

Wissen von Lehramtsstudierenden für die Gestaltung
nachhaltiger Landnutzung –
Fokus: Biodiversität und Klimawandel

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

"Doctor rerum naturalium"

der Georg-August-Universität Göttingen

im Promotionsprogramm Grundprogramm Biologie
der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von

Lisa Richter-Beuschel

aus Annweiler am Trifels

Göttingen, 2020

Betreuungsausschuss:

Prof. Dr. Susanne Bögeholz	Didaktik der Biologie, Universität Göttingen
Prof. Dr. Tobias C. Stubbe	Schulpädagogik/Empirische Schulforschung, Universität Göttingen
Prof. Dr. Dieter Heineke	Dekanat der Fakultät für Biologie und Psychologie, Universität Göttingen

Mitglieder der Prüfungskommission:

Referentin:	Prof. Dr. Susanne Bögeholz	Didaktik der Biologie, Universität Göttingen
Korreferent:	Prof. Dr. Tobias C. Stubbe	Schulpädagogik/Empirische Schulforschung, Universität Göttingen
2. Korreferent:	Prof. Dr. Dieter Heineke	Dekanat der Fakultät für Biologie und Psychologie, Universität Göttingen

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Hermann Behling	Palynologie und Klimadynamik, Universität Göttingen
Prof. Dr. Heiko Faust	Humangeographie, Universität Göttingen
Prof. Dr. Sascha Schroeder	Pädagogische Psychologie, Universität Göttingen

Tag der mündlichen Prüfung: 14.07.2020

Zusammenfassung

Im Zuge Nachhaltiger Entwicklung spielt Bildung eine zentrale Rolle. Um eine verstärkte Einbindung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) in die schulische Bildung zu fördern, ist es zielführend in der Lehrkräfteausbildung anzusetzen. Für eine Umstrukturierung von Bildungsprozessen und -einrichtungen im Sinne des Leitbildes der Nachhaltigen Entwicklung sind Kenntnisse und Kompetenzen von Lehrkräften von entscheidender Bedeutung. Für das Unterrichten von Themen Nachhaltiger Entwicklung ist disziplinäres und interdisziplinäres Wissen essenziell. Die Erfassung von Lernausgangslagen angehender Lehrkräfte ist für die Optimierung von BNE in Bildungsprozessen bedeutend. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein reliables und valides Messinstrument zur Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen angehender Lehrkräfte für die Gestaltung nachhaltiger Landnutzung anhand der Themen Biodiversität und Klimawandel zu entwickeln.

Anhand der exemplarischen Kontexte *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* wurden Szenarien als Grundlage für die Bearbeitung von disziplinär angelegten Multiple-Choice Aufgaben entwickelt, um situationales und konzeptuelles Wissen zu nachhaltigkeitsrelevanten Disziplinen zu erfassen. Für die Aufgabenentwicklung zum prozeduralen Wissen wurde eine mehrstufige Expertenbefragung (Delphi-Studie) durchgeführt. Dabei konnte ein Maßstab generiert werden, auf dessen Basis das prozedurale Wissen von Lehramtsstudierenden beurteilt werden konnte (N = 314). Das Verfahren zur Aufgabenentwicklung zum prozeduralen Wissen zeigt Möglichkeiten auf, wie Lösungsstrategien für interdisziplinär zu bearbeitende Fragestellungen Nachhaltiger Entwicklung gemessen werden können – auch wenn die Wissenschaft keine eindeutigen Lösungen bereitstellt.

Mittels Item Response Theorie wurde geprüft, inwiefern sich die theoretisch zugrunde gelegten Typen von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen empirisch stützen lassen. Situational/konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen erwiesen sich bei den Modellierungen als zwei voneinander unabhängige Dimensionen. Beide Dimensionen wurden zudem über Validierungsuntersuchungen abgesichert. Weiterhin konnten erste Erkenntnisse über disziplinäres Wissen verschiedener Disziplinen und interdisziplinäres Wissen von Lehramtsstudierenden gewonnen werden. Durch die differenzierte Erfassung von Wissenstypen beziehungsweise Dimensionen und die Berücksichtigung unterschiedlicher disziplinärer Foki (ökologisch, sozio-ökonomisch, institutionell) und interdisziplinärer Handlungsfelder (nachhaltige Landnutzung, Ökosystemdienstleistungen, Biodiversitäts-/Klimaschutz) adressiert das entwickelte Instrument wichtige Voraussetzungen angehender Lehrkräfte für das Unterrichten gemäß den Education for Sustainable Development Goals.

Abstract

For sustainable development education plays a crucial role. To promote deeper integration of education for sustainable development (ESD) in school education, teacher training is of central relevance. For restructuring educational processes and educational institutions towards sustainable development (SD), teachers' knowledge and competencies are crucial. Disciplinary and interdisciplinary knowledge is essential for teaching sustainable development issues. The assessment of student teachers' knowledge is important for the optimization of ESD in educational processes. Therefore, the aim of the present work is to develop a reliable and valid measurement instrument for assessing situational, conceptual, and procedural knowledge of student teachers, focusing on the constitution of sustainable land use on the topics of biodiversity and climate change.

Using the exemplary contexts of *insects and pollination* and *peatland use*, scenarios were developed as base for processing the disciplinary multiple-choice tasks in order to assess situational and conceptual knowledge in sustainability-relevant disciplines. A multi-level expert survey was conducted for the development of items, concerning procedural knowledge. Thus, a benchmark for the evaluation of student teachers' procedural knowledge could be generated (N = 314). The procedure of item development for procedural knowledge shows possibilities of how the effectiveness of solution strategies for sustainable development issues can be assessed – even if science does not provide clear solutions.

Using item response theory, it was determined to what extent the theoretically based types of situational, conceptual, and procedural knowledge can be empirically supported. Situational/conceptual knowledge and procedural knowledge turned out to represent two independent dimensions in the modeling. Both dimensions were also verified by validation studies. Furthermore, first insights into disciplinary knowledge in different disciplines and interdisciplinary knowledge of student teachers were received. By regarding the differentiated assessment of types of knowledge or dimensions, the different disciplinary foci (ecological, socio-economic, institutional) as well as the interdisciplinary fields of action (sustainable land use, ecosystem services, biodiversity/climate protection), the developed instrument addresses important prerequisites of student teachers for teaching according to the objectives of education for Sustainable Development Goals (SDGs).

Auflistung der in der Dissertation zusammengefassten Veröffentlichungen

Die Beiträge sind in dieser Arbeit mit vereinheitlichter Formatierung sowie fortlaufender Kapitelnummerierung in den Kapiteln 2 bis 5 wiedergegeben.

Kapitel 2

Richter-Beuschel, L., Derksen, C. & Bögeholz, S. (2018). Konzeptuelles Wissen angehender Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Tagungsbandbeitrag. In: Korn, H., Dünnfelder, H. & Schliep, R. (Hrsg.). *Treffpunkt Biologische Vielfalt XVI. Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*. BfN-Skripten 487. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN), S.88-95.

Kapitel 3

Richter-Beuschel, L., Grass, I. & Bögeholz, S. (2018). How to Measure Procedural Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges. *Education Sciences* 8 (4), 190. doi: 10.3390/educsci8040190

Kapitel 4

Richter-Beuschel, L. & Bögeholz, S. (2020). Student Teachers' Knowledge to Enable Problem-Solving for Sustainable Development. *Sustainability* 12 (1), 79. doi: 10.3390/su12010079

Kapitel 5

Richter-Beuschel, L. & Bögeholz, S. (2020). Knowledge of Student Teachers on Sustainable Land Use Issues – Knowledge Types Relevant for Teacher Education. *Sustainability* 12 (20), 8332. doi: 10.3390/su12208332

Inhalt

Zusammenfassung	III
Abstract	IV
Auflistung der in der Dissertation zusammengefassten Veröffentlichungen	V
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
1.1. Biodiversität und Klimawandel als Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung	1
1.2. Bildung für Nachhaltige Entwicklung	5
1.3. Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der Lehrerbildung	7
1.3.1. Wissen und Bildung für Nachhaltige Entwicklung	9
1.3.2. Lernziele und curriculare Anknüpfungspunkte zu den Herausforderungen Biodiversitätsverlust und Klimawandel	11
1.3.3. Wissen (angehender) Lehrkräfte zu Biodiversität und Klimawandel	13
1.4. Zielsetzung der Dissertation	15
1.5. Entwicklung eines Messinstrumentes zur Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen	16
1.5.1. Auswahl von Kontexten	17
1.5.2. Entwicklung von Aufgaben zum situationalen, konzeptuellen und prozeduralen Wissen	20
2. Konzeptuelles Wissen angehender Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung	24
2.1. Einleitung	24
2.2. Biodiversität in der Lehrerbildung	25
2.3. Bienensterben als fachdidaktisch aufbereiteter Bildungskontext für eine Messinstrumententwicklung	25
2.4. Stichprobe der Studie Lauten Denkens	27
2.5. Aufgabenmaterial beim Lauten Denken sowie Studiendurchführung und -auswertung ..	28
2.6. Erste Ergebnisse zur Eignung der Aufgaben	29
2.7. Vorläufige Ergebnisse zum konzeptuellen Wissen	30
2.8. Diskussion und Ausblick	30
2.9. Quellenverzeichnis	32
3. How to Measure Procedural Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges.....	35
3.1. Introduction	36
3.1.1. Teacher Education and Knowledge relevant for ESD	36
3.1.2. SD Challenges Biodiversity Loss and Climate Change and the Corresponding Fields of Action	39

3.2. Methods	40
3.2.1. Sample Composition	42
3.2.2. Delphi Survey First Round.....	43
3.2.3. Think-aloud Study with Student Teachers	44
3.2.4. Delphi Survey Second Round	45
3.3. Results	46
3.4. Discussion	51
3.5. Appendix	55
3.5.1. Appendix A	55
3.5.2. Appendix B	57
3.5.3. Appendix C	58
3.6. References	58
4. Student Teachers’ Knowledge to Enable Problem-Solving for Sustainable Development.....	65
4.1. Introduction	65
4.1.1. Student Teachers’ Knowledge of SD-Related Topics	67
4.1.2. Approach for Measuring Procedural Knowledge	68
4.2. Materials and Methods	69
4.2.1. Measurement Instrument and Data Collection.....	69
4.2.2. Validation Tools.....	70
4.2.3. Sample Composition	71
4.2.4. Statistical Analyses	72
4.3. Results	73
4.3.1. Comparison of the Effectiveness Estimations of Student Teachers and Experts....	73
4.3.2. Comparing the Procedural Knowledge of Bachelor and Master Students.....	75
4.3.3. Comparing the Procedural Knowledge of Biology, Geography, and Politics Students	78
4.3.4. Indications for Validity of Measure	79
4.4. Discussion	82
4.4.1. Student Teachers’ Procedural Knowledge	83
4.4.2. Validity of the Measure.....	85
4.4.3. Limitations of the Study.....	86
4.5. Conclusion and Future Work	87
4.6. Appendix A	89
4.7. References	89
5. Knowledge of Student Teachers on Sustainable Land Use Issues – Knowledge Types Relevant for Teacher Education	98
5.1. Introduction	98

