (2020) besser einschätzten als ihre tatsächlichen Kenntnisse waren. Eine solche Einschätzung zeigt sich in der vorliegenden Studie auch im Jahr 2024, in dem die Selbsteinschätzung hoch, aber das tatsächliche Wissen gering war. Ein Vergleich der Selbsteinschätzung mit Studierenden anderer Fächer wäre hier zusätzlich sinnvoll, um einen Überblick über die allgemeine Artenkenntnis junger Menschen unabhängig von ihren (biologischen) Interessen zu ermitteln.

7.5 Fazit und Ausblick

Die zweite Teilstudie konnte das niedrige Niveau der zoologischen Artenkenntnis von Biologiestudierenden bereits seit dem Jahr 2009 verdeutlichen. Zudem zeigt sich eine leichte Abnahme der Kompetenzen, was die Notwendigkeit einer Förderung der Artenkenntnis unterstreicht. Die Korrelation zwischen der Einschätzung der eigenen Kompetenz und der tatsächlichen Artenkenntnis ermöglicht zudem zusätzliche Erhebungs- und Förderungsmöglichkeiten. Aufgrund der Abweichungen im Jahr 2024 sollte dieser Zusammenhang jedoch noch weiter untersucht werden. Um der niedrigen Artenkenntnis zu begegnen sollten entsprechende zoologische Kurse die Artenkenntnis der Studierenden fördern. Dabei könnten innovative Lehrmethoden das Potential haben, lernförderlich zu wirken. Entsprechende Fragestellungen werden daher in der anschließenden Teilstudie betrachtet.

8 Teilstudie 3: Förderung der zoologischen Artenkenntnis mittels digitaler Medien

8.1 Hinführung zum Thema

Wie bereits vorangegangene Studien zeigten, ist auch die Artenkenntnis von Studierenden gering (Palmberg et al., 2015; Randler & Heil, 2021; Schmäing & Grotjohann, 2023). Auch die Ergebnisse der hier präsentierten ersten beiden Teilstudien zeigen, dass die zoologische Artenkenntnis von Biologiestudierenden insbesondere des Lehramts auf einem sehr niedrigen Niveau liegt und in den Jahren 2009 - 2024 zudem statistisch leicht abgenommen hat. Dieser niedrigen Artenkenntnis entgegenzuwirken, ist auch Aufgabe von Universitäten. Durch Kurse zur Vermittlung von Formen- und Artenkenntnis soll Fachwissen geschult und für Biodiversität sensibilisiert werden. Dabei können digitale Tools das Image von Taxonomie und der Bestimmung von Arten verbessern (Schulte et al., 2019) und potentiell zur erhöhten Wissensvermittlung beitragen. Im Rahmen der dritten Teilstudie wird daher auf der zweiten Teilstudie der vorliegenden Arten aufgebaut und der Einfluss verschiedener zum Teil digital gestützter Kurskonzepte auf die Artenkenntnis Biologiestudierender analysiert. Dabei werden die folgenden wissenschaftlichen Fragen gestellt:

> **F3.1** Welchen Einfluss hat ein Kurs zur Vermittlung von zoologischer Arten- und Formenkenntnis auf die Kompetenz und Selbsteinschätzung der Studierenden?
>
> **F3.2** Welchen Einfluss haben die verschiedenen digital gestützten Kurskonzepte auf die zoologische Artenkenntnis der Studierenden?
>
> **F3.3** Wie nachhaltig ist die Veränderung der zoologischen Artenkenntnis der Studierenden durch den universitären Kurs?

8.2 Material und Methode

8.2.1 Versuchsdesign

Die dritte Teilstudie wurde im Pre-Post-Design angelegt und durch einen Follow-Up-Test bei Teilen der Stichprobe ergänzt (Abbildung 43). Diese lässt sich in drei unterschiedliche Kohorten unterteilen, die im weiteren Verlauf genauer dargestellt werden. In allen Gruppen nahmen die Studierenden an der universitären Pflichtveranstaltung ‘Formenkenntnis der Tiere‘ teil und erlernten dort den Umgang mit einem klassischen dichotomen Bestimmungsschlüssel. Darüber hinaus fand ein unterschiedlich starker Einsatz digitaler Tools und Digitalität statt. Die

Datenerhebung fand jeweils zu Beginn des ersten Kurstages und zum Ende des letzten Kurstages mit einem in zwei Phasen gegliederten teilstandardisierten Fragebogen wie in Teilstudie 2 statt.

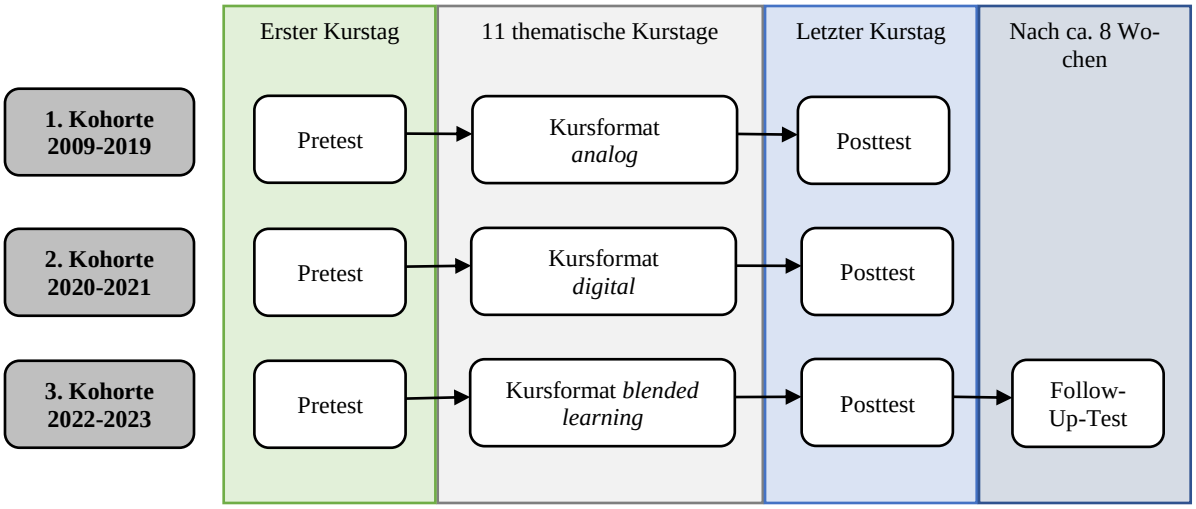


Abbildung 43: Versuchsdesign der dritten Teilstudie

In der ersten Phase der Befragung wurden neben den demographischen Daten und Codes zur Pseudonymisierung erneut auch die Umgebung des Elternhauses (eher städtisch / eher ländlich) sowie das Engagement im Natur- und Umweltschutz durch eine halbgeschlossene Frage erhoben.

Anschließend wurde das Konstrukt zur *Selbsteinschätzung zur zoologischen Formenkenntnis* der Studierenden wie in Teilstudie 2 erfasst (Tabelle 11). Die Gütekriterien der Skala werden in Kapitel 8.1.5 dargestellt.

Auch in der dritten Teilstudie wurde, wie bereits zuvor dargestellt, die tatsächliche Kompetenz der Teilnehmenden, Tierarten zu benennen, durch einen offenen Wissentest ermittelt. Wie in der zweiten Teilstudie dargestellt wurde im Jahr 2023 die Anzahl der abgefragten Arten um 11 zusätzliche Arten erweitert (Tabelle 5), was jedoch im Rahmen der dritten Teilstudie im Sinne der Vergleichbarkeit der Jahre vernachlässigt wird.

Die Befragung nahm insgesamt etwa 10 - 15 Minuten zuzüglich weniger Minuten zur Instruktion in Anspruch.

Analog zur Teilstudie 2 wurde die Befragung im Jahr 2009 etabliert und bis 2023 nur soweit angegeben abgewandelt.

Als erste Treatmentgruppe wurde in dieser Teilstudie die Kohorte Studierender definiert, die von 2009 - 2019 am universitären Kurs zur zoologischen Formenkenntnis im Kurskonzept *analog* teilnahmen. Der Kursablauf in Abhängigkeit der verschiedenen Konzepte wird im folgenden Kapitel 8.2.2 genauer dargestellt. Aus organisatorischen Gründen fehlen Daten aus den Jahren 2013, 2016 und 2017. Die Evaluation fand bei dieser Kohorte im Pre-Post-Design mittels Papierfragebogen statt. Die Fotos zur Benennung der Tierarten in der zweiten Phase des Fragebogens wurden hier per Beamer präsentiert. Die rein analoge Kursdurchführung bei dieser Gruppe dient auch der Überprüfung des digitalen Mehrwerts.

In der zweiten Treatmentgruppe (*digital*) wurde die Befragung 2020 und 2021 als Online-Fragebogen ebenfalls im Pre-Post-Design durchgeführt. Die Befragung wurde dabei mit SoSci Survey (Leiner, 2019) online umgesetzt und die Fotos der zweiten Phase des Fragebogens in diesen integriert. Die Befragung wurde den Studierenden zu den entsprechenden Zeitpunkten über einen Link bereitgestellt.

Auch in der dritten Treatmentgruppe (*blended learning*) kam die digitalisierte Befragung als Online-Fragebogen zum Einsatz. An den Kurstagen wurde der entsprechende Zugangslink über einen QR-Code zur Verfügung gestellt, den die Teilnehmenden mit ihrem Smartphone einscannen konnten. Ergänzt wurde die Befragung in den Jahren 2022 und 2023 durch einen Follow-Up Test etwa acht Wochen nach dem Post-Test.

8.2.2 Treatmentgruppen

Beginnend mit dem klassischen Kursformat wurde in den Jahren 2009 - 2019 der Kurs in etablierter Präsenzform in den Räumlichkeiten der Universität im wöchentlichen Rhythmus durchgeführt (nachfolgend Kurskonzept *analog*). Die Studierenden bereiteten sich anhand vorgegebener Materialien inhaltlich auf den Kurstag und die angesprochene Organismengruppe vor. Sie erarbeiteten dabei grundlegende Fakten über die Tiergruppe sowie notwendige Begrifflichkeiten für die sachgerechte Bestimmung mit dem dichotomen Bestimmungsschlüssel „Brohmer: Fauna von Deutschland“ (Schaefer, 2018). Zu Beginn der Kurstage wiederholten die Dozierenden wichtige inhaltliche Aspekte sowie die Feinlernziele der vergangenen Stunde und leiteten thematisch mit einem fachlichen Überblick in die neue Organismengruppe ein. Anschließend bestimmten die Teilnehmenden mit Hilfe des dichotomen Bestimmungsschlüssels die Organismen. Dabei standen den Studierenden Präparate und Modelle der Tiere zur Verfügung. An den beiden Kurstagen zum Taxon Mollusca kamen Muschel- bzw. Schneckenschalen

zum Einsatz. Vögel wurden anhand von Vollpräparaten der Tiere und Säugetiere mittels Knochenpräparaten der Schädel bestimmt. Zur Thematisierung der Arthropoda und im Speziellen der Insecta standen eingegossene sowie genadelte Tiere zur Verfügung. Nach der Bestimmung aller ausgestellten Arten stellten die Studierenden diese in kurzen (2-3 Minuten) Referaten vor und fertigten Steckbriefe für ihre Unterlagen an. Für die Nachbereitung der Kurstage notierten sich die Studierenden in Eigenregie die behandelten Arten und ergänzten ihre Unterlagen teilweise durch selbst aufgenommene Fotos der Präparate zur Vorbereitung auf die abschließende Klausur.

In den Jahren 2020 und 2021 wurde der universitäre Kurs bedingt durch die Corona-Pandemie in die Distanzlehre transferiert und vollständig digital durchgeführt (nachfolgend Kurskonzept *digital*). Die Vorbereitung der Studierenden auf die Kurstage unterschied sich dabei nicht wesentlich von der im Kurskonzept *analog*. Am Kurstag trafen sich die Teilnehmenden und Dozierenden in einer Videokonferenz und bearbeiteten nach einer kurzen Vorbesprechung die Arbeitsaufträge in Kleingruppen. Der dichotome Bestimmungsschlüssel wurde digital zur Verfügung gestellt, da dieser pandemiebedingt nicht in der Bibliothek ausgeliehen werden konnte. Die Webseite digitib.de (2024) ermöglichte über qualitativ hochwertige Fotos verschiedener Organismen aus unterschiedlichen Perspektiven und unter Beachtung der notwendigen Merkmale den Zugang zu den Tierarten für Bestimmungskurse. Die am Kurstag zu behandelnden Arten wurden den Studierenden über eine Liste der websiteinternen Indexnummern mitgeteilt. Ergänzt wurden die Arbeitsaufträge durch eine Tabelle zur taxonomischen Einordnung der behandelten Arten (beispielhaft Tabelle 13). Diese enthielt die taxonomische Einordnung der am Kurstag zu bestimmenden Tierarten, wobei das Art-Epithet und der deutsche Artname durch die Studierenden ergänzt und für die erleichterte Nachbereitung um die Indexnummer der Webseite digitib.de (2024) erweitert werden konnte. Ebenso wie im zuvor erläuterten Kurskonzept *analog* wurden die Mollusca, Arthropoda, Mammalia und Aves behandelt. Ergänzt wurden diese im digitalen Kurskonzept durch die Gruppe der Amphibia, zu denen die Studierenden durch die Fotos der Webseite nun ebenfalls Zugang hatten. Zudem wurden Vogelstimmen und Amphibienrufe anhand von Audiodateien eingebunden. Die qualitativ hochwertigen Fotos der Tierarten standen den Studierenden unabhängig vom Kurs zur freien Verfügung und konnten zur Nachbereitung der Kurstage und zur Vorbereitung auf die abschließende Klausur genutzt werden.

Tabelle 13: Tabellarische systematische Einordnung der behandelten Arten beispielhaft am Kurstag Amphibia, die den Studierenden für ihre Unterlagen bereitgestellt wurde. Das Art-Epithet, der deutsche Artname sowie die Indexnummern der Webseite digitib.de (ausgegraut) mussten von den Studierenden selbstständig ausgefüllt werden.

Stamm: Chordata **Klasse:** Amphibia					
Ordnung	**Familie**	**Gattung**	**Art**	**Deutscher Name**	**Nr. DigiTiB**
Anura	Alytidae	*Alytes*	*obstetricans* (Laurenti, 1768)	Geburtshelferkröte	amp0001
	Bombinatoridae	*Bombina*	*variegata* (Linné, 1758)	Gelbbauchunke	amp0003
	Bufonidae	*Bufo*	*bufo* (Linné, 1758)	Erdkröte	amp0004
		Bufotes	*viridis* (Laurenti, 1768)	Wechselkröte	amp0005
		Epidalea	*calamita* (Laurenti, 1768)	Kreuzkröte	amp0006
	Ranidae	*Rana*	*dalmatina* Fitzinger, 1838	Springfrosch	amp0013
			temporaria Linné, 1758	Grasfrosch	amp0014
			arvalis Nilsson, 1842	Moorfrosch	amp0015
		Pelophylax	*ridibundus* (Pallas, 1771)	Seefrosch	amp0012
	Hylidae	*Hyla*	*arborea* (Linné, 1758)	Laubfrosch	amp0007
Urodela	Salamandridae	*Triturus*	*cristatus* (Laurenti, 1768)	Kammmolch	amp0021
		Lissotriton	*helveticus* (Razoumowsky, 1789)	Fadenmolch	amp0017
			vulgaris (Linné, 1758)	Teichmolch	amp0018
		Ichthyosaura	*alpestris* (Laurenti, 1768)	Bergmolch	amp0016
		Salamandra	*salamandra* (Linné, 1758)	Feuersalamander	amp0020
			atra Laurenti, 1768	Alpensalamander	amp0019

In den Jahren 2022 und 2023 fand der Kurs wieder als klassischer wöchentlicher Präsenzkurs in den Räumlichkeiten der Universität statt (Kurskonzept ***blended learning***). Der generelle Kursablauf orientiert sich an dem des Kurskonzepts *analog*. Ergänzend zu den bereits im Kurskonzept *analog* eingesetzten Präparaten, kam auch die Webseite „digitib.de“ (2024) sowie die 2020 eingeführten Tabellen zur Taxonomie der behandelten Tierarten des Kurstags (Tabelle 13) weiterhin zum Einsatz. Die neu eingeführte Gruppe der Amphibien wurde in Form der Online-Bilder beibehalten und durch einzelne zum Teil selbsterstellte Modelle (siehe Teilstudie 5) ergänzt.

8.2.3 Vorbereitung des Datensatzes

Fehlwerte und Stichprobengröße unterscheiden sich zwischen der zweiten und dritten Teilstudie, trotz gleicher Teilnehmender im Pretest, durch eine erwartbare Stichprobenmortalität u.a. durch den Posttest in Teilstudie 3.

Aufgrund einiger Fehlwerte im Datensatz zur Erhebung des Konstruktes *Selbsteinschätzung zoologische Formenkenntnis* (Fehlwerte ≤ 4,2 %) auch in dieser Teilstudie wurde die Möglichkeit der Imputation fehlender Werte überprüft. Nach Feststellung der Zufälligkeit der Fehlwerte im Datensatz *Selbsteinschätzung zoologische Artenkenntnis* (Pre- und Posttest) mittels MACR-Test nach Little (Pre-Test $\chi^2(45) = 52{,}78$, $p = 0{,}199$; Post-Test $\chi^2(20) = 14{,}78$, $p = 0{,}789$) wurden Fehlwerte durch die Verwendung des EM-Algorithmus ersetzt, sodass sich eine einheitliche und stabile Gesamtstichprobe ergab, die im späteren Verlauf berichtet wird.

Für die Fälle mit vorliegendem Follow-Up Test ergaben sich keine Fehlwerte.

Im Wissenstest aller Kohorten traten ebenfalls keine Fehlwerte auf, da nicht ausgefüllte Felder mit null Punkten gewertet werden.

8.2.4 Stichprobe

Nach der Vorbereitung des Datensatzes ergab sich für die dritte Teilstudie im Pre- und Posttest eine vollständige Stichprobe von $N = 714$ Teilnehmenden. Die variierende Zahl der Teilnehmenden zwischen den Erhebungsjahren sowie eine detaillierte Darstellung der Stichprobenzusammensetzung findet sich in Tabelle 14. Die Daten des Pre-Tests sind ebenfalls Bestandteil der zweiten Teilstudie und werden nun um Daten des Post-Tests erweitert. Mit 81,1 % besuchten die meisten Teilnehmenden den universitären Kurs zur zoologischen Formenkenntnis wie empfohlen im vierten Fachsemester. 48,4 % der Teilnehmenden gaben an, in einer eher städtischen Umgebung aufgewachsen zu sein, 51,6 % der Befragten gaben eine eher ländliche Umgebung an. Mit 90,3 % gab eine Mehrheit an, nicht im Natur- und Umweltschutz aktiv zu sein. 3,9 % gaben einen Einsatz für den Natur- und Umweltschutz im privaten Bereich an. 5,7 % der Befragten waren in Vereinen, politisch oder (neben-) beruflich im Natur- und Umweltschutz aktiv.

Tabelle 14: Anzahl und Durchschnittsalter der Teilnehmenden an Pre- und Posttest in den Erhebungsjahren von 2009 bis 2023 sowie in den drei Kursformaten (*analog*, *digital*, *blended learning*). Aus organisatorischen Gründen fehlen Daten aus den Jahren 2013, 2016 und 2017.

Format	*analog*								*digital*		*blended learning*	
Jahr	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
w (*N*)	73	44	48	31	31	41	52	36	31	50	34	38
m (*N*)	16	17	19	9	10	16	20	20	15	22	16	24
d (*N*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Gesamt (*N*)	89	61	67	40	41	57	72	56	46	72	50	63
	483								118		113	
Ø Alter (Jahre)	22,21	22,98	23,39	22,10	23,22	21,60	21,86	21,91	21,98	22,31	21,96	21,40

In den Jahren 2022 und 2023 wurde zusätzlich ein Follow-Up Test etwa acht Wochen nach dem Posttest durchgeführt. Durch eine erwartbare Stichprobenmortalität bei drei Messzeitpunkten ergab sich für den Follow-Up Test eine Stichprobengröße von $N_{\text{Follow-Up}} = 48$. Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Fälle mit vollständigem Datensatz im Follow-Up Test.

Tabelle 15: Anzahl und Durchschnittsalter der Teilnehmenden am Follow-Up Test in den Jahren 2022 und 2023.

Jahr	**2022**	**2023**	**Gesamt**
weiblich (*N*)	14	23	37
männlich (*N*)	3	8	11
divers (*N*)	0	0	0
Gesamt (*N*)	17	31	48
Ø Alter (Jahre)	21,41	21,16	

8.2.5 Gütekriterien der Messinstrumente

Die Skala zur *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* setzte sich wie in Teilstudie 2 dargestellt aus fünf Items zusammen. Die entsprechenden Gütekriterien der Skala im Pre- und Posttest (N = 714) sowie im Follow-Up Test (N = 48) genügen den Ansprüchen und sind zur besseren Übersicht detailliert in Tabelle 16 dargestellt. Das negativ formulierte Item SF02 wurde vor der Analyse umcodiert. Bedingt durch die veränderte Stichprobe unterscheiden sich die Werte von den Gütekriterien in Teilstudie 2.

Tabelle 16: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* im Pre- und Posttest der dritten Teilstudie (N = 714) sowie im Follow-Up Test (N = 48). *Das Item wurde vor der Analyse umcodiert.

Variablenname	Item	Korr. Item-Skala-Korrelation			Cronbachs α		
		Pre	Post	Follow Up	Pre	Post	Follow Up
SF01	Mit Hilfe von Bestimmungsbüchern oder -apps kann ich jedes Tier bestimmen, wenn ich mich anstrenge.	0,594	0,599	0,480	0,827	0,843	0,787
SF02*	Es fällt mir schwer, Tiere zu bestimmen.*	0,702	0,696	0,607			
SF03	Wenn ich ein unbekanntes Tier bestimmen soll, glaube ich, dass ich das schaffen werde.	0,658	0,694	0,629			
SF04	Auch wenn andere an meiner Artenkenntnis zweifeln, bin ich mir sicher, dass ich gute Leistungen erzielen kann.	0,559	0,645	0,594			
SF05	Ich bin mir sicher, dass ich eine gute Artenkenntnis der Tiere besitze.	0,613	0,613	0,525			

Die Reliabilität des Wissenstests wurde im Posttest der Befragung ermittelt. Sie beträgt mit 16 enthaltenen Tierarten Cronbachs α = 0,785 (N = 714). Die Reliabilität des Wissenstests ist somit als gut zu werten. Auch die Trennschärfe der enthaltenen Items entspricht den Ansprüchen.

8.3 Ergebnisse

F3.1 Welchen Einfluss hat ein Kurs zur Vermittlung von zoologischer Arten- und Formenkenntnis auf die Kompetenz und Selbsteinschätzung der Studierenden?

Als Indikator für die Veränderung der zoologischen Artenkenntnis der Teilnehmenden durch einen entsprechenden Kurs zur Vermittlung von zoologischer Artenkenntnis diente der Unterschied zwischen dem normierten Ergebnis des Wissenstests im Pretest zum Posttest der Studie. Obwohl die Daten aus Teilstudie 2 ebenfalls in den Pretest der dritten Teilstudie eingeflossen sind, unterschieden sich die analysierten Daten durch unterschiedliche große Stichproben. Die normierte Summe der Befragung variierte im Pretest zwischen den Erhebungszeitpunkten zwischen mindestens Md_{2023} = 1,94 (*IQR* = 0,59) und maximal Md_{2020} = 2,31 (*IQR* = 0,64) (Abbildung 44).

Das normierte Ergebnis des Posttests variierte zwischen mindestens Md_{2012} = 2,44 (*IQR* = 0,42) bzw. Md_{2023} = 2,44 (*IQR* = 0,56) und maximal Md_{2020} = 2,81 (*IQR* = 0,69) (Abbildung 44).

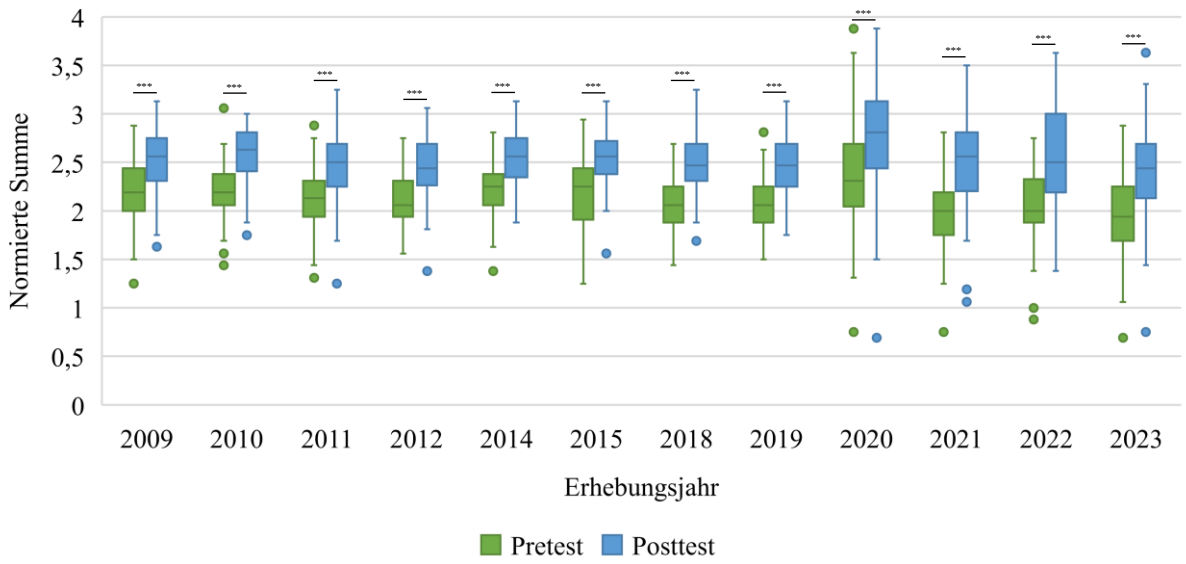


Abbildung 44: Entwicklung der normierten Summe im Wissenstest (16 Items) zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests über den Erhebungszeitraum von 2009 bis 2023. (*** = $p < 0{,}001$)

Durch die Teilnahmen am universitären Kurs nahm die Kompetenz, Tierarten zu benennen, gemessen an der Differenz zwischen den Ergebnissen des Pre- und Posttests, nach Analyse mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test für abhängige Stichproben zu allen

Erhebungszeitpunkten höchst signifikant zu (Tabelle 17). Zudem ließ sich eine starke positive Korrelation zwischen der normierten Summe im Wissentest zum Zeitpunkt des Pretests mit der erreichten Summe zum Zeitpunkt des Posttests ermitteln (Spearmans $\rho = 0{,}653$; $p < 0{,}01$).

Tabelle 17: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians der erreichten Punkte im Wissenstest durch den universitären Formenkenntniskurs in den Erhebungsjahren. (*** = $p < 0{,}001$)

Erhebungsjahr	**Pretest**	**Posttest**	**Wilcoxon-Vorzeichen Rang Test**	
	Md (*IQR*)	*Md* (*IQR*)	*Z*	*p*
2009	2,188 (0,44)	2,563 (0,44)	7,694	***
2010	2,188 (0,31)	2,625 (0,41)	6,572	***
2011	2,125 (0,38)	2,500 (0,44)	6,817	***
2012	2,063 (0,38)	2,438 (0,42)	5,059	***
2014	2,250 (0,31)	2,563 (0,41)	5,267	***
2015	2,250 (0,53)	2,563 (0,34)	5,986	***
2018	2,063 (0,38)	2,469 (0,38)	7,161	***
2019	2,063 (0,38)	2,469 (0,44)	6,379	***
2020	2,313 (0,64)	2,813 (0,69)	4,168	***
2021	2,000 (0,44)	2,563 (0,61)	6,824	***
2022	2,000 (0,45)	2,500 (0,81)	5,937	***
2023	1,938 (0,56)	2,438 (0,56)	6,119	***

Die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis variierte im Pretest zwischen mindestens $Md_{2019} = 1{,}80$ ($IQR = 0{,}60$) bzw. $Md_{2021} = 1{,}80$ ($IQR = 1{,}00$) und maximal $Md_{2012} = 2{,}20$ ($IQR = 0{,}90$) (Abbildung 45).

Im Posttest variierte die normierte Summe des Konstruktes zwischen $Md_{2019} = 2{,}20$ ($IQR = 0{,}80$) und $Md_{2014;\,2020} = 2{,}80$ ($IQR = 0{,}60$) bzw. $Md_{2021} = 2{,}80$ ($IQR = 0{,}80$) bzw. $Md_{2022} = 2{,}80$ ($IQR = 0{,}65$) (Abbildung 45).

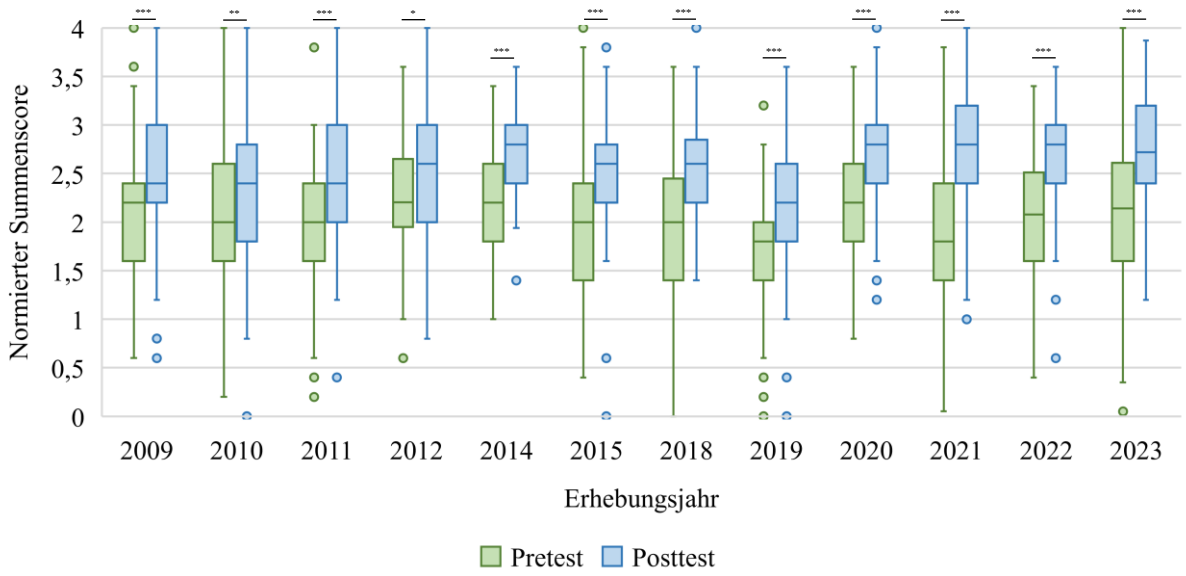


Abbildung 45: Erhebung der *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* der Befragten zwischen Pre- und Posttest, gemessen an einer fünfstufigen Likert-Skala (0 = stimme gar nicht zu; 4 = stimme voll zu), in Abhängigkeit vom Erhebungsjahr (Anzahl Items: 5). (* = $p < 0{,}05$; ** = $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$)

Zwischen der Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis zum Zeitpunkt des Pre- und des Posttests ließ sich eine mittlere positive Korrelation feststellen (Spearmans $\rho = 0{,}475$; $p < 0{,}01$).

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Tests zum Vergleich der Entwicklung des Antwortverhaltens zur Skala *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* zeigten zu allen Zeitpunkten ebenfalls eine signifikante Steigerung vom Pre- zum Posttest (Tabelle 18).

Tabelle 18: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis* durch den universitären Formenkenntniskurs in den Erhebungsjahren. (* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$)

Erhebungsjahr	**Pretest**	**Posttest**	**Wilcoxon-Vorzeichen Rang Test**	
	Md (*IQR*)	*Md* (*IQR*)	*Z*	*p*
2009	2,200 (0,81)	2,400 (0,80)	5,405	***
2010	2,000 (1,00)	2,400 (1,00)	2,659	**
2011	2,000 (0,80)	2,400 (1,00)	5,523	***
2012	2,204 (0,90)	2,600 (1,00)	2,302	*
2014	2,200 (0,80)	2,800 (0,60)	4,219	***
2015	2,000 (1,00)	2,600 (0,60)	4,882	***
2018	2,00 (1,15)	2,600 (0,75)	4,792	***
2019	1,800 (0,60)	2,200 (0,80)	4,105	***
2020	2,200 (0,80)	2,800 (0,60)	5,479	***
2021	1,800 (1,00)	2,800 (0,80)	7,171	***
2022	2,082 (0,98)	2,800 (0,65)	5,038	***
2023	2,137 (1,02)	2,722 (0,80)	5,256	***

F3.2 Welchen Einfluss haben die verschiedenen digital gestützten Kurskonzepte auf die zoologische Artenkenntnis der Studierenden?