5.2. Method	102
5.2.1. Questionnaire Design	102
5.2.2. Validation Instruments	103
5.2.3. Data Collection and Sample Description	104
5.2.4. Data Analysis	105
5.3. Results	107
5.3.1. Dimensionality of Sustainable Development-Relevant Content Knowledge and Quality of the Instrument.....	107
5.3.2. Validation.....	110
5.4. Discussion	113
5.4.1. Arguments for a Two-Dimensional Structure of Sustainable Development-Related Knowledge.....	113
5.4.2. Arguments for the Suitability of the Measurement Instrument	114
5.4.3. Arguments for Validity	115
5.5. Conclusions	119
5.6. References	121
6. Synthese.....	129
6.1. Messinstrumententwicklung.....	129
6.1.1. Entwicklung der Testaufgaben.....	129
6.1.2. Dimensionalität von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen ...	131
6.2. Stärken und Schwächen	132
6.2.1. Inhaltsvalidität.....	132
6.2.2. Messung von situationalem und konzeptuellem Wissen	133
6.2.3. Messung von prozeduralem Wissen.....	134
6.2.4. Stichprobenumfang und Items	134
6.2.5. Inhaltliche Breite der Messung von nachhaltigkeitsrelevantem Wissen.....	135
6.2.6. Konstruktvalidierung von situational/konzeptuellem Wissen und prozeduralem Wissen	136
6.3. Wissen angehender Lehrkräfte für die Gestaltung nachhaltiger Landnutzung	136
6.3.1. Prozedurales Wissen – Auswertung und Ergebnisse	137
6.3.2. Gruppen von Lehramtsstudierenden und Unterschiede in den Dimensionen situational/konzeptuelles und prozedurales Wissen	138
7. Überlegungen zu Folgeforschung	141
8. Fazit	143
Literatur Einleitung und Synthese	146

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Schritte der Messinstrumententwicklung für situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen zu den Themenbereichen Biodiversität und Klimawandel.....	22
Abb. 2.1	Rekonstruktion der Umweltproblemsituation Bienensterben	26
Fig. 3.1	Procedure for developing a measure for procedural knowledge exemplified for solution strategies regarding Sustainable Development (SD) challenges	41
Fig. 3.2	Assessment of procedural knowledge.....	42
Fig. 3.3	Examples of graphically processed results of quantitative data (percentage distribution and median) of two items of the insects and pollination context of the first Delphi round.....	44
Fig. 3.4	Means of solution strategies regarding the insect and pollination context.....	50
Fig. 3.5	Means of solution strategies regarding the peatland use context.....	50
Fig. 4.1	Defining student teachers' procedural knowledge by applying an expert benchmark.....	72
Fig. 4.2	Deviations between expert benchmark and means of student teachers' estimates for the insects and pollination context (IP) and peatland use context (PU) separated by bachelor and master students.....	76
Fig. 4.3	Procedural knowledge indicated by absolute deviation comparing bachelor and master students and experts.....	77
Fig. 4.4	Deviations between expert benchmark and means of student teachers' estimates for the insects and pollination context (IP) and peatland use context (PU) separated by subjects.....	78
Fig. 4.5	Procedural knowledge indicated by absolute deviations between (a) biology students (n = 154), (b) geography students (n = 80), (c) politics students (n = 24) and experts (n = 20).....	79
Fig. 4.6	Relations between subjective measures and objectified students procedural knowledge with related constructs.....	86
Fig. 5.1	Exemplary items for assessing situational, conceptual, and procedural knowledge.....	103
Fig. 5.2	Items for assessing responsibility toward biodiversity.....	104
Fig. 5.3	Wright Maps of Situational/Conceptual Knowledge and Procedural Knowledge.....	109
Fig. 5.4	Person abilities in Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK) from bachelor and master level students.....	110
Fig. 5.5	Person abilities in Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK) from student teachers of high school and other school forms...	111

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Übersicht über Erhebungen und Zuordnung der Publikationen.....	23
Tab. 2.1a	Testpersonen mit Fach Politik-Wirtschaft.....	27
Tab. 2.1b	Testpersonen mit Fach Biologie.....	27
Tab. 2.2	Kategorien zur Prüfung der Attraktoren und Distraktoren der entwickelten MC-Aufgaben.....	28
Tab. 2.3	Weiterentwicklung von MC-Aufgabe zum konzeptuellen Wissen „Was wird unter dem Begriff der Biodiversität zusammengefasst?“	29
Tab. 2.4	Prozentualer Anteil korrekt gelöster Aufgaben zum konzeptuellen Wissen...	30
Tab. 3.1	Sample composition of the Delphi survey.....	43
Tab. 3.2	Weighted effectiveness estimations of solution strategies regarding the insects and pollination context.....	47
Tab. 3.3	Weighted effectiveness estimations of solution strategies regarding peatland use context.....	48
Tab. 3.4	Differences in the effectivity estimations of solution strategies for insects and pollination and peatland use contexts using repeated measures (rm) ANOVA.....	49
Tab. 3.5	Reliability of the scales with unweighted effectivity estimations of solution strategies.....	51
Tab. A3.1	Bonferroni-adjusted post hoc analysis.....	58
Tab. 4.1	Effectiveness estimations of solution strategies regarding insects and pollination and peatland use context, for student teachers and the expert benchmark.....	74
Tab. 4.2	Differences between fields of action in the effectiveness estimations of solution strategies for insects and pollination and peatland use context using rmANOVA.....	74
Tab. 4.3	Reliabilities (Cronbach’s α) of effectiveness estimations in scales of fields of action, comprising contexts of insects and pollination and peatland use, for student teachers and experts.....	75
Tab. 4.4	Mixed ANOVA of procedural knowledge with field of action (<i>sustainable land use, ecosystem services, protection</i>) as within-factor and study program (bachelor/master) as between-factor.....	77
Tab. 4.5	Student teachers’ reliabilities (Cronbach’s α) of effectiveness estimations in scales of fields of action separated by study program.....	77
Tab. 4.6	Student teachers’ reliabilities (Cronbach’s α) of effectiveness estimations in scales of fields of action separated by subject.....	79
Tab. 4.7	Formal education where participants dealt with ESD, separated by study program and subject (percentage values).....	80
Tab. 4.8	Self-assessed knowledge in 13 different topics for all subjects and separated by subject.....	80

Tab. 4.9	Correlations between effectiveness estimations/procedural knowledge and attitudes toward sustainable development (ASD) and responsibilities.....	81
Tab. 4.10	Interests in biodiversity issues (means (M) and standard deviations (SD) for subscales and contexts, n = 88).....	82
Tab. 4.11	Correlation between subscales of interests in biodiversity issues and fields of action of students' effectiveness estimation separated by contexts.....	82
Tab. A4.1	Bonferroni-adjusted post hoc analyses of student teachers' effectiveness estimations.....	89
Tab. 5.1	Comparison of fit statistics between One-, Two- and Three-Dimensional (1D, 2D, 3D) modelling of knowledge types with Item Response Theory (IRT).....	107
Tab. 5.2	EAP/PV and WLE person separation reliabilities for each knowledge dimension of Two- and Three-Dimensional (2D, 3D) modelling.....	107
Tab. 5.3	Latent correlations between the situational, conceptual, and procedural knowledge of Three-Dimensional (3D) modelling.....	107
Tab. 5.4	Test characteristics for the dimensions of Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK).....	108
Tab. 5.5	Test characteristics for the validation instruments of one-dimensional rating scale models.....	112
Tab. 5.6	Latent correlations of two Five-Dimensional modellings of a) Situational/Conceptual Knowledge with the validation instruments of self-efficacy beliefs of education for sustainable development teaching, responsibility toward climate change and biodiversity, attitudes toward sustainable development, and self-assessed knowledge of SD-relevant issues, and of b) Procedural Knowledge with the beforehand mentioned validation instruments, respectively.....	112

Abkürzungsverzeichnis

BNE	Bildung für Nachhaltige Entwicklung
CBD	Convention on Biological Diversity
CK	Content Knowledge
DUK	Deutsche UNESCO-Kommission
ESD	Education for Sustainable Development
IRT	Item Response Theorie
IP	Insects and Pollination Context
KMK	Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
NAP	Nationaler Aktionsplan
NE	Nachhaltige Entwicklung
PCK	Pedagogical Content Knowledge
PK	Pedagogical Knowledge
PU	Peatland Use Context
SD	Sustainable Development
SDGs	Sustainable Development Goals
UN	United Nations
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WAP	Weltaktionsprogramm

1. Einleitung

Menschliches Verhalten gilt als eine Hauptursache für die meisten derzeitigen Umweltveränderungen (Lewis & Maslin, 2015). Früher waren die Einflüsse des Menschen häufig regional begrenzt (Töpfer, 2013). Durch Beeinflussung der globalen Stoffkreisläufe finden sich heute Auswirkungen menschlichen Handelns überall auf der Erde (Töpfer, 2013). Es ist davon auszugehen, dass sich die Spuren der anthropogenen Einflüsse in der geologischen Stratigraphie für Millionen von Jahren widerspiegeln werden (Lewis & Maslin, 2015). Deshalb haben Crutzen und Stoermer (2000) vorgeschlagen, dass das geologische Zeitalter des Holozäns mit Beginn der industriellen Revolution endet. Das Zeitalter ab dem Ende des 18. Jahrhunderts bezeichnen sie als Anthropozän (Crutzen & Stoermer, 2000). Lewis & Maslin (2015) hingegen empfehlen, dass ein Marker, der global in stratigraphischem Material wie Gestein, Sediment oder Gletschereis nachweisbar ist und Änderungen am Erdsystem anzeigt, für die Festlegung des Beginns des Anthropozäns genutzt werden sollte. Derartige Marker deuten nach aktuellem Kenntnisstand auf einen Beginn des Anthropozäns im Jahr 1610 oder 1964 hin (Lewis & Maslin, 2015). Ganz gleich auf welche Zeit der Beginn des Anthropozäns festgesetzt wird, feststeht, dass der Mensch die Umwelt durch sein Verhalten und Handeln stark beeinflusst. Biodiversitätsverlust und Klimawandel sind zwei zentrale anthropogen verursachte Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, die sich auf zahlreiche Lebensbereiche auswirken.