Die zoologische Artenkenntnis der Studierenden erreichte im Kurskonzept *analog* im Pretest einen Wert vom *Md* = 2,125 (*IQR* = 0,44) (Abbildung 46). Im Kurskonzept *digital* betrug diese ebenfalls *Md* = 2,125 (*IQR* = 0,58). Im Erhebungszeitraum zum Kurskonzept *blended learning* sank der Wert im Pretest auf *Md* = 2,000 (*IQR* = 0,53).

Im Posttest stieg die zoologische Artenkenntnis der Studierenden im Kurskonzept *analog* auf *Md* = 2,500 (*IQR* = 0,44) an (Abbildung 46). Durch das Kurskonzept *digital* konnte eine Steigerung auf *Md* = 2,688 (*IQR* = 0,58) erreicht werden. Im Posttest des Kurskonzepts *blended learning* lag der Wert für die zoologische Artenkenntnis bei *Md* = 2,438 (*IQR* = 0,72).

Die Zunahme der erreichten Punktzahl war nach der Analyse mittels Wilcoxon- Vorzeichen-Rang Tests in jeden Kurskonzept signifikant (Tabelle 19).

Tabelle 19: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests zur Analyse der Veränderungen des Medians der erreichten Punkte im Wissenstest durch die verschiedenen Kursformate. (*** = $p < 0{,}001$)

Kurskonzept	**Pretest**	**Posttest**	**Wilcoxon-Vorzeichen Rang Test**	
	Md (*IQR*)	*Md* (*IQR*)	*Z*	*p*
analog	2,125 (0,44)	2,500 (0,44)	18,169	***
digital	2,125 (0,58)	2,688 (0,58)	7,934	***
blended learning	2,000 (0,53)	2,438 (0,72)	8,5000	***

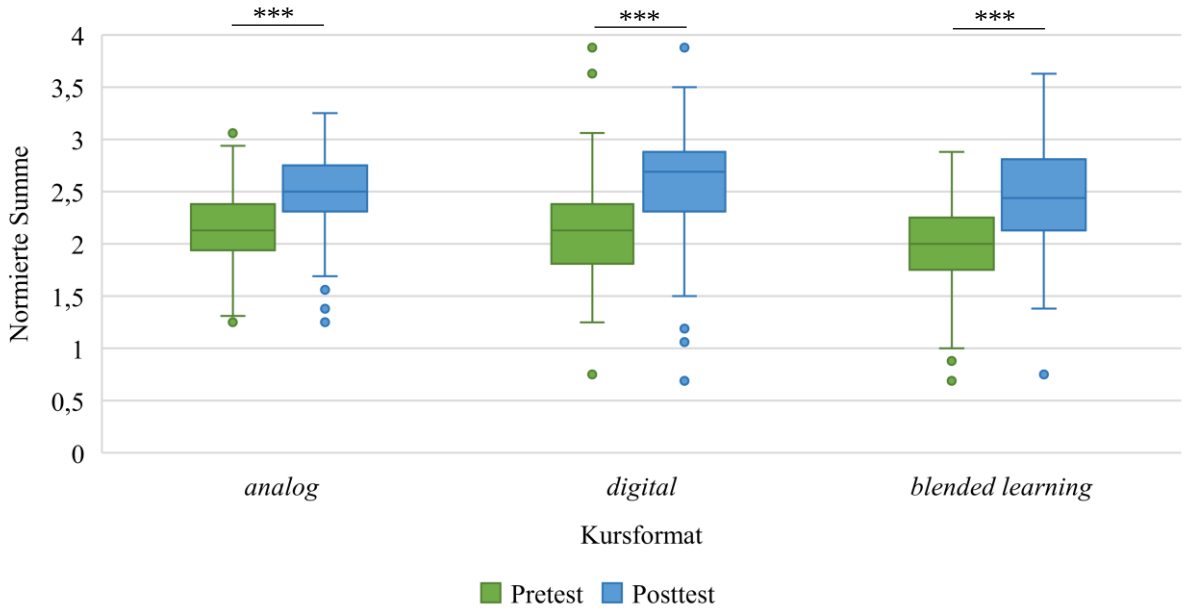


Abbildung 46: Entwicklung der normierten Summe im Wissenstest vom Pre- zum Posttest in Abhängigkeit der Kursformate. (*** = $p < 0{,}001$)

Zur Analyse des direkten Einflusses der Kurskonzepte auf die Veränderung des Fachwissens war die Betrachtung der Entwicklung vom Pretest zum Posttest der einzelnen Fälle, definiert als die Differenz zwischen Pre- und Posttest, zu ermitteln und zu vergleichen (Abbildung 47). Der Median der Differenz zwischen den Messzeitpunkten lag im Kurskonzept *analog* bei $Md = 0{,}313$ ($IQR = 0{,}31$). Im Kurskonzept *digital* lag dieser bei $Md = 0{,}438$ ($IQR = 0{,}50$). Durch das Kurskonzept *blended learning* veränderte sich das Fachwissen im Mittel ebenfalls um $Md = 0{,}438$ ($IQR = 0{,}56$) Punkte. Die Verteilung der Differenz war dabei über die Kategorie

Kurskonzepte signifikant unterschiedlich (χ^2 = 19,378; p < 0,001). Der paarweise Vergleich zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Kurskonzepten *analog* und *digital* (p < 0,001; r = 0,144) sowie *analog* und *blended learning* (p < 0,01; r = 0,133) (Abbildung 47).

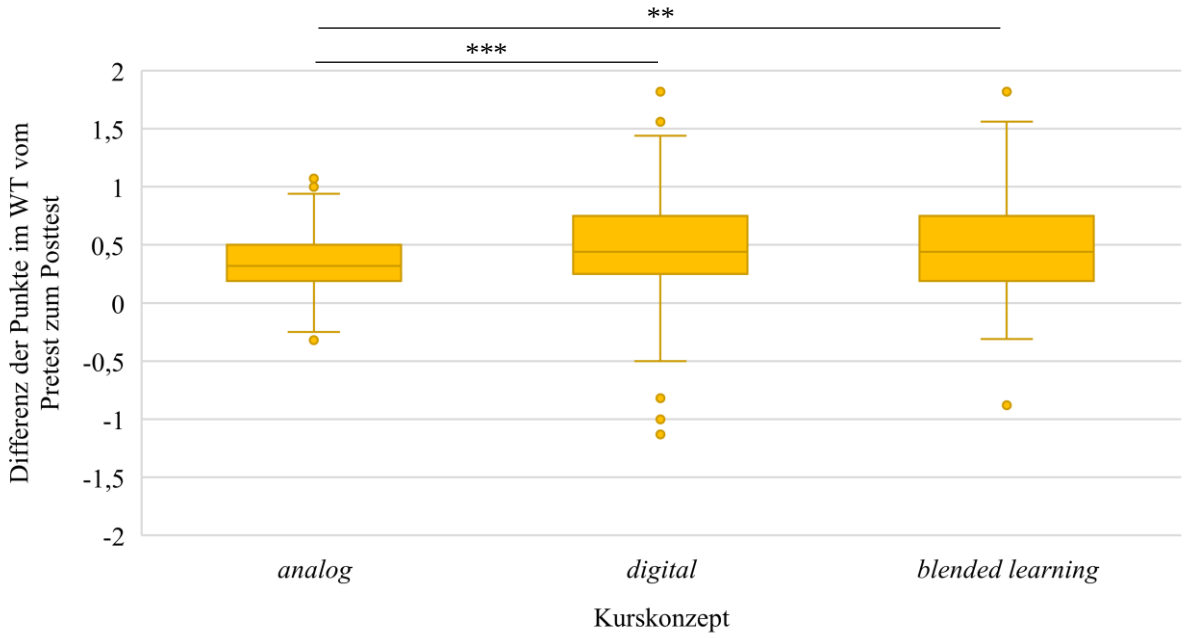


Abbildung 47: Differenz der erreichten Punktzahl im Wissenstest (WT) zwischen Pre- und Posttest in Abhängigkeit der Kurskonzepte. (** = p < 0,01; *** = p < 0,001)

F3.3 Wie nachhaltig ist die Veränderung der zoologischen Artenkenntnis der Studierenden durch den universitären Kurs?

Im Follow-Up Test etwa acht Wochen nach dem Posttest erreichten die Studierenden im Mittel *Md* = 2,563 (*IQR* = 0,75) Punkte in der Abfrage von 16 Tierarten (Abbildung 48). Mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang Test konnte eine statistisch signifikante Veränderung mit mittlerem Effekt vom Posttest zum Follow-Up Test ermittelt werden (z = 2,162; p < 0,05; r = 0,452).

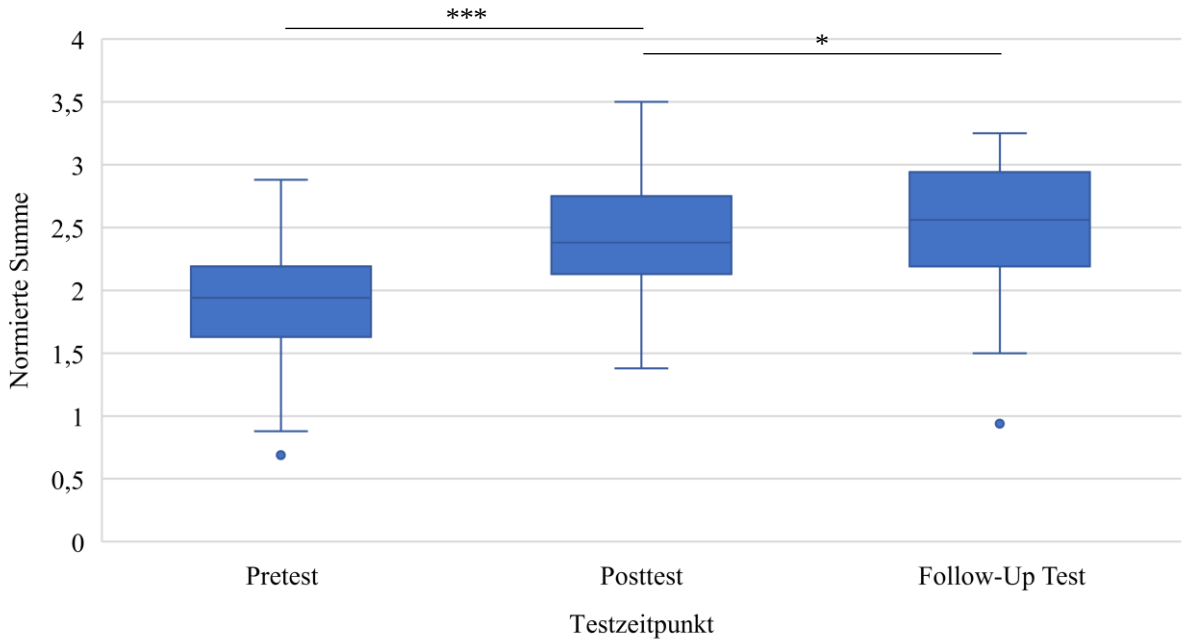


Abbildung 48: Veränderung der erreichten Punktzahl im Wissenstest vom Pretest zum Posttest und zum Follow-Up Test in den Jahren 2022 und 2023 (Kurskonzept *blended learning*). (* = $p < 0{,}05$; *** = $p < 0{,}001$)

8.4 Diskussion

F3.1 Welchen Einfluss hat ein Kurs zur Vermittlung von zoologischer Arten- und Formenkenntnis auf die Kompetenz und Selbsteinschätzung der Studierenden?

Ein entsprechender Kurs zur Vermittlung von Arten- und Formenkenntnis konnte in allen betrachteten Jahren die Kenntnisse der Studierenden deutlich verbessern. Die Ergebnisse unterstreichen somit die bedeutende Rolle spezielle Kurse zur Ausbildung von Arten- und Formenkenntnis, die auch Schulte et al. (2019) in ihrem Papier ansprechen und empfehlen.

Ebenso stiegt die mit der tatsächlichen Kenntnis korrelierende Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis in jedem betrachteten Jahr erheblich an. Erneut zeigt sich dadurch der enge Zusammenhang zwischen der eigenen Erwartung an die Artenkenntnis und der tatsächlichen Kompetenz der Artenkenntnis, die bereits im Rahmen der zweiten Teilstudie aber auch durch Studien von Gerl et al. (2021), Hesse (2002) sowie Jäkel und Schaer (2004) betont werden konnte.

F3.2 Welchen Einfluss haben die verschiedenen digital gestützten Kurskonzepte auf die zoologische Artenkenntnis der Studierenden?

Im Gegensatz zur früheren Ausrichtung der universitären Biologieausbildung findet sich heute im Biologiestudium und auch in der Ausbildung von zukünftigen Biologielehrer*innen nur noch selten Platz für einen expliziten Kurs zur Vermittlung und Prüfung von Arten- oder Formenkenntnis (Frobel & Schlumprecht, 2016). Dabei ist es von besonderer Relevanz, das Erkennen von Merkmalen und das Differenzieren von Organismen zu schulen, um auch nachhaltig die Vermittlung von Biodiversität zu erreichen (Frobel & Schlumprecht, 2016). Klassische Formenkenntniskurse mit Präparaten und dichotomem Bestimmungsschlüssel bilden dabei eine solide Grundlage im Biologiestudium (Frobel & Schlumprecht, 2016). Eine sinnvolle und notwendige Ergänzung dazu bilden Exkursionen, um die Organismen in ihren natürlichen Habitaten kennenzulernen und Naturerfahrungen zur emotionalen Prägung zu machen (Larson et al., 2016). Hier können auch digitale Tools wie Apps Einsatz finden (Wäldchen et al., 2016), um Naturerfahrungen modern, attraktiv und abwechslungsreich zu gestalten.

Die notwendige Umstellung der gesamten universitären Lehre auf digitale Formate als Folge der Pandemie hat viele Lehrende und Studierende vor große Herausforderungen gestellt. Die Vermittlung von Inhalten in der Distanz wurde dabei von vielen Lehrenden als Hindernis wahrgenommen und von vielen Studierenden als schwierig empfunden (Kreidl & Dittler, 2021). Die auffällig große Streuung der zoologischen Artenkenntnis der Studierenden im Pretest dieser Studie im Jahr 2020 lässt sich mindestens in Teilen durch die abrupte Umstellung auf die rein digitale Lehre in der Distanz und die damit verbundene Verunsicherung einzelner Studierender erklären. Auch die Anonymität und der fehlende Bezug zur Lehrperson durch die ungewohnte Kommunikation in Chat und Videotool (Onyema et al., 2020), können sich 2020 auf das Antwortverhalten der Teilnehmenden ausgewirkt haben. Durch diese Faktoren lassen sich auch die einzelnen auffällig guten Ergebnisse in diesem Jahr erklären, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass Teilnehmende im Wissenstest Unterstützung im Internet suchten. Anzunehmen ist, dass sich mit dem durch die weiter andauernde Ausnahmesituation einhergehenden Gewöhnungseffekt an die distanzierte Kommunikation und die Verbesserung des Umgangs mit technischen Möglichkeiten bei Lehrenden und Studierenden sich die Streuung im Antwortverhalten im Jahr 2021 wieder reduzierte. Auch hier muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Hilfestellung durch das Internet nicht ausgeschlossen werden kann.

Durch den zoologischen Formenkenntniskurs konnte sowohl im Kurskonzept *analog* und *digital* als auch im Kurskonzept *blended learning* das fachliche Wissen der Studierenden

erwartungskonform verbessert werden, sodass mehr präsentierte Tierarten erkannt und richtig benannt werden konnten. Eine intensive Beschäftigung mit der Thematik fördert demnach das spezifische Wissen und verbessert die zoologische Artenkenntnis nachweislich. Die Verbesserung dieser durch den ausschließlich digital durchgeführten Kurs ist dabei signifikant höher, als der Wissenszuwachs im Kurskonzept *analog*. Zwar ließen die rein digitale Kursumsetzung haptische Erfahrungen bei der Erkundung und Erarbeitung der Tierarten vermissen, jedoch standen den Studierenden alternativ eine große Auswahl qualitativ hochwertiger Fotos zur Verfügung, wodurch der fehlende direkte Kontakt zu den Präparaten scheinbar gut ausgeglichen werden konnte. Mit Blick auf das RAT-Modell nach Hughes et al. (2006) ist der Einsatz der digitalen Tools im Kurskonzept *digital* damit noch auf der Stufe der *Transformation* einzuordnen, da die analoge Form der Inhaltsvermittlung in erster Linie durch entstandene digitale Möglichkeiten ausgetauscht wird, mit einzelnen Verbesserungen wie der Erweiterung des Spektrums der behandelten Arten. Auch nach Puenteduras (2006) SAMR-Modell ist der Einsatz der digitalen Tools im Kurskonzept *digital* ebenfalls noch auf die Stufe der *Augmentation* einzuordnen.

Das direkte Feedback der eingesetzten Webseite erleichterte als formatives Assessment die Erarbeitung der Arten im Vergleich zum analogen Kurs, bei dem die Studierenden teilweise auf Feedback durch die Lehrenden warten müssen. Die kleinschrittigen Feedbackstrukturen auf der Webseite, beispielsweise durch die Überprüfung der Bezeichnung des Taxons Familie bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Bestimmung, wirken wie adaptive Hinweise während des Lernprozesses, welche sich nachweislich positiv auf den Lernerfolg auswirken (Jong et al., 2010; Kramer et al., 2019). Besonders förderlich für den Wissenszuwachs der zoologischen Artenkenntnis der Teilnehmenden scheint auch die Erleichterung der Nachbereitung der Kurstage im Selbststudium durch ortsunabhängigen Zugang zu den Präparaten über die Webseite zu sein. So können die Inhalte im Vergleich zum analogen Kurskonzept deutlich leichter reproduziert werden.

Auch im Kurskonzept *blended learning* konnte die zoologische Artenkenntnis der Befragten durch den Kurs signifikant verbessert werden. Es ist kein statistisch signifikanter Unterschied zum Kurskonzept *digital* zu erkennen, jedoch ist der Wissenszuwachs im Vergleich zum Kurskonzept *analog* erneut signifikant. Die Anreicherung der Lehre mit digitalen Tools schein somit insbesondere bei der Vermittlung von zoologischer Artenkenntnis förderlich zu sein. Durch die Kombination der klassisch analogen Lernmethoden und der haptischen Erfahrungen am Präparat mit den digitalen Technologien, der Erweiterung der thematisierten Arten im Kurs, durch ein direktes Feedback unabhängig von Dozierenden, sowie eine deutlich vereinfachte

Nachbereitung der Kurstage, kann vermutlich die zweite Stufe des RAT-Modell nach Hughes et al. (2006), die *Amplification*, erreicht werden. Der Einsatz der genannten Technologien ermöglicht eine Verbesserung und Erweiterung der Inhalte und Vermittlungsmöglichkeiten in Kombination mit den klassischen Lehr- und Lernmethoden, bietet den Lernenden neue Möglichkeiten für strukturierte Selbstlernphasen und kann daher auch im SAMR-Modell nach Puentedura (2006) auf der Stufe *Modification* eingeordnet werden.

F3.5 Wie nachhaltig ist die Veränderung der zoologischen Artenkenntnis der Studierenden durch den universitären Kurs?

Die Follow-Up Tests aus den Jahren 2022 und 2023 zeigen, dass die zoologische Artenkenntnis der Studierenden innerhalb von etwa acht Wochen nicht signifikant abgenommen hat. Es lässt sich sogar eine leichte Zunahme der erreichten Punktzahl im Test erkennen. Diese ist vermutlich auch im wiederholten Abfragen von Tierarten mit den gleichen Fotos begründet. Ein an die Befragungen anschließender Austausch mit Kommiliton*innen und das Nachschauen von Arten nach dem Ausfüllen des Fragebogens können die zoologische Artenkenntnis der Befragten zusätzlich verbessert haben. Zudem ist zu beachten, dass die zwischen dem Posttest und dem Follow-Up Test liegende abschließende Klausur zum angebotenen Kurs als enormer Verstärker der Artenkenntnis gewertet werden kann.

8.5 Fazit und Ausblick

Digitale Kursmodelle können nach den Ergebnissen der vorliegenden Teilstudie einen positiven Einfluss auf die Inhaltsvermittlung aufweisen. Der Einsatz digitaler Tools zeigt dabei viele genannte mögliche Vorteile. Bei der Vermittlung von Formen- und Artenkenntnis zeigt sich, dass sich eine Kombination digitaler Elemente und klassischer Lehre besonders positiv auf den Lernerfolg auswirkt. Die eingangs aufgestellte Hypothese zur verbesserten Inhaltsvermittlung durch den planvollen Einsatz digitaler Tools lässt sich somit deutlich bestätigen. Neben einer fortschreitenden Anpassung des Kurskonzeptes zur weiteren Optimierung der Vermittlung von Artenkenntnis, z. B. durch den Einsatz interaktiver Modelle soll auch die Nachhaltigkeit der erworbenen Artenkenntnis fortlaufend evaluiert werden.

9 Teilstudie 4: Erhebung der Selbsteinschätzung zur Medienkompetenz

9.1 Hinführung zum Thema

Digitale Medien zeigen in der vorliegenden dritten Teilstudie einen positiven Einfluss auf die Vermittlung von Artenkenntnis. Auch im späteren Berufsleben der angehenden Lehrkräfte können digitale Medien die biologische Lehre bereichern und den Zugang zu komplexen Themen vereinfachen (Eickelmann & Gerick, 2020; Kramer et al., 2019). Für die gute Vermittlung von Fachwissen mit digitalen Medien ist jedoch ein sicherer Umgang mit diesen, gepaart mit einer ausreichenden Medienkompetenz notwendig (Becker et al., 2020; Koehler & Mishra, 2009). Daher wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit die vierte Teilstudie entwickelt, in der die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz Studierender der Biologie inklusive der bedeutendsten TPACK-Kompetenzen sowie die Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien ermittelt wurden. Explizit sollten dabei die folgenden Fragestellungen beantwortet werden:

F4.1 Wie verändert sich die selbsteingeschätzte Medienkompetenz der Studierenden im Verlauf des Studiums?

F4.2 Gibt es Unterschiede in der Selbsteinschätzung der Medienkompetenz zwischen den Erhebungsjahren?

F4.3 Verändert sich die Motivation zum Umgang mit digitalen Medien im Verlauf des Bachelorstudiums?

F4.4 Hat sich die Motivation, mit digitalen Medien in Lehrveranstaltungen zu arbeiten, über den Erhebungszeitraum verändert?

F4.5 Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Antwortverhalten zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und der Motivation, mit digitalen Medien zu arbeiten?

F4.6 Wie entwickeln sich TPACK-Kompetenzen im Bachelorstudium angehender Lehrkräfte?

F4.7 Haben sich die TPACK-Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte über den Erhebungszeitraum geändert?

9.2 Material und Methode

9.2.1 Versuchsdesign

Im Rahmen der vierten Teilstudie wurde in einem quasiexperimentellen Studiendesign die Medienkompetenz Studierender des Fachs Biologie, ihre Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien sowie essenzielle TPACK-Kompetenzen (Mishra & Koehler, 2006) insbesondere im Hinblick auf den späteren Berufswunsch Lehrkraft erhoben. Es wurden Studierende verschiedener Semester im Bachelorstudium adressiert und die Entwicklung über die Erhebungsjahre von 2020 bis 2023 untersucht. Dadurch ergaben sich je Konstrukt unterschiedliche Stichprobengrößen und -zusammensetzungen, die bei der Analyse beachtet werden müssen.

Neben den eingangs genannten demografischen Angaben und den im folgenden Kapitel 9.2.2 vorgestellten Konstrukten *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz*, *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* sowie *TCK, PCK, TPK und TPACK* sollten die Teilnehmenden aus einer Liste von Hard- und Software angeben, welche digitalen Tools sie privat oder im universitären Kontext nutzen (Tabelle 20).

Tabelle 20: Erfassung der Nutzung digitaler Hard- und Software von Teilnehmenden

Itembezeichnung	Itemformulierung
FK04_01	Smartphone
FK04_02	Tablet
FK04_03	Notebook
FK04_04	Digitale Präsentationsprogramme (z. B. Microsoft PowerPoint)
FK04_05	Digitale Textverarbeitungsprogramme (z. B. Microsoft Word)
FK04_06	Digitale Kalkulationsprogramme (z. B. Microsoft Excel)
FK04_07	eBooks
FK04_08	Lernmanagementsysteme (z. B. Moodle)
FK04_09	soziale Netzwerke (z. B. Facebook, Instagram)
FK04_10	Foto- und Filmbearbeitungssoftware (z. B. Photoshop)
FK04_11	Desktop-PC
FK04_12	Webcam
FK04_13	Spiegelreflex-/System-/Digitalkamera

Ergänzend dazu sollten die Befragten anhand einer visualisierten Skala ihre explizite Kompetenz im Umgang mit einzelnen Geräten oder Programmen einschätzen (Abbildung 49). Die Antworten der Skala wurden mit Zahlenwerten statistisch auswertbar gemacht, wobei diese analog zu den Werten der Likert-Skala (Tabelle 1) von 0 (schlecht) bis 4 (sehr gut) reicht.

Die Befragung nahm inklusive einer kurzen Einführung etwa 20 Minuten in Anspruch.

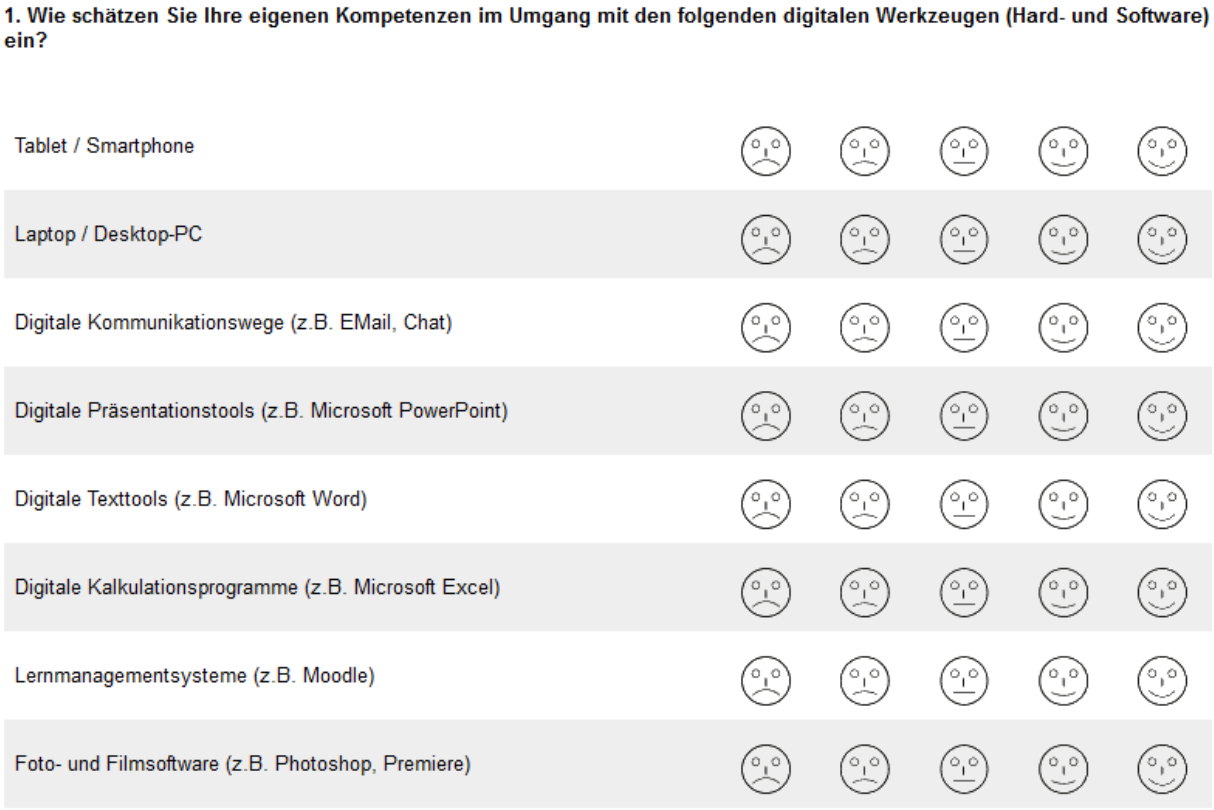


Abbildung 49: Einschätzung der eigenen Kompetenz im Umgang mit einzelnen digitalen Werkzeugen. Die Ergebnisse wurden anschließend numerisch mit 0 (schlecht) bis 4 (sehr gut) kodiert. (Quelle: eigene Darstellung aus Leiner (2019))

9.2.2 Stichproben

Zur Ermittlung der Ausprägung der selbsteingeschätzten Medienkompetenz und der Motivation zum digitalen Arbeiten wurden insgesamt $N = 644$ Lehramtsstudierende befragt. Die vollständigen Datensätze variieren dabei je Konstrukt, sodass die finalen Stichproben von der Gesamtstichprobe abweichen. Für das Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* ergab sich daraus eine finale Stichprobe von $N_{\text{Medienkompetenz}} = 630$. Die detaillierte Stichprobenzusammensetzung ist in Tabelle 28 dargestellt. Es wurden Studierende aus allen Semestern der

Regelstudienzeit des Bachelors befragt, wobei insbesondere das erste und vierte Semester vertreten waren (Tabelle 21).

Für das Konstrukt *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* ergab sich aus der ursprünglichen Stichprobe eine Anzahl an vollständigen Datensätzen von $N_{\text{Motivation}} = 602$. Die genaue Stichprobenzusammensetzung ist in Tabelle 21 dargestellt. Auch in dieser Stichprobe waren alle Semester des Bachelors vertreten (Tabelle 21).

Tabelle 21: Verteilung der Fachsemester innerhalb der finalen Stichproben für die Konstrukte *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* sowie der Konstrukte *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK*.

Konstrukt	***Selbst-einschätzung Medienkompetenz***	***Motivation zum Umgang mit digitalen Medien***	***TCK***	***PCK***	***TPK***	***TPACK***
Fachsemester	Anzahl (*N*)					
1	198	197	66	61	74	44
2	52	44	27	30	33	26
3	90	88	53	59	65	50
4	172	158	103	108	105	93
5	64	63	57	53	57	51
6	54	52	44	42	42	42
Gesamt	630	602	350	353	376	306

Die vier Skalen zur Ermittlung des Komplexes der ausgewählten TPACK-Kompetenzen wurden erst im Jahr 2021 in die Erhebung eingebunden und erfassten somit eine verringerte potenzielle Gesamtstichprobe von $N = 548$ Teilnehmenden. Eine vergleichsweise geringe Anzahl vollständiger Datensätze innerhalb dieser Konstrukte bedingen zudem relativ kleine finale Stichproben im Vergleich zur potenziellen Gesamtstichprobe (Tabelle 21). Auch die Skalen zur Erfassung der TPACK-Kompetenzen wurden über alle Fachsemester des Bachelor-Studiengangs hinweg erhoben.

Zur späteren Analyse der Entwicklung betrachteter Kompetenzen über den Erhebungszeitraum wurden die Kohorten zudem zu Stichproben in Abhängigkeit der Erhebungsjahre, unter Vernachlässigung der Fachsemester, zusammengefasst. Tabelle 22 gibt einen Überblick über die detaillierten Stichprobenzusammensetzungen in Abhängigkeit der Erhebungsjahre und der Konstrukte sowie der Gesamtstichproben je Konstrukt.

Tabelle 22: Zusammensetzung der Stichproben in Abhängigkeit der Erhebungsjahre (Ø Alter in Jahren). Differenzen zwischen Gesamtstichprobe (*N*) und den Geschlechterverteilungen ergeben sich aus Fällen ohne Angabe zum Geschlecht. Die Konstrukte *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* waren erst seit dem Jahr 2021 Teil der Befragung, wodurch Daten aus dem Jahr 2020 fehlen.

Erhebungsjahr		**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**Gesamt**
Konstrukt						
Selbsteinschätzung der Medienkompetenz	Anzahl (*N*)	116 (w = 80; m = 35 d = 0)	182 (w = 123; m = 57 d = 0)	178 (w = 110; m = 54; d = 1)	154 (w = 101; m = 46; d = 1)	630 (w = 414, m = 192, d = 2)
	Ø Alter	20,93	21,29	21,22	22,07	21,40
Motivation zum Umgang mit digitalen Medien	Anzahl (*N*)	113 (w = 79; m = 33 d = 0)	171 (w = 117; m = 52 d = 0)	169 (w = 105; m = 51 d = 0)	149 (w = 99; m = 43 d = 0)	602 (w = 400, m = 179; d = 1)
	Ø Alter	20,88	21,22	21,19	22,01	21,34
TCK	Anzahl (*N*)	/	114 (w = 81; m = 33 d = 0)	130 (w = 77; m = 41 d = 0)	106 (w = 72; m = 30 d = 0)	350 (w = 230, m = 104; d = 1)
	Ø Alter		21,35	21,33	22,56	21,71
PCK	Anzahl (*N*)	/	125 (w = 91; m = 33 d = 0)	122 (w = 72; m = 39; d = 1)	106 (w = 70; m = 29; d = 1)	353 (w = 233, m = 101; d = 2)
	Ø Alter		21,57	21,34	22,53	21,78
TPK	Anzahl (*N*)	/	125 (w = 85; m = 39 d = 0)	133 (w = 81; m = 41 d = 0)	118 (w = 80; m = 33 d = 0)	376 (w = 246, m = 113 d = 0)
	Ø Alter		21,28	21,36	22,44	21,67
TPACK	Anzahl (*N*)	/	103 (w = 75; m = 75 d = 0)	109 (w = 71; m = 32 d = 0)	94 (w = 63; m = 27 d = 0)	306 (w = 209, m = 87; d = 1)
	Ø Alter		21,50	21,48	22,81	21,89

9.2.3 Gütekriterien der Messinstrumente

Der Fragebogen zur Bewertung der Medienkompetenz und der TPACK-Kompetenzen beinhaltete insgesamt 32 Items. Zur Dimensionalitätsreduktion und zur Strukturierung der Variablen wurde in der ersten Teilstudie eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt (siehe Anhang), die latente Größen und damit relevante Faktoren für die Datenauswertung herausstellte (Zöfel, 2001). Als Voraussetzung wurde das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (KMO-Kriterium) erhoben sowie der Bartlett-Test durchgeführt, um die Eignung der Daten für die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse zu sichern. Das KMO-Kriterium gibt an, wie gut die Variablen in einem Datensatz miteinander korrelieren und kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Ein KMO-Wert von > 0,6 deutet darauf hin, dass die Daten für eine explorative Hauptkomponentenanalyse geeignet sind (Möhring & Schlütz, 2013). Der Bartlett-Test (Bartlett, 1937) überprüft, ob die Variablen im Datensatz ausreichend miteinander korrelieren, um eine Reduktion der Dimensionalität durchzuführen. Ein signifikanter Bartlett-Test deutet darauf hin, dass die Korrelation zwischen den Variablen für die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse ausreichend groß ist.

Das KMO-Kriterium des vorliegenden Datensatzes betrug 0,912 mit einem höchst signifikanten Bartlett-Test ($p < 0{,}001$) und sicherte so eine ausreichend hohe Korrelation zwischen den Items zur Durchführung der Hauptkomponentenanalyse. Nur Faktoren mit einem Eigenwert ≥ 1 wurden für die Faktorenextraktion in Betracht gezogen (Guttman, 1954; Kaiser, 1960). Nach Analyse des KMO-Kriteriums und einer visuellen Überprüfung des Screeplots (siehe Anhang) ergab sich die Extraktion von drei übergreifenden Faktoren mit Eigenwerten ≥ 1, die kumuliert 52,76 % der Gesamtvarianz erklärten.

Unter der Varimax Rotation luden 18 Items auf den ersten Faktor, der sich inhaltlich der Erfassung der TPACK-Kompetenzen (*TPACK*, *TCK*, *TPK*, *PCK*, siehe Kapitel 3.1.2.2) zuordnen lies und somit nachfolgend trotz der statistischen Zusammenfassung zu einem Faktor als vier unterschiedliche Konstrukte ausgewertet wird.

Die explizite Zusammensetzung der vier Konstrukte sowie die entsprechenden Reliabilitäten und Stichprobengrößen werden in den Tabelle 23 bis 26 dargestellt.

Tabelle 23: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TCK* bei einer Stichprobengröße von $N = 350$.

Variablen-name	Item	Korr. Item-Skala-Korrelation	Cronbachs α *TCK*
g19	Ich weiß, wie ich eine Unterrichtseinheit in meinem Fach plane, die den Einsatz von digitalen Werkzeugen und Medien (z. B. Lehrfilme) erfordert.	0,793	0,916
g20	Ich habe Kenntnisse im Einsatz von digitalen Technologien, die das Erreichen der Lernziele in meinem Biologieunterricht erleichtern werden.	0,827	
g21	Ich kann digitale Werkzeuge in meine zukünftige Unterrichtsplanung einbinden, die das Lernen biologischer Inhalte unterstützen.	0,797	
g22	Ich kenne digitale Werkzeuge, die das Lernen für Schülerinnen und Schüler im Biologieunterricht erleichtern.	0,730	
g23	Ich kann eine Unterrichtseinheit in der Biologie mit neuen Technologien planen.	0,779	

Tabelle 24: Items und Gütekriterien des Konstruktes *PCK* bei einer Stichprobengröße von $N = 353$.

Variablen-name	Item	Korr. Item-Skala-Korrelation	Cronbachs α *PCK*
g29	Ich habe Kenntnisse in der Auswahl geeigneter und zielgerichteter Unterrichtsstrategien für den Biologieunterricht.	0,816	0,923
g30	Ich weiß, wie ich die in meinem Unterrichtsplan beschriebenen Ziele erreichen kann.	0,844	
g31	Ich weiß, wie man effektive Lehransätze auswählt, um das Lernen der Schüler*innen im Biologieunterricht zu unterstützen.	0,843	
g32	Ich weiß, mit welchen Unterrichtsstrategien ich meine Schüler*innen für den Biologieunterricht begeistern kann.	0,788	

Tabelle 25: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TPK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 376.

Variablen-name	**Item**	**Korr. Item-Skala-Korrelation**	**Cronbachs α *TPK***
g24	Ich denke kritisch darüber nach, wie ich digitale Technologien später in meinem Unterricht einsetzen kann.	0,434	0,736
g25	Ich kann den Einsatz digitaler Werkzeuge, die ich kenne und nutze, an verschiedene Lerninhalte und Aktivitäten anpassen.	0,618	
g26	Ich kann die Angemessenheit einer neuen digitalen Technologie für das Lehren und Lernen bewerten.	0,538	
g28	Ich habe bereits einige Technologien und digitale Werkzeuge kennengelernt, die ich in meine spätere Unterrichtsplanung integrieren kann.	0,537	

Tabelle 26: Items und Gütekriterien des Konstruktes *TPACK* bei einer Stichprobengröße von *N* = 306.

Variablen-name	**Item**	**Korr. Item-Skala-Korrelation**	**Cronbachs α *TPACK***
g14	Ich kann in meiner zukünftigen Unterrichtsplanung didaktische Ansätze, fachliche Inhalte und digitale Werkzeuge sinnvoll kombinieren.	0,831	0,930
g15	Ich weiß, wie ich in meinem zukünftigen Biologieunterricht die Lernziele mit verschiedenen Unterrichtsstrategien und digitalen Technologien erreichen kann.	0,826	
g16	Ich weiß, welche zeitgemäßen Strategien und Technologien es für meine spätere Unterrichtsplanung gibt.	0,792	
g17	Ich kenne digitale Werkzeuge und Umsetzungen, die den Inhalt meines späteren Biologieunterrichts erweitern werden.	0,800	
g18	Ich kann anderen dabei helfen, fachliche Inhalte, pädagogische Ansätze und technologische Umsetzungen in ihrer Unterrichtsplanung zu kombinieren.	0,828	

Nach der durchgeführten Hauptkomponentenanalyse luden neun Items auf dem zweiten Faktor, der als Konstrukt unter dem Begriff *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* zusammengefasst werden konnte. Bei einer Stichprobengröße von $N = 630$ wurden im Rahmen der Reliabilitätsoptimierung zwei Items (g34 und g61) auf Grund unzureichender Werte der korrigierten Item-Skala-Korrelation aus dem Konstrukt ausgeschlossen. Mit sieben Items erreichte die Skala eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha = 0{,}847$ (Tabelle 27). Negativ formulierte Items wurden vor der Analyse entsprechend der Angaben umcodiert.

Tabelle 27: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz*. Die durchgestrichenen Items wurden aufgrund unzureichender Werte der korrigierten Item-Skala-Korrelation aus der Analyse ausgeschlossen. *Das Item wurde vor der Analyse umcodiert. $N = 630$

Variablenname	Item	Korr. Item-Skala-Korrelation	Cronbachs α
g5	Der Einsatz digitaler Medien in der Uni fällt mir leicht.	0,649	0,847
g7*	Das Angebot digitaler Medien überfordert mich.*	0,481	
g8	Wenn sich Probleme bei der Arbeit mit digitalen Medien auftun, versuche ich sie zu lösen.	0,522	
g9	Ich kann Probleme im Umgang mit digitalen Medien meist selbstständig lösen, auch wenn es manchmal etwas schwierig ist.	0,691	
g10*	Der Umgang mit neuen digitalen Geräten oder Anwendungen bereitet mir häufig Probleme.*	0,631	
g11	Selbst wenn ich mit neuen digitalen Geräten oder Anwendungen zuerst Probleme habe, kann ich diese mit genügend Zeit immer selbstständig lösen.	0,617	
g12	Ich kann anderen bei Problemen mit digitalen Geräten oder Anwendungen helfen.	0,668	
~~g13~~	Ich erstelle gemeinsam mit anderen Studierenden Präsentationen, Dokumentationen oder andere Projekte mit digitalen Medien.	0,241	
~~g27*~~	Ich glaube nicht, dass ich später das Lernen meiner Schüler*innen durch digitale Werkzeuge unterstützen kann.*	0,202	

Auf dem dritten Faktor luden in der Hauptkomponentenanalyse fünf Items, die nachfolgend zur Skala *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* zusammengefasst wurden. Bei einer Stichprobengröße von $N = 602$ ergab sich für diese Skala eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha = 0{,}759$ (Tabelle 28).

Tabelle 28: Items und Gütekriterien des Konstruktes *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien*. $N = 602$

Variablenname	Item	Korr. Item-Skala-Korrelation	Cronbachs α
g1	Digitale Medien, wie Smartphone, Tablet, Notebook und Apps, nutze ich für meine Unterlagen und Notizen während der Lehrveranstaltung.	0,528	0,759
g2	Digitale Medien, wie Smartphone, Tablet, Notebook und Apps, verwende ich auch in der Freizeit gerne.	0,442	
g3	Digitale Medien, wie Smartphones, Tablet, Notebook und Apps, in dieser Veranstaltung zu nutzen, motiviert mich, auch in anderen Kursen digitaler zu arbeiten.	0,587	
g4	Der Einsatz digitaler Medien in der Uni muss weiter gefördert werden.	0,552	
g6	Das Arbeiten mit digitalen Medien motiviert mich.	0,612	

9.3 Ergebnisse

F4.1 Wie verändert sich die selbsteingeschätzte Medienkompetenz der Studierenden im Verlauf des Studiums?

Die *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* der Studierenden wurde über den Verlauf des gesamten Bachelor-Studiengangs hinweg erhoben. Der Median der Selbsteinschätzung schwankte in Abhängigkeit des Fachsemesters zwischen mindestens $Md_{1.\ Semester} = 2{,}928$ ($IQR = 0{,}86$) und maximal $Md_{5.\ Semester} = 3{,}143$ ($IRQ = 0{,}82$) (Abbildung 50). Es ließ sich keine signifikante Veränderung des Medians im Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* in Abhängigkeit vom Fachsemester ermitteln ($N = 630$; $\chi^2 = 2{,}932$; $p = 0{,}710$).

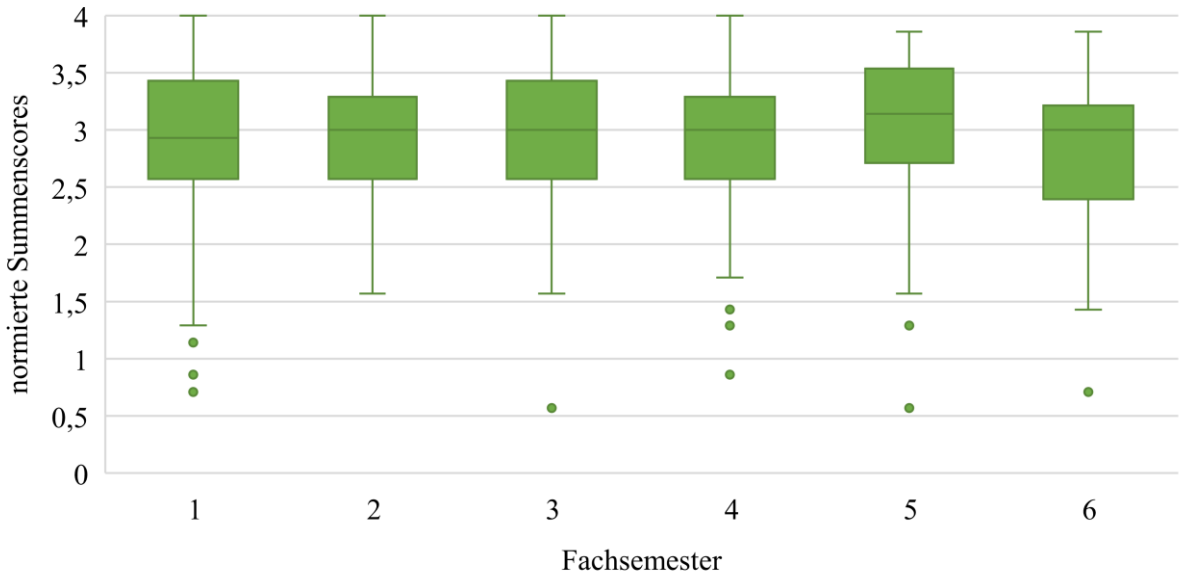


Abbildung 50: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* in Abhängigkeit vom Fachsemester.

F4.2 Gibt es Unterschiede in der Selbsteinschätzung der Medienkompetenz zwischen den Erhebungsjahren?

Die Medienkompetenz der Studierenden gemessen am Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* veränderte sich über die Zeit der Datenerhebung von 2020 bis 2023. Im Jahr 2020 betrug der Median der Skala bei einer Stichprobengröße von $N_{2020} = 116$ $Md = 2{,}857$ ($IQR = 0{,}82$). Im Jahr 2021 stieg dieser bei einer Stichprobe von $N_{2021} = 182$ auf $Md = 2{,}929$ ($IQR = 0{,}86$) an. Auch in den Jahren 2022 ($N_{2022} = 178$) und 2023 ($N_{2023} = 154$) betrug die normierte Antwort zur Skala *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* $Md = 3{,}000$ ($IQR_{2022} = 0{,}61$; $IQR_{2023} = 0{,}71$). Der Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben zeigte signifikante Unterschiede im Antwortverhalten zum angesprochenen Konstrukt zwischen den Erhebungsjahren ($\chi^2 = 9{,}160$; $p < 0{,}05$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten im paarweisen Vergleich jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Verteilung der normierten Summenscores in Abhängigkeit des Erhebungsjahrs (Abbildung 51).

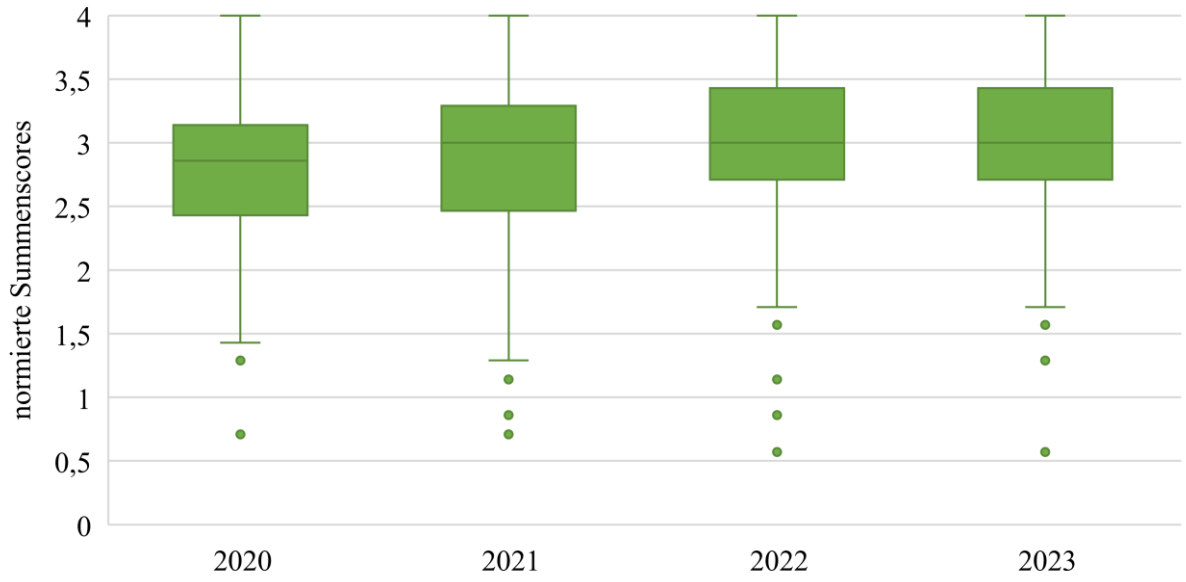


Abbildung 51: Veränderung der normierten Summenscores des Konstrukts *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* in Abhängigkeit der Erhebungsjahre

F4.3 Verändert sich die *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* im Verlauf des Bachelorstudiums?

Das Antwortverhalten zum Konstrukt *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* variierte leicht zwischen den Fachsemestern (Abbildung 52). Die Motivation, mit digitalen Medien im privaten oder universitären Umfeld zu arbeiten, lag im ersten Fachsemester bei *Md* = 3,200 (*IQR* = 1,00). Im zweiten Fachsemester erreichte die Skala im Mittel einen Wert von *Md* = 3,300 (*IQR* = 0,95). Studierende des dritten Fachsemesters stimmten dem Konstrukt mit einem Wert von *Md* = 3,400 (*IQR* = 0,60) besonders deutlich zu. Bei Teilnehmenden des vierten Fachsemesters sank die Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien wieder leicht auf *Md* = 3,200 (*IQR* = 1,00). Bei Befragten des fünften Fachsemesters betrug der Wert erneut *Md* = 3,400 (*IQR* = 0,80), während dieser im sechsten Fachsemester auf *Md* = 3,000 (*IQR* = 0,95) sank. Mittels Kruskal-Wallis-Test zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (χ^2 = 28,834; p < 0,001). Anschließende Post-hoc-Tests verdeutlichten signifikante Unterschiede zwischen einigen Fachsemestern (Tabelle 29). Nach Spearman lässt sich jedoch keine statistisch relevante Korrelation zwischen dem Fachsemester und dem Antwortverhalten zum Konstrukt *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* feststellen (Spearmans ρ = 0,060; p = 0,140), sodass die signifikanten Unterschiede beim paarweisen Vergleich der Verteilung der normierten Summenscores im Konstrukt keiner eindeutigen Struktur folgen und als Zufallsfunde bewertet werden können.

Tabelle 29: Ergebnisse der Post-hoc-Tests beim paarweisen Vergleich der *Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien* in Abhängigkeit des Fachsemesters. (* = $p < 0{,}05$; ** $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$)

Fachsemester	***p* (*r*)**					
	1	2	3	4	5	6
1						
2	1,000					
3	*** (0,251)	1,000				
4	1,000	1,000	* (0,210)			
5	** (0,214)	1,000	1,000	0,138		
6	1,000	1,000	** (0,299)	1,000	* (0,283)	

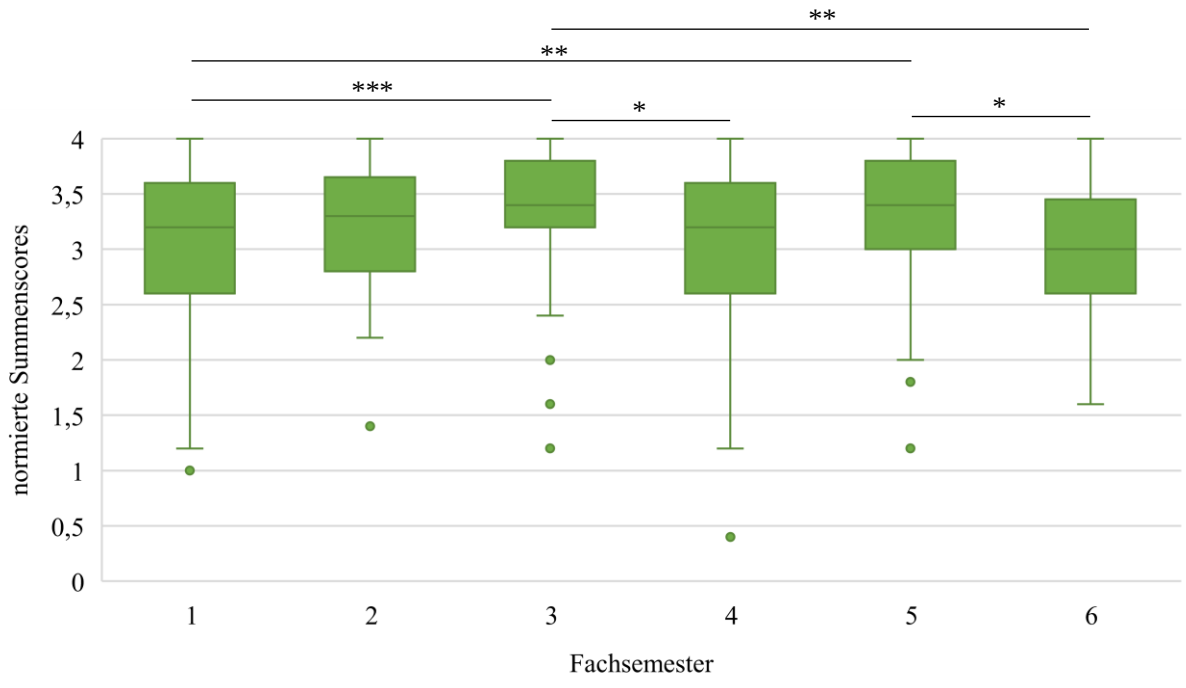


Abbildung 52: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt Motivation zum Umgang mit digitalen Medien über die Fachsemester. (* = $p < 0{,}05$; ** $p < 0{,}01$; *** = $p < 0{,}001$)

F4.4 Hat sich die Motivation, mit digitalen Medien in Lehrveranstaltungen zu arbeiten, über den Erhebungszeitraum verändert?

Die Motivation der Befragten, mit digitalen Medien zu arbeiten, stieg innerhalb des Befragungszeitraums der Studie über die Jahre an. Im Jahr 2020 betrug diese im Mittel *Md* = 2,800 (*IQR* = 1,00). Bis zum Jahr 2023 stieg sie kontinuierlich auf *Md* = 3,600 (*IQR* = 0,70) an (Abbildung 53). Dabei ließ sich eine höchst signifikante positive Korrelation zwischen dem Jahr und der Motivation zur digitalen Arbeit erkennen, mit mittlerem Effekt (Spearmans $\rho = 0{,}350$; $p < 0{,}001$). Der Vergleich der Gruppen mittels Kruskal-Wallis-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen den Jahren ($\chi^2 = 77{,}278$; $p < 0{,}001$). Anschließend durchgeführte Post-hoc-Tests zeigen signifikante Unterschiede mit kleinem bis moderatem Effekte im paarweisen Vergleich (Tabelle 30).

Tabelle 30: Ergebnisse der Post-hoc-Tests beim paarweisen Vergleich der Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien in Abhängigkeit des Erhebungsjahres. (*** = $p < 0{,}001$)

Erhebungsjahr	***p* (*r*)**			
	2020	2021	2022	2023
2020				
2021	1,000			
2022	*** (0,340)	*** (0,272)		
2023	*** (0,441)	*** (0,370)	0,593	

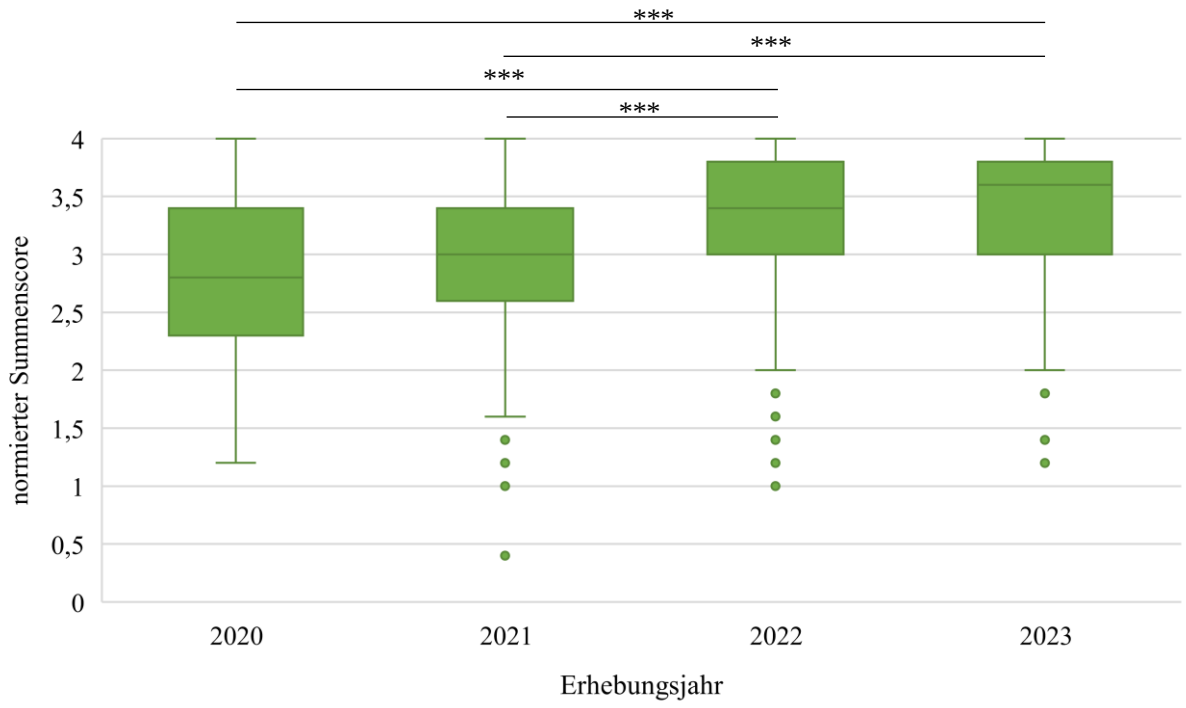


Abbildung 53: Veränderung der normierten Summenscores des Konstrukts *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* in Abhängigkeit der Erhebungsjahre. (*** = $p < 0{,}001$)

F4.5 Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Antwortverhalten zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und der Motivation, mit digitalen Medien zu arbeiten?

Mittels Spearman-Korrelation wurde analysiert, ob es einen statistischen Zusammenhang zwischen der *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und der Skala *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* innerhalb der Erhebungsjahre gab. Dabei wurden die einzelnen Jahre mittels Spearman Korrelationskoeffizienten miteinander verglichen. Tabelle 31 zeigt die anteilig betrachteten Stichprobengrößen sowie die Korrelationskoeffizienten der Vergleiche auf. Die beiden Variablen korrelierten nach Spearman in jedem Erhebungsjahr moderat bis stark miteinander.

Tabelle 31: Korrelation der Skalen *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* nach Jahren. Die Stichprobengröße *N* variiert in Abhängigkeit der übereinstimmenden Datensätze zweier Konstrukte. (** = $p < 0{,}01$)

2020			
		Medienkompetenz	Motivation zum Umgang mit digitalen Medien
Medienkompetenz	Korrelationskoeffizient	1,000	
	N	116	
Motivation zum Umgang mit digitalen Medien	Korrelationskoeffizient	0,575 **	1,000
	N	112	113
2021			
		Medienkompetenz	Motivation zum Umgang mit digitalen Medien
Medienkompetenz	Korrelationskoeffizient	1,000	
	N	182	
Motivation zum Umgang mit digitalen Medien	Korrelationskoeffizient	0,435 **	1,000
	N	170	171
2022			
		Medienkompetenz	Motivation zum Umgang mit digitalen Medien
Medienkompetenz	Korrelationskoeffizient	1,000	
	N	178	
Motivation zum Umgang mit digitalen Medien	Korrelationskoeffizient	0,526 **	1,000
	N	168	169
2023			
		Medienkompetenz	Motivation zum Umgang mit digitalen Medien
Medienkompetenz	Korrelationskoeffizient	1,000	
	N	154	
Motivation zum Umgang mit digitalen Medien	Korrelationskoeffizient	0,415 **	1,000
	N	145	149

F4.6 Wie entwickeln sich TPACK-Kompetenzen im Bachelorstudium angehender Lehrkräfte?

Die TPACK-Kompetenzen, gemessen an den Konstrukten *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK*, wurden im Rahmen der Studie seit dem Jahr 2021 erhoben. Zuerst wurde die Entwicklung über die Fachsemester der Befragten, anschließend über die Erhebungsjahre ermittelt.

Die Mediane der Skalen *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* variierten in Abhängigkeit der Fachsemester (Tabelle 32).

Tabelle 32: Verteilung der Antworten der Skalen *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* in Abhängigkeit des Fachsemesters.

Konstrukt		**Fachsemester**					
		1	2	3	4	5	6
TCK	*N*	66	27	53	103	57	44
	Md	2,400	2,000	2,800	2,200	2,400	2,600
	(IQR)	(1,45)	(1,60)	(1,20)	(1,40)	(1,20)	(1,00)
PCK	*N*	61	30	59	108	53	42
	Md	2,000	1,500	2,250	1,750	2,250	2,250
	(IQR)	(1,75)	(1,81)	(1,25)	(1,50)	(1,50)	(1,25)
TPK	*N*	74	33	65	105	57	42
	Md	2,750	2,500	2,750	2,750	2,750	2,750
	(IQR)	(0,75)	(0,88)	(0,75)	(0,75)	(1,00)	(1,00)
TPACK	*N*	44	26	50	93	51	42
	Md	2,400	1,900	2,600	2,00	2,600	2,400
	(IQR)	(1,75)	(1,45)	(1,00)	(1,40)	(1,20)	(0,70)

Im Hinblick auf das Konstrukt *TCK* ließ sich mittels Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ermitteln ($\chi^2 = 17{,}111$; $p < 0{,}01$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen dem zweiten und dritten Fachsemester ($p < 0{,}05$; $r = 0{,}349$) und dem dritten und vierten Fachsemester ($p < 0{,}05$; $r = 0{,}267$) (Abbildung 54).