1.1. Biodiversität und Klimawandel als Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung

Im Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD, 1992) ist Biodiversität definiert als „die Vielfalt von lebenden Organismen jeder Herkunft, u.a. aus terrestrischen, marinen und anderen aquatischen Ökosystemen sowie aus den ökologischen Komplexen, deren Bestandteil sie sind; dies umfasst die Vielfalt innerhalb von Arten, zwischen Arten und von Ökosystemen“ (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010). Die biologische Vielfalt beeinflusst Ökosystemprozesse und bildet damit auch die Grundlage für Ökosystemdienstleistungen (Díaz et al., 2006; Job et al., 2016). Als Ökosystemdienstleistungen werden Vorteile, die natürliche Systeme für die Menschheit bieten können, bezeichnet (EASAC, 2015). Unterschieden werden dabei Versorgungsleistungen (z.B. Nahrung, Wasser, Holz), Regulierungsleistungen (z.B. Klimaregulierung, Wasserreinigung) und kulturelle Leistungen (z.B. Ästhetik, Bildung, Erholung) (TEEB DE, 2015). Da Ökosystemdienstleistungen Grundlagen für Sicherheit, materielle Grundversorgung, Gesundheit, soziale Beziehungen und Entscheidungs- und Handlungsfreiheit bilden (TEEB DE, 2015), beeinflusst die Biodiversität maßgeblich das menschliche Wohlergehen (Díaz et al., 2006).

Seit den 1950er Jahren hat der Mensch stark in Ökosysteme eingegriffen, vor allem um den steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln, Wasser, Holz und Treibstoff zu decken (Hassan et al., 2005). Dadurch kam es weltweit zu einem bedeutenden und weitgehend irreversiblen Verlust der Vielfalt des Lebens (Hassan et al., 2005). Der Biodiversitätsverlust verläuft mit 100 bis 1000-fach höherer Geschwindigkeit als ein Aussterben, welches ohne anthropogene Einflüsse auftreten würde (TEEB DE, 2015). Verluste werden dabei auf allen Ebenen der Biodiversität verzeichnet (FAO, 2019). Laut IUCN sind heute weltweit ca. 31.000 Arten vom Aussterben bedroht (IUCN, 2020). Von der Gesamtzahl der untersuchten Arten betrifft dies 17,4 % der Wirbeltiere, 22,8 % der Wirbellosen (darunter 18,6 % der Insekten) und 40,7 % der Pflanzen (IUCN, 2020).

Landnutzungsänderungen bilden global die Hauptursache für den Biodiversitätsverlust (Chapin III et al., 2000; IPBES, 2018). Ein Grund dafür sind Subventionen, die zu einer Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft geführt haben (IPBES, 2018). In Ländern des globalen Südens führt illegale Abholzung häufig zur Umwandlung von Wald in Ackerland (FAO, 2019). Auch der Klimawandel gilt als eine der Hauptbelastungen, die zum Verlust der biologischen Vielfalt beitragen (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010; FAO, 2019; Chapin III et al., 2000). Weitere Ursachen des Biodiversitätsverlusts sind Umweltbelastungen (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010) und invasive gebietsfremde Arten (Chapin III et al., 2000). Intensive Bewirtschaftungspraktiken im Pflanzenbau, bei der Fleischerzeugung und der Gewinnung von Holzbrennstoffen beeinträchtigen essentielle Ökosystemdienstleistungen wie die Bereitstellung von Lebensräumen, die Bestäubung, die Regulierung der Wasserqualität und Bildung und Schutz von Böden (IPBES, 2018). Auch führt die steigende Nachfrage in West- und Mitteleuropa nach beispielsweise Lebensmitteln, Holzprodukten und Biokraftstoffen zu einer Beeinträchtigung der Ökosysteme in anderen Regionen der Erde (IPBES, 2018). Besonders auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist ein Rückgang der Biodiversität zu beobachten (FAO, 2019). Obwohl mehr als 6.000 Pflanzen für die Nahrungsmittelproduktion gezüchtet wurden, tragen heute global weniger als 200 Pflanzen einen wesentlichen Anteil zur Ernährung der Bevölkerung bei (FAO, 2019). Im Jahr 2014 machten allein neun Kulturpflanzen (Mais, Reis, Weizen, Kartoffeln, Sojabohnen, Ölpalmen, Zuckerrüben, Zuckerrohr und Maniok) 66 % der gesamten Pflanzenproduktion aus (FAO, 2019).

Die CBD als zentrales Instrument zum Schutz der Biodiversität auf internationaler Ebene wurde auf dem UN-Gipfel 1992 in Rio de Janeiro vorgestellt und bislang von 196 Staaten und der EU ratifiziert (CBD, 1992). Beim Weltgipfel in Johannesburg 2002 wurde das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2010 die anhaltende Verlustrate an biologischer Vielfalt auf globaler,

regionaler und nationaler Ebene als Beitrag zur Armutsbekämpfung zu reduzieren (UN, 2002). Dieses Ziel wurde nicht erreicht (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010; Walpole et al., 2009). Im Jahr 2010 wurden daher die Aichi-Ziele formuliert, die zum Schutz der Biodiversität bis 2020 beitragen sollen (CBD, 2010). In den Sustainable Development Goals (SDGs) wird Biodiversität insbesondere in den Zielen 14 „Life Below Water“ und 15 „Life on Land“ thematisiert (UN, 2015a). Ebenso besteht eine Verknüpfung zu Ziel 2 „Zero Hunger“, in dem nachhaltige Nahrungsproduktion und die Aufrechterhaltung genetischer Diversität gefordert werden (FAO, 2019). Zwar nehmen Bemühungen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt zu, jedoch sind Umfang und Schutz häufig noch unzureichend (FAO, 2019). Die teilweise irreversiblen Veränderungen von Ökosystemen und der Verlust der Artenvielfalt gefährden die Lebensgrundlagen und Handlungsoptionen heutiger und zukünftiger Generationen (IPBES, 2018).

Eine nicht-nachhaltige Landnutzung wirkt sich nicht nur negativ auf die Biodiversität aus, (IPBES, 2018), sondern trägt häufig auch zum Klimawandel bei. Seit Beginn der industriellen Revolution am Ende des 18. Jahrhunderts wurden steigende Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) in der Atmosphäre dokumentiert (IPCC, 2014). Die Konzentrationen dieser Treibhausgase in der Atmosphäre sind so hoch wie seit 800.000 Jahren nicht (IPCC, 2014). Die globale Durchschnittstemperatur liegt bereits um etwa 1 °C höher als im Vergleichszeitraum von 1850 bis 1900 (IPCC, 2018). Die stark forcierte Emission von Treibhausgasen durch den Menschen gilt als Hauptursache für die globale Erwärmung (IPCC, 2014). Den größten Anteil haben dabei Emissionen industriellen Ursprungs sowie aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (IPCC, 2014). Auch Landnutzungsänderungen und Bewirtschaftungspraktiken können zur Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre beitragen (Smith & Conen, 2004). So forcieren beispielsweise der Reisanbau und die Verwendung synthetischer Stickstoffdünger die CH₄- beziehungsweise N₂O-Freisetzung (Smith & Conen, 2004).

Auswirkungen auf Mensch und Natur sind bereits zu verzeichnen: Viele terrestrische und marine Ökosysteme haben sich durch die globale Erwärmung verändert (IPCC, 2018). Weltweit kann ein Abschmelzen der Gletscher und Eisschilde beobachtet werden (IPCC, 2014). So ist beispielsweise die Sommerausdehnung des arktischen Meereises seit 1970 um die Hälfte zurückgegangen (WBGU, 2009). Der mittlere globale Meeresspiegel ist von 1901 bis 2010 um 19 cm angestiegen (IPCC, 2014). Zudem führt der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zu einer Versauerung der Ozeane und damit zur Gefährdung mariner Ökosysteme (z.B. Korallenriffe) (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Es ist weiterhin davon auszugehen, dass

Extremwetterereignisse, wie Hitzewellen oder Starkregen, in einigen Regionen an Häufigkeit und Intensität zunehmen (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Niederschläge in trockenen Regionen der Subtropen und mittleren Breiten, insbesondere im Mittelmeerraum, werden wahrscheinlich abnehmen (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Etwa 80 % der Weltbevölkerung leiden bereits unter einer ernsthaften Bedrohung der Wasserversorgung, sodass der Klimawandel zu verstärkten Engpässen führen wird (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Ebenfalls werden durch den Temperaturanstieg sowie Veränderungen der Niederschläge Rückgänge in den Ernteerträgen von Weizen, Mais, Reis und Sojabohnen erwartet, wodurch die Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung gefährdet ist (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Am stärksten betroffen von den Folgen des Klimawandels sind die ärmsten und vulnerabelsten Bevölkerungsgruppen (IPCC, 2014). Der Klimawandel könnte 3 bis 16 Millionen Menschen in extreme Armut zwingen, insbesondere durch Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die Lebensmittelpreise (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Durch Verstärkung von Armut und wirtschaftlichen Einbußen wird das Risiko gewaltsamer Auseinandersetzungen zunehmen (IPCC, 2014).

Im Rahmen des UN-Gipfels in Rio de Janeiro 1992 wurde ebenfalls die Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) mit dem Ziel der Verlangsamung der globalen Erwärmung und der Mitigation der Folgen ins Leben gerufen (UN, 1992). Bislang haben 195 Staaten die UNFCCC ratifiziert. Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels und seiner Auswirkungen werden zudem in den SDGs in Ziel 13 „Climate Action“ angeführt (UN, 2015a). Ein rechtsverbindliches Klimaschutzabkommen wurde auf der UN-Klimakonferenz (COP 21) 2015 in Paris verabschiedet (UN, 2015b). Das Pariser Abkommen hat als langfristiges Ziel die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen; angestrebt wird eine Beschränkung der Erhöhung um 1,5 °C (UN, 2015b). Eine Erwärmung um 1,5 °C birgt deutlich geringere Risiken als eine Erwärmung um 2 °C (z.B. geringerer Anstieg des Meeresspiegels, geringeres Risiko für Dürren) (IPCC, 2018).

Hält die derzeitige Temperaturzunahme an, wird eine Erwärmung um 1,5 °C zwischen 2030 und 2052 erreicht (IPCC, 2018). Um die Erwärmung im 21. Jahrhundert auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen die anthropogenen CO₂ Emissionen im Jahr 2030 45 % geringer als 2010 sein, und im Jahr 2050 eine Bilanz von null aufweisen (IPCC, 2018). Das bedeutet, dass im Jahr 2050 für alle entstehenden Treibhausgas-Emissionen ausgleichende Maßnahmen für eine Reduktion von Treibhausgasen in der Atmosphäre in gleicher Höhe erfolgen müssen (Allen et al., 2018). Dies wird als Carbon dioxide removal (CDR) oder negative Emission bezeichnet, und kann beispielsweise durch Aufforstung (Allen et al., 2018) oder Moorrenaturierung (TEEB DE,

2015) erfolgen. Um die Erwärmung im 21. Jahrhundert auf 2 °C zu begrenzen, müssen die Emissionen von Treibhausgasen 2030 25 % geringer als 2010 sein und im Jahr 2070 eine Bilanz von null aufweisen (IPCC, 2018). Bleibt eine Eindämmung des Klimawandels durch eine Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen aus, muss von einem schwerwiegenden Artensterben und globaler Ernährungsunsicherheit ausgegangen werden. Soziale und ökonomische Systeme werden voraussichtlich nicht mehr in der Lage sein, sich anzupassen (IPCC, 2014).