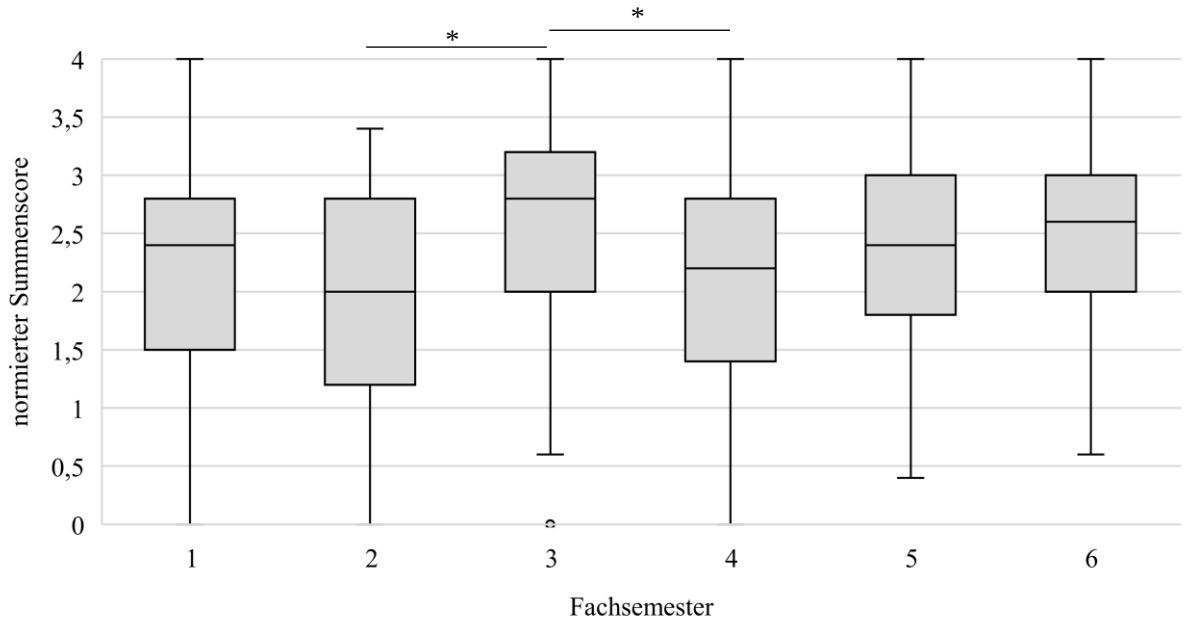


Abbildung 54: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TCK* in Abhängigkeit des Fachsemesters. (* = $p < 0{,}05$)

Auch die Skala *PCK* zeigte beim Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($\chi^2 = 16{,}137$; $p < 0{,}01$), wobei die angeschlossenen Post-hoc-Tests beim paarweisen Vergleich der Fachsemester jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede ermitteln ließen (Abbildung 55).

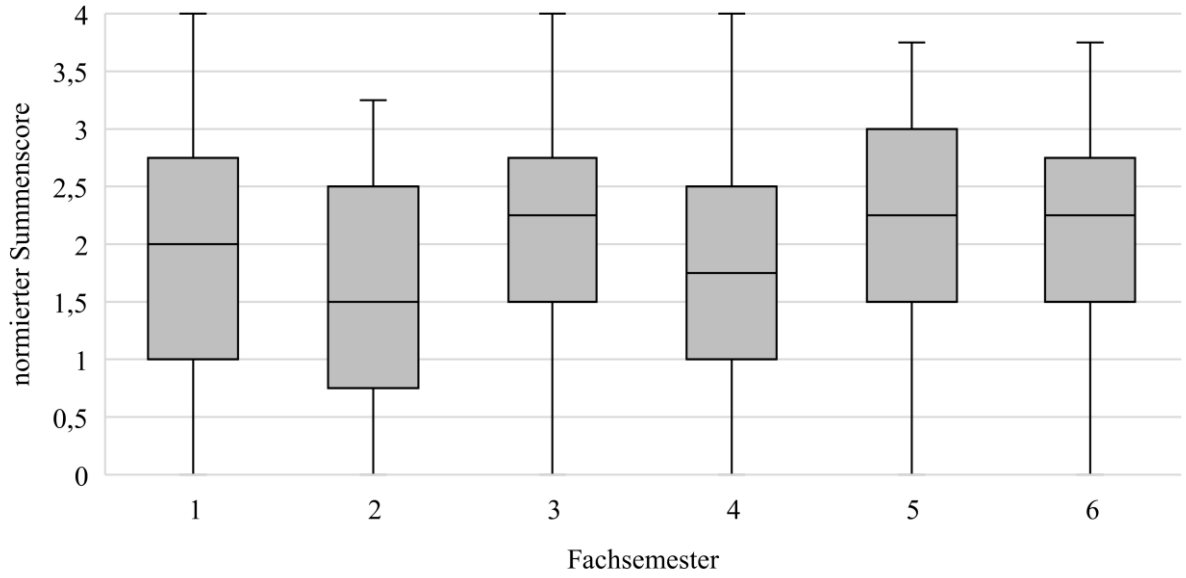


Abbildung 55: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *PCK* in Abhängigkeit des Fachsemesters.

Innerhalb des Konstruktes *TPK* konnte mittels Kruskal-Wallis-Test kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden ($\chi^2 = 3{,}348$; $p = 0{,}647$) (Abbildung 56).

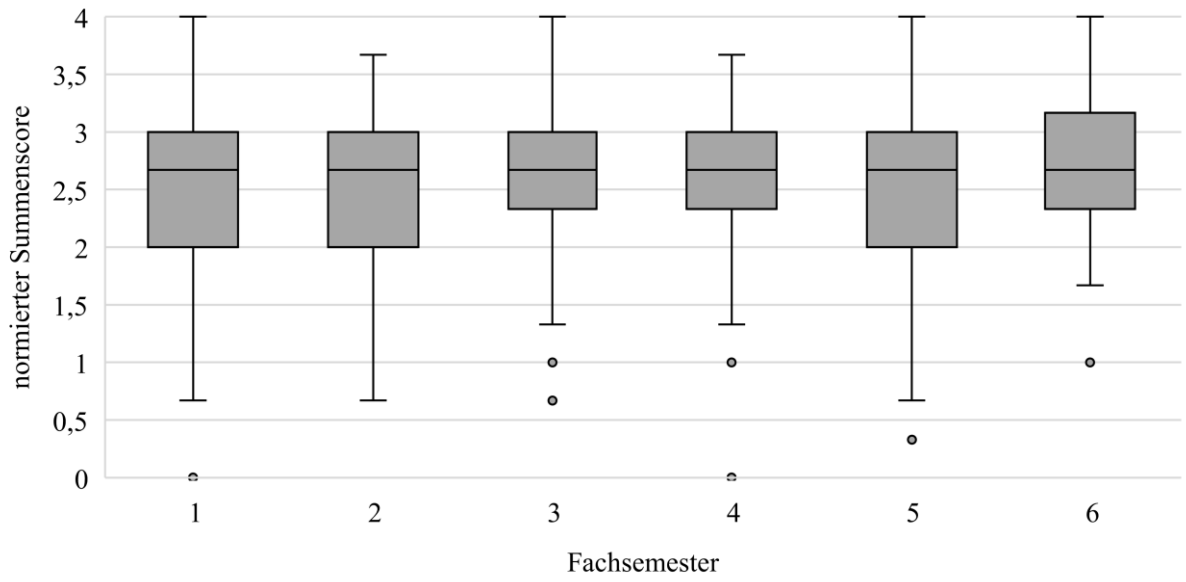


Abbildung 56: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPK* in Abhängigkeit des Fachsemesters.

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt bei der Skala *TPACK* erneut signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($\chi^2 = 16{,}917$; $p < 0{,}01$), wobei die anschließenden Post-hoc-Tests einen relevanten Unterschied zwischen dem dritten und vierten Fachsemester ermittelten ($p < 0{,}05$; $r = 0{,}279$) (Abbildung 57).

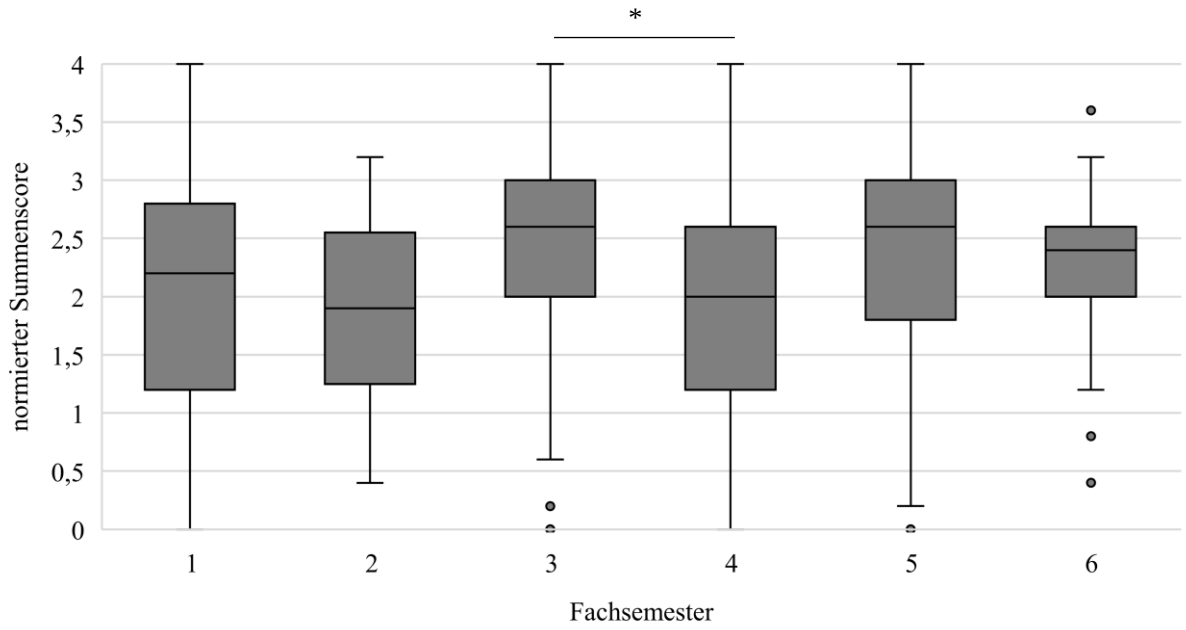


Abbildung 57: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPACK* in Abhängigkeit des Fachsemesters. (* = p < 0,05)

Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Fachsemester und einer der betrachteten Skalen ließ sich nur zwischen der Skala *PCK* und dem Fachsemester ermitteln (Spearmans $\rho = 0{,}105$; $p < 0{,}05$).

F4.7 Haben sich die TPACK-Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte über den Erhebungszeitraum geändert?

Nachdem keine eindeutigen oder strukturierten Unterschiede zwischen den Fachsemestern erkannt werden konnten, wurden die TPACK-Kompetenzen der Studierenden in Abhängigkeit der Erhebungsjahre 2021 bis 2023 analysiert (Tabelle 33).

Tabelle 33: Verteilung der Antworten der Skalen *TCK*, *PCK*, *TPK* und *TPACK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres.

Konstrukt		**Erhebungsjahr**		
		2021	2022	2023
TCK	*N*	114	130	106
	Md	2,200	2,500	2,400
	(IQR)	(1,40)	(1,20)	(1,40)
PCK	*N*	125	122	106
	Md	1,750	2,250	2,125
	(IQR)	(1,25)	(1,50)	(1,75)
TPK	*N*	125	133	118
	Md	2,500	2,750	2,750
	(IQR)	(0,75)	(0,75)	(1,06)
TPACK	*N*	103	109	94
	Md	2,000	2,400	2,400
	(IQR)	(1,40)	(1,00)	(1,60)

Innerhalb der Skala *TCK* ließ sich mittels Kruskal-Wallis-Test kein signifikanter Unterschied zwischen den Erhebungszeitpunkten feststellen ($\chi^2 = 5{,}326$; $p = 0{,}070$) (Abbildung 58).

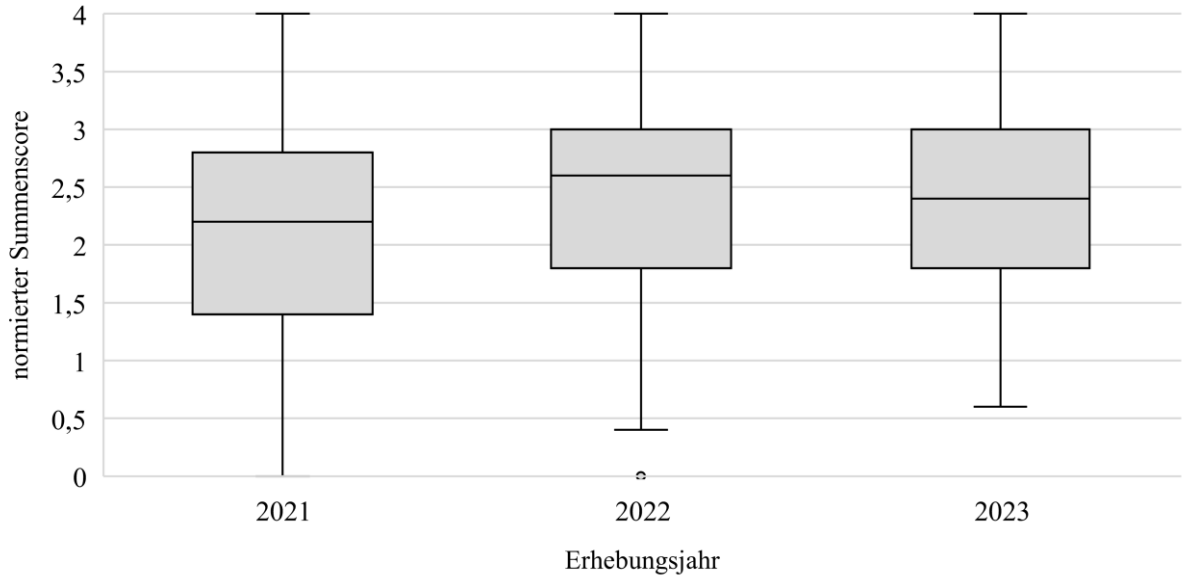


Abbildung 58: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TCK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres.

Die Skala *PCK* zeigte im Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Erhebungszeitpunkten ($\chi^2 = 7{,}955$; $p < 0{,}05$). Nachfolgende Post-hoc-Tests verdeutlichten hierbei

einen signifikanten Unterschied zwischen dem Jahr 2021 und 2023 ($p < 0,05$; $r = 0,179$) (Abbildung 59).

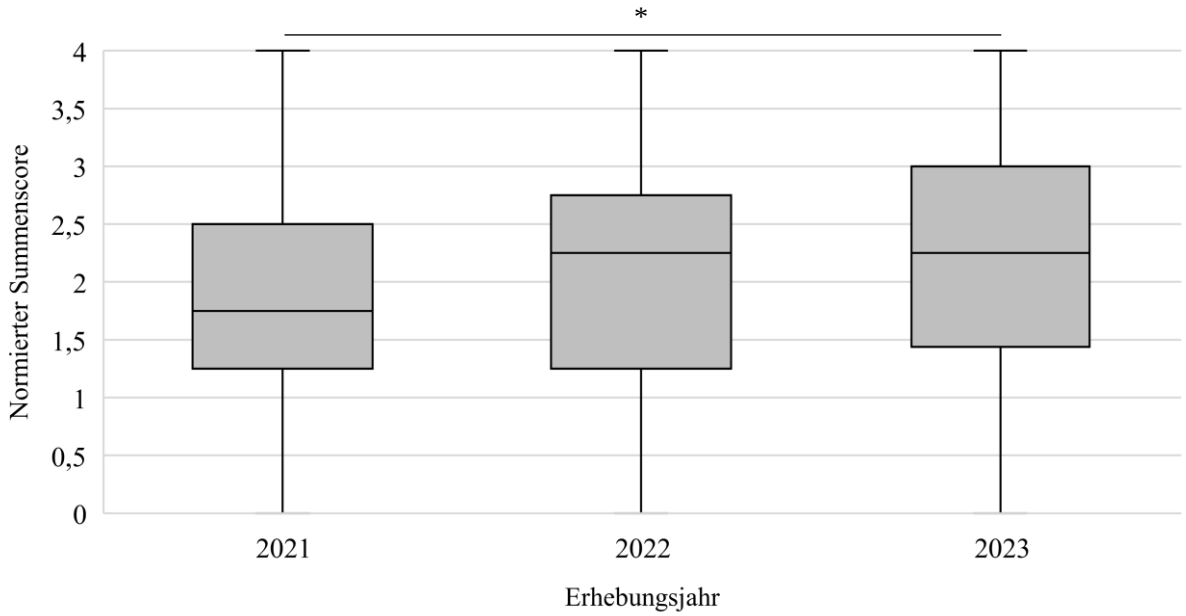


Abbildung 59: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *PCK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres. (* = $p < 0,05$)

Innerhalb der Skala *TPK* können keine statistisch signifikante Veränderung in Abhängigkeit des Erhebungsjahrs ermittelt werden ($\chi^2 = 3,644$; $p = 0,162$) (Abbildung 60).

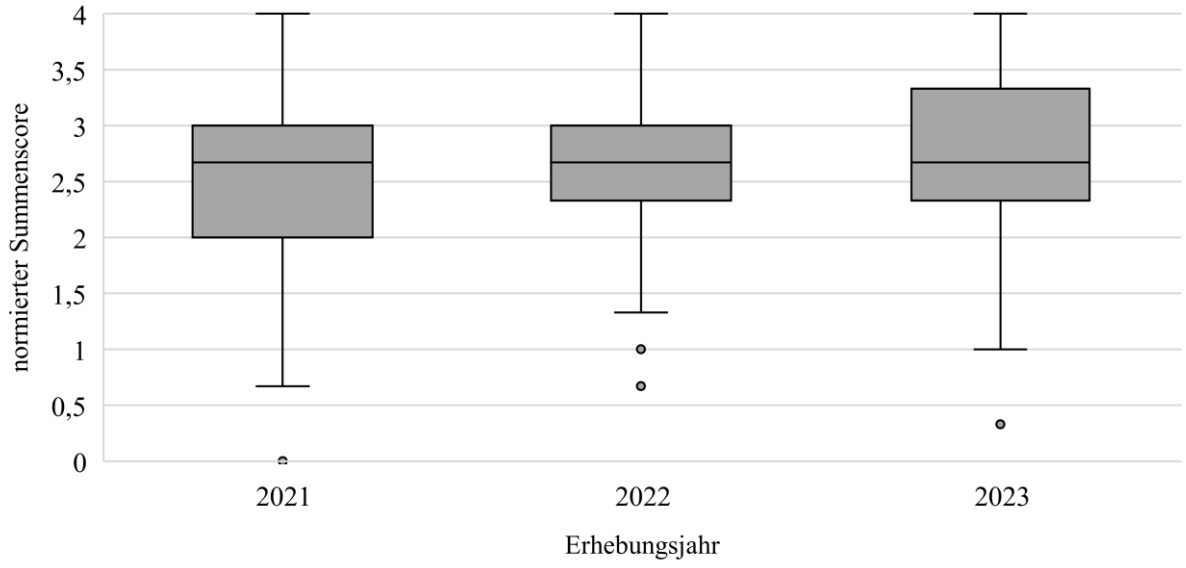


Abbildung 60: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt *TPK* in Abhängigkeit des Erhebungsjahres.

Innerhalb der Skala *TPACK* konnten signifikante Unterschiede in der Median-Ausprägung über die Erhebungsjahre ermittelt werden ($\chi^2 = 7{,}191$; $p < 0{,}05$). Anschließende Post-hoc-Tests zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen dem Jahr 2021 und dem Jahr 2023 ($p < 0{,}05$; $r = 0{,}179$) (Abbildung 61).

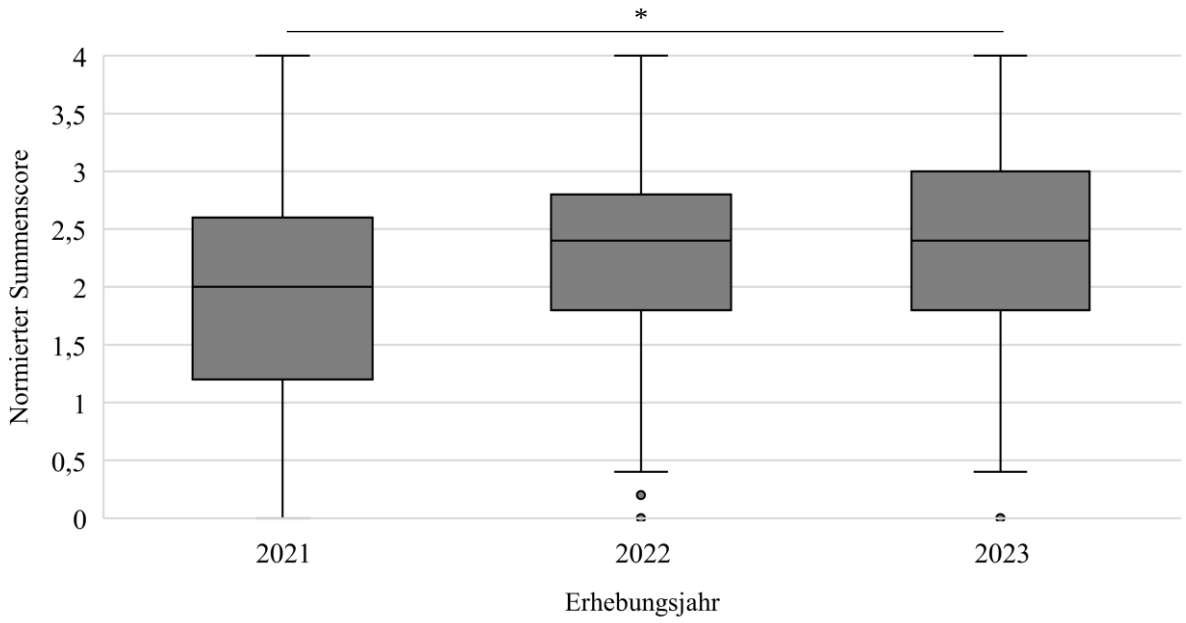


Abbildung 61: Entwicklung des Antwortverhaltens zum Konstrukt TPACK in Abhängigkeit des Erhebungs-jahres. (* = p < 0,05)

Eine statistisch signifikante Korrelation mit dem Erhebungsjahr ließ sich ebenfalls ausschließlich bei den Skalen *PCK* und *TPACK* ermitteln.

Untereinander korrelierten alle Konstrukte der abgefragten TPACK-Kompetenzen signifikant positiv miteinander. Tabelle 34 präsentiert die entsprechenden Ergebnisse.

Tabelle 34: Korrelationen zwischen den TPACK-Skalen und dem Erhebungsjahr. Die Stichprobengröße *N* variiert in Abhängigkeit der übereinstimmenden Datensätze zweier Konstrukte. (** = $p < 0{,}01$)

		Erhebungsjahr	***TCK***	***PCK***	***TPK***	***TPACK***
Erhebungsjahr	Korrelations-koeffizient	1,000				
	N	670				
TCK	Korrelations-koeffizient	0,097	1,000			
	N	365	365			
PCK	Korrelations-koeffizient	0,146**	0,760**	1,000		
	N	370	324	370		
TPK	Korrelations-koeffizient	0,077	0,671**	0,545**	1,000	
	N	397	325	324	397	
TPACK	Korrelations-koeffizient	0,145**	0,851**	0,803**	0,702**	1,000
	N	319	303	288	290	319

F4.8 Welche digitalen Werkzeuge nutzen Studierende in der Uni oder in ihrer Freizeit und wie schätzen die Studierenden ihre eigenen expliziten Kompetenzen im Hinblick auf digitale Tools ein?

Die digitalen Werkzeuge, die Studierende in der Universität oder privat nutzen, wurden im Rahmen der Befragung ab dem Jahr 2021 erhoben. Das Smartphone wurde dabei im Jahr 2021 von 98,9 % der Befragten genutzt, im Jahr 2023 waren es 98,2 %. Der Anteil Studierender, die ein Tablet privat oder universitär nutzten, nahm über die Erhebungsjahre zu. Im Jahr 2021 gaben 67,2 % der Befragten an, ein Tablet zu nutzen. Im Jahr 2023 waren es 83,4 % der Teilnehmenden. Gleichzeitig sank die Nutzung von Notebooks im Befragungszeitraum von 64,0 % der Befragten im Jahr 2021 auf 56,2 % der Befragten im Jahr 2023. Digitale Präsentationsprogramme, wie Microsoft PowerPoint und digitale Schreibprogramme wie Microsoft Word wurden über den Erhebungszeitraum hinweg von ca. 75-80 % der Teilnehmenden genutzt, während digitale Kalkulationsprogramme, wie Microsoft Excel über den gesamten Befragungszeitraum hinweg von weniger als der Hälfte der Befragten genutzt wurden (Abbildung 62).

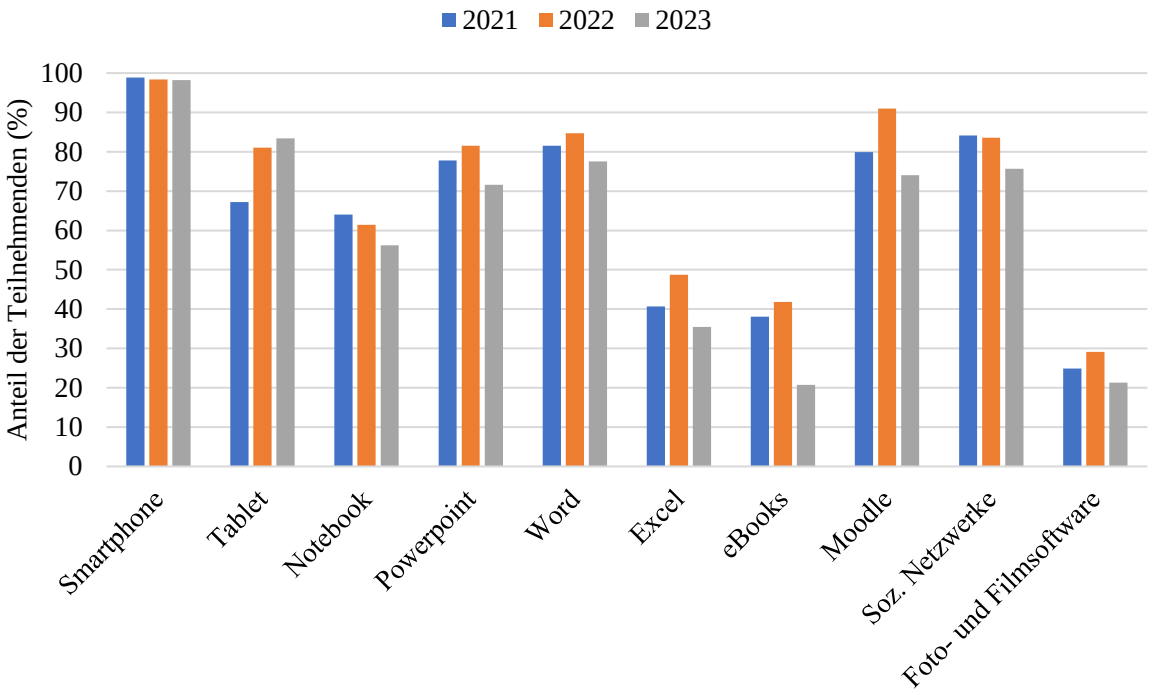


Abbildung 62: Relativer Anteil der Teilnehmenden, die abgefragte digitale Tools im privaten oder universitären Kontext nutzten

Zusätzlich schätzten die Studierenden im Rahmen der Befragung ihre Kompetenz im Umgang mit einzelnen digitalen Tools ein. Entsprechend der Nutzung der Tools durch die Studierenden waren auch die selbst eingeschätzten Kompetenzen insbesondere bei der Nutzung des Smartphones und Tablets hoch (*Md* = 4,000; *IQR* = 1,00). Auch im Umgang mit PCs/Laptops, der Lernplattform Moodle und digitalen Kommunikationswegen wie bspw. E-Mail, WhatsApp oder sozialen Netzwerken schätzten sich die Teilnehmenden sehr gut ein (Tabelle 35). Besonders niedrig schätzten sie ihre Kompetenzen im Umgang mit dem Kalkulationsprogramm Microsoft Excel ein (*Md* = 1,000; *IQR* = 1,00).

Tabelle 35: Eigene Einschätzung der Kompetenzen im Umgang mit digitalen Tools von Befragten in den Erhebungsjahren auf einer visualisierten Skala von 0 (schlecht) bis 4 (sehr gut). N_{2021} = 186; N_{2022} = 179; N_{2023} = 168

Erhebungsjahr	**2021**	**2022**	**2023**
		Md (IQR)	
Smartphone / Tablet	4,000 (1,00)	4,000 (1,00)	3,000 (1,00)
Laptop / Desktop-PC	3,000 (1,00)	3,000 (1,00)	3,000 (1,00)
Digitale Präsentationsprogramme (z. B. Microsoft PowerPoint)	3,000 (1,00)	3,000 (1,00)	3,000 (1,00)
Digitale Textbearbeitungsprogramme (z. B. Microsoft Word)	3,000 (0,00)	3,000 (0,00)	3,000 (1,00)
Digitale Kalkulationsprogramme (z. B. Microsoft Excel)	1,000 (1,00)	1,000 (1,00)	1,000 (1,00)
Foto- und Filmsoftware	1,000 (2,00)	1,000 (1,00)	1,500 (1,00)
Lernmanagementsysteme bspw. Moodle	3,000 (0,00)	3,000 (1,00)	3,000 (1,00)
Digitale Kommunikationswege (z. B. E-Mail, soz. Netzwerke)	4,000 (1,00)	4,000 (1,00)	3,000 (1,00)

9.4 Diskussion

Die vierte Teilstudie fokussierte die selbsteingeschätzte Medienkompetenz der Biologiestudierenden im Bachelorstudium über alle Fachsemester, unter zusätzlicher Betrachtung der fachspezifischen TPACK-Kompetenzen. Zudem wurde die Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien sowie die Häufigkeit und selbst eingeschätzte Kompetenz zum Umgang mit digitalen Medien erhoben.

Zur gezielten Abfrage ausgewählter TPACK-Kompetenzen im biologischen Kontext wurden entsprechende Items generiert. Dadurch sollte die Notwendigkeit einer spezifischeren Ermittlung der Kompetenzen sowie ein ausreichender Bezug zum Kontext gesichert werden (Thoms et al., 2022). Die erstellten Items, die im Rahmen der vorliegenden Studie zu den jeweiligen Konstrukten *TCK*, *PCK*, *TPK*, *TPACK* zusammengefasst wurden, ließen sich im Rahmen der Hauptkomponentenanalyse keinen einzelnen Faktoren eindeutig zuordnen, sondern luden alle auf einem Faktor. Zudem waren die Reliabilitäten innerhalb der Konstrukte, mit Ausnahme des Konstruktes *TPK*, mit Werten von Cronbachs $\alpha > 0{,}9$ sehr hoch. Die Items und die daraus

resultierenden Konstrukte der vorliegenden Studie lassen sich zwar inhaltlich eindeutig den erfragten Kompetenzen zuordnen, können jedoch statistisch nicht trennscharf betrachtet werden. Diese Problematik lässt sich auch in den Analysen der Ausprägungen der Konstrukte erkennen, auf die an späterer Stelle dieser Diskussion intensiver eingegangen werden soll. Hier zeigt sich demnach auch eine der Schwächen des Modells von Mishra und Koehler (2006), da sich die angesprochenen Kompetenzen häufig nur wenig spezifisch abbilden lassen. Die im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelten Konstrukte zur Erhebung der TPACK-Kompetenzen eignen sich demnach nur bedingt zur Analyse dieser, was bei der Bewertung der ermittelten Effekte berücksichtigt werden sollte. Geeignetere Modelle, wie der Orientierungsrahmen DiKoLAN von Becker et al. (2020) waren zum Zeitpunkt der Fragebogenentwicklung der vorliegenden Studie noch nicht verfügbar.

F4.1 Wie verändert sich die selbsteingeschätzte Medienkompetenz der Studierenden im Verlauf des Studiums?

Die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz der Studierenden verändert sich im Verlauf des Bachelorstudiums nicht signifikant. Sie ist insgesamt jedoch als hoch zu werten. Eine hohe Bewertung der eigenen Medienkompetenz ist förderlich für einen kompetenten Umgang mit digitalen Medien und kann die Motivation zur Arbeit mit digitalen Tools fördern (Vogelsang et al., 2019). Auch wenn die Selbsteinschätzung zur Darstellung der Medienkompetenz teilweise kritisch betrachtet wird (Süss et al., 2018), so lässt sie doch valide Rückschlüsse auf die Kompetenz im Umgang mit digitalen Tools zu (Dertinger, 2021; Ehm et al., 2019).

Die gleichbleibende Selbsteinschätzung der Medienkompetenz über alle Fachsemester hinweg lässt sich unter anderem durch den gleichmäßigen (intensiven) Einsatz digitaler Medien zum Lehren und Lernen erklären. Die eingangs aufgestellte Hypothese, die Medienkompetenz der Studierenden würde sich im Laufe des Studiums steigern, kann somit nicht bestätigt werden.

F4.2 Gibt es Unterschiede in der Selbsteinschätzung der Medienkompetenz zwischen den Erhebungsjahren?