Klimawandel und Biodiversitätsverlust sind zwei der zentralen Aspekte, die die Gesellschaft vor Herausforderungen in ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Hinsicht stellen. Nicht nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster in Industrieländern und zunehmend auch in Entwicklungsländern gefährden das Leben auf der Erde und erfordern einen gesellschaftlichen Wandel (UN, 2013). Die Armut stellt eine weitere Herausforderung dar: obwohl die Zahl der unter extremer Armut lebender Menschen zwischen 1990 und 2015 halbiert wurde, leben weltweit noch immer 600 Millionen Menschen von weniger als 1,90 US-Dollar pro Tag (UNDP, 2019). Vielen fehlt es an Nahrung, sauberem Trinkwasser und sanitären Einrichtungen (UNDP, 2019). Zudem haben die Einkommensdisparitäten innerhalb und zwischen Ländern zugenommen (UN, 2013). Im Jahr 2050 werden auf der Erde voraussichtlich mehr als neun Milliarden Menschen leben (Bunderegierung, 2016). Das Ziel einer Nachhaltigen Entwicklung ist es, für Menschen in allen Regionen der Erde sowie für zukünftig lebende Generationen lebenswerte Bedingungen auf der Erde zu erhalten (Bundesregierung, 2016). Mit dem Bericht der Brundtland-Kommission von 1987 wurde eine Nachhaltige Entwicklung als Leitbild politisch verankert (World Commission on Environment and Development, WCED, 1987). Angestrebt wird eine gesellschaftliche Entwicklung, die ökologisch verträglich, sozial ausgewogen und wirtschaftlich leistungsfähig ist (Bundesregierung, 2016). Weiterhin müssen ständige Weiterbildung, Wissensaustausch und partizipative Entscheidungsfindung den gesellschaftlichen Wandel hin zu einer nachhaltigen Zukunft kennzeichnen (IPBES, 2018).

1.2. Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Im Zuge einer nachhaltigen Entwicklung spielt Bildung eine zentrale Rolle. „Sie ermöglicht ein fundiertes Verständnis der Herausforderungen und eine kritische Diskussion über mögliche Lösungswege. Bildung befähigt zur Gestaltung von politischen, wirtschaftlichen und zivilgesellschaftlichen Veränderungen“ (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017, S. 7). Die Bedeutung von Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung (BNE) zeigt sich auch darin, dass sie in globalen Rahmenprogrammen und Konventionen berücksichtigt wird, unter anderem in Artikel 6 der Klimarahmenkonvention (UN, 1992), in Artikel 36 der Agenda 21 (BMU, 1992) sowie in Artikel 13 der Biodiversitätskonvention (CBD, 1992). Durch eine

angepasste Bildung müssen Wissen, Fähigkeiten, Werte und Einstellungen vermittelt werden, die es den Lernenden ermöglichen zu nachhaltiger Entwicklung beizutragen (Leicht et al., 2018a). Für BNE ist es erforderlich, dass die jeweils für die spezifischen Gestaltungsaufgaben relevanten Disziplinen beitragen sowie inter- und transdisziplinäre Ansätze verfolgt werden (Leicht et al., 2018b).

Um in Deutschland BNE zu etablieren, gab und gibt es zahlreiche Bestrebungen. Dabei steht häufig die schulische Bildung im Zentrum. Bisherige Bildungsinitiativen, wie das BLK-Programm „21“ (1999–2004) und „Transfer-21“ (2004–2008), fokussierten auf eine stärkere Verankerung von BNE in der schulischen Regelpraxis (Programm Transfer-21). Die von 2005 bis 2014 stattfindende Weltdekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ hatte zum Ziel, das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung in allen Bildungsbereichen zu verankern (KMK, 2017). Das daran anknüpfende UNESCO-Weltaktionsprogramm „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (2015–2019) (WAP) strebte eine strukturelle Verankerung von BNE auf allen Ebenen und in allen Bildungsbereichen an (Leicht et al., 2018a). Das erste der beiden Ziele forderte eine „Neuorientierung von Bildung und Lernen, sodass jede[*]r die Möglichkeit hat, sich das Wissen, die Fähigkeiten, Werte und Einstellungen anzueignen, die erforderlich sind, um zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen“ (DUK 2014, S. 14). Weiterhin sollte die „Rolle von Bildung und Lernen in allen Projekten, Programmen und Aktivitäten, die sich für eine nachhaltige Entwicklung einsetzen“ (DUK 2014, S. 14) gestärkt werden. Somit sollte sowohl eine Integration der Nachhaltigen Entwicklung in die Bildung als auch eine Integration der Bildung in die Nachhaltige Entwicklung erfolgen (DUK, 2014).

Auch in den Sustainable Development Goals (SDGs), die Teil der 2015 verabschiedeten Agenda 2030 sind, findet das Thema Bildung in Ziel 4 – und BNE insbesondere im Unterziel 4.7 – Berücksichtigung (UN, 2015a). Jedoch „[...] lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht beobachten, dass die SDG[s] in einem nennenswerten Umfang zu eigenständigen neuen Pfaden durch die Bildungsprozesse, Curricula und Bildungspläne im deutschen Bildungsraum geführt haben“ (Müller-Christ et al., 2017, S.2). Dementsprechend ist BNE in der deutschen Schulbildung bislang nicht flächendeckend verbreitet (Singer-Brodowski et al., 2019).

Bildung ist jedoch nicht nur selbst ein Ziel; Bildung kann auch zur Erreichung aller weiteren SDGs maßgeblich beitragen (ICSU & ISSC, 2015; UN, 2017). Dies wird im Nachfolgeprogramm des WAP „ESD for 2030“ (2020-2030) verdeutlicht: mit Hilfe des Programms soll der Beitrag von BNE zur Erreichung der 17 SDGs gefördert werden (UNESCO, 2019a). Um die in SDGs und WAP formulierten Ziele zu erreichen, wurde in Deutschland ein Nationaler Aktionsplan (NAP) erarbeitet. In diesem finden sich „prioritäre Handlungsfelder, konkrete Ziele

sowie Empfehlungen für Maßnahmen“ (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017, S. 8), die langfristig zu einer strukturellen Verankerung von BNE im deutschen Bildungssystem führen sollen. Ein zentrales Handlungsfeld des Nationalen Aktionsplans stellt die Implementierung der BNE in der Aus-, Weiter- und Fortbildung von Lehrkräften dar (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017). Die Kompetenzentwicklung von Lehrenden und Multiplikator*innen ist auch im Nachfolgeprogramm des WAP „ESD for 2030“ ein prioritäres Handlungsfeld (UNESCO, 2019a, 2019b). Da Lehrkräfte als Change Agents fungieren können, ist deren Kompetenzentwicklung ausschlaggebend für eine erfolgreiche Implementierung von BNE (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017).

1.3. Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der Lehrerbildung

Für Veränderungen in der Unterrichtspraxis spielen Lehrkräfte eine Schlüsselrolle (Anderson & Helms, 2001). Allgemein sind für das Unterrichten spezielle Qualifikationen und Fachkenntnisse erforderlich (Liakopoulou, 2011). Für die Umstrukturierung von Bildungsprozessen und Bildungseinrichtungen in Richtung Nachhaltige Entwicklung sind daher die Kenntnisse und Kompetenzen der Lehrkräfte von entscheidender Bedeutung (UNESCO, 2017; Frisk & Larson, 2011).

Das Unterrichten nachhaltigkeitsrelevanter Themen ist eine große Herausforderung, da unter anderem kein Unterrichtsfach BNE existiert. In den Standards und inhaltlichen Anforderungen an die Lehrerbildung der Kultusministerkonferenz wird BNE als Studieninhalt bislang lediglich im Fach Geographie explizit genannt (KMK, 2017). Der *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* hingegen, der die Implementierung von BNE in Unterrichtsfächern unterstützen soll, gibt Hinweise zur Anschlussfähigkeit von BNE sowohl fachspezifisch für nahezu alle Schulfächer als auch fächerübergreifend und benennt Beispielthemen (Schreiber & Siege, 2016). Ebenso nennt der Orientierungsrahmen Anforderungen an die Lehrkräftebildung sowie Einsichten, Fähigkeiten und Bereitschaften, die Lehrkräfte in Hinblick auf BNE erwerben sollen (Overwien, 2016). Lehrkräfte sollen unter anderem das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung mit seinen Dimensionen kennen. Zudem sollen sie Wissen erwerben, um globale Prozesse zu verstehen, sowie Zielkonflikte analysieren und Konfliktlösungen erörtern können (Overwien, 2016). Besonders betont wird die Notwendigkeit des interdisziplinären Lernens in allen drei Phasen der Lehrkräftebildung (Overwien, 2016). Neben einer fachlichen Perspektive erfordern die Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung meist auch eine „mehrperspektivische Wahrnehmung und komplexes Handeln in einem fächerübergreifenden Sinne“ (Overwien, 2016, S.437). Somit ist die Fähigkeit zum Perspektivwechsel eine notwendige

Kompetenz im Bereich der BNE (Bögeholz et al., 2014, 2018; Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016; Overwien, 2016; Schreiber, 2016).

Die Mehrperspektivität wird auch im Memorandum des „Deutschsprachigen Netzwerk LeNa – LehrerInnenbildung für eine nachhaltige Entwicklung“ thematisiert: So sollen Lehrkräfte in die Lage versetzt werden „selbst eine integrative Betrachtung von Fragestellungen und Aufgaben einer nachhaltigen Entwicklung durch Berücksichtigung der sozialen, ökologischen, ökonomischen und kulturellen Dimension unter der Perspektive der Prinzipien und Werte einer nachhaltigen Entwicklung anstellen und dabei Generationengerechtigkeit ebenso wie globale Gerechtigkeit berücksichtigen zu können“ (LeNa, 2014, S.3). Im Memorandum wird formuliert, welche inhaltlichen und strukturellen Veränderungen in den drei Phasen der Lehrkräftebildung im Rahmen einer BNE notwendig sind (LeNa, 2014). So sollen Lehrkräfte unter anderem in die Lage versetzt werden, „sich explizit mit der Idee und Aufgabe einer nachhaltigen Entwicklung und der eigenen Rolle in diesem Prozess auseinandersetzen zu können“ sowie „eine transformative Pädagogik zu praktizieren, die Lernenden Partizipation, systemisches, kreatives und innovatives Denken auf der Grundlage von Wissen um Nachhaltigkeitsprobleme und Nachhaltigkeitsperspektiven eröffnet“ (LeNa 2014, S. 2f.).

Im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Qualitätsoffensive Lehrerbildung gibt es derzeit deutschlandweit Bestrebungen, BNE stärker in die Lehramtsausbildung zu integrieren – beispielsweise im Projekt PRONET (PROfessionalisierung durch VerNETzung) der Universität Kassel, das zur Förderung von BNE im Fach Politik und Wirtschaft einen außerschulischen Lernort einbindet (Kohlmann & Overwien, 2017). Im Rahmen des Göttinger Schlözer Programm Lehrerbildung wurde ein Zertifikatsstudiengang zum fächerübergreifenden Unterrichten entwickelt, bei dem BNE einen der vier wählbaren Schwerpunkte bildet (Eggert et al., 2018). Lehramtsstudierende aller Fächer können dieses Zertifikat ergänzend – bzw. seit kurzem auch integriert in das Wahl-Pflichtprogramm – erwerben. Ebenso haben Lehramtsstudierende an der Universität Koblenz-Landau die Möglichkeit, ein Zertifikat zu absolvieren, das sie befähigt, in ihrem späteren Berufsleben Nachhaltigkeitskonzepte zu implementieren (Universität Koblenz-Landau, o.J.). Auch außerhalb der Qualitätsoffensive Lehrerbildung wurden BNE-Programme entwickelt, so beispielsweise das Programm *el mundo* an der Universität München (Universität München, o.J.), Weiterbildungsmöglichkeiten für Seminarlehrkräfte und Hochschuldozierende in Bayern (Universität Eichstätt-Ingolstadt, o.J.), das BNE-Zertifikat der Universität Duisburg-Essen (Universität Duisburg-Essen, 2020) oder das Projekt Nachhaltigkeit lehren lernen von Universität und Hochschule in Heidelberg (Universität Heidelberg, 2019).

Eine systematische Verankerung des Konzeptes von BNE in der Lehramtsbildung fehlt jedoch bislang (KMK, 2017; Rieckmann & Holz, 2017). Studien zeigen, dass interdisziplinäre Ansätze, die die komplexen Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung aufgreifen, bislang kaum im Unterricht integriert sind und ein interdisziplinäres Unterrichten von BNE Lehrkräften Schwierigkeiten bereitet (z.B. Burmeister et al., 2013; Burmeister & Eilks, 2013; Gayford, 2000, 2002; Koch et al., 2013; Singer-Brodowski et al., 2019; Summers et al., 2000). Eine entsprechende Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften ist jedoch zentral für die Umsetzung von BNE und kann dazu beitragen, ein gesteigertes Verstehen der SDGs zu erreichen (Bourn et al., 2017).

1.3.1. Wissen und Bildung für Nachhaltige Entwicklung

In der Lehrerbildung ist professionelle Handlungskompetenz essenziell für ein erfolgreiches Unterrichten (Baumert & Kunter, 2006, 2011). Somit kann die professionelle Handlungskompetenz der Lehrkräfte die Wirksamkeit einer BNE maßgeblich beeinflussen (Reinke, 2017). Professionelle Handlungskompetenz umfasst neben motivationalen, volitionalen sowie sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten auch das Professionswissen (Weinert, 2001). Letzteres setzt sich zusammen aus Fachwissen (content knowledge), fachdidaktischem Wissen (pedagogical content knowledge) und pädagogischem Wissen (pedagogical knowledge) (vgl. Baumert & Kunter, 2006; Shulman, 1987). Basierend auf Shulman (1987) haben Baumert und Kunter (2006) ein Modell zur professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften entwickelt. Dieses wurde durch Hellberg-Rode, Schrüfer und Hemmer (Hellberg-Rode et al., 2014; Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016) für BNE adaptiert.

Kognitive Kompetenzen, mit denen Lehrkräfte hinsichtlich BNE ausgestattet sein sollten, konnten in einer Expertenstudie ermittelt werden (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016). So werden 38 % dieser Kompetenzen dem Fachwissen, 23 % dem fachdidaktischen Wissen und 10 % dem pädagogischen Wissen zugeschrieben (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016). Demnach spielt das Fachwissen im Rahmen einer BNE eine bedeutende Rolle. Insbesondere beim Fachwissen muss in Hinblick auf BNE berücksichtigt werden, dass es sich um ein Zusammenspiel verschiedener Fachdisziplinen handelt. So müssen beispielsweise für die Behandlung des Klimawandels natur- und gesellschaftswissenschaftliche Aspekte berücksichtigt werden (Reinke, 2017). Wissen über Nachhaltige Entwicklung, verschiedene SDGs und die damit verbundenen Themen und Herausforderungen, wurde auch als Lernziel für Lehrkräfte zur Förderung von BNE formuliert (UNESCO, 2017). Weiterhin hat beispielsweise eine Studie aus der Mathematik gezeigt, dass das Fachwissen von Lehrkräften als Prädiktor für den Lernerfolg von Schüler*innen fungiert (Hill et al., 2005). Um BNE – und insbesondere das Wissen von Lehrkräften – in der

Lehrkräftebildung und damit auch in der Schulbildung zu optimieren, ist es wichtig, die Lernausgangslagen angehender Lehrkräfte in Hinblick auf Wissen zu nachhaltigkeitsrelevanten Themen zu kennen.

In der Literatur gibt es eine Vielzahl an Wissensklassifikationen (z.B. Anderson et al., 2001), in denen häufig zwischen „know-what“ (deklaratives, konzeptuelles Wissen) und „know-how“ (prozedurales, strategisches Wissen) unterschieden wird (Alexander et al., 1991; de Jong & Ferguson-Hessler, 1996; Ryle, 1949). Der Fokus wird folgend auf das Wissenskonzept von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) gelegt. Dies ist darin begründet, dass sich das Wissensmodell explizit auf das Problemlösen und damit anwendbares Wissen (knowledge-in-use) bezieht (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Das Modell umfasst vier Typen von Wissen: situationales, konzeptuelles, prozedurales und strategisches Wissen (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Situationales Wissen umfasst das Wissen über domänenspezifische Situationen (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Konzeptuelles Wissen beinhaltet Wissen zu Konzepten, Fakten und Prinzipien innerhalb einer Domäne (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996) und ist notwendig für ein tiefgründiges inhaltliches Verständnis (Rittle-Johnson et al., 2001). Prozedurales Wissen umfasst Handlungen, die innerhalb einer Domäne auf bestimmte Probleme angewendet werden können (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Es umfasst außerdem „verbalisierbares Wissen über das Ausführen von Handlungsabläufen“ (Voss et al., 2015, S.193). Strategisches Wissen umfasst die Schritte von Handlungen, die für die Problemlösung notwendig sind und ist anwendbar auf eine Vielzahl von Problemen innerhalb einer Domäne (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Andere Autor*innen unterscheiden häufig nicht zwischen prozeduralem und strategischem Wissen. Meist ist die schrittweise Abfolge von Handlungen für das Problemlösen bereits im prozeduralen Wissen enthalten (Anderson et al., 2001; Baroody et al., 2007; Rittle-Johnson et al., 2001; Rittle-Johnson & Koedinger, 2005; Sáenz, 2009). Das Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) hat in bildungswissenschaftlichen Studien schon mehrfach Anwendung gefunden (z.B. Klein et al., 2017; Koch et al., 2013; Gräsel, 2000; Wagner et al., 2018). Mithilfe dieses Konzepts kann Wissen differenziert operationalisiert werden. Dies ist essenziell, da eine undifferenzierte Messung von Wissen zu einer Unterschätzung seiner Rolle führen kann (Frisk & Larson, 2011; Gräsel, 2000; Kaiser & Fuhrer, 2000).

Das Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) wurde bereits erfolgreich angewendet, um nachhaltigkeitsrelevantes Wissen zu messen. So wurde das Modell eingesetzt, um das Wissen indonesischer Studierender zu Ressourcennutzungsproblemen zu erfassen (N = 882) (Koch et al., 2013). Situationales und konzeptuelles Wissen wurden anhand von Multiple-Choice Aufgaben erfasst. Um die Aufgaben zum situationalen Wissen zu beantworten, mussten

Informationen aus einer Problembeschreibung extrahiert und ergänzt werden (Koch et al., 2013). Um die Aufgaben zum konzeptuellen Wissen zu beantworten, war das Einbringen von zusätzlichem Wissen notwendig (Koch et al., 2013). Prozedurales Wissen wird dort als die kognitive Fähigkeit beschrieben, potenzielle Lösungen von Umweltproblemen zu identifizieren und zu bewerten (Koch et al., 2013). Um das prozedurale Wissen von Studierenden zu evaluieren, haben Koch et al. (2013) eine Expertenstudie durchgeführt (N = 9), anhand derer ein Maßstab generiert wurde, mit dem Antworten der Studierenden verglichen werden konnten. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Studierenden große Defizite in der Lösung komplexer Umweltprobleme aufweisen (Koch et al., 2013).

Koch et al. (2013) haben gezeigt, wie Wissen zu typischen indonesischen Ressourcennutzungs-Dilemmata – wie Rattanextraktion aus dem Regenwald oder Dynamitfischen in Indonesien – gemessen werden kann. Für die europäische Lehramtsausbildung und die Lehrkräftebildung auf anderen Kontinenten, sind die Kontexte mit indonesischem Bezug nicht von vergleichbarer Relevanz. Ein Messinstrument zur Erfassung von nachhaltigkeitsrelevantem Wissen fehlt bislang. Genau hier setzt die vorliegende Arbeit an. In den SDGs wurden die Handlungsfelder für eine nachhaltige Entwicklung in 17 Zielen manifestiert. Diese Handlungsfelder sollten auch im Rahmen einer BNE prioritäre Beachtung finden (Rieckmann, 2018). Inhalt der Dissertation ist daher die Entwicklung und der Einsatz eines Messinstrumentes, das Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung, die von globaler Relevanz sind sowie in das Lehren und Lernen einbezogen werden sollten, fokussiert: Biodiversitätsverlust und Klimawandel (UN, 2017; UNESCO, 2017).

1.3.2. Lernziele und curriculare Anknüpfungspunkte zu den Herausforderungen Biodiversitätsverlust und Klimawandel

Die UNESCO hat 2017 den Leitfaden „Education for Sustainable Development Goals – Learning Objectives“ herausgegeben, der zeigt, wie BNE zur Erreichung der SDGs beitragen kann. Darin werden Lernziele festgelegt und Themenvorschläge unterbreitet (UNESCO, 2017). Demnach soll das Ziel einer BNE in Hinblick auf Biodiversität sein, dass Lernende die Gefahren, die es für Biodiversität gibt, verstehen (z.B. Habitatverlust, Abholzung, Fragmentierung, Übernutzung, invasive Spezies) und diese auf die lokale Biodiversität übertragen können (UNESCO, 2017). Lernende sollen außerdem in die Lage versetzt werden, Ökosystemdienstleistungen lokaler Ökosysteme zu klassifizieren und die Relevanz des Schutzes der Biodiversität zu begründen. Das schließt Ökosystemdienstleistungen und den intrinsischen Wert der Biodiversität ein (UNESCO, 2017). Dies geht einher mit Aichi Ziel 1, in dem gefordert wird, dass alle

Menschen für den Wert der Biodiversität durch die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen sensibilisiert werden sollen (CBD, 2010).