Da die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz sich über die Fachsemester nicht verändert, lassen sich die Gruppen in Abhängigkeit der Erhebungsjahre und unter Vernachlässigung der Fachsemester zusammenfassen. Es lässt sich hierbei ein Trend erkennen, dass die selbstbewertete Medienkompetenz von 2020 bis 2023 leicht ansteigt. Jedoch ist dieser Zusammenhang nicht statistisch signifikant. Die Zunahme lässt sich unter anderem durch den deutlich gesteigerten Einsatz digitaler Medien durch die Corona-Pandemie (Faridah et al., 2020) erklären. Der

forcierte Umgang mit digitalen Tools kann durch regelmäßige Übung einen positiven Effekt auf die Medienkompetenz haben. Durch die insgesamt hohe Selbsteinschätzung der Medienkompetenz werden die beobachtbaren Effekte potenziell vermindert. Zudem kann der vermehrte Einsatz digitaler Tools in der Lehre und zum Lernen auch Problematiken im Umgang mit diesen aufdecken und damit mindernd auf die Einschätzung der eigenen Medienkompetenz wirken.

F4.3 Verändert sich die *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* im Verlauf des Bachelorstudiums?

Die Motivation zur Arbeit und zum Umgang mit digitalen Medien ist bei den Teilnehmenden der vorliegenden Studie insgesamt sehr hoch und verändert sich im Laufe des Bachelorstudium nicht. Die hohe Motivation hat positive Auswirkungen auf den kompetenten Umgang mit digitalen Medien (Rheinberg & Engeser, 2018). Durch einen sinnvollen und lernförderlichen Einsatz digitaler Tools in der universitären Lehramtsausbildung lässt sich diese Motivation aufrecht erhalten oder gar verbessern (Lin et al., 2017; Thoms et al., 2022). Dies kann eine gesteigerte Medienkompetenz und damit auch einen verbesserten Einsatz digitaler Medien zum Lernen aber auch zum späteren Lehren an Schulen zur Folge haben.

F4.4 Hat sich die Motivation, mit digitalen Medien in Lehrveranstaltungen zu arbeiten, über den Erhebungszeitraum verändert?

Vom Jahr 2020 bis zum Jahr 2023 steigt die Motivation zum Umgang mit digitalen Medien unter Vernachlässigung des Fachsemesters deutlich an. Die steigende Motivation lässt sich zum einen durch den gesteigerten Einsatz digitaler Medien in der Lehre durch die pandemiebedingte Ausnahmesituation erklären. Ähnlich wie die Medienkompetenz steigt auch der Antrieb digitale Tools zum Lernen einzusetzen mit dem vermehrten Einsatz dieser (Faridah et al., 2020). Vorteile digitaler Tools werden durch den Einsatz eher erkannt und diese so als gewinnbringend bewertet. Dadurch kann die Motivation steigen (Lin et al., 2017) und in den vorliegenden Daten einige Effekte erklärt werden.

Zum anderen werden digitale Tools heute didaktisch fundierter in die Lehre eingebunden (Breitenbach, 2021; Faridah et al., 2020; Frey & Uemminghaus, 2021). Ein durchdachter und planvoller Einsatz digitaler Medien kann förderlich für das Lernen sein und somit die Motivation zur Arbeit mit diesen Tools steigern. Dadurch lässt sich die deutliche Zunahme der Motivation zum Umgang mit digitalen Medien über die Erhebungsjahre erklären, die alle durch digitalisierte Lehre geprägt waren und von Erfahrungen aus den Vorjahren profitierten.

Abzuwarten bleibt, ob die Motivation in folgenden Jahren weiterhin auf dem dargestellten hohen Niveau bleibt oder sich durch die Veränderung der Lehre und des Lernens im Zuge der Digitalisierung verändert.

Durch die pandemiebedingte Distanzlehre waren die Studierenden zusätzlich darauf angewiesen, digitale Medien zu nutzen. Einsatz und Kompetenz hängen zusammen und bedingen auch die Motivation. Dadurch ergab sich die fünfte Fragestellung innerhalb der vierten Teilstudie.

F4.5 Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Antwortverhalten zum Konstrukt *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und der Motivation, mit digitalen Medien zu arbeiten?

Es wurde angenommen, dass eine gesteigerte Selbsteinschätzung der Medienkompetenz zu einer erhöhten Motivation zum Einsatz und zum Umgang mit digitalen Tools führt und umgekehrt. Die Konstrukte *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen Medien* korrelieren in der vorliegenden Studie stark positiv miteinander, sodass die aufgestellte Annahme belegt werden konnte. Die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz kann als intrinsischer Faktor als ausschlaggebend für die Motivation gewertet werden (Thoms et al., 2022). Damit hat die Selbsteinschätzung auch einen direkten Einfluss auf die Medienkompetenz der Teilnehmenden (Dertinger, 2021; Ehm et al., 2019; Meiners et al., 2022).

F4.6 Wie entwickeln sich TPACK-Kompetenzen im Bachelorstudium angehender Lehrkräfte?

Vorausgehend wurde angenommen, dass die TPACK-Kompetenzen der Studierenden bereits im Verlauf des Bachelorstudiums zunehmen, da einem zunehmenden Einsatz digitaler Medien in der universitären Lehre ein positiver Einfluss auf diese Kompetenzen unterstellt wurde. Jedoch ließen sich keine eindeutigen Entwicklungen innerhalb der abgefragten TPACK-Kompetenzen ermitteln. Eine mögliche Ursache liegt in dem Angebot spezifischer didaktischer Kurse im Bachelorstudium. Insbesondere die Biologiedidaktik wird an der adressierten Universität verstärkt im Master-Studiengang thematisiert. Im Bachelor-Studiengang setzten sich die Studierenden nur im Rahmen einer Vorlesung mit Abschlussprüfung mit der Thematik auseinander. Durch die geringe Thematisierung lassen sich daher im Bachelorstudium keine wesentlichen Effekte auf die abgefragten TPACK-Kompetenzen ermitteln, trotz hoher selbsteingeschätzter Medienkompetenz. Hier würde eine angepasste Erhebung im Masterstudium Sinn ergeben, um die Entwicklung der Kompetenzen bei einer intensiveren thematischen Auseinandersetzung abzubilden. Dabei sollte auch eine Anlehnung der abgefragten Konstrukte an das von Becker et al. (2020) entwickelte Modell DiKoLAN erfolgen, um statistische Schwächen

auszugleichen. Somit kann auch eine sinnvolle Anpassung der TPACK-Kompetenzen an die Zielgruppe der Lehramtsstudierenden realisiert werden.

F4.7 Haben sich die TPACK-Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte über den Erhebungszeitraum geändert?

In Abhängigkeit der Erhebungsjahre kann abgebildet werden, dass die Kompetenzen *PCK* und *TPACK* von 2021 auf 2023 signifikant steigen. Diese Entwicklungen lassen sich jedoch nicht für die Konstrukte *TPK* und *TCK* darstellen. Hier sind erneut die statistischen Mängel der Konstrukte als eine mögliche Erklärung für Unterschiede zwischen den Erhebungszeitpunkten heranzuziehen. Inhaltliche Begründungen für die unterschiedliche Entwicklung der Konstrukte zwischen den Erhebungsjahren entbehren eindeutiger Grundlagen. Eine steigende Entwicklung aller TPACK-Kompetenzen ist in ihrer Abhängigkeit von einer gesteigerten Medienkompetenz zu erklären, die Teil der TPACK-Kompetenzen ist (Schmid & Petko, 2020).

Die teils stark positive Korrelation zwischen den Konstrukten zu den abgefragten TPACK-Kompetenzen lassen sich wie eingangs beleuchtet, zum einen durch die unzureichende statistische Trennbarkeit der Konstrukte erklären. Zum anderen hängen die Konstrukte inhaltlich stark zusammen, was ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen der Ausprägung der verschiedenen Kompetenzen erklärt. Für die inhaltliche Beurteilung der Zusammenhänge zwischen den TPACK-Kompetenzen sind die statistischen Aussagen jedoch nicht geeignet.

F4.8 Welche digitalen Werkzeuge nutzen Studierende in der Uni oder in ihrer Freizeit und wie schätzen die Studierenden ihre eigenen expliziten Kompetenzen im Hinblick auf digitale Tools ein?

Entsprechend der vorangegangenen Punkte einer hohen Einschätzung der eigenen Medienkompetenz sowie einer großen Motivation zum Umgang mit digitalen Medien zeigt sich auch der Einsatz entsprechender Tools im Alltag und zum Lernen. Fast alle Befragten gaben in den Jahren 2021, 2022 und 2023 an, ein Smartphone zu nutzen und schätzen ihre Kompetenz im Umgang mit diesem sehr hoch ein. Diese Daten decken sich mit den eingangs dargestellten Daten der JIM-Studie (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2023) und verdeutlichen die Präsenz digitaler Medien im Alltag junger Erwachsener. Ein deutlicher Einfluss der digitalisierten Lehre lässt sich in der Entwicklung der Tabletnutzung erkennen, die im Erhebungszeitraum deutlich zugenommen hat. Dies untermauert die Bedeutung von Tablets für die Lehre (forsa, 2023).

9.5 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der vierten Teilstudie konnte die Entwicklung der Konstrukte *Selbsteinschätzung der Medienkompetenz* und *Motivation zum Umgang mit digitalen* sowohl über die Fachsemester des Bachelorstudiums als auf über die Jahre 2021 – 2023 hinweg analysiert werden.

Die vermutete Zunahme der selbsteingeschätzten Medienkompetenz Studierender im Verlaufe des Studiums sowie die Zunahme der Motivation zur Arbeit mit digitalen Tools konnte nicht bestätigt werden. Im Studiumsverlauf wurden bis zum Jahr 2022 noch keine spezifischen Kurse zur Ausprägung der Medienkompetenz systematisch angeboten. Entsprechende Kurse haben das Potenzial, diese zu steigern und werden heute verpflichtend in das Bachelorstudium eingebunden. Eine weitere empirische Erfassung der potenziell gesteigerten Medienkompetenz im Verlauf des Studiums ist daher bereits Teil zukünftiger Forschungsarbeit.

Auch die über die Erhebungsjahre deutlich zunehmende Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien lässt sich teilweise durch einen zunehmend planvollen Einsatz digitaler Tools auch durch die Studierenden selbst erklären. Diese Entwicklung sowie Auswirkungen dieser sollten in den folgenden Jahren fortlaufend analysiert werden.

Mit steigender Motivation und Kompetenz der Studierenden in der Arbeit mit digitalen Medien sowie zum Einsatz dieser für das Lernen ergeben sich auch für die Lehre zunehmend vielfältigere Möglichkeiten und der Einsatz digitaler Tools kann intensiviert werden.

10 Teilstudie 5: Machbarkeitsstudie zur Entwicklung zoologischer 3D-Modelle

10.1 Hinführung zum Thema

Im Rahmen der vierten Teilstudie konnte die zunehmende Medienkompetenz Studierender abgebildet werden, durch die auch die Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Medien erweitert werden können. Zudem zeigte die dritte Teilstudie, dass digitale Tools insbesondere als Ergänzung in der Präsenzlehre förderlich für die Vermittlung von Arten- und Formenkenntnis sein können. Außerdem ermöglichte der Einsatz der Webseite digitib.de in der pandemiebedingten Distanzlehre die Integration neuer Taxa in die Lehrveranstaltung, unabhängig von der Verfügbarkeit und Ausstattung der Universität mit entsprechenden Modellen. Insbesondere konnte so das Taxon der Amphibia thematisiert werden. Für eine adäquate Integration des Taxons Amphibia in die Präsenzlehre ist die Ausstattung mit realistischen zoologischen Modellen notwendig. Als Alternative für eine kostspielige Ausstattung mit entsprechenden Modellen sowie für eine weitere Anreicherung der Lehre mit digitalen Tools, sollte daher im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zoologische 3D-Modelle in digitaler Form mittels Photogrammmetrie erstellt und per 3D-Druck ausgedruckt werden. Dazu ergaben sich folgende Fragestellungen:

> **F5.1** Können realistische digitale zoologische 3D-Modelle mittels Photogrammmetrie erstellt werden? Wie ausgeprägt sind Aufwand und Anforderungen an das Equipment?
>
> **F5.2** Lassen sich aus den digitalen Modellen realitätsnahe Modelle mittels 3D-Druck anfertigen?

10.2 Material und Methode

10.2.1 Photogrammmetrie

Zur Generierung digitaler 3D-Modelle wurden alkoholfixierte (Beleg-) Präparate der Gelbbauchunke (*Bombina variegata* (Linné, 1758)), der Geburtshelferkröte (*Alytes obstetricans* (Laurenti, 1768)), der Kreuzkröte (*Epidalea calamita* (Laurenti, 1768)) und der Wechselkröte (*Bufotes viridis* (Laurenti, 1768)) sowie des Bergmolchs (*Ichthyosaura alpestris*) vom Museum Koenig in Bonn zur Verfügung gestellt. Die Auswahl der Arten wurde durch die Verfügbarkeit der Präparate bedingt.

Für die photogrammetrischen Aufnahmen wurde eine Lightbox der Firma Godox (Shenzhen, China) genutzt, in der ein reinweißer Hintergrund für die Bilder erzeugt werden konnte. Auf

dem mittig in der Lightbox platzierten Drehteller Foldio360 Smart-Plattenspieler inkl. 49 cm Erweiterungsplatte der Firma Orangemonkie Inc. (San Diego, USA) wurden die Präparate zentral positioniert. Der Drehteller war per Smartphone über die App foldio360 (Orangemonkie Inc., San Diego USA) steuerbar. Für die standardisierte Abbildung der Objekte wurden diese für jedes Foto durch den Drehteller im Uhrzeitersinn um 10° gedreht. Abbildung 63 zeigt den schematische Aufbau.

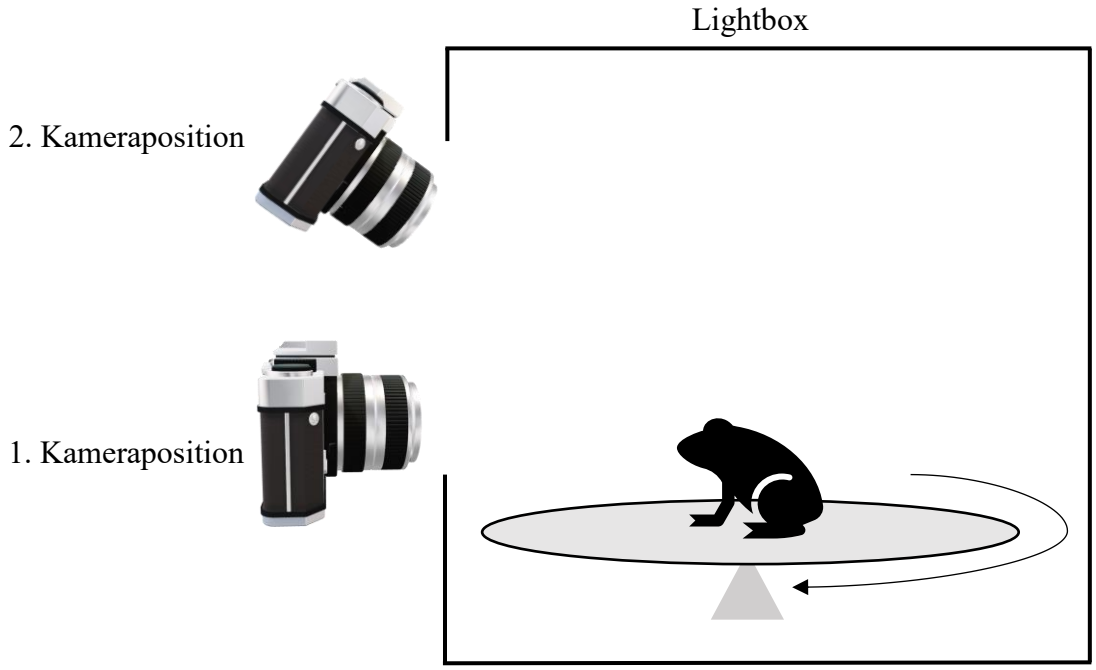


Abbildung 63: Schematische Darstellung des Aufbaus zur Photogrammmetrie. (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Bildaufnahmen wurden mit der Systemkamera α6400 der Firma Sony (Minato, Tokio, Japan) bei einem ISO-Wert von 200, einer Blende von f/16 und einer Verschlusszeit von 1/8 s bei einer möglichst großen Vergrößerung, bei der das Objekt noch bildfüllend dargestellt wird, durchgeführt. Zwei verschiedene Kamerapositionen sowie die jeweils ventrale und dorsale Positionierung des Präparats sicherten eine vollständige Erfassung aller Merkmale für die spätere Modellberechnung. Die Kamera war für diese Aufnahmen auf einem Stativ (Fa. Rollei (Norderstedt, Deutschland)) fixiert. Bei 36 Aufnahmen pro Position wurden so von jedem Objekt 144 Aufnahmen zur Berechnung der 3D-Modelle generiert. Abbildung 64 zeigt den abschließenden Aufbau zur Photogrammmetrie.

Abbildung 64: Aufbau des Settings zur photogrammetrischen Erfassung der Präparate in einer Lightbox, mit Foldio360 Smart Drehteller und der Systemkamera Sony α6400 auf einem Rollei Stativ (links: *Epidalea calamita*, rechts: *Ichthyosaura alpestris*). (Quelle: Eigene Darstellung)

10.2.2 Modellberechnung

Aus den 144 hochauflösenden Aufnahmen je Objekt wurden mit der Software Metashape (Version 2.1.1) der Firma Agisoft (St. Petersburg, Russland) texturierte 3D-Modelle generiert, wobei die folgenden Schritte durchgeführt wurden:

Bildvorbereitung

Vor der eigentlichen Modellberechnung wurden die 144 Fotos pro Objekt auf ihre Qualität überprüft. Dabei wurde bei Bedarf insbesondere die Belichtung angepasst, um möglichst homogene Daten zu gewährleisten. Anschließend wurden die Aufnahmen in die Software Agisoft Metashape importiert.

Alignment

Beim Schritt des Alignments richtete die Software die importierten Bilder automatisiert in einem gemeinsamen Koordinatensystem aus, um die räumliche Position der einzelnen Aufnahmen zu bestimmen. Dazu wurden Gemeinsamkeiten in den Bildern automatisch erkannt und die Ausrichtung präzise bestimmt. Basierend auf den Ergebnissen des Alignments wurde

anschließend automatisiert ein dichtes Punktwolkenmodell erstellt. Das Punktwolkenmodell repräsentiert dabei die räumliche Verteilung der Punkte im dreidimensionalen Raum (Abbildung 65), wobei jeder Punkt Informationen über die Oberfläche des Objekts enthält. Bei Bedarf wurde das dichte Punktwolkenmodell von überschüssigen Strukturen und Artefakten bereinigt.

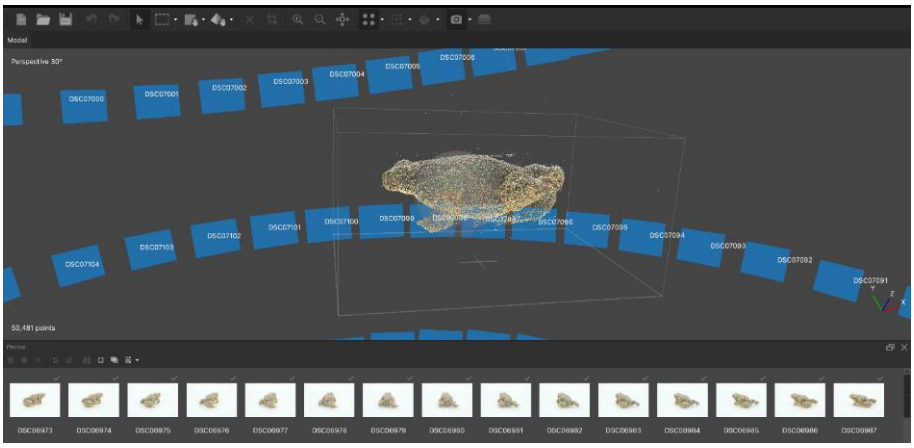


Abbildung 65: Alignment in Agisoft Metashape. Punktwolke nach dem Alignment in Agisoft Metashape hier am Beispiel von *Bufotes viridis*. Im unteren Teil des Bildschirms sind die hochgeladenen Fotos abgebildet. Die blauen Vierecke zeigen die durch die Software berechneten Kamerapositionen der Bilder. (Quelle: eigene Darstellung aus Agisoft Metashape)

Mesh-Generierung

Im Schritt der Mesh-Generierung wurde durch die Verarbeitung der in der dichten Punktwolke enthaltenen Informationen automatisiert eine detaillierte Oberfläche des Objekts erstellt und somit die Struktur und Form der Modelle rekonstruiert (Abbildung 66).

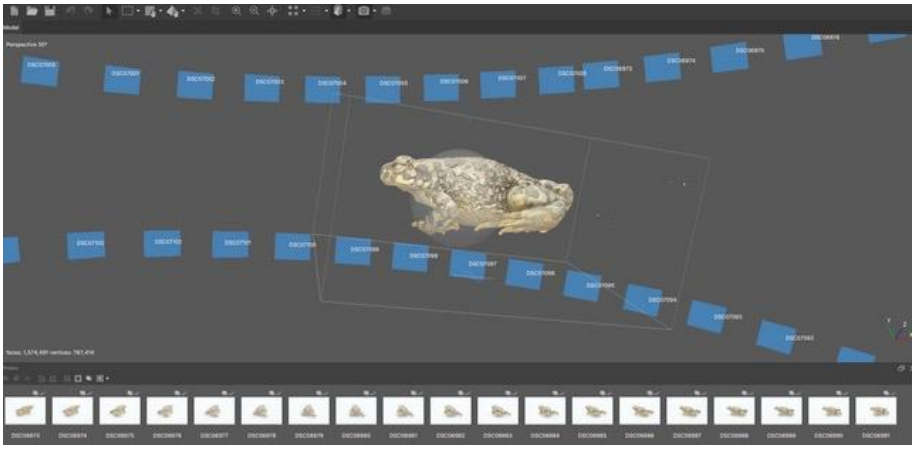


Abbildung 66: Mesh-Generierung in Agisoft Metashape. Erkennbares 3D-Modell nach der Mesh-Generierung in Agisoft Metashape hier am Beispiel von *Bufotes viridis*. Im unteren Teil des Bildschirms sind die hochgeladenen Fotos abgebildet. Die blauen Vierecke zeigen die durch die Software berechneten Kamerapositionen der Bilder (Quelle: eigene Darstellung aus Agisoft Metashape)

Texturgebung

Die generierte Oberfläche wurde anschließend durch die Software mit den Farbinformationen aus den originalen Bildern texturiert, um ein fotorealistisches 3D-Modell zu erhalten. Dieser Schritt trug zur visuellen Qualität und Detailtreue des Endmodells bei (Abbildung 67).

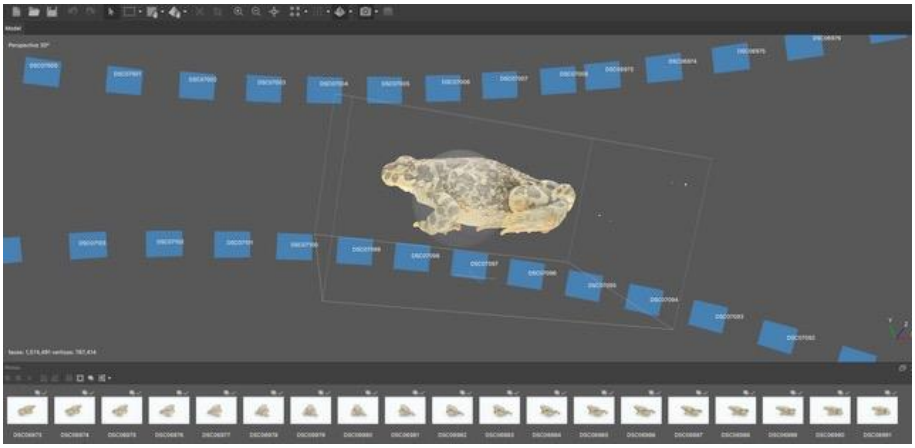


Abbildung 67: Texturgebung in Agisoft Metashape. Nach der Texturgebung in Agisoft Metashape hier am Beispiel von *Bufotes viridis* ist die Oberflächenstruktur des 3D-Modells finalisiert. (Quelle: eigene Darstellung aus Agisoft Metashape)

Nachbearbeitung

Mittels der Software Blender 4.1.1 der Firma The Blender Foundation (Amsterdam, Niederlande) wurden die Modelle abschließend nachbearbeitet, wobei noch vorhandene Artefakte entfernt, entstandene Löcher im Modell geschlossen und fehlerhafte Strukturen verbessert wurden (Abbildung 68).

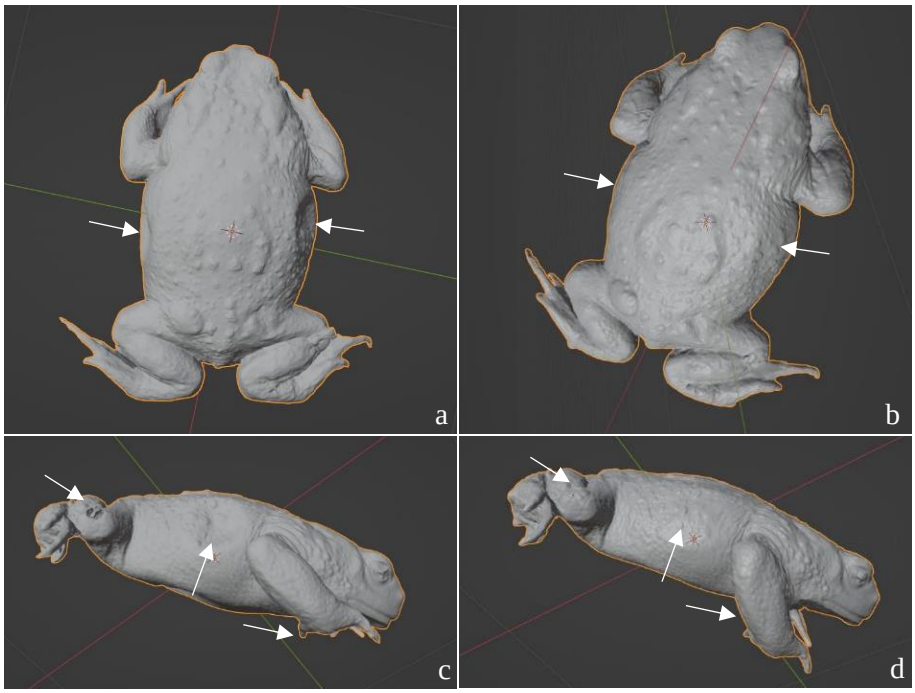


Abbildung 68: Nachbearbeitung der digitalen 3D-Modelle im Programm Blender am Beispiel von *Epidalea calamita*, bei der die Flanken ausgebessert (a: ursprüngliches Modell; b: bearbeitet) und die Beinstellung verändert wurden (c: ursprüngliches Modell; d: bearbeitet). Die Pfeile markieren Nachbearbeitungen. (Bildquelle: P. Schulz 2023)

Export des 3D-Modells

Abschließend wurde das fertige 3D-Modell als digitaler Datensatz im Dateiformat .obj inklusive der Oberflächentextur und -färbung sowie für den 3D-Druck ohne Färbung im Format .stl exportiert. Die als OBJ-Dateien exportierten 3D-Modelle können als digitale Modelle direkt in der Lehre eingesetzt werden (digitaler Anhang).

10.2.3 Anfertigung 3D-Druck

Die erstellten STL-Dateien wurden für den 3D-Druck in das Programm PrusaSlicer (Version 2.7.0) der Firma Prusa Research (Prag, Tschechische Republik) importiert. Dort können Einstellungen für den Druck, wie Schichthöhe, Fülldichte und Druckstützen eingestellt werden, um die gewünschte Qualität und Stabilität des Modells zu erreichen. Die Einstellungen

variierten zwischen den Objekten, bedingt durch verschiedene Detaildichten und Größen der Tiere. Die besten Druckergebnisse konnten bei den getesteten Objekten bei einer Schichthöhe von 0,07 mm bis 0,1 mm erreicht werden, um eine möglichst detaillierte Oberflächenstruktur zu erhalten. Die Objekte wurden im Rahmen der Modellvorbereitung möglichst senkrecht, also auf der Kehle (Abbildung 69 a) oder der Schnauze (Abbildung 69 b) positioniert, um die fragilen Extremitäten im Druck möglichst genau abbilden zu können und die ungenaue Inselbildung auf dem Rücken der Modelle zu minimieren. Die Extremitäten sind mit vergleichsweise kleinen Details wie Fersenhöckern und Zehen ausschlaggebend für die Artbestimmung, während Kehle und Schnauze bei den Amphibia i. d. R. keine relevanten Merkmale für die Unterscheidung der Arten zeigen.

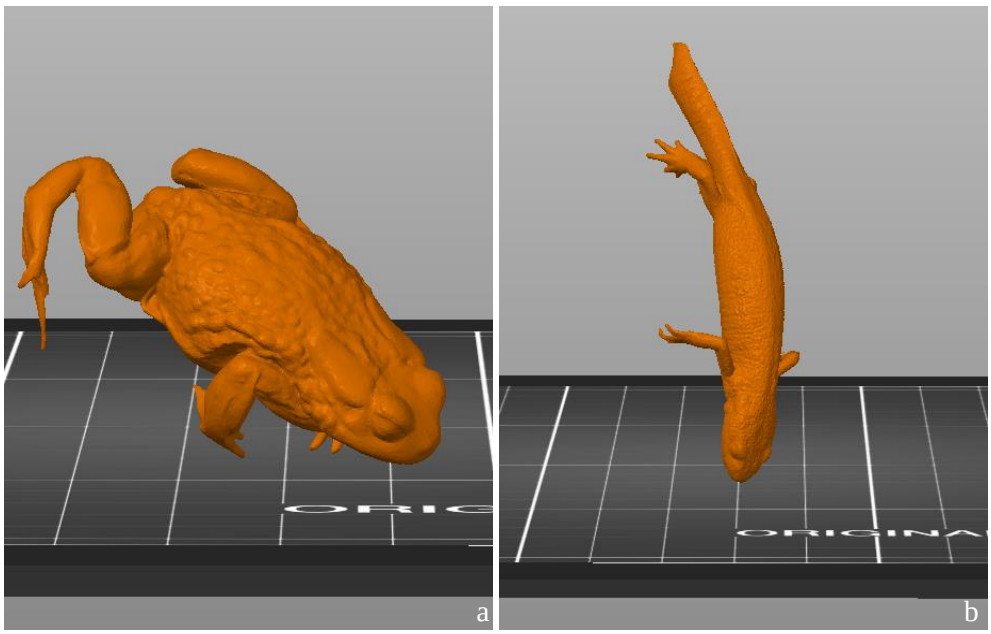


Abbildung 69: Positionierung der 3D-Modelle in der Software PrusaSlicer möglichst senkrecht, z. B. auf der Kehle (a: *Bufotes viridis*) oder der Schnauze (b: *Ichthyosaura alpestris*). (Quelle: Eigene Darstellung aus PrusaSlicer)

Für die Stabilität des finalen Objekts wurde mit einer üblichen Fülldichte von 15 % Füllung (*Infill*) gearbeitet (Fonda, 2013). Zum erfolgreichen Druck waren bei allen Modellen Stützen auf dem Druckbett notwendig, die von der Software PrusaSlicer automatisch generiert wurden (Abbildung 70) und nach dem Druck unter Verwendung einer Zange leicht entfernt werden konnten. Die prognostizierte Druckdauer lag je nach Modell zwischen 2 h 22 min (*Bombina variegata*) und 5 h 3 min (*Bufotes viridis*). Der berechnete Filamentbedarf lag je nach Modell zwischen 1,95 m für *Ichthyosaura alpestris* und 8,25 m für *Bufotes viridis*, wobei die Kosten je nach Modell entsprechend dem Filamentbedarf anstiegen und zwischen 0,21 € für den

Bergmolch und 0,91 € für die Wechselkröte lagen, zuzüglich der Betriebskosten für den Drucker (Tabelle 36).