Laut den Education for Sustainable Development Goals sollen Lernende sowohl den Treibhauseffekt als natürliches Phänomen, verursacht durch die Treibhausgase in der Atmosphäre, als auch den Klimawandel als anthropogenes Phänomen verstehen (UNESCO, 2017). Zudem sollen Lernende wissen, welche menschlichen Aktivitäten auf globaler, nationaler, lokaler und individueller Ebene am stärksten zum Klimawandel beitragen (UNESCO, 2017). Auch die bedeutenden ökologischen, sozialen, kulturellen und ökonomischen Konsequenzen des Klimawandels sollen vermittelt werden (UNESCO, 2017). Lernende sollen in die Lage versetzt werden mit anderen zusammenzuarbeiten, um gemeinsam Strategien zum Umgang mit dem Klimawandel zu entwickeln (UNESCO, 2017). Sie sollen erkennen, dass der Schutz des globalen Klimas eine wichtige Aufgabe für jeden ist und dass wir unser Weltbild und unser tägliches Verhalten vor diesem Hintergrund völlig neu bewerten müssen (UNESCO, 2017).

Bagoly-Simó und Hemmer (2017) brachten Analysen Nationaler Bildungsstandards, Lehrpläne, Schulbücher und unterrichtspraktische Zeitschriften zusammen, um den Status der Implementierung von BNE in unterschiedlichen Unterrichtsfächern an deutschen Sekundarschulen zu erfassen. Die breiteste und tiefste Implementierung von BNE wurde im Fach Geographie, gefolgt von Politik/Sozialkunde/Wirtschaft und Biologie beobachtet (Bagoly Simó & Hemmer, 2017). Um zu Biodiversität und Klimawandel unterrichten zu können, müssen insbesondere Lehrkräfte dieser Unterrichtsfächer während ihrer Aus- und Weiterbildung entsprechende Grundlagen erhalten. In den Standards und inhaltlichen Anforderungen an die Lehrerbildung der Kultusministerkonferenz (KMK) (KMK, 2019) sind Anknüpfungspunkte formuliert. So sollen im Fach Biologie unter anderem Grundlagen zur biologischen Vielfalt sowie zur Ökologie, Biogeographie und zum nachhaltigen Umgang mit der Natur sowie zur „Gewinnung, Erzeugung und Bearbeitung von Naturprodukten, vor allem bezogen auf Nahrungs- und Genussmittel; auch unter fächerübergreifender Perspektive“ vermittelt werden (KMK, 2019, S.23). Im Fach Geographie bildet die Klimageographie einen Studieninhalt und könnte den Treibhauseffekt behandeln (KMK, 2019). Zudem könnte anhand der Inhalte „globaler Wandel, Globalisierung, Syndromkomplexe, globale Ressourcenkonflikte, Naturrisiken, nachhaltige Entwicklung von Räumen“ (KMK, 2019, S.30) ein Bezug zu Nachhaltiger Entwicklung hergestellt werden. Lediglich in der Geographie wird BNE unter dem Aspekt des fächerübergreifenden Unterrichts im Bereich der Fachdidaktik explizit erwähnt (KMK, 2019). Für das Fach Sozialkunde/Politik/Wirtschaft lassen die Inhalte keinen direkten Bezug zu BNE erkennen (KMK, 2019). Laut Kompetenzprofil des Faches Sozialkunde/Politik/Wirtschaft können Absolvent*innen

„lernbedeutsame politische, gesellschaftliche und ökonomische Probleme [worunter auch Aspekte nicht-nachhaltiger Entwicklung fallen] identifizieren, ihre Bedeutung für die Lernenden und die Gesellschaft einschätzen, geeignete sozialwissenschaftliche Analysekonzepte ermitteln und alternative Problemlösungen beurteilen“ (KMK, 2019, S. 58; vgl. de Haan & Gerold, 2008).

1.3.3. Wissen (angehender) Lehrkräfte zu Biodiversität und Klimawandel

Diverse Studien berichten, dass Lehrkräfte der Naturwissenschaften große Defizite in biodiversitätsbezogenem Wissen aufweisen (z.B. Dikmenli, 2010; Esa, 2010; Fiebelkorn & Menzel, 2013, 2019; Gayford, 2000; Jiwa & Esa, 2015; Lindemann-Matthies et al., 2011; Summers et al., 2000). So wurden unter anderem Wissenslücken bezüglich der Definition aufgedeckt: es konnte gezeigt werden, dass britische, deutsche und zypriotische Lehramtsstudierende vor knapp 10 Jahren oftmals noch nicht mit dem Begriff *biodiversity* (um Ungenauigkeiten in der Übersetzung zu vermeiden, werden die Originalbezeichnungen übernommen) vertraut waren (Lindemann-Matthies et al., 2011). In einer nigerianischen Studie gaben 67,5 % der Testpersonen an, den Begriff *biodiversity loss* entweder noch nie gehört zu haben beziehungsweise ihn nicht erklären zu können (Abdullahi et al., 2018). Auch kennen Lehramtsstudierende der Biologie nicht die unterschiedlichen Konzepte, die mit dem Begriff der Biodiversität verbunden sind, wie beispielsweise die nachhaltige Nutzung der Biodiversität oder den Aspekt der genetischen Diversität (Dikmenli, 2010). Weiterhin deckte sich das Verständnis von Terminologie, Verteilung und Verlust der Biodiversität von Lehramtsstudierenden der Biologie aus Deutschland und Costa Rica häufig nicht mit dem wissenschaftlichen Verständnis, wie sich am Beispiel des Konzeptes der *biodiversity hotspots* zeigte (Fiebelkorn & Menzel, 2013).

Darüber hinaus wurde begrenztes Wissen im Bereich *threats on biodiversity* nachgewiesen; beispielsweise bei angehenden Lehrkräften der Naturwissenschaften in Malaysia, die lediglich fünf Aspekte zu *threats on biodiversity* benennen konnten (Jiwa & Esa, 2015). Vergleichbare Unzulänglichkeiten konnten auch Fiebelkorn und Menzel (2019) bei Lehramtsstudierenden der Biologie aus Deutschland und Cost Rica aufzeigen. Konkret zeigten sie, dass angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften fehlerhafte Vorstellungen über den prozentualen Anteil bedrohter Pflanzenarten vorweisen (Fiebelkorn & Menzel, 2019). Bezüglich invasiver Arten, die ebenfalls als Bedrohung für die Biodiversität gelten, demonstriert eine aktuelle Studie, dass fast ein Drittel der befragten deutschen Lehramtsstudierenden keine von 13 präsentierten invasiven Arten (die alle in Europa und viele auch in Deutschland vorkommen) korrekt benennen konnte (Remmele & Lindemann-Matthies, 2020). Über die Hälfte der Teilnehmer*innen konnte lediglich eine Art benennen (Remmele & Lindemann-Matthies, 2020).

Dikmenli (2010) fand bei einer Untersuchung angehender Biologielehrkräfte heraus, dass die zentrale Rolle der Biodiversität im Zuge der Gestaltung von nachhaltigen Entwicklungen selten erkannt wird. Die Artenkenntnis wurde in einer norwegischen Studie von 75 % der befragten angehenden Lehrkräfte als wichtig im Rahmen einer Nachhaltigen Entwicklung erachtet (Skarstein & Skarstein, 2020). In einer Studie in Malaysia stimmten ca. 90 % der Testpersonen der Aussage zu, dass Biodiversität von globaler Relevanz ist (Jiwa & Esa, 2015). Einige Personen konnten realweltliche Beispiele wie die Problematik des Biodiversitätsschutz im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie nennen. Über ein Drittel der Personen konnte jedoch keine Gründe für die Relevanz anführen (Jiwa & Esa, 2015).

Studien über Lehramtsstudierende, Referendar*innen und Lehrkräfte zur Erfassung von Wissen zum Thema Klimawandel offenbarten Defizite (z.B. Boon, 2010, 2014; Herman et al., 2017; Plutzer et al., 2016; Stevenson et al., 2016; Summers et al., 2000). Dies zeigte sich unter anderem in unvollständigem beziehungsweise fehlerhaftem Verständnis des Treibhauseffektes (Khalid, 2001; Summers et al., 2000). Auch existieren Defizite im Wissen zu Ursachen und Folgen des Klimawandels sowie möglichen Maßnahmen zu dessen Bewältigung. Laut der Education for Sustainable Development Goals sollte derartiges Wissen jedoch angestrebt werden (vgl. UNESCO, 2017, siehe auch Kap. 1.3.2.). Eine US-amerikanische Studie gibt Aufschluss darüber, dass im Beruf aktive Lehrkräfte über ein unzureichendes Verständnis vom Klimawandel verfügten (Plutzer et al., 2016). Da sich die Testpersonen des Ausmaßes des wissenschaftlichen Konsenses über den anthropogen bedingten Klimawandel nicht bewusst waren, wird empfohlen, das Wissen der Lehrkräfte zu fördern, um angemessen zwischen fundierten und unsicheren wissenschaftlichen Evidenzen unterscheiden zu können (Plutzer et al., 2016). Herman et al. (2017) befragten Lehrkräfte der Naturwissenschaften: Dabei konnten in Florida 14 % und in Puerto Rico lediglich 4 % den Klimawandel korrekt definieren. Ursachen des Klimawandels wurden falsch zugeschrieben (z.B. der Atomkraft) beziehungsweise wurden nicht erkannt (z.B. die Klimatisierung von Häusern) (Herman et al., 2017). Vergleichbares berichten Tolppanen et al. (2020) über das Wissen zu Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels: Dabei werden wirkungsvolle Maßnahmen, wie beispielsweise kurze Strecken nur noch mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückzulegen, in ihrer Wirksamkeit unterschätzt, und wenig wirkungsvolle Maßnahmen (z.B. der Kauf von Secondhand-Kleidung) überschätzt (Tolppanen et al., 2020). Insgesamt fällt es den angehenden Lehrkräften schwer, klar zwischen wirkungsvollen und wirkungsschwachen Maßnahmen zu unterscheiden (Tolppanen et al., 2020).

Im Rahmen einer BNE ist es essenziell, die Konzepte von Biodiversität und Klimawandel und die komplexen Zusammenhänge zwischen ökologischen, sozialen, ökonomischen und

politischen Maßnahmen zu kennen. Für eine evidenzbasierte Lehrkräftebildung sind spezifische Daten zu den Lehr- und Lernvoraussetzungen – insbesondere auch zum Wissen angehender Lehrkräfte – erforderlich.

1.4. Zielsetzung der Dissertation

Um BNE in der Lehrerbildung weiterzuentwickeln, ist es notwendig, Kenntnisse über die Lernausgangslagen von Lehramtsstudierenden im Umgang mit Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung zu erlangen (Fiebelkorn & Menzel, 2013). Insbesondere disziplinäres Wissen verschiedener Disziplinen und interdisziplinäres Wissen ist hierbei von entscheidender Bedeutung. Empirische Studien zu Fachwissen angehender Lehrkräfte zu nachhaltigkeits-relevanten Themen bilden demnach eine Grundlage für die evidenzbasierte Weiterentwicklung einer BNE in der Lehrkräfteausbildung. Dabei sollte eine differenzierte Messung von Wissen angestrebt werden (vgl. Kaiser & Fuhrer, 2000).

Das Ziel war daher die Entwicklung eines validen und reliablen Messinstrumentes für angehende Lehrkräfte zu den globalen Herausforderungen Verlust der Biodiversität und Klimawandel und die Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Fachwissen. In Kapitel 1.5. wird zunächst der Prozess der Messinstrumententwicklung von der Auswahl lebensweltlicher Kontexte (*Insekten und Bestäubung, Moornutzung*) über die qualitativen und quantitativen Vorstudien bis zur Entstehung und dem Einsatz des Instrumentes für Lehramtsstudierende beschrieben. Dazu werden anschließend in den Kapiteln 2 bis 5 die durchgeführten Studien vorgestellt.

Publikation 1 berichtet über eine Vortestung von Multiple-Choice Aufgaben im Rahmen einer Studie Lauten Denkens. Die qualitative Studie dient der Optimierung von Aufgaben zum konzeptuellen Wissen zur Biodiversität für eine spätere quantitative Messung. Neben der Weiterentwicklung des Messinstrumentes werden Erkenntnisse über Lernausgangslagen zu konzeptuellem Wissen von Lehramtsstudierenden zum Thema Biodiversität gewonnen.

Die Publikationen 2 und 3 widmen sich der Herausforderung der Erfassung des prozeduralen Wissens. Anstatt klarer (disziplingebundener) Lösungen, die beim situationalen und konzeptionellen Wissen weitgehend gefordert werden, wurden in der vorliegenden Forschungsarbeit die Aufgaben zum prozeduralen Wissen so operationalisiert, dass bei der Beantwortung von Aufgaben gleichzeitig verschiedene Dimensionen Nachhaltiger Entwicklung – Ökologie, Ökonomie, Soziales – berücksichtigt werden müssen. Publikation 2 enthält eine Delphi-Studie mit Expert*innen aus nachhaltigkeitsrelevanten Bereichen, wie Biologie, Klimatologie, Agrarökologie und BNE. Sie befasst sich mit der Frage, wie interdisziplinäres, nachhaltigkeitsrelevantes prozedurales Wissen von Lehramtsstudierenden möglichst sachangemessen erfasst

werden kann. Die Studie zielt darauf ab, ein Verfahren zur Erfassung und Einschätzung von nachhaltigkeitsrelevantem, prozeduralem Wissen von Lehramtsstudierenden weiterzuentwickeln.

In Publikation 3 wurde das im Rahmen von Publikation 2 entwickelte Messinstrument bei Lehramtsstudierenden an acht deutschen Universitäten eingesetzt. Das prozedurale Wissen wird dabei über eine Einschätzung der Effektivität vorgegebener Lösungsstrategien, die im Rahmen der Delphi-Studie (Publikation 2) entwickelt wurden, erfasst. Das Ziel dieser Studie war es zu untersuchen, inwiefern

- i. die Effektivitätseinschätzung von Lösungsstrategien und damit das prozedurale Wissen der Lehramtsstudierenden von jenem der Expert*innen abweicht,
- ii. das prozedurale Wissen Master-Studierender höher ist als das prozedurale Wissen Bachelor-Studierender und inwiefern
- iii. Lehramtsstudierende in Biologie, Geographie und Politik sich bezüglich ihres prozeduralen Wissens zu Biodiversität und Klimawandel unterscheiden.

Weiterhin soll diese Studie Hinweise auf die Validität des entwickelten Messinstrumentes für (angehende) Lehrkräfte geben, indem Beziehungen zwischen prozeduralem Wissen und verwandten Konstrukten, wie Einstellung, Verantwortungsbereitschaft und Interesse, untersucht werden.

Publikation 4 strebt anhand einer im Vergleich zu Publikation 3 ausgeweiteten Stichprobe eine Auswertung von sowohl situationalem und konzeptuellem als auch prozeduralem Wissen von Lehramtsstudierenden an. Die Studie hatte zum Ziel,

- i. Wissen von Lehramtsstudierenden anhand der Typen situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen differenziert zu erfassen,
- ii. mittels Item Response Theorie herauszufinden, inwiefern sich die theoretisch unterschiedenen Wissenstypen (situational, konzeptuell, prozedural) empirisch stützen lassen und
- iii. die resultierenden Wissensdimension(en) in Beziehung zu verwandten Konstrukten zu setzen.

1.5. Entwicklung eines Messinstrumentes zur Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen

Folgend soll eine Übersicht über die in mehreren Stufen erfolgte Messinstrumententwicklung zur Erfassung nachhaltigkeitsrelevanten Wissens gegeben werden. Der Fokus liegt hierbei auf der Auswahl exemplarischer Kontexte für die Herausforderungen von Biodiversitätsverlust und Klimawandel sowie auf der Entwicklung von Aufgaben für situationales und konzeptuelles

Wissen. Über diese beiden Aspekte wird – im Gegensatz zur Entwicklung von Aufgaben für prozedurales Wissen – vergleichsweise wenig in den Manuskripten berichtet.

1.5.1. Auswahl von Kontexten

In der Forschung zu Wissen (Koch et al., 2013) oder *socio-scientific reasoning* und *decision-making* (Böhm et al., 2016; Eggert & Bögeholz, 2010; Romine et al., 2017) werden in der Regel mindestens zwei spezifische Kontexte für die Messinstrumententwicklung herangezogen. Im ersten Schritt wurden daher exemplarische Kontexte für die Themenbereiche Biodiversität und Klimawandel eruiert. Ein lebensweltlicher Bezug bildet im Rahmen einer BNE eine von fünf Leitlinien (Schreiber, 2016). Die Kontexte sollten daher von nationaler, regionaler und lokaler Relevanz sein, um so motivierend für die Studierenden zu sein. Um die Bedeutung der Kontexte noch stärker zu verdeutlichen, wurde zusätzlich eine globale Übertragbarkeit angestrebt. Es sollte sich um aktuelle Themen von gegenwärtiger und zukünftiger Bedeutung handeln, deren Bewältigung zentral ist, um negative ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen zu mindern und damit einer Nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Als übergeordnetes Themenfeld, das sowohl für Biodiversität als auch Klimawandel von Bedeutung ist, wurde die nachhaltige Landnutzung ausgewählt. Der Kontext *Insekten und Bestäubung* ist exemplarisch für die Biodiversität. Die *Nutzung von Mooren* wurde exemplarisch für die Thematik des Klimawandels herangezogen.

Die Bestäubung liefert einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität (Potts et al., 2010). Einerseits direkt durch den Erhalt der Blütenpflanzen selbst, andererseits indirekt durch Frucht- und Samenansatz als Nahrungsgrundlage für viele Tierarten (BMEL, 2014). In Deutschland sind ca. 80 % der Kultur- und Wildpflanzen von Bestäubern abhängig (BMEL, 2013). Die FAO (2019) gibt an, dass etwa 90 % aller Blütenpflanzen zu einem gewissen Grad von der Bestäubung abhängig sind. Neben Honigbienen tragen ca. 550 Arten von Wildbienen sowie weitere Insekten wie Schmetterlinge, Motten, Käfer und Fliegen zur Ökosystemdienstleistung Bestäubung bei (BMEL, 2013; FAO, 2019). Laut FAO (2019) sind 35 % der weltweiten Nahrungsmittelproduktion von Bestäubern abhängig. Dabei beeinflussen sowohl Anzahl als auch Diversität der Bestäuber die Ernteerträge (IPBES, 2018). Die Bestäubung führt jedoch nicht nur zur Bereitstellung von Nahrungsmitteln sondern auch anderer pflanzlicher Produkte, die beispielsweise für die Herstellung von Arzneimitteln notwendig sind (IPBES, 2018). Potts et al. (2016) geben für den jährlichen Beitrag der Ökosystemdienstleistung Tierbestäubung an der globalen Pflanzenproduktion einen Wert zwischen 235 und 577 Milliarden US-Dollar an.

Derzeit werden Rückgänge bei wilden und domestizierten Bestäubern sowie den Pflanzen, die von ihnen abhängig sind, verzeichnet (FAO, 2019; Potts et al., 2010). Veränderungen

können auf Basis der Vielfalt der Arten, der generellen Abundanz als auch der Biomasse (Gewicht der Insekten) beobachtet werden (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Wagner, 2020). So konnte beispielsweise in Schutzgebieten in Deutschland über einen Monitoring-Zeitraum von 27 Jahren eine Abnahme der Biomasse fliegender Insekten von 76 % beobachtet werden (Hallmann et al., 2017).

Eine Kombination unterschiedlicher Faktoren wird als Ursache für den Rückgang der Insekten in Betracht gezogen: Als Hauptursache kann der Habitatverlust durch Habitatfragmentierung gesehen werden (Potts et al., 2010). Durch die Ausdehnung von Siedlungs- und Industrieflächen sowie den Bau von Verkehrswegen wird die Landschaft zerschnitten. Die Intensivierung der Landwirtschaft gilt dabei als Hauptverursacher für Artenverluste von Insekten und insektenfressenden Säugetieren (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Insbesondere in der Nachkriegszeit wurden – um die Bewirtschaftung effizienter zu gestalten – Felder zusammengelegt und vergrößert, was in einer Homogenisierung der Landschaft resultierte (Tscharncke et al., 2005). Damit einher ging eine Reduzierung von Ackerrandstrukturen oder Brachflächen, die als Nistmöglichkeiten für Insekten verloren gehen (BMEL, 2014, Guntern et al., 2014). Dainese et al. (2019) haben gezeigt, dass Landschaftshomogenisierung die Vielfalt der Bestäuber reduziert, was sich negativ auf die Bestäubung auswirkt, wodurch wiederum die landwirtschaftlichen Erträge abnehmen. Neben Habitatverlust bewirken Landnutzungsänderungen außerdem einen Rückgang der Blütenvielfalt und -menge (EASAC, 2015) und damit ein reduziertes Nahrungsangebot für Bestäuber. Die Bestäuber leiden außerdem unter Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, beispielsweise Glyphosat (Grass & Tscharncke, 2020) oder dem teilweise unsachgemäßen Einsatz von Neonicotinoiden (EASAC, 2015; Henry et al., 2012; BMUB, 2013). Großflächige Herbizid-Anwendung und Stickstoff-Überdüngung verursachen einen starken Rückgang des Blütenangebots und beeinträchtigen Bestäuber damit indirekt (Guntern et al., 2014; Potts et al., 2010). Nur ein Wandel in der derzeitigen landwirtschaftlichen Praxis kann dazu beitragen, die Ziele der Nationalen Biodiversitätsstrategie zu erreichen (Grass & Tscharncke, 2020).