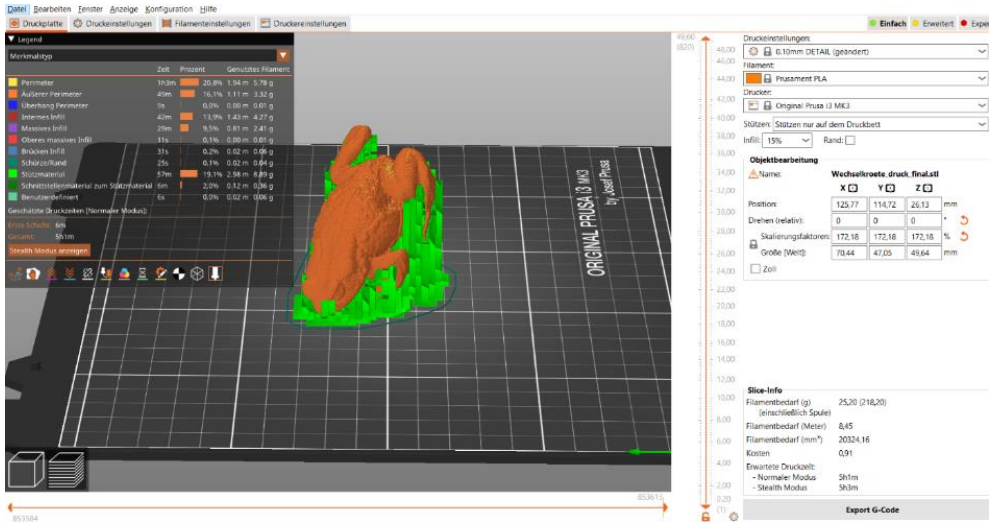


Abbildung 70: Ansicht der Einstellungen in PrusaSlicer für den 3D-Druck der Modelle am Beispiel von *Bufotes viridis*. grün = Stützen auf dem Druckbett; orange = Modell. (Quelle: Eigene Darstellung aus PrusaSlicer)

Tabelle 36: Einstellungen zum 3D-Druck der verschiedenen Amphibienmodelle

Art	Größe (mm)	*Infill* (%)	Schichthöhe (mm)	Dauer	Filament-bedarf (m)	Kosten (€)
Bufotes viridis	70	0,15	0,10	5h 01 min	8,45	0,91
Epidalea calamita	50	0,15	0,07	3h 40 min	4,00	0,43
Bombina variegata	45	0,15	0,07	2h 22 min	2,46	0,27
Ichthyosaura alpestris	75	0,15	0,07	2h 27 min	1,95	0,21

Die STL-Datei wurde anschließend durch die Software in G-Code-Dateien umgewandelt, die vom 3D-Drucker verarbeitet werden konnten, und auf eine SD-Karte exportiert.

Für den FDM-3D-Druck der Modelle wurden Drucker der Firma Prusa Research vom Modell I3 mk3 mit Extrudern mit einem Düsendurchmesser von 0,4 mm verwendet. Als Druckmaterial kam PLA-Filament mit einem Durchmesser von 1,75 mm in der Farbe Weiß zum Einsatz. Der Extruder wurde für die Verarbeitung des Filaments auf 215 °C vorgewärmt und das Filament

anschließend geladen. Für eine optimale Haftung wurde das Druckbett auf 60 °C erhitzt. Der Aufbau des 3D-Drucks ist in Abbildung 71 dargestellt.

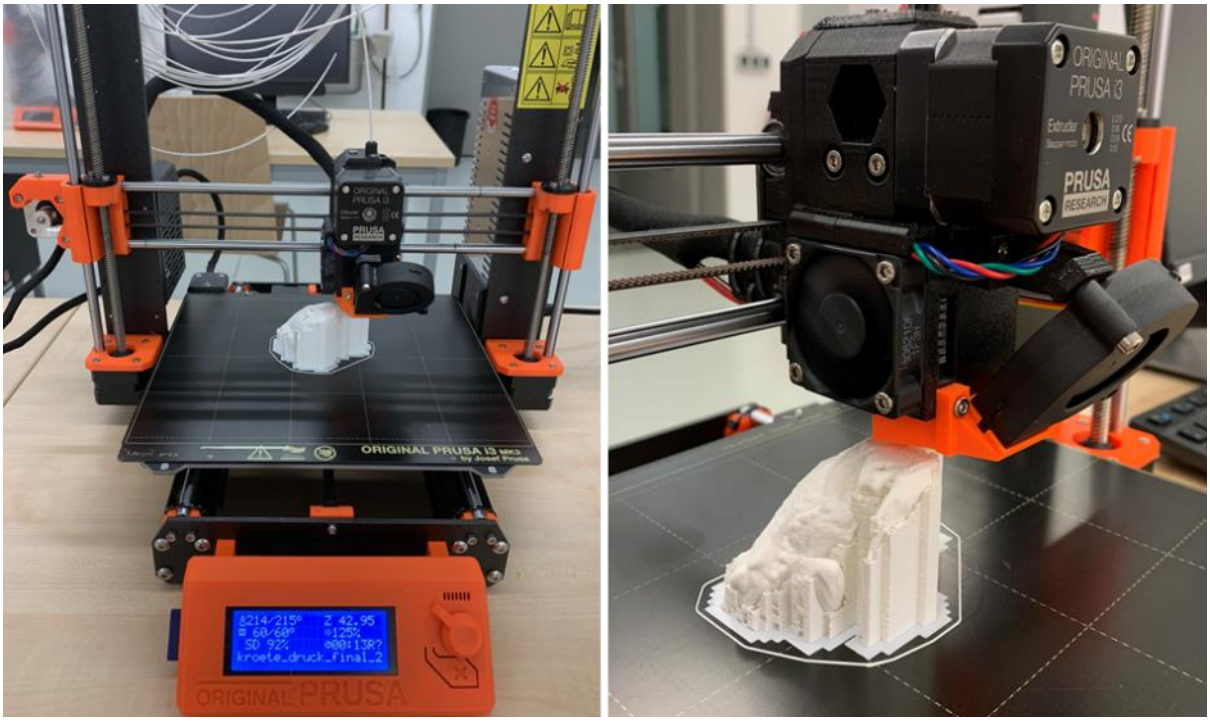


Abbildung 71: 3D-Druck der Amphibienmodelle am Beispiel von *Bufotes viridis.* (Quelle: Eigene Darstellung)

10.2.4 Nachbearbeitung und Kolorierung

Für die darauffolgenden Schritte der Nachbearbeitung und Kolorierung wurden Materialreste am 3D-Modell mit einer Zange entfernt und unebene Partien mit einer Feile geglättet (Abbildung 72). Als Grundierung und zur Versiegelung der Oberfläche wurde Pouring Medium der Firma Schmincke (Erkrath, Deutschland) aufgetragen. Zur Vorbereitung der Kolorierung wurden anhand digitaler Bilder charakteristische Farbtöne der Tiere herausgestellt (Abbildung 73).

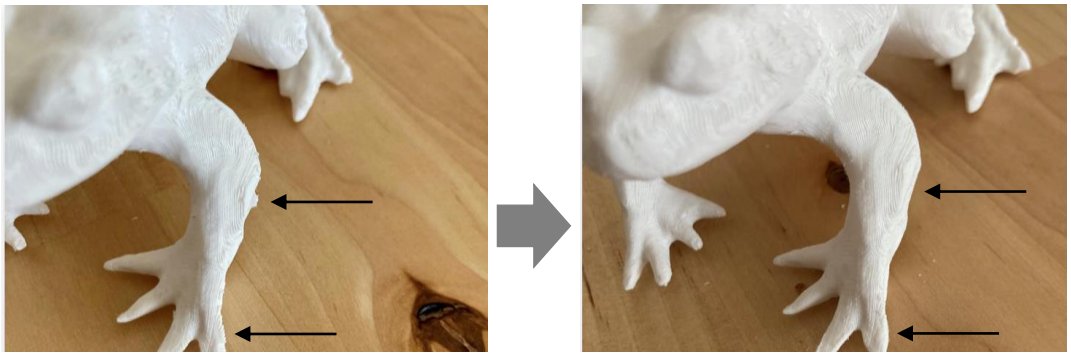


Abbildung 72: Glätten von unebenen Stellen am gedruckten 3D-Modell (beispielhaft *Bufotes viridis).* Die Pfeile markieren entsprechende Stelle. (Quelle: J. Boos)

Abbildung 73: Herausstellen charakteristischer Farbtöne anhand digitaler Bilder der Organismen hier am Beispiel von *Bufotes viridis* (Quelle A. Prehl; verändert durch J. Boos).

Mit Acrylfarben (u.a. Speedpaint-Farben der Firma ArmyPainter (Skanderborg, Dänemark)) wurden die Farben individuell angemischt und können daher nachfolgend nicht näher definiert werden. Das Farbmuster wurde per Bleistift HB auf dem Modell vorskizziert und die Grundfarben aufgetragen. Mit Pinseln und Dotting-Tools wurden Schattierungen aufgetragen und das Muster verfeinert (Abbildung 74). Abschließend wurde die Kolorierung erneut mit Pouring Medium fixiert und so auch wasserunlöslich versiegelt.

Abbildung 74: Koloration der 3D-Modelle am Beispiel von *Bufotes viridis.* Zuerst werden Konturen mit dem Bleistift aufgezeichnet (a), anschließend grundierende Farben aufgetragen (b) und im nächsten Schritt Details dargestellt (c). (Quelle: J. Boos)

10.3 Ergebnisse

F5.1 Können digitale zoologische 3D-Modelle mittels Photogrammmetrie realistisch erstellt werden? Wie ausgeprägt sind Aufwand und Anforderungen an das Equipment?

Mit der Photogrammmetrie lassen sich aus 144 hochauflösenden Bildern mit Hilfe der Software Agisoft Metashape detailgetreue digitale 3D-Modelle der betrachteten Amphibien erstellen (Abbildung 75). Auch detailreiche Strukturen insbesondere an den Extremitäten der Arten sowie die charakteristische Struktur der Amphibienhaut lassen sich bei den digitalen 3D-Modellen gut erkennen. Lediglich die Augenfarbe sowie die Pupillen sind in den trüben Augen der fixierten Präparaten nicht mehr erkennbar.

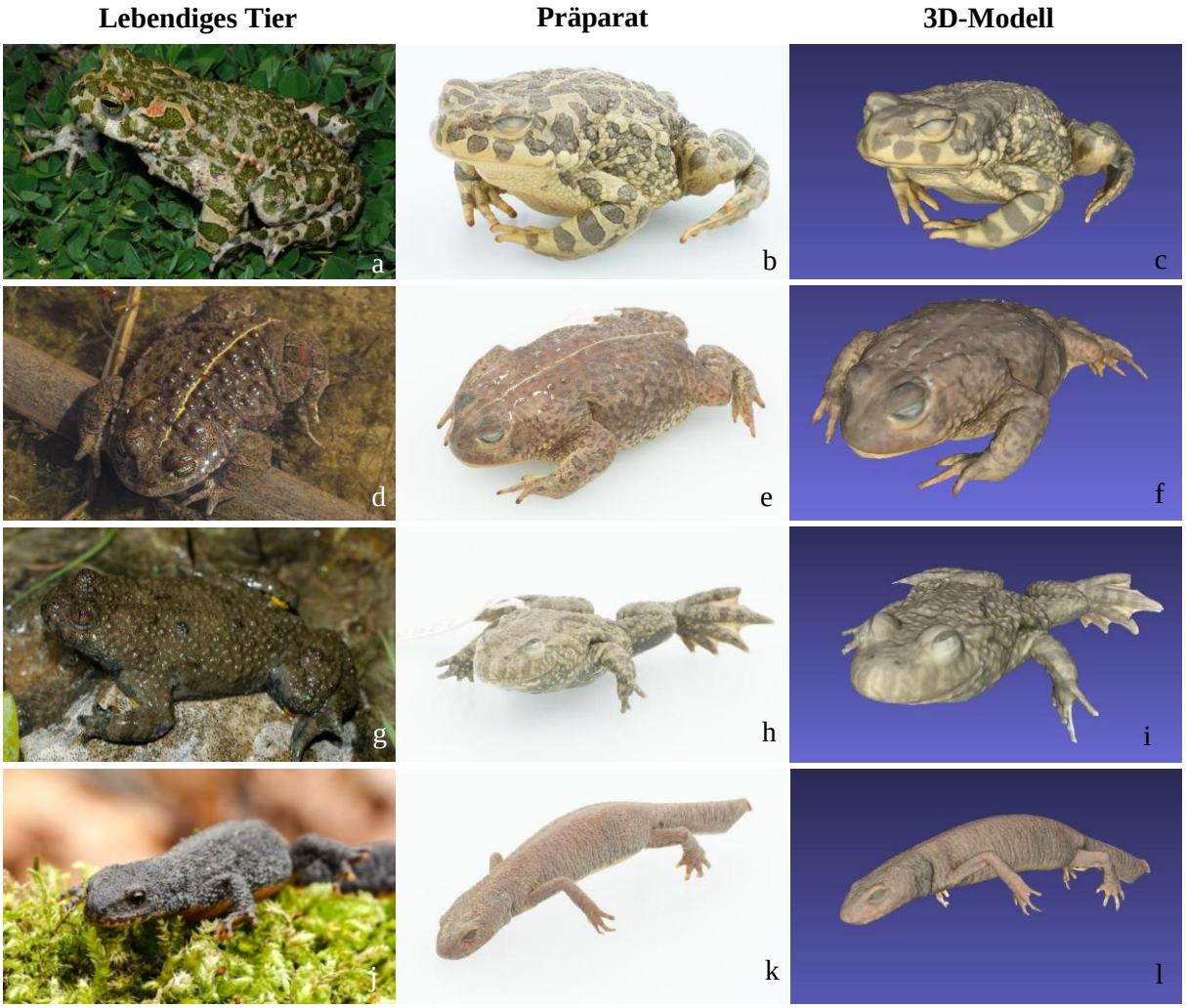


Abbildung 75: Vergleich der lebendigen Tiere, der für die Photogrammmetrie verwendeten alkoholfixierten (Beleg-)Präparate der Amphibien und der daraus erzeugten texturierten 3D-Modelle (a: *Bufotes viridis*; b: Präparat *Bufotes viridis*; c: 3D-Modell *Bufotes viridis*; d: *Epidalea calamita*; e: Präparat *Epidalea calamita*; f: 3D-Modell *Epidalea calamita*; g: *Bombina variegata*; h: Präparat *Bombina variegata*; i: 3D-Modell *Bombina variegata*; j: *Ichthyosaura alpestris*; k: Präparat *Ichthyosaura alpestris*; l: 3D-Modell *Ichthyosaura alpestris*)

Für die Photogrammmetrie wurde dabei kein hoch spezialisiertes Equipment benötigt. Die Kosten für das verwendete Equipment betrugen, unter Vernachlässigung der Kosten für einen PC und der Beschaffung des Präparats, in etwa 1696,00 € (Tabelle 37). Der Scan eines Präparat

nahm ca. 7-8 Minuten in Anspruch. Die anschließende Berechnung des Modell war abhängig von der Leistungsfähigkeit des Computers, sodass hier keine aussagekräftigen Werte für die Berechnungszeit angegeben werden können.

Tabelle 37: Kosten für das Equipment zur Erstellung von 3D-Modellen mittels Photogrammmetrie im Rahmen der vorliegenden Arbeit (Stand 2024)

Equipment	**UVP (€)**
Systemkamera α6400 Fa. Sony	1149,00
Stativ Compact Traveler No.1 Fa. Rollei	129,99
Lightbox Fa. Godox	143,90
Drehteller Foldio360 inkl. Erweiterungsplatte Fa. Orangemonkie	228,00
Lizenz Agisoft Metashape	162,11
Summe	1696,00

F5.2 Wie gut lassen sich die digitalen zoologischen 3D-Modelle im 3D-Druck abbilden?

Zusätzlich zur Generierung digitaler Modelle wurde der Fokus auf die physische Manifestation der Objekte mittels 3D-Druck gelegt. Dazu wurden die Modelle aus PLA-Filament gedruckt. Die entsprechenden Einstellungen sowie Dauer und Filamentbedarf variierten dabei zwischen den Modelle wie in Kapitel 10.2.3 angegeben.

Die benötigten Stützen wurden nach dem Druck von den weißen Rohmodellen entfernt. Die gedruckten Modelle wurden anschließend mit Acrylfarben koloriert und die Farben mit Pouring Medium fixiert, sodass realitätsnahe Modelle entstanden (Abbildung 76). Neben den maßstabsgetreuen Körperproportionen und den für die Artbestimmung notwendigen Details der Extremitäten wie den Fersenhöckern, werden durch die Kolorierung auch die farblichen Charakteristika der Arten darstellbar.

Abbildung 76: Bearbeitung und Kolorierung der gedruckten 3D-Modelle am Beispiel von *Bombina variegata* und Vergleich mit dem realen Tier (e). Von dem gedruckten 3D-Modell (a) werden die Druckstützen entfernt und eine Grundierung aufgetragen (b). Mit Bleistift und Acrylfarbe werden anschließend Muster und Strukturen aufgezeichnet (c) und mit Pouring Medium fixiert (d).

10.4 Diskussion

F5.1 Können digitale zoologische 3D-Modelle mittels Photogrammmetrie realistisch erstellt werden? Wie ausgeprägt sind Aufwand und Anforderungen an das Equipment?

Das Verfahren der Photogrammmetrie verspricht im Vergleich zu anderen Methoden zur Erstellung digitaler 3D-Modelle kostengünstig und anwenderfreundlich umsetzbar zu sein (Mathys et al., 2013). Das erforderliche Equipment bestand in der vorliegenden Arbeit aus einer Lightbox und passendem Drehteller für die gleichmäßige Ausleuchtung und konstanten Bewegung der Objekte. Die verwendete Systemkamera Sony α6400 erzeugte hochauflösende und den qualitativen Ansprüchen genügende Bilder. Festgelegte Einstellungen, die gleichmäßige Ausleuchtung sowie der Einsatz eines Stativs sicherten die Standardisierung der Bildaufnahmen. Dadurch konnten konsistente Bildergebnisse erzielt werden. Die genannten Kameraeinstellungen (Iso 200; Blende f/16; Verschlusszeit 1/8 s) lieferten im Rahmen der vorliegenden Studie die besten Ergebnisse. Die Werte können jedoch in nachfolgenden Studien, abhängig von der verwendeten Ausrüstung und dem abzubildenden Objekt variieren. Dabei haben vor

allem die Oberflächenstruktur des Objekts sowie die Färbung Auswirkungen auf die Wahl der optimalen Parameter (Mathys et al., 2013). Glänzende und spiegelnde Materialien (z. B. feuchte Oberflächen) sowie diffuse Oberflächen (z. B. Gefieder) lassen sich in der Photogrammmetrie schlechter abbilden (Mathys et al., 2013; Rourk, 2019).

Für die Erstellung guter Modelle ist zudem eine möglichst geringe Veränderung des Objektes während der Erstellung der Bilder notwendig. Für den photogrammetrischen Scan von Tieren bieten sich daher Dermoplastiken oder alkoholfixierte Präparate an, da bei ihnen eine langfristige Stabilität der Strukturen gewährleistet ist. Insbesondere bei alkoholfixierten Präparaten ist jedoch darauf zu achten, dass sie für die Bilderstellung möglichst gut abgetrocknet werden, um eine starke Spiegelung der feuchten Oberfläche zu vermeiden. Ein stärkeres Austrocknen der Präparate ist dabei allerdings unbedingt zu vermeiden.

Auch die Haltung der alkoholfixierten zoologischen Präparate hat Einfluss auf die Ästhetik der resultierenden 3D-Modelle. Es sollte daher auf eine möglichst realitätsnahe Positionierung der Objekte auf dem Drehteller geachtet werden. Dabei dürfen sich jedoch insbesondere die Extremitäten der Tiere bei einer dorsalen Lage im Vergleich zur ventralen Lage nicht stark verändern, um die angesprochene Konstanz der zu scannenden Strukturen zu gewährleisten. Nachteilig an alkoholfixierten Präparaten sind zudem die trüben Augen und die dadurch nicht mehr erkennbaren Pupille, was an bestimmten Stellen hinderlich für die korrekte Artbestimmung sein könnte.

Die Berechnung der Modelle kann mittels der Software Agisoft Metashape durchgeführt werden. Auch das erforderliche Equipment für die Erstellung ist meist bereits vorhanden (Stativ, Systemkamera/Spiegelreflexkamera) oder kann bei geringem finanziellem Aufwand beschafft werden (Tabelle 37). Zudem ist ein leistungsfähiger PC empfehlenswert, da andernfalls die Berechnung der Modelle viele Stunden in Anspruch nehmen kann. Die Ergebnisse der vorliegenden Machbarkeitsstudie decken sich dabei mit der Studie von Mathys et al. (2013), die ebenfalls die Photogrammmetrie für eine günstige aber sehr genaue Möglichkeit für die Erstellung von digitalen 3D-Modellen herausstellten.

Die hier erhaltenen digitalen zoologischen 3D-Modelle schaffen insgesamt eine erstaunlich detaillierte und realistische Darstellung der Originalpräparate und unterstreichen somit die Effektivität der angewandten Methode der Photogrammmetrie. Die Detailtreue und Ähnlichkeit mit den Ausgangsobjekten legen nahe, dass die verwendete Vorgehensweise geeignet ist, um komplexe biologische Strukturen wie die Anatomie von Amphibien präzise zu reproduzieren. Auch

Leménager et al. (2023) zeigten in ihrer Studie, dass durch die Photogrammmetrie detailgetreue Modelle, dort am Beispiel von Pflanzen, erstellt werden konnten.

Problematisch wurden bei dem Scan der Präparate in der vorliegenden Studie insbesondere sehr kleine/feine Strukturen an den Extremitäten der Amphibien, wie einzelne Zehen, Zehenhöcker oder Brunftschwielen, die teilweise einer Nachbearbeitung bedurften. Zudem ist die Farbintensität der alkoholfixierten Präparate weniger intensiv, sodass zum Teil subtile Farbnuancen verloren gehen und auf den digitalen Modellen nicht abgebildet werden können.

F5.2 Wie gut lassen sich die digitalen zoologischen 3D-Modelle im 3D-Druck abbilden?

Der 3D-Druck der erstellten Modelle wurde mit dem Drucker Prusa I3 mk3 umgesetzt. Dieser lieferte sehr gute und genaue Ergebnisse, die nur geringer Nachbereitung bedurften, wie der Vergleich der Strukturen gedruckter Modelle mit dem original Objekt zeigte. Dabei sollten die angegebenen Positionierungen auf Schnauze/Kehle des Tieres beachtet werden, sodass feine Strukturen wie die Extremitäten oder der Rückenkamm bei Schwanzlurchen deutlicher dargestellt können. Diese sind auch in ihrer Form für die spätere Bestimmung vieler Arten essentiell.

Die rein weiße Färbung der gedruckten Rohmodelle erforderte eine anschließende Bearbeitung und Färbung. Der Druck in Farbe ist jedoch nur mit hohem technischem Aufwand möglich (Fonda, 2013). Daher wurde trotz hohem personellen Aufwand auf die Kolorierung per Hand zurückgegriffen. Die detaillierte Darstellung der Färbung der Tiere ist für den späteren Einsatz in der Lehre essenziell. Die Koloration der Modelle kann auch im Rahmen spezieller Projektkurse zusätzlich für die Vermittlung von Fachwissen im Biologiestudium verwendet werden. So zeigte Bonorden et al. (2022) bei ihrem Projekt zum 3D-Druck von Blüten mit Schüler*innen, dass die Verinnerlichung von Fachwissen durch die intensive Betrachtung und Thematisierung eines Organismus deutlich verbessert ist.

Die fertigen gedruckten 3D-Modelle stellen die ausgewählten Amphibien realitätsnah dar. Jedoch ist das für den Druck genutzte Filament wenig nachgiebig, sodass die Haptik der fertigen Modelle sich nicht als optimal darstellt. Ebenso ist das Gewicht der Modelle, durch sehr leichtes Filament sehr gering und erinnert nicht an die realen Tiere. Hier wäre die Nutzung alternativer Filamente möglich sowie die Erhöhung des *Infill*-Wertes. Als alternatives Filament mit einer verbesserten Haptik bietet sich spezielles flexibles PLA an. Dieses ist in der Handhabung während des 3D-Drucks jedoch deutlich anspruchsvoller und gute Druckergebnisse lassen sich nur bei einer äußerst geringen Druckgeschwindigkeit erreichen (Fonda, 2013).

Insbesondere in der medizinischen und tiermedizinischen Ausbildung aber auch im naturwissenschaftlichen Unterricht werden bereits gedruckte 3D-Modelle in verschiedenen Bereichen mit Erfolg eingesetzt, um Studierenden Fachwissen zu vermitteln (u.a. Preece et al., 2013). Dieser Nutzen wird im Rahmen der übergreifenden Diskussion (Kapitel 11) genauer betrachtet.

10.5 Fazit und Ausblick

Insgesamt konnte durch die vorliegende Machbarkeitsstudie gezeigt werden, dass von Amphibien detailgetreue digitale 3D-Modelle erstellt werden können. Amphibien sind dabei durch ihre Größe und die strukturierte Oberfläche gut geeignet, um durch die Photogrammmetrie abgebildet zu werden. In zukünftigen Untersuchungen sollten weitere Tiergruppen erarbeitet werden, wobei der Fokus auf erschwert abzubildenden Oberflächen, wie Vögeln mit Gefieder gelegt werden könnte.

Zudem konnte gezeigt werden, dass durch den 3D-Druck realistische gedruckte Modelle der Amphibien erstellt werden konnten. Eine Erweiterung des Artenspektrums könnte in folgenden Studien auch in Projektkursen platziert werden, wobei die Auswirkungen der intensiven Thematisierung genauer betrachtet werden könnten.

11 Übergreifende Diskussion und Limitationen

In Zeiten des Biodiversitätswandels ist die Kenntnis von Artenvielfalt notwendig, um diese als einzigartig und schützenswert zu erkennen. Artenkenntnis per se erfüllt somit nicht nur einen Selbstzweck. Sie ist eine grundlegende Voraussetzung für das differenzierte Erkennen und Bewerten der Flora und Fauna. Eine verbesserte Artenkenntnis sollte den Bezug des Menschen zur Natur stärken und die Bedeutung einer intakten Biodiversität hervorheben. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit zeigen sich im Hinblick auf die zoologische Artenkenntnis jedoch folgende wesentliche Erkenntnisse, die in diesem Kontext zu bewerten sind:

- Die zoologische Artenkenntnis der untersuchten Kohorten ist vielfach gering und nimmt bei Lehramtsstudierendes des Fachs Biologie im Zeitraum 2009-2024 sogar leicht ab.
- Die Selbsteinschätzung der zoologischen Artenkenntnis deckt sich fast immer mit der tatsächlichen Kompetenz, Tierarten zu benennen.
- Die zoologische Artenkenntnis der befragten Biologie-Studierenden nimmt im Rahmen der Ausbildung zwar zu, kann aber durch Einbindung digitaler Tools signifikant weiter verbessert werden.
- Digitale zoologische 3D-Modelle bieten die Möglichkeit, den digitalen Vermittlungsrahmen in Studium und Lehre zu erweitern. Dabei kann die gesteigerte Motivation zur Arbeit mit digitalen Medien sowie die zunehmende selbsteingeschätzte Medienkompetenz von Vorteil sein.

Zur Begegnung der abnehmenden Artenkenntnis muss organismische Biologie in Schule und Universität wieder präsenter werden. Insbesondere auch im Hinblick auf die abnehmende Artenkenntnis bei jungen Menschen ist diese Thematisierung von großer Bedeutung (Lindemann-Matthies et al., 2017). Dazu müssen gerade Lehrkräfte befähigt werden, Artenkenntnis und auch Formenkenntnis motivierend zu vermitteln. Eine fundierte Kompetenz der Lehrkräfte ist dabei unabdingbar (Bebbington, 2005). Die im Rahmen dieser Studie demonstrierte geringe und leicht abnehmende zoologische Artenkenntnis der befragten Biologiestudierenden des Lehramts zeigt, dass hier noch deutliche Defizite vorhanden sind. Insbesondere mit Blick auf den späteren Lehrberuf muss diesen fehlenden Kompetenzen begegnet werden. Dabei konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nur die zoologische Artenkenntnis beleuchtet werden. Für das ganzheitliche Betrachten eines Ökosystems ist aber die Vielfalt der Flora ebenso von Bedeutung. Botanische Artenkenntnisse wurden hier jedoch nicht untersucht. Im Rahmen anderer Studie zeigt sich jedoch, dass auch die botanische Artenkenntnis häufig gering ausgeprägt ist und einer Förderung bedarf (Palmberg et al., 2015; Schulemann-Maier & Munzinger, 2018). Zudem kann

durch die enthaltenen maximal 27 abgefragten Tierarten nur ein begrenzter Einblick in die tatsächliche zoologische Artenkenntnis gegeben werden, wenngleich bei der Auswahl der Tierarten auf eine möglichst umfassende und vielseitige Abfrage charakteristischer heimischer Taxa geachtet wurde. Der Umfang der Befragung sollte jedoch nur einen geringen zeitlichen Aufwand bedingten, sodass die Anzahl enthaltener Arten bewusst geringgehalten wurde.

Zur Vermittlung der zoologischen Artenkenntnis bei künftigen Lehrkräften werden entsprechende universitäre Kurse angeboten. Wie hier gezeigt, führen diese bei den Teilnehmern i. d. R. auch zu Verbesserungen der Artenkenntnis. Insbesondere aber die Integration digitaler Medien in die Kursgestaltung hat einen weiteren positiven Effekt auf den Lernerfolg. Digitale Medien, neue Kurskonzepte und flexible Lernstrategien novellieren und bereichern die Lehre an Universitäten und Schulen gleichermaßen. Besonders bereits digital geprägte Fächer, wie die Biologie, können durch neue Lehr- und Lernmethoden profitieren. So lassen sich auch teils unattraktiv und eingestaubt wirkende Themen wie die organismische Biologie (Schulte et al., 2019) wieder motivierend und zukunftsorientiert in die Lehre integrieren.

Der positive Effekt basiert dabei u. a. auf der Integration ansprechender Tools (hier z. B. DigiTiB), die durch selbstgesteuertes Lernen unterstützend wirken (Meier et al., 2022). Die Möglichkeiten zur Nachbereitung und das systembasierte adaptive Feedback können motivierend und lernförderlich wirken, wie die vorliegende Daten zeigen. Berücksichtig werden muss dabei jedoch der bisher geringe Zeitrahmen, in dem Effekte digitaler Tools auf die Vermittlung von Artenkenntnis erhoben werden konnte.

Hat der Einsatz digitaler Medien für die Vermittlung von Artenkenntnis auf der einen Seite zwar viel Potenzial, so birgt er auf der anderen Seite die Gefahr der Distanzierung vom eigentlichen naturnahen Inhalt. Dieser Problematik können jedoch digitale 3D-Modelle sowie ausgedruckte Modelle zur haptischen Erkundung von Tieren begegnen (Preece et al., 2013). Diese können auch kleine anatomische Details abbilden und "begreifbar" machen (Leménager et al., 2023). Im Rahmen dieser Studie wurde zwar noch keine explizite Wirksamkeit der erstellten 3D-Modelle auf den Wissenszuwachs, die Motivation und die Selbsteinschätzung empirisch erhoben, jedoch waren die Modelle Teil des *blended learning* Kursformats in der dritten Teilstudie, sodass sie mindestens in Teilen als wirksam einzuschätzen sind.

Die gezeigten positiven Effekte insbesondere in der Biologie durch digitale Medien auf die Lehre und das Lernen lassen sich dabei jedoch nur mit einer fundierten Medienkompetenz erreichen. Sowohl für den Einsatz digitaler Tools im universitären Kontext als auch für die

Inhaltsvermittlung unterstütz durch digitale Medien in der Schule ist diese unabdingbar. Hierbei kommt insbesondere der Lehramtsausbildung an Universitäten eine bedeutende Rolle zu. Dort sollen die angehenden Lehrkräfte neben dem Fachwissen und den didaktischen Grundlagen auch die Möglichkeiten und Grenzen digitaler Medien sowohl fachübergreifend als auch fachspezifisch kennen lernen. Ziel der Lehramtsausbildung sollte es daher auch sein, eine fundierte Medienkompetenz und gute Grundlagen für ausgeprägte TPACK-Kompetenzen bei den Studierenden aufzubauen.

Wie die vorliegende Studie zeigen konnte, nehmen die Motivation zur Arbeit mit digitalen Tools sowie die Selbsteinschätzung der Medienkompetenz in den vergangenen Jahren deutlich zu. Diese positive Entwicklung kann für die zu erweiternde Vermittlung organismischer Biologie in der universitären Lehramtsausbildung gewinnbringend genutzt werden. Indem vermehrt digitale Tools, wie 3D-Modelle und Bestimmungs-Apps eingebunden werden, lässt sich Arten- und Formenkenntnis motivierend vermitteln und so auch für den Biodiversitätsverlust sensibilisieren.

12 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit gibt einen umfassenden Einblick in die zoologische Artenkenntnis in Zeiten des Biodiversitätswandels. Die eingangs aufgestellten übergeordneten Forschungsfragen konnten dabei umfassend beantwortet werden:

1. Es konnte gezeigt werden, wie ausgeprägt die zoologische Artenkenntnis verschiedener Kohorten ist. Dabei wiesen insbesondere Studierende des Lehramts der Biologie und des Sachunterrichts sowie Studierende von Fächern ohne biologischen Bezug eine geringe Artenkenntnis auf.
2. Langfristige Betrachtungen der zoologischen Artenkenntnis bei den angesprochenen Lehramtsstudierenden des Fachs Biologie über die Jahre 2009 – 2024 verdeutlichten, dass ihre zoologische Artenkenntnis insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau lag und statistisch leicht abnahm.

   Die Entwicklung der Artenkenntnis ist weiterhin Teil laufender Untersuchungen und wird insbesondere im Hinblick auf bestehende Auffälligkeiten in den letzten Jahren weiterhin betrachtet.
3. Zur Intervention dieser geringen Artenkenntnis wurde ein entsprechender universitärer Kurs angeboten, der die Kenntnisse der Studierenden signifikant verbesserte. Dabei

hatte insbesondere eine Kombination aus digitalen Elementen und klassischen Lehrformaten positive Effekte, die sich auch langfristig hielten.
Die Nachhaltigkeit erworbener Artenkenntnisse über einen längeren Zeitraum hinweg könnte den späteren Wissenstransfer u. a. in Schulen sichern und sollte zukünftig ebenfalls betrachtet werden.

4. Für den sinnvollen Einsatz digitaler Tools muss jedoch die Motivation der Studierenden zum Einsatz dieser Tools sowie eine gewissen Medienkompetenz vorhanden sein. Es konnte gezeigt werden, dass diese Faktoren im Laufe der vergangenen Jahre deutlich zunahmen. Dadurch ermöglichen sich auch weitere vielfältigere digitale Lehrmethoden. In wieweit sich die Medienkompetenz und Motivation zur Arbeit mit digitalen Tools in ihren Vielschichtigkeiten entwickeln, zeigt sich in kommenden Studien.
5. Eine entsprechende Möglichkeit bieten digitale 3D-Modelle. Die durchgeführte Machbarkeitsstudie zeigte, dass durch Photogrammmetrie und 3D-Druck realistische digitale sowie gedruckte 3D-Modelle verschiedener Amphibien erstellt werden können.
Inwieweit weitere Taxa durch die vorgestellten Verfahren als 3D-Modelle abgebildet werden können, bleibt abzuwarten. Zukünftige Untersuchungen sollten zudem die Auswirkungen der Verwendung dieser Modelle auf das Verständnis und die Lernergebnisse in zoologischen Kursen untersuchen.

Die vorliegende Arbeit trägt somit insgesamt dazu bei, die Notwendigkeit einer fundierten zoologischen Artenkenntnis zu verdeutlichen. Sie eröffnet Möglichkeiten für eine moderne und gewinnbringende Vermittlung. Diese Vermittlung von Artenvielfalt kann eine Sensibilisierung für Biodiversität und ihren Verlust erreichen und somit zu einem verbesserten Schutz unserer Umwelt beitragen. Denn nur durch das Erkennen von Arten und Ökosystemen, setzten wir uns für ihren Schutz ein und können diese erhalten, oder abschließend nach Konrad Lorenz:

„Man schützt nur, was man liebt – man liebt nur, was man kennt“

Literaturverzeichnis

Abeysekera, L. & Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research & Development*, *34*(1), 1–14. https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336

Albert, M., Hurrelmann, K., Quenzel, G. & Schneekloth, U. (2019). Die 18. Shell Jugendstudie – Eine Generation meldet sich zu Wort. *Diskurs Kindheits- und Jugendforschung / Discourse Journal of Childhood and Adolescence Research*, *4*(4-2019), 484–490. https://doi.org/10.3224/diskurs.v14i4.06

Andersen, L. W., Fog, K. & Damgaard, C. (2004). Habitat fragmentation causes bottlenecks and inbreeding in the European tree frog (Hyla arborea). *Proceedings. Biological sciences*, *271*(1545), 1293–1302. https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2720

Baacke, D. (1996). Medienkompetenz - Begrifflichkeit und sozialer Wandel. In A. von Rein (Hrsg.), *Theorie und Praxis der Erwachsenenbildung. Medienkompetenz als Schlüsselbegriff* (S. 112–124). Justus Klinkhardt.

Ballouard, J.-M., Brischoux, F. & Bonnet, X. (2011). Children prioritize virtual exotic biodiversity over local biodiversity. *PloS one*, *6*(8), e23152. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023152

Balmford, A., Clegg, L., Coulson, T. & Taylor, J. (2002). *Why conservationists should heed Pokémon* (Nr. 5564). *Science (New York, N.Y.)*, *295*, S. 2367.

Barak, M. (2014). Closing the Gap Between Attitudes and Perceptions About ICT-Enhanced Learning Among Pre-service STEM Teachers. *Journal of Science Education and Technology*, *23*(1), 1–14. https://doi.org/10.1007/s10956-013-9446-8

Baran, E., Canbazoglu Bilici, S., Albayrak Sari, A. & Tondeur, J. (2019). Investigating the impact of teacher education strategies on preservice teachers' TPACK. *British Journal of Educational Technology*, *50*(1), 357–370. https://doi.org/10.1111/bjet.12565

Barrios-Garcia, M. N. & Ballari, S. A. (2012). Impact of wild boar (Sus scrofa) in its introduced and native range: a review. *Biological Invasions*, *14*(11), 2283–2300. https://doi.org/10.1007/s10530-012-0229-6

Barthel, P. & Helbig, A. (2005). Artenliste der Vögel Deutschlands. *Limicola*, *19*(2), 89–111.

Bartlett, M. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences, 160*(901), 268–282. https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109

Bäuml, M. A. (1976). Fachspezifische Arbeitsweisen im grundlegenden Biologieunterricht. *Sachunterricht und Mathematik in der Grundschule, 12*, 580–589.

Bawden, D. (2008). Origins and Concepts of Digital Literacy. In C. Lankshear & M. Knobel (Hrsg.), *Digital Literacies. Concepts, Policies and Practices* (S. 17–32).

Bebbington, A. (2005). The ability of A-level students to name plants. *Journal of Biological Education, 39*(2), 63–67. https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655963

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A, Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften - DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung.

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C (Hrsg.). (2020). *Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.

Bennett, S., Maton, K. & Kervin, L. (2008). The 'digital natives' debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology, 39*(5), 775–786. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00793.x

Beudels, M., Westerholt, D., Preisfeld, A. & Damerau, K. (2021). Biologische Bestimmungs-apps in der Lehre – Eine Studie zum „Status quo" angehender Lehrkräfte. *Journal für Didaktik der Naturwissenschaften und der Mathematik*(5), 141–163.

Beunink, L.; Damerau, K.; Preisfeld, A.; Busse, I. & Bleidißel, S. (2024). Die Entwicklung der zoologischen Artenkenntnis bei Biologiestudierenden. *Naturschutz und Landschafts-planung 56(11), 20-27. https://doi.org/*10.1399/NuL.79735.

BirdLife International. (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: Pica pica*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-1.RLTS.T103727048A112300389.en [zu-letzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2018a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2018: Erithacus rubecula*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22709675A131953953.en [zu-letzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2018b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2018: Troglodytes troglodytes.* https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T103883277A132200296.en [zu-letzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2019a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: Fringilla coelebs*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22720030A155432370.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2019b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: Tyto alba*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T22688504A155542941.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2021a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2021: Anas platyrhynchos (Europe assessment)*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22680186A166199836.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

BirdLife International. (2021b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2021: Dendrocopos major (Europe assessment)*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T22681124A166214479.en

Bixler, R. D., Floyd, M. F. & Hammitt, W. E. (2002). Environmental Socialization. *Environment and Behavior*, *34*(6), 795–818. https://doi.org/10.1177/001391602237248

Bond, M., Buntins, K., Bedenlier, S., Zawacki-Richter, O. & Kerres, M. (2020). Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: a systematic evidence map. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *17*(1). https://doi.org/10.1186/s41239-019-0176-8

Böning, P, Plewnia, A., Virgo, J., Adam, J., Banowski, N., Bleidißel, S., Dabbagh, N., Dalbeck, L, Düssel-Siebert, H., Ellwart, S., Feiler, L., Ferner, V., Fischer, M, Gemeinhardt, L., Guschal, M., Geiger, A, Hansbauer, G., Hechinger, M., Hildwein, T. & Lötters, S (2024). Die Salamanderpest: Charakterisierung, aktuelle Situation in Deutschland, Handlungsempfehlungen. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, *31*, 1–38.

Bonorden, M., Meinders, K., Offermann, S., Riemenschneider, A. & Papenbrock, J. (2022). Biologieunterricht praktisch und digital: Kompetenzorientierte Lehr-Lernarrangements zur Modellierung von Blütenmodellen mit 3D-Druck. *Biologie in unserer Zeit*, *52*(1), 80–88.

Börner, H. (2009). *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* (8., neu bearb. und aktual. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer.

Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). *Springer-Lehrbuch*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0

Bos, W., Lorenz, R., Endberg, M., Eickelmann, B Grafe, S. & Vahrenhold, J. (2017). *Schule digital – der Länderindikator 2017. Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I*

mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017. Waxmann.

Breitenbach, A. (2021). *Digitale Lehre in Zeiten von Covid-19: Risiken und Chancen*.

Brühl, C. A. & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, *7*, Artikel 177. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

Bühl, A. (2010). *SPSS 18: Einführung in die moderne Datenanalyse* (12. Aufl.). Pearson Studium.

Verordnung zum Schutz wild lebender Tier- und Pflanzenarten (Bundesartenschutzverordnung) (1986 & i.d.F.v. 2005).

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2015). *Agenda 2030: Die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung*. https://www.bmz.de/de/agenda-2030

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) (2009 & i.d.F.v. 2022).

Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G. M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., . . . Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science (New York, N.Y.)*, *328*(5982), 1164–1168. https://doi.org/10.1126/science.1187512

Canessa, E. (2013). Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development. In ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (Hrsg.), *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development.*

Cassola, F. (2016). *The IUCN Red List of Threatened Species 2016: Marmota marmota*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T12835A510082.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Castillo-Huitrón, N. M., Naranjo, E. J., Santos-Fita, D. & Estrada-Lugo, E. (2020). The Importance of Human Emotions for Wildlife Conservation. *Frontiers in psychology*, *11*, 1277. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01277

CBD. (2024). *Information about the Convention on Biological Diversity*. https://www.cbd.int/information/parties.shtml [zuletzt abgerufen am 16.09.2024]

CBD COP. (2022). *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. UN Doc CBD/COP/DEC/15/4*. https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf [zuletzt abgerufen am 16.09.2024]

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Assoc.

Da Silva, A., Luikart, G., Yoccoz, N. G., Cohas, A. & Allainé, D. (2006). Genetic diversity-fitness correlation revealed by microsatellite analyses in European alpine marmots (Marmota marmota). *Conservation Genetics*, *7*(3), 371–382. https://doi.org/10.1007/s10592-005-9048-y

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, *39*(2), 223–238.

DeMaster, D. P. & Stirling, I. (1981). Ursus maritimus. *Mammalian Species*(145), 1. https://doi.org/10.2307/3503828

Dertinger, A. (2021). Medienpädagogische Professionalisierung von Lehrpersonen in einer mediatisierten Welt. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 1–27. https://doi.org/10.21240/mpaed/jb16/2021.01.10.X

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaat, F., Schröter, M., Lavorel, S., . . . Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science (New York, N.Y.)*, *359*(6373), 270–272. https://doi.org/10.1126/science.aap8826

DiGiTiB (2024). https://www.digitib.de/de/startseite/ [zuletzt abgerufen am 09.10.2024]

Dilling, F. (2019). *Der Einsatz der 3D-Druck-Technologie Im Mathematikunterricht: Theoretische Grundlagen und Exemplarische Anwendungen Für Die Analysis*. *BestMasters Ser*. Spektrum Akademischer Verlag.

Döring, N., Bortz, J., Pöschl, S., Werner, C. S., Schermelleh-Engel, K., Gerhard, C. & Gäde, J. C. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl. 2016). *Springer-Lehrbuch*. Springer Berlin Heidelberg.

Dorning, J. & Harris, S. (2019). Understanding the intricacy of canid social systems: Structure and temporal stability of red fox (Vulpes vulpes) groups. *PloS one*, *14*(9), e0220792. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220792

Drenckhahn, D., Arneth, A., Filser, J., Haberl, H., Hansjürgens, B., Herrmann, B., Homeier, J., Leuschner, C., Mosbrugger, V., Reusch, T. B. H., Schäffer, A., Scherer-Lorenzen, M.,

Tockner, K. & Steinicke, H. (2020). *Globale Biodiversität in der Krise: Was können Deutschland und die EU dagegen tun?* (Stand: Mai 2020). *Diskussion / Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Nr. 24*. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. - Nationale Akademie der Wissenschaften.

Drugova, E., Zhuravleva, I., Aiusheeva, M. & Grits, D. (2021). Toward a model of learning innovation integration: TPACK-SAMR based analysis of the introduction of a digital learning environment in three Russian universities. *Education and information technologies*, *26*(4), 4925–4942. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10514-2

Dunn, C. W., Hejnol, A., Matus, D. Q., Pang, K., Browne, W. E., Smith, S. A., Seaver, E., Rouse, G. W., Obst, M., Edgecombe, G. D., Sørensen, M. V., Haddock, S. H. D., Schmidt-Rhaesa, A., Okusu, A., Kristensen, R. M., Wheeler, W. C., Martindale, M. Q. & Giribet, G. (2008). Broad phylogenomic sampling improves resolution of the animal tree of life. *Nature*, *452*(7188), 745–749. https://doi.org/10.1038/nature06614

Dunn, O. J. (1961). Multiple Comparisons Among Means. *Journal of the American Statistical Association*, *56*(293), 52. https://doi.org/10.2307/2282330

Ehm, J.-H., Hasselhorn, M. & Schmiedek, F. (2019). Analyzing the developmental relation of academic self-concept and achievement in elementary school children: Alternative models point to different results. *Developmental Psychology*, *55*(11), 2336–2351. https://doi.org/10.1037/dev0000796

Eickelmann, B & Gerick, J. (2020). Lernen mit digitalen Medien. Zielsetzungen in Zeiten von Corona und unter besonderer Berücksichtigung von sozialen Ungleichheiten. In D. Fickermann & B. Edelstein (Hrsg.), *"Langsam vermisse ich die Schule …". Schule während und nach der Corona-Pandemie* (S. 153–162). Waxmann. https://doi.org/10.25656/01:20235

Enzensberger, P., Schmid, B [B.], Gerl, T. & Zahner, V. (2022). Robin Who? Bird Species Knowledge of German Adults. *Animals*, *12*(17), Artikel 2213. https://doi.org/10.3390/ani12172213

Erdogan, A. & Sahin, I. (2010). Relationship between math teacher candidates' Technological Pedagogical And Content Knowledge (TPACK) and achievement levels. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *2*(2), 2707–2711. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.400

Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Sadik, O., Sendurur, E. & Sendurur, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, *59*(2), 423–435. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.001

Eschenhagen, D. (1982). Untersuchung zu Tierartenkenntnissen von Schülern. *Unterricht Biologie*, *68*, 40–44.

Faridah, I., Sari, F. R., Wahyuningsih, T., Oganda, F. P. & Rahardja, U. (2020). Effect digital learning on student motivation during Covid-19. *2020 8th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, 1–5.

Farjon, D., Smits, A. & Voogt, J. (2019). Technology integration of pre-service teachers explained by attitudes and beliefs, competency, access, and experience. *Computers & Education*, *130*, 81–93. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.11.010

Ferrari, A. (2012). *Digital Competence in Practice: An Analysis of Frameworks*. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2547ebf4-bd21-46e8-88e9-f53c1b3b927f/language-en

Finger, A, Bergmann-Gering, A. & Groß, J (2022). The medium matters! The effect of a mobile digital identification tool on students' intrinsic motivation during plant identification. *Journal of Biological Education*, 1–23. https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2147204

Fonda, C. (2013). A Practical Guide to Your First 3D Print. In ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (Hrsg.), *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development.*

forsa. (2023). *Die Schule aus Sicht der Schulleiterinnen und Schulleiter - Digitalisierung und digitale Ausstattung: Ergebnisse einer bundesweiten repräsentativen Befragung*. https://www.vbe.de/fileadmin/user_upload/VBE/Service/Meinungsumfragen/2024-02-05_Bericht-forsa_Digitalisierung.pdf

Fraser, J., Heimlich, J. E. & Yocco, V. (2010). *American beliefs associated with increasing children's opportunities for experiences in nature.* (Report Number20100226).

Frey, D. & Uemminghaus, M. (Hrsg.). (2021). *Innovative Lehre an der Hochschule: Konzepte, Praxisbeispiele und Lernerfahrungen aus COVID-19*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62913-0

Friedman, M. (1937). The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association*, *32*(200), 675–701. https://doi.org/10.1080/01621459.1937.10503522

Fritz, C. O., Morris, P. E. & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *Journal of experimental psychology. General*, *141*(1), 2–18. https://doi.org/10.1037/a0024338

Frobel, K. & Schlumprecht, H. (2016). Erosion der Artenkenner: Ergebnisse einer Befragung und notwendige Reaktionen. *Naturschutz und Landschaftsplanung 48 (4)*.

Gaber, O. & Künzel, K. H. (1998). Man from the Hauslabjoch. *Experimental gerontology*, *33*(7-8), 655–660. https://doi.org/10.1016/S0531-5565(98)00048-5

Garvin, H. M. & Stock, M. K. (2016). The Utility of Advanced Imaging in Forensic Anthropology. *Academic forensic pathology*, *6*(3), 499–516. https://doi.org/10.23907/2016.050

Gaston, K. J. & Spicer, J. I. (2004). *Biodiversity: An introduction* (Second edition). Blackwell Publishing.

Gebhard, U., Lude, A., Möller, A. & Moormann, A. (Hrsg.). (2021). *Naturerfahrung und Bildung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35334-6

Gebhard, U. & Menzel, S. (2019). Naturwahrnehmung von Kindern und Jugendlichen. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 269–285). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_15

Gerl, T., Almer, J., Zahner, V. & Neuhaus, B. J (2018). Der BISA-Test: Ermittlung der Formenkenntnis von Schülern am Beispiel einheimischer Vogelarten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 235–249. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0086-7

Gerl, T. & Aufleger, M (2022). Artenkenntnis - ein Fall für die Rote Liste? Mit digitalen Medien die Natur neu entdecken. *Unterricht Biologie*, *46*(473), 2-9.

Gerl, T., Randler, C & Neuhaus, B. J (2021). Vertebrate species knowledge: an important skill is threatened by extinction. *International Journal of Science Education*, *43*(6), 928–948. https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1892232

Gerl, T. & Urbasik, M. (2019). Sterben Artenkenner aus? - Bedeutung der Taxonomie im Biologie-Unterricht einst und jetzt. *MNU Journal*, *6*, 510–516.

Gerlach, B., Dröschmeister, R., Langgemach, T., Borkenhagen, K., Busch, M., Hauswirth, M., Heinicke, T., Kamp, J., Karthäuser, J., König, C., Markones, N., Prior, N., Trautmann, S., Wahl, J. & Sudfeldt, C. (2019). *Vögel in Deutschland - Übersichten zur Bestandssituation*. *Vögel in Deutschland: Bd. 2019*. Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.

Gethöffer, F., Sodeikat, G. & Pohlmeyer, K. (2007). Reproductive parameters of wild boar (Sus scrofa) in three different parts of Germany. *European Journal of Wildlife Research*, *53*(4), 287–297. https://doi.org/10.1007/s10344-007-0097-z

Gilster, P. (1997). *Digital literacy*. *Wiley computer publishing*. Wiley.

Glandt, D. (2016). *Amphibien und Reptilien: Herpetologie für Einsteiger*. Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49727-2

Glandt, D. (2018). *Praxisleitfaden Amphibien- und Reptilienschutz: Schnell – präzise – hilfreich*. Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55727-3

Glandt, D. & Trapp, B. (2022). *Die Amphibien und Reptilien Europas: Beobachten und bestimmen*. Quelle & Meyer Verlag.

Graham, C. R. (2006). Blended learning systems. In C. J. Bonk & C. R. Graham (Hrsg.), *Essential resources for training and HR professionals. The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs* (1. ed., S. 3–21). Pfeiffer.

Groß, J. (2018). „Kann man da das Internet auch ausschalten?“ – Digitale Werkzeuge im Spannungsfeld zwischen Spielen und Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In C. Bär, T. Grädler & R. Mayr (Hrsg.), *Digitalisierung im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Recht* (S. 47–61). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56438-7_4

Günther, R. (2009). *Die Amphibien und Reptilien Deutschlands* (1., Aufl. 1996, Nachdr). Spektrum Akad. Verl.

Guttman, L. (1954). Some necessary conditions for common-factor analysis. *Psychometrika, 19*(2), 149–161.

Haan, G. de. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (1. Aufl., S. 23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90832-8_4

Habel, J. C, Segerer, A., Ulrich, W., Torchyk, O., Weisser, W. W. & Schmitt, T. (2016). Butterfly community shifts over two centuries. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*, *30*(4), 754–762. https://doi.org/10.1111/cobi.12656

Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A. & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, *3*, 275–285. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004

Halley, D., Rosell, F. & Saveljev, A. (2012). Population and Distribution of Eurasian Beaver (Castor fiber). *Baltic Forestry*, *18*(1), 168–175.

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & Kroon, H. de (2017). More than 75

percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, *12*(10), e0185809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Hallmann, C. A., Zeegers, T., van Klink, R., Vermeulen, R., van Wielink, P., Spijkers, H., van Deijk, J., van Steenis, W. & Jongejans, E. (2020). Declining abundance of beetles, moths and caddisflies in the Netherlands. *Insect Conservation and Diversity*, *13*(2), 127–139. https://doi.org/10.1111/icad.12377

Hassett, B. R. & Lewis-Bale, T. (2017). Comparison of 3D Landmark and 3D Dense Cloud Approaches to Hominin Mandible Morphometrics Using Structure-From-Motion. *Archaeometry*, *59*(1), 191–203. https://doi.org/10.1111/arcm.12229

Hastedt, A. & Grospietsch, F. (2024). Digitale Bestimmungshilfen für den Sach- und Biologieunterricht: Eine Übersicht über neun Anwendungen und fachdidaktische Forschungsergebnisse. *MNU-Journal*(02).

Heckhausen, J & Heckhausen, H. (2018). Motivation und Handeln: Einführung und Überblick. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 1–11). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53927-9_1

Henderson, M. (2010). Die Genetik der Evolution. In *50 Schlüsselideen Genetik* (S. 16–19). Spektrum Akademischer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2381-8_5

Hense, J. (2021). In 5 min von der Artenkenntnis zur Naturerfahrung. In U. Gebhard, A. Lude, A. Möller & A. Moormann (Hrsg.), *Naturerfahrung und Bildung* (S. 337–346). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35334-6_18

Herrero, J., Giannatos, G., Kranz, A. & Conroy, J. (2007). *The IUCN Red List of Threatened Species 2007: Sus scrofa (Europe assessment)*. https://www.iucnredlist.org/species/41775/10562008 [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Herzig, B. & Martin, A. (2018). Lehrerbildung in der digitalen Welt. In S. Ladel, J. Knopf & A. Weinberger (Hrsg.), *Digitalisierung und Bildung* (S. 89–113). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18333-2_6

Herzog, H. A. & Burghardt, G. M. (1988). Attitudes Toward Animals: Origins and Diversity. *Anthrozoös*, *1*(4), 214–222. https://doi.org/10.2752/089279388787058317

Hesse, M. (2002). Eine neue Methode zur Überprüfung von Artenkenntnissen bei Schülern. Frühblüher: Benennen–Selbsteinschätzen–Wiedererkennen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *8*(8), 53–67.

Hickman, C. P., Roberts, L. S., Larson, A., L'Anson, H. & Eisenhour, D. J. (2008). *Zoologie* (13., aktualisierte Aufl [der engl. Ausg.]. *Pearson Studium bio biologie*. Pearson Education.

Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L. & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Waxmann. https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=15482 https://doi.org/10.25656/01:15482

Hoffmann, M. & Sillero-Zubiri, C. (2021). *The IUCN Red List of Threatened Species 2021: Vulpes vulpes*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T23062A193903628.en

Hollstein, G. (2002). *Pflanzenkenntnis als Teil der Umweltbildung: Grundlagen und Vorschläge für den Unterricht in der Grundschule.* Schneider-Verlag.

Hooykaas, M. J., Schilthuizen, M., Aten, C., Hemelaar, E. M., Albers, C. J. & Smeets, I. (2019). Identification skills in biodiversity professionals and laypeople: A gap in species literacy. *Biological Conservation, 238,* 108202. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108202

Hosaka, T., Sugimoto, K. & Numata, S. (2017). Childhood experience of nature influences the willingness to coexist with biodiversity in cities. *Palgrave Communications*, *3*(1). https://doi.org/10.1057/palcomms.2017.71

Hughes, J., Thomas, R. & Scharber, C. (2006). Assessing Technology Integration: The RAT – Replacement, Amplification, and Transformation - Framework. In *Proceedings of SITE 2006--Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (S. 1616–1620). AACE.

Hupke, K.-D. (2020). Naturschutz contra Zeitgeist? In K.-D. Hupke (Hrsg.), *Naturschutz: Eine kritische Einführung* (2. Auflage, S. 375–378). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62132-5_37

Iskrenovic-Momcilovic, O. (2023). Contribution of using mobile application on botanical fieldwork in primary school. *Interactive Learning Environments*, *31*(2), 1186–1198. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1826531

IUCN. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species.* https://www.iucnredlist.org [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2022a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2022: Hyla arborea*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T82496838A82495296.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2022b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2022: Ichthyosaura alpestris*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T59472A89702213.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2023a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2023: Bufo bufo*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T88316072A78902726.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2023b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2023: Salamandra salamandra*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T59467A219148292.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Jäkel, L. & Schaer, A. (2004). Sind Namen nur Schall und Rauch? Wie sicher sind Pflanzenkenntnisse von Schülerinnen und Schülern? *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, *13*, 1–24.

Jaun-Holderegger, B. (2019). *Wege zur Artenkenntnis: eine Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe im Kanton Bern, Schweiz*. [Dissertation]

Jones, J. S., Leith, B. H. & Rawlings, P. (1977). Polymorphism in Cepaea: a problem with too many solutions? *Annual review of Ecology and Systematics*, *8*(1), 109–143.

Jong, T. de, van Joolingen, W. R., Giemza, A., Girault, I., Hoppe, U., Kindermann, J., Kluge, A., Lazonder, A. W., Vold, V., Weinberger, A., Weinbrenner, S., Wichmann, A., Anjewierden, A., Bodin, M., Bollen, L., D′Ham, C., Dolonen, J., Engler, J., Geraedts, C., . . . van der Zanden, M. (2010). Learning by creating and exchanging objects: The SCY experience. *British Journal of Educational Technology*, *41*(6), 909–921. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01121.x

Jung, L., Hoyer, L., Mattner, J., Böning, P., Kiesler, A., Eisenberg T. & Ziemek, H.-P. (2024). Vorläufiger Bericht über den Erstnachweis von Bsal (Batrachochytrium salamandrivorans) an Feuersalamandern im Freiland in Hessen. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, *31*, 238–240.

Jungbluth, J. H., Knorre, D. von, Gosselck, F. & Darr, A. (2018). Mollusca – Weichtiere. In B. Klausnitzer & E. Stresemann (Hrsg.), *Exkursionsfauna von Deutschland / begr. von Erwin Stresemann. Weitergef. von Hans-Joachim Hannemann: Band 1. Wirbellose (ohne Insekten)* (9., überarb. und aktualisierte Auflage 2018, S. 153–304). Springer Spectrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55354-1_13

Kaiser, H. F. (1960). The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educational and Psychological Measurement*, *20*(1), 141–151. https://doi.org/10.1177/001316446002000116

Kalkman, V. J. (2014). *The IUCN Red List of Threatened Species 2014: Libellula depressa*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T165531A19167508.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Kanbay, F. (2010). *Insekten, Spinnen + Co. Naturdetektive*. Compact Via.

Kappes, H. (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: Alinda biplicata*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T75882194A75882200.en [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Kautsky, N. (1982). Growth and size structure in a baltic Mytilus edulis population. *Marine Biology*, *68*(2), 117–133. https://doi.org/10.1007/BF00397599

Keane, T. (2012). Leading with technology: 21st century skills = 3Rs + 4Cs. *Australian Educational Leader*, *34*(2), 44.

Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (4th ed.). De Gruyter.

Kettlewell, H. B. D. (1973). *Evolution of melanism: the study of a recurring necessity.*

Kistler, C., Gloor, S., Hegglin, D. & Bontadina, F. (2023). Das Management des Fuchses sollte auf wissenschaftlichen Grundlagen anstatt auf Annahmen basieren. In C. C. Voigt (Hrsg.), *Evidenzbasiertes Wildtiermanagement* (S. 257–272). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65745-4_10

Knezek, G. & Christensen, R. (2016). Extending the will, skill, tool model of technology integration: adding pedagogy as a new model construct. *Journal of Computing in Higher Education*, *28*(3), 307–325. https://doi.org/10.1007/s12528-016-9120-2

Koehler, M. & Mishra, P (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *9*(1), 60–70. https://www.learntechlib.org/p/29544/

Kokott, J. & Scheersoi, A. (2021). Insektenvielfalt erfahrbar machen – Bildungsangebote zur Interessenförderung bei Jugendlichen. In U. Gebhard, A. Lude, A. Möller & A. Moormann (Hrsg.), *Naturerfahrung und Bildung* (S. 309–336). Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M & Neuhaus, B. J (2019). Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), 131–160. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00096-5

Krebs, D. & Menold, N. (2022). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 549–565). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37985-8_35

Kreidl, C. & Dittler, U. (2021). *Ergebnisse der empirischen Studie zum Thema „Auswirkungen der Corona-Krise auf die Hochschullehre“*. https://opus.hs-furtwangen.de/frontdoor/deliver/index/docId/6737/file/Gesamtergebnisse+Corona+Hochschullehre.pdf

Kronberg, I. (2016). Industriemelanismus: Die dunkle Form des Birkenspanners entsteht durch ein springendes Gen. *Biologie in unserer Zeit*, *46*(5), 276–277. https://doi.org/10.1002/biuz.201690083

Kruskal, W. H. & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, *47*(260), 583–621.

Kryštufek, B., Meinig, H., Zima, J., Henttonen, H. & Balciauskas, L. (2007). *The IUCN Red List of Threatened Species 2007: Castor fiber (Europe assessment)*. https://www.iucnredlist.org/species/4007/10313183 [zuletzt abgerufen am 29.09.2024]

Kuhn, J., Ropohl, M. & Groß, J. (2017). Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer*. Joachim Herz Stiftung Verlag.

Kuhn, J. & Vogt, P. (2013). Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices. *European Journal of Physics Education*, *4*(1), 16–27.

Kunze, L. & Frey, D. (2021). Digitale Lehre an der Hochschule: Warum Blended Learning so gut funktioniert. In D. Frey & M. Uemminghaus (Hrsg.), *Innovative Lehre an der Hochschule: Konzepte, Praxisbeispiele und Lernerfahrungen aus COVID-19* (S. 69–86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62913-0_4

LANUV. (2024). *Planungsrelevante Arten*. https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe

Larson, L. R., Cooper, C. B. & Hauber, M. E. (2016). Emotions as Drivers of Wildlife Stewardship Behavior: Examining Citizen Science Nest Monitors' Responses to Invasive House Sparrows. *Human Dimensions of Wildlife*, *21*(1), 18–33. https://doi.org/10.1080/10871209.2015.1086933

Leal Filho, W. (Hrsg.). (2019). *Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele*. Springer Spektrum.

Leiner, D. J. (2019). *SoSci Survey* (Version 3.4.00) [Computer software]. https://www.soscisurvey.de [zuletzt abgerufen am 03.09.2024]

Leménager, M., Burkiewicz, J., Schoen, D. J. & Joly, S. (2023). Studying flowers in 3D using photogrammetry. *The New phytologist*, *237*(5), 1922–1933. https://doi.org/10.1111/nph.18553

Lengerken, H. v. (2020). *Das Tierreich: Teil V: Weichtiere ; Urmollusken, Schnecken, Muscheln und Kopffüßer* (Reprint 2020). *Sammlung Göschen: Bd. 440*. De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783112315613

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*(140), 5–53. https://psycnet.apa.org/record/1933-01885-001/

Lin, M.-H., Chen, H.-C. & Liu, K.-S. (2017). A Study of the Effects of Digital Learning on Learning Motivation and Learning Outcome. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *13*(7), 3553–3564. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00744a

Lindemann-Matthies, P., Remmele, M. & Yli-Panula, E. (2017). Professional competence of student teachers to implement species identification in schools – a case study from Germany. *CEPS Journal*, *7*. https://doi.org/10.25656/01:12956 (CEPS Journal 7 (2017) 1, S. 29-47).

Lindemann-Matthies, P. (2005). 'Loveable' mammals and 'lifeless' plants: how children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International Journal of Science Education*, *27*(6), 655–677. https://doi.org/10.1080/09500690500038116

Linné, C. (1758). *Systema naturae*. Laurentii Salvii.

Lötters, S., Wagner, N., Albaladejo, G., Böning, P., Dalbeck, L., Düssel, H. & … & Wegge, J. (2020). The amphibian pathogen Batrachochytrium salamandrivorans in the hotspot of its European invasive range: past-present-future. *Salamandra - German Journal of Herpetology*, *56*(3), 173–188.

Lüddecke, T. (2019). Über das Hautgift beim Feuersalamander. *Feldherpetologisches Magazin*(11), 9–16.

Lussu, P. & Marini, E. (2020). Ultra close-range digital photogrammetry in skeletal anthropology: A systematic review. *PloS one*, *15*(4), e0230948. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230948

Mäder, P., Boho, D., Rzanny, M., Seeland, M., Wittich, H. C., Deggelmann, A. & Wäldchen, J. (2021). The Flora Incognita app – Interactive plant species identification. *Methods in Ecology and Evolution*, *12*(7), 1335–1342. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13611

Malicky, H. (2019). *Vom Handwerk der Entomologie*. Springer Spektrum.

Marlow, N. J., Thomson, P. C., Rose, K. & Kok, N. E. (2016). Compensatory responses by a fox population to artificial density reduction in a rangeland area in Western Australia. *Conservation Science Western Australia*, *10*(3), 1–10.

Mathys, A., Brecko, J. & Semal, P. (2013). Comparing 3D digitizing technologies: What are the differences? *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 201–204. https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2013.6743733

Max, A.-L., Lukas, S. & Weitzel, H. (2020). Entwicklung von Aufgaben zur Bewertung des TPACK von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Erkenntniswege Biologiedidaktik*, 57–71.

Maxton-Küchenmeister, J. & Meßinger-Koppelt, J. (2020). Digitale Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Lehramtsstudium – eine Einführung. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–7). Joachim Herz Stiftung.

Maxwell, S. L., Fuller, R. A., Brooks, T. M. & Watson, J. E. M. (2016). Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, *536*(7615), 143–145. https://doi.org/10.1038/536143a

Mayer, J. (1992). *Formenvielfalt im Biologieunterricht: Ein Vorschlag zur Neubewer-*. IPN.

Mayer, J. & Horn, F. (1993). Formenkenntnis - Wozu. *Unterricht Biologie*, *189*(17), 4–13.

Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning, *41*, 85–139. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(02)80005-6

Mayer, R. E. (2014). Incorporating motivation into multimedia learning. *Learning and Instruction*, *29*, 171–173. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.04.003

Mayr, E. (1979). *Evolution und die Vielfalt des Lebens*. Springer.

Medienberatung NRW. (2020). *Medienkompetenzrahmen NRW*. https://7c660779.flowpaper.com/LVRZMBMKRBroschuere/#page=1 [zuletzt abgerufen am 15.08.2024]

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2023). *JIM-Studie 2023: Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf [zuletzt abgerufen am 15.08.2024]

Meier, M., Aßhauer, L., Heethoff, M. & Michalik, P. (2022). DigiTiB - ein interaktives Lernwerkzeug zur Artbestimmung: Mit Rätseln das Bestimmen motivierend gestalten. *Unterricht Biologie*, *46*(473), 24–25.

Meiners, H., Hartmann, P., Niegemann, H., Seeber, S. & Wuttke, E. (2022). Digitale Medienkompetenz als Voraussetzung für die Erstellung von Prüfungsaufgaben. In S. Schumann, S. Seeber & S. Abele (Hrsg.), *Digitale Transformation in der Berufsausbildung. Konzepte, Befunde und Herausforderungen.* wbv Publikation.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen - Biologie*. Ritterbach Verlag 20112.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe ll Gymnasium in Nordrhein-Westfalen - Biologie.*

Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, *108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Möhring, W. & Schlütz, D. (2013). *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft*. *SpringerLink*. Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18776-1

Moss, A. & Esson, M. (2010). Visitor interest in zoo animals and the implications for collection planning and zoo education programmes. *Zoo biology*, *29*(6), 715–731. https://doi.org/10.1002/zoo.20316

Mullen, P. & Karwinkel, F. (2024). *Das NABU-Vogelbuch: 315 Vogelarten Deutschlands – einfach bestimmen mit über 1000 einzigartigen Fotos. Schütze, was du liebst: Der Kauf dieses Buchs unterstützt den NABU-Vogelschutz*. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG.

NABU. (2024). *Bunt gefärbt auf Brautschau: Der Bergmolch (Ichthyosaura alpestris)*. https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/amphibien-und-reptilien/amphibien/artenportraets/10640.html [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule.* Springer Spektrum.

Neubert, E. (2011a). *The IUCN Red List of Threatened Species 2011: Cepaea nemoralis*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T157208A5054687.en [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Neubert, E. (2011b). *The IUCN Red List of Threatened Species 2011: Helix pomatia*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T156519A4957463.en [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Observation.org. (2019). *Obsidentify [Computer software]*.

Onyema, E. M., Eucheria, N. C., Obafemi, F. A., Sen, S., Atonye, F. G., Sharma, A. & Alsayed, A. O. (2020). Impact of Coronavirus Pandemic on Education. *Journal of Education and Practice.* Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.7176/JEP/11-13-12

Palmberg, I., Berg, I., Jeronen, E., Kärkkäinen, S., Norrgård-Sillanpää, P., Persson, C., Vilkonis, R. & Yli-Panula, E. (2015). Nordic–Baltic Student Teachers' Identification of and Interest in Plant and Animal Species: The Importance of Species Identification and Biodiversity for Sustainable Development. *Journal of Science Teacher Education*, *26*(6), 549–571. https://doi.org/10.1007/s10972-015-9438-z

Patrick, P., Byrne, J., Tunnicliffe, S. D., Asunta, T., Carvalho, G. S., Havu-Nuutinen, S., Sigurjónsdóttir, H., Óskarsdóttir, G. & Tracana, R. B. (2013). Students (ages 6, 10, and 15 years) in six countries knowledge of animals. *Nordic Studies in Science Education*, *9*(1), 18–32. https://doi.org/10.5617/nordina.624

Petko, D. (2020). *Einführung in die Mediendidaktik: Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Mit E-Book inside* (2., vollständig überarbeitete Aufl.). Beltz.

Porras-Hernández, L. H. & Salinas-Amescua, B. (2013). Strengthening Tpack: A Broader Notion of Context and the Use of Teacher's Narratives to Reveal Knowledge Construction. *Journal of Educational Computing Research*, *48*(2), 223–244. https://doi.org/10.2190/EC.48.2.f

Prasse, D. (2012). *Bedingungen innovativen Handelns in Schulen. Funktion und Interaktion von Innovationsbereitschaft, Innovationsklima und Akteursnetzwerken am Beispiel der IKT-Integration an Schulen.* Waxmann Verlag.

Preece, D., Williams, S. B., Lam, R. & Weller, R. (2013). "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical sciences education*, *6*(4), 216–224. https://doi.org/10.1002/ase.1345

Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants Part 1. *On the Horizon*, *9*(5), 1–6. https://doi.org/10.1108/10748120110424816

Profico, A., Bellucci, L., Buzi, C., Di Vincenzo, F., Micarelli, I., Strani, F., Tafuri, M. A. & Manzi, G. (2019). Virtual Anthropology and its Application in Cultural Heritage Studies. *Studies in Conservation*, *64*(6), 323–336. https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1507705

Prokop, P. & Fančovičová, J. (2013). Does colour matter? The influence of animal warning coloration on human emotions and willingness to protect them. *Animal Conservation*, *16*(4), 458–466. https://doi.org/10.1111/acv.12014

Prokop, P., Medina-Jerez, W., Coleman, J., Fančovičová, J., Ozel, M. & Fedor, P. (2016). Tolerance of Frogs among High School Students: Influences of Disgust and Culture. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(6). https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1241a

Puentedura, R. (2006). *Transformation, Technology, and Education*. http://hippasus.com/resources/tte/

Randler, C. (2008). Pupils' Factual Knowledge About Vertebrate Species. *Journal of Baltic Science Education, 7*(1), 48–54.

Randler, C. & Bogner, F. X. (2006). Cognitive achievements in identification skills. *Journal of Biological Education*, *40*(4), 161–165. https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656038

Randler, C & Heil, F. (2021). Determinants of Bird Species Literacy-Activity/Interest and Specialization Are More Important Than Socio-Demographic Variables. *Animals : an open access journal from MDPI*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/ani11061595

Randler, C., Ilg, A. & Kern, J. (2005). Cognitive and Emotional Evaluation of an Amphibian Conservation Program for Elementary School Students. *The Journal of Environmental Education*, *37*(1), 43–52. https://doi.org/10.3200/JOEE.37.1.43-52

Randler, C. & Metz, K. (2005). Zusammenhänge zwischen Artenkenntnis und Artnamen. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule, 54*(6), 41–42.

Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie - Richtlinie 92/43/EWG (1992).

Regehr, E. V., Laidre, K. L., Akçakaya, H. R., Amstrup, S. C., Atwood, T. C., Lunn, N. J., Obbard, M., Stern, H., Thiemann, G. W. & Wiig, Ø. (2016). Conservation status of polar bears (Ursus maritimus) in relation to projected sea-ice declines. *Biology letters*, *12*(12). https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0556

Remmele, M. & Lindemann-Matthies, P. (2018). Like Father, Like Son? On the Relationship between Parents' and Children's Familiarity with Species and Sources of Knowledge about Plants and Animals. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *14*(10). https://doi.org/10.29333/ejmste/92287

Rheinberg, F. & Engeser, S. (2018). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 423–450). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53927-9_14

Riedel, J. (2020). Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.12767/BUEL.V98I1.272 (Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Aktuelle Beiträge).

Robson, K., Plangger, K., Kietzmann, J. H., McCarthy, I. & Pitt, L. (2015). Is it all a game? Understanding the principles of gamification. *Business Horizons*, *58*(4), 411–420. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.006

Rosenberg, J. M. & Koehler, M. (2015). Context and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): A Systematic Review. *Journal of Research on Technology in Education*, *47*(3), 186–210. https://doi.org/10.1080/15391523.2015.1052663

Rourk, W. (2019). 3D Cultural Heritage Informatics: Applications to 3D Data Curation. In J. Grayburn, Z. Lischer-Katz, K. Golubiewski-Davis & V. Ikeshoji-Orlati (Hrsg.), *CLIR publication: no. 176. 3D/VR in the academic library: Emerging practices and trends* (S. 24–38). Council on Library and Information Resources.

Rowson, B. (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2017: Limax maximus*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T170900A85577040.en [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Rubach, C. & Lazarides, R. (2019). Eine Skala zur Selbsteinschätzung digitaler Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, *9*(3), 345–374. https://doi.org/10.1007/s35834-019-00248-0

Ruxton, G. D. (2006). The unequal variance t-test is an underused alternative to Student's t-test and the Mann–Whitney U test. *Behavioral Ecology*, *17*(4), 688–690. https://doi.org/10.1093/beheco/ark016

Rzanny, M., Mäder, P., Deggelmann, A., Chen, M. & Wäldchen, J. (2019). Flowers, leaves or both? How to obtain suitable images for automated plant identification. *Plant methods*, *15*, 77. https://doi.org/10.1186/s13007-019-0462-4

Sadava, D. E., Hillis, D. M., Heller, H. C. & Hacker, S. D. (2019). *Purves Biologie* (10. Auflage). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58172-8

Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, *232*, 8–27. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020

Sander, I. (2020). What is critical big data literacy and how can it be implemented? *Internet Policy Review*, *9*(2). https://doi.org/10.14763/2020.2.1479

Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E. & Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, *12*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.007

Schaal, S., Spannagel, C. & Vogel, M. (2013). *Mehr als eine Rechenmaschine – Computer im mathematisch naturwissenschaftlichen Unterricht.* http://l3t.tugraz.at/index.php/LehrbuchEbner10/issue/

Schaefer, M. (2018). *Brohmer: Fauna von Deutschland: Ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt* (25., durchgesehene Auflage). Quelle & Meyer Verlag.

Schanze, S. & Girwidz, R. (2018). Lernen mit digitalen Medien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 177–192). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_11

Scheerpelz, O. (1950). *Der Maikäfer*. A. Ziemsen.

Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung [Technology-enhanced learning and teaching: an overview]. *Zeitschrift fur Erziehungswissenschaft : ZfE*, *24*(5), 1039–1060. https://doi.org/10.1007/s11618-021-01047-y

Schmäing, T. & Grotjohann, N. (2023). Die Artenkenntnis von angehenden Biologie- und Sachunterrichtslehrkräften zum Ökosystem Wattenmeer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *29*(1). https://doi.org/10.1007/s40573-023-00153-0

Schmeller, D. S., Utzel, R., Pasmans, F. & Martel, A. (2020). Batrachochytrium salamandrivorans kills alpine newts (Ichthyosaura alpestris) in southernmost Germany. *Salamandra - German Journal of Herpetology*, *56*(3), 230–232.

Schmid, B. (2003). Die funktionelle Bedeutung der Artenvielfalt: Biodiversität. *Biologie in unserer Zeit*, *33*(6), 356–365. https://doi.org/10.1002/biuz.200310236

Schmid, M. & Petko, D. (2020). "Technological Pedagogical Content Knowledge" als Leitmodell medienpädagogischer Kompetenz. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.5167/uzh-199140

Schmid, U., Goertz, L., Behrens, J., Michel, L. P., Radomski, S. & Thom, S. (2017). *Monitor Digitale Bildung: Die Hochschulen im digitalen Zeitalter.*

Schmidt, E. (2021). Naturerfahrungen durch Bestimmungsapps. In D. Graf, N. Graulich, K. Lengnink, H. Martinez & C. Schreiber (Hrsg.), *Edition Fachdidaktiken. Digitale Bildung für Lehramtsstudierende: TE@M – Teacher Education and Media* (S. 167–173). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32344-8_23

Schulemann-Maier, G. & Munzinger, S. (2018). Das Artenwissen naturaffiner Menschen analysiert: Ergebnisse der arten|pisa-Umfrage. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, *11*(50), 412–417.

Schulte, R., Jedicke, E., Lüder, R., Linnemann, B., Munzinger, S., Ruschkowski, E. von & Wägele, W. (2019). Eine Strategie zur Förderung der Artenkenntnis - Bedarf und Wege zur Qualifizierung von Naturbeobachtern, Artenkennern und Artenspezialisten. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, *51*(05), 210–217.

Schulz, V., Steinfartz, S., Geiger, A., Preißler, K. & Sabino-Pinto, J. (2018). Ausbreitung der Salamanderpest in Nordrhein-Westfalen: Aktueller Kenntnisstand. *Natur in NRW*, 26–30.

Schulz-Zander, R., Büchter, A. & Dalmer, R. (2002). The role of ICT as a promoter of students' cooperation. *Journal of Computer Assisted Learning*, *18*(4), 438–448. https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2002.002.x

Seibold, S., Gossner, M. M., Simons, N. K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., Ammer, C., Bauhus, J., Fischer, M., Habel, J. C., Linsenmair, K. E., Nauss, T., Penone, C., Prati, D., Schall, P., Schulze, E.-D., Vogt, J., Wöllauer, S. & Weisser, W. W. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*, *574*(7780), 671–674. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3

Senkbeil, M., Schöber, C. & Ihme, J. M. (2018). Fit fürs Studium? Computer-und informationsbezogene Basiskompetenzen Studierender und angehender Studierender. *SchVw NRW*, *29*(7-8), 221–224. https://scholar.google.de/citations?user=1d6jg_waaaaj&hl=de&oi=sra

Settele, J., Steiner, R., Reinhardt, R., Feldmann, R. & Hermann. G. (2015). *Schmetterlinge - Die Tagfalter Deutschlands*. Ulmer Verlag.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researchers*, *15*(2), 4–14.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, *57*(1), 1–22.

Smyth, F. & Nash, D. W. (2008). Overwintering of the red admiral butterfly (Vanessa atalanta (L.) on Howth Peninsula, Co. Dublin. *The Irish Naturalists' Journal*, *29*(2), 81–86. https://www.jstor.org/stable/20764455

Soga, M. & Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: the loss of human-nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *14*(2), 94–101. https://doi.org/10.1002/fee.1225

Solomon, I. J., Sevvel, P. & Gunasekaran, J. (2021). A review on the various processing parameters in FDM. *Materials Today: Proceedings*, *37*, 509–514. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.484

Spitzen-van der Sluijs, A., an Martel, Asselberghs, J., Bales, E. K., Beukema, W., Bletz, M. C., Dalbeck, L., Goverse, E., Kerres, A., Kinet, T., Kirst, K., Laudelout, A., Da Marin Fonte, L. F., Nöllert, A., Ohlhoff, D., Sabino-Pinto, J., Schmidt, B. R., Speybroeck, J., Spikmans, F., . . . Lötters, S. (2016). Expanding Distribution of Lethal Amphibian Fungus Batrachochytrium salamandrivorans in Europe. *Emerging infectious diseases*, *22*(7), 1286–1288. https://doi.org/10.3201/eid2207.160109

Spolwind, R., Pintar, M. & Waidbacher, H. (2001). Auengewässertypisierung an der österreichischen Donau: Amphibien und Fische als Kennorganismen. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, *8*, 169–178.

Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt"*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf [zuletzt abgerufen am 03.09.2024]

Sternberg, K. (2000). Libellula depressa Linnaeus, 1758 – Plattbauch. In K. Sternberg & R. Buchwald (Hrsg.), *Die Libellen Baden-Wurttembergs: Band 2: Großlibellen (Anisoptera)* (S. 436–448). Eugen Ulmer.

Stichmann, W., Kretzschmar, E. & Stichmann-Marny, U. (2012). *Der große Kosmos-Naturführer Tiere und Pflanzen*. Franckh-Kosmos.

Stockwell, B. R., Stockwell, M. S., Cennamo, M. & Jiang, E. (2015). Blended Learning Improves Science Education. *Cell*, *162*(5), 933–936. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.08.009

Sturm, P. & Berthold, T. (2015). Biodiversität im Unterricht – ein Konzept zur Umsetzung der Bayerischen Biodiversitätsstrategie im schulischen Bereich. https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an37207sturm_et_al_2015_biodiv_schulen.pdf

Sturm, U., Voigt-Heucke, S., Mortega, K. G. & Moormann, A. (2020). Die Artenkenntnis von Berliner Schüler_innen am Beispiel einheimischer Vögel. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *26*(1), 143–155. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00117-8

Surmacki, A., Ożarowska-Nowicka, A. & Rosin, Z. M. (2013). Color polymorphism in a land snail Cepaea nemoralis (Pulmonata: Helicidae) as viewed by potential avian predators. *Die Naturwissenschaften*, *100*(6), 533–540. https://doi.org/10.1007/s00114-013-1049-y

Süss, D., Lampert, C. & Trueltzsch-Wijnen, C. (2018). *Medienpädagogik: Ein Studienbuch zur Einführung* (3. Auflage). *Lehrbuch*. Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19824-4

Suter, W. (2017). *Ökologie der Wirbeltiere: Vögel und Säugetiere* (1. Auflage 2017). *utb Biologie: Bd. 8675*. Haupt Verlag.

Thoms, L.-J., Meier, M., Kotzebue, L. von, Kremser, E., Finger, A. & Thyssen, C. (2022). Ansätze zur Strukturierung universitärer Lehre zu digitalen Kompetenzen von Lehramtskandidat*innen der Naturwissenschaften unter Einbindung von Fach- und Bildungswissenschaften. In U. Schütte, N. Bürger, M. Fabel-Lamla, P. Frei, K. Hauenschild, J. Menthe, B. Schmidt-Thieme & C. Wecker (Hrsg.), *Digitalisierungsbezogene Kompetenzen fördern: Herausforderungen, Ansätze und Entwicklungsfelder im Kontext von Schule und Hochschule* (S. 243–251). Universitätsverlag Hildesheim. https://doi.org/10.18842/hibsu-s-2

Tomiuk, J. & Loeschcke, V. (2017). *Grundlagen der Evolutionsbiologie und Formalen Genetik*. Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/ 978-3-662-49685-5

Townsend, C. R., Begon, M. & Harper, J. L. (2009). *Ökologie* (2. Aufl., Übers. der 3. engl. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer.

Türk, A. & Arnold, W. (1988). Thermoregulation as a limit to habitat use in alpine marmots (Marmota marmota). *Oecologia*, *76*(4), 544–548. https://doi.org/10.1007/BF00397867

Umweltbundesamt. (2019). *Feuerwanzen*. https://www.umweltbundesamt.de/feuerwanzen#alternative-bekampfungsmassnahmen [zuletzt abgerufen am 14.09.2024]

Unnerstall, T. (2021). Artensterben und Biodiversität. In T. Unnerstall (Hrsg.), *Faktencheck Nachhaltigkeit: Ökologische Krisen und Ressourcenverbrauch unter der Lupe* (S. 173–196). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62601-6_12

Urhahne, D. (2006). Ich will Biologielehrer (-in) werden!–Berufswahlmotive von Lehramtsstudierenden der Biologie I Want to Become a Biology Teacher!–Biology Education … *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *12*.

van der Niet, T., Zollikofer, C. P., León, M. de, Johnson, S. D. & Linder, H. P. (2010). Three-dimensional geometric morphometrics for studying floral shape variation. *Trends in Plant Science*(15), 423–426.

van Swaay, C., Wynhoff, I., Verovnik, R., Wiemers, M., López Munguira, M., Maes, D., Sasic, M., Verstrael, T. & Warren, M. & Settele, J. (2010). *The IUCN Red List of Threatened Species 2010: Aglais urticae (Europe assessment)*. https://www.iucnredlist.org/species/174463/7076762 [zuletzt abgerufen am 14.09.2024]

Varela-Candamio, L., Novo-Corti, I. & García-Álvarez, M. T. (2018). The importance of environmental education in the determinants of green behavior: A meta-analysis approach.

Journal of Cleaner Production, *170*, 1565–1578. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.214

Verboom, J., Meier, U. & van Kralingen, R. (2004). *Teenagers and biodiversity - worlds apart? : an essay on young people's views on nature and the role it will play in their future* (Alterra). Alterra. https://library.wur.nl/webquery/wurpubs/reports/332703

Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), 115–129. https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6

Wagner, D. L., Grames, E. M., Forister, M. L., Berenbaum, M. R. & Stopak, D. (2021). Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *118*(2). https://doi.org/10.1073/pnas.2023989118

Wäldchen, J., Thuille, A., Seeland, M., Rzanny, M., Schulze, E.-D., Boho, D., Alaqraa, N., Hofmann, M. & Mäder, P. (2016). Flora Incognita - Halbautomatische Bestimmung der Pflanzenarten Thüringens mit dem Smartphone. *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen*, *53*(3), 121–125.

Walker, A. (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species 2020: Vanessa atalanta*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T174225A172421220.en [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Weber, E. (2018). *Biodiversität - Warum wir ohne Vielfalt nicht leben können*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55624-5

Wheeler, Q. D. & Platnick, N. I. (2000). The phylogenetic species concept (sensu Wheeler and Platnick). In Q. D. Wheeler & R. Meier (Hrsg.), *Species concepts and phylogenetic theory: a debate* (S. 55–69). Columbia University Press.

White, R. L., Eberstein, K. & Scott, D. M. (2018). Birds in the playground: Evaluating the effectiveness of an urban environmental education project in enhancing school children's awareness, knowledge and attitudes towards local wildlife. *PloS one*, *13*(3), e0193993. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193993

Wiig, Ø., Amstrup, S., Atwood, T., Laidre, K., Lunn, N., Obbard, M., Regehr, E. & Thiemann, G. (2015). *The IUCN Red List of Threatened Species 2015: Ursus maritimus*. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T22823A14871490.en [zuletzt abgerufen am 27.09.2024]

Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, *1*(6), 80. https://doi.org/10.2307/3001968

Wittig, R. & Niekisch, M. (2014). *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54694-5

WWF. (2022). *Living planet report 2022 - Building a nature-positive society*. *Living planet report: Bd. 2022*. CBS Library.

Yorek, N., Şahin, M. & Aydın, H. (2009). Are Animals 'More Alive' than Plants? Animistic-Anthropocentric Construction of Life Concept. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *5*(4). https://doi.org/10.12973/ejmste/75287

Zahner, V. (2018). Biberdämme und ihre Wirkung. *ANLiegen Natur*, *40*(2), 107–110.

Zahner, V., Blaschke, S., Fehr, P., Herlein, S., Krause, K., Lang, B. & Schwab, C. (2007). Vogelarten-Kenntnis von Schülern in Bayern. *Vogelwelt*, *128*, 203–214.

Zerbe, S. (2019). *Renaturierung von Ökosystemen im Spannungsfeld von Mensch und Umwelt: Ein interdisziplinäres Fachbuch*. Springer Spektrum.

Zöfel, P. (2001). *Statistik verstehen: ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung*. Pearson Deutschland GmbH.

Anhang

1. **Bilder im Fragebogen enthaltener Tierarten in abgefragter Reihenfolge** (Alle Bilder unterliegen einer CC0-Lizenz)

Welche Tiere sind hier abgebildet?

Bitte benennen Sie die abgebildeten Tiere so präzise wie möglich (gerne auch mit wissenschaftlichem Artnamen). Wenn Sie unsicher sind, tragen Sie übergeordnete Taxa ein (z.B. „Meise“ oder „Frosch“). Antworten Sie gerne in Ihrer Muttersprache.

Bitte entscheiden Sie sich zügig für eine Antwort und bearbeiten Sie die Fragen ohne Hilfestellungen.

1. *Fringilla coelebs*
   Buchfink

2. *Ichthyosaura alpestris*
   Bergmolch

3. *Marmota maromta*
   Alpenmurmeltier

4. *Vanessa atalanta*
   Admiral

5. *Dendrocopos major*
   Buntspecht

6. *Sus scrofa*
   Wildschwein

7. *Pica pica*
Elster

8. *Bufo bufo*
Erdkröte

9. *Anas platyrhynchos*
Stockente

10. *Salamandra salamandra*
Feuersalamander

11. *Pyrrhocoris apterus*
Feuerwanze

12. *Aglais urticae*
Kleiner Fuchs

13. *Parus major*
Kohlmeise

14. *Ursus maritimus*
Eisbär

15. *Hyla arborea*
Europäischer Laubfrosch

16. *Libellula depressa*
Plattbauch

17. *Melolontha melolontha*
Feldmaikäfer

18. *Mytilus edulis*
Miesmuschel

19. *Erithacus rubecula*
Rotkehlchen

20. *Limax maximus*
Tigerschnegel

21. *Castor fiber*
Biber

22. *Balea biplicata*
Schließmundschnecke

23. *Vulpes vulpes*
Rotfuchs

24. *Tyto alba*
Schleiereule

25. *Cepaea nemoralis*
Hain-Bänderschnecke

26. *Helix pomatia*
Weinbergschnecke

27. *Troglodytes troglodytes*
Zaunkönig

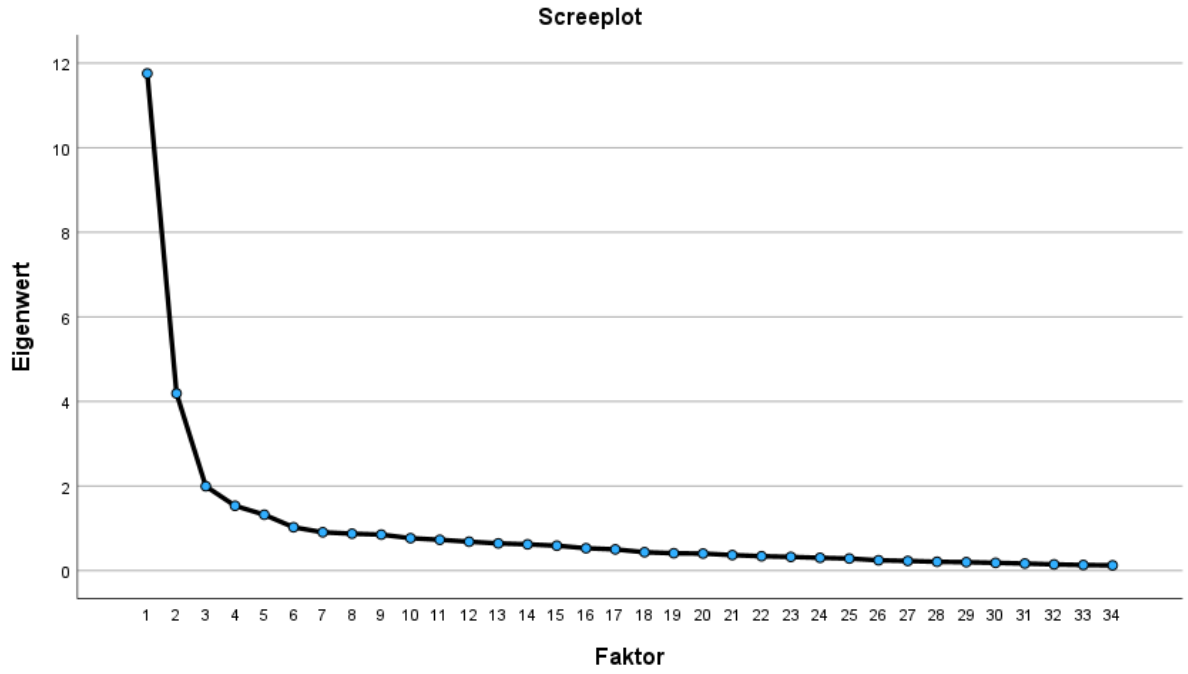
2. Hauptkomponentenanalyse der Teilstudie 4

Anhang Tabelle 1: Ergebnisse des KMO- und Barlett-Tests in Rahmen der Hauptkomponentenanalyse zur Teilstudie 4

Maß der Stichprobeneignung nach Kaiser-Meyer-Olkin		0,912
Barlett-Test auf Sphärizität	Ungefähres Chi-Quadrat	3950,248
	df	561
	Signifikanz nach Bartlett	< 0,001

Anhang Tabelle 2: Erklärte Gesamtvarianz durch die ermittelten Faktoren. Es werden nur die ersten vier Faktoren bis zu einer Unterschreitung eines Schwellenwertes von 5 % der erklärten Varianz der anfänglichen Eigenwerte.

	Anfängliche Eigenwerte			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
Faktor	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	11,756	34,576	34,576	10,695	31,455	31,455
2	4,190	12,323	46,899	4,167	12,256	43,711
3	1,994	5,865	52,754	3,078	9,053	52,764
4	1,532	4,506	57,270			



Anhang Abbildung 1: Screeplot zur Hauptkomponentenanalyse der vierten Teilstudie

Anhang Tabelle 3: Rotierte Komponentenmatrix der Hauptkomponentenanalyse nach der Varimax-Rotation zur Teilstudie 4. Die Rotation ist in 5 Iterationen konvergiert. * = Das Item wurde vor der Auswertung umcodiert.

Konstrukt	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
g14	0,853		
g15	0,844		
g31	0,832		
g19	0,832		
g20	0,830		
g23	0,820		
g18	0,806		
g17	0,805		
g29	0,805		
g32	0,801		
g21	0,792		
g30	0,792		
g16	0,790		
g22	0,767		
g28	0,629		
g25	0,547		
g26	0,507		
g24	0,375		
g9		0,715	
g11		0,674	
g12		0,655	
g8		0,620	
g13		0,607	
g10*		0,602	
g5		0,589	
g7*		0,556	
g27*		0,477	
g3			0,964
g1			0,655
g4		0,308	0,613
g6		0,388	0,612
g2			0,450