Moore sind Ökosysteme mit einer mindestens 30 cm mächtigen Torfschicht, die häufig bis zur oder nah an die Oberfläche wassergesättigt sind (Frolking et al., 2011). Moore bedecken nur 3 % der weltweiten Landfläche (Succow & Joosten, 2001) und beeinflussen dennoch maßgeblich das globale Klimasystem. In Mooren läuft aufgrund der Wassersättigung die Produktion von Biomasse schneller ab, als der Abbau organischer Substanz durch Mikroorganismen (Joosten et al., 2013; Köbbing et al., 2012). So wird über sehr lange Zeiträume durch das Absterben und Konservieren von Pflanzen Torf gebildet (ca. 1 mm/ Jahr). Dabei werden große

Mengen an Kohlenstoff (C) gebunden (Joosten et al., 2013; Köbbing et al., 2012). In Deutschland begann die Entwicklung der Moore am Ende der letzten Eiszeit vor ca. 10.000 Jahren (Byrne et al., 2004). Da Moore aufgrund der feuchten Bedingungen gleichzeitig zur C-Akkumulation das Treibhausgas Methan (CH₄) freisetzen (Byrne et al., 2004), ist ihre Klimabilanz im natürlichen Zustand meist ausgeglichen (MU Niedersachsen, 2016).

Um auf Moorflächen eine Landnutzung, wie Land- oder Forstwirtschaft, oder auch die Gewinnung von Torf zu ermöglichen, müssen die Areale entwässert werden (Charman, 2002). EU-weit wird noch immer die Hälfte des abgebauten Torfs energetisch genutzt (SRU, 2012). Weiterhin wird Torf aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften häufig im Gartenbau eingesetzt (Charman, 2002). Die deutsche Torfindustrie ist weltweit größter Hersteller von Blumenerden und Kultursubstraten (MU Niedersachsen, 2016). In Deutschland werden derzeit auf etwa 100 km² Fläche jährlich rund 8 Millionen m³ Torf industriell abgebaut und 3,7 Millionen m³ torfhaltige Rohstoffe importiert (LIFE Peat Restore, 2020).

Heute sind 99 % aller Moore in Deutschland durch eine Entwässerung geschädigt (Joosten, 2012). Mit den hydrologischen Veränderungen gehen Veränderungen im Gasaustausch einher: durch die Durchlüftung wird die Mineralisation von Torf verstärkt und die Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) sowie dem klimarelevanten Distickstoffmonoxid (N₂O) forciert (Frolking et al., 2011; Köbbing et al., 2012; MU Niedersachsen, 2016). Obwohl gleichzeitig ein Rückgang der CH₄-Emissionen verzeichnet werden kann (Charman, 2002), sind die Treibhausgas-Emissionen entwässerter Moorböden um ein Vielfaches höher als die naturnaher Moore (MU Niedersachsen, 2016). Wenngleich der Anteil an Mooren an der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland nur ca. 6 % beträgt, ist die Nutzung von Mooren verantwortlich für 57 % der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen (Joosten et al., 2013). Insgesamt tragen Moore 4,3 % zu den deutschen Treibhausgas-Emissionen bei (TEEB DE, 2015).

Drainage und Torfabbau führen außerdem zum Verlust von Ökosystemdienstleistungen der Moore. In naturnahem Zustand puffern Moore das regionale Klima, fördern den saisonalen Wasserrückhalt in der Landschaft, sind teilweise ein Puffer für Nährstoffe sowie ein Archiv für Klima-, Vegetations- und Menschheitsgeschichte, bieten Lebensraum für seltene Pflanzen und Tiere sowie Raum für zahlreiche Freizeitmöglichkeiten (Drösler et al., 2011; Köbbing et al., 2012; LLUR, 2012; MU Niedersachsen, 2016). Die Wiedervernässung von Moorböden gilt als „eine der effektivsten und volkswirtschaftlich kostengünstigsten Klimaschutzmaßnahmen im Landnutzungsbereich und hat ein Reduktionspotential von bis zu 35 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr in Deutschland“ (TEEB DE, 2015, S.126).

Die aufgezeigte Sachlage zu den gewählten Kontexten *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* verdeutlicht, dass beide sowohl von lokaler, regionaler, nationaler als auch internationaler Relevanz sind. Für die Kontexte finden sich auch Anknüpfungspunkte in den Education for Sustainable Development Goals (UNESCO, 2017). Als Beispiel für Konzepte und Methoden zu Ziel 15 „Life on Land“ wird die Anlage eines Gartens für wilde Tiere, z.B. durch bienenfreundliche Blühpflanzen oder Insektenhotels, sowie die Entwicklung eines forschungsbasierten Projekts zum Thema „Warum ist Biodiversität wichtig?“ vorgeschlagen (UNESCO, 2017). Ökosysteme als Kohlenstoffsenke stellt eins der vorgeschlagenen Themen zum Ziel 15 „Life on Land“ (UNESCO, 2017) dar und bietet damit Anknüpfungspunkte für den Moorkontext. Auch die unterschiedlichen Arten von Ökosystemdienstleistungen werden hierbei angeführt (UNESCO, 2017).

1.5.2. Entwicklung von Aufgaben zum situationalen, konzeptuellen und prozeduralen Wissen

Um das Wissen der Studierenden unabhängig vom Vorwissen zu erfassen, wurden auf Basis von Literatur zunächst Szenarien zu den Kontexten *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* ausgearbeitet. In der Kompetenz- wie auch in der Wissensforschung (vgl. Koch et al., 2013) ist dies ein übliches Vorgehen. Es wird beispielsweise auch bei PISA (Programme for International Student Assessment) eingesetzt (vgl. Mang et al., 2018). Das erste Szenario thematisiert das große Bienensterben in Deutschland im Jahr 2008. Ein fiktives Beispiel aus dem Ortenaukreis zeigt auf, wie Honigbienen durch eine unsachgemäße Verwendung gebeizten Maissaatgutes geschädigt wurden. Szenario zwei stellt die Auswirkungen landwirtschaftlicher und industrieller Nutzung von Mooren dar. Zudem wird ein Beispiel eines niedersächsischen Landwirtes präsentiert, der seine genutzten Moorstandorte abgeben möchte und zwischen mehreren Interessenten (z.B. Torfindustrie, Naturschutz) mit unterschiedlichen Zielen abwägen muss. Bei der Aufgabenentwicklung wurden zentrale Konzepte von Biodiversität und Klimawandel, wie beispielsweise die Ebenen der biologischen Vielfalt (Art, Ökosystem, Gene) berücksichtigt. Die Aufgaben wurden so konstruiert, dass sie zu gleichen Teilen ökologische, sozio-ökonomische und institutionelle Aspekte der Kontexte widerspiegeln. Die Multiple-Choice Aufgaben wurden mit je einem Attraktor und drei Distraktoren konstruiert. Auch die Distraktoren entsprechen immer der inhaltlichen Ausrichtung des Items.

Nach der Generierung eines Itempools aus insgesamt 47 Items für situationales und konzeptuelles Wissen wurde mit den Items des Insekten- und Bestäubungskontextes im Rahmen einer Masterarbeit eine Studie Lauten Denkens (Ericsson & Simon, 1993) mit Lehramtsstudierenden, die ihre Wahl des Attraktors und den Ausschluss der Distraktoren begründeten, durchgeführt (N = 10) (Derksen, 2017). Ziel war es anhand eines Kategoriensystem und eines

entwickelten Codier-Leitfadens (inklusive Ankerbeispielen) die Eignung von Aufgaben beziehungsweise Überarbeitungserfordernisse zu analysieren (weitere Details zur Auswertung sind in Kap. 2.2 angeführt). Anhand der gewonnenen Erkenntnisse konnten sowohl Items als auch das Szenario zum Bestäubungskontext überarbeitet werden. Die Modifikationen bezogen sich auf die Steigerung oder Senkung der Attraktivität von Distraktoren und Attraktoren. An 11 Items wurden Modifikationen durchgeführt (davon fünf im situationalen und sechs im konzeptuellen Wissen) (Derksen, 2017). Weiterhin wurden zwei Items aufgrund extrem hoher Lösungswahrscheinlichkeiten ($\geq 90\%$) entfernt (Derksen, 2017).

Die überarbeiteten Items zum Insekten- und Bestäubungskontext und die entwickelten Items zur Moornutzung wurden im Rahmen einer Fragebogenstudie (quantitative Vorstudie) an sieben Universitätsstandorten in Deutschland ($N = 112$) eingesetzt (Abb. 1.1). Mit den zu dieser quantitativen Vorstudie identischen Items zum Kontext der Moornutzung (23 Items) wurde ebenfalls im Rahmen einer Masterarbeit eine Studie Lauten Denkens mit Lehramtsstudierenden durchgeführt ($N = 10$) (Grube, 2018). Diese wurde komplementär zur Studie Lauten Denkens des Insekten- und Bestäubungskontextes angelegt, sodass Modifikationen an fünf Items des situationalen und sieben Items des konzeptuellen Wissens vorgenommen werden konnten (Grube, 2018). In einem letzten Schritt wurden auf Basis der beiden Studien Lauten Denkens sowie der Fragebogenstudie unter Berücksichtigung von Schwierigkeitsgrad, Trennschärfe und inhaltlichen Aspekten die Items für situationales und konzeptuelles Wissen zusammengestellt. Einen Überblick über die erfolgten Schritte der Messinstrumententwicklung für alle drei Wissenstypen liefert Abbildung 1.1.

In der Vorstudie erhielt ein Teil der Personen Versuchspersonengeld für die Bearbeitung des Fragebogens. Die Daten haben gezeigt, dass Personen ohne Entlohnung den Fragebogen weniger sorgfältig ausgefüllt haben. Drei Personen mussten aufgrund zahlreicher fehlender Werte bei der Auswertung ausgeschlossen werden ($N = 112$, $n = 109$). Die Erkenntnisse aus der quantitativen Vorstudie haben dazu geführt, dass in der Hauptstudie alle Testpersonen entlohnt wurden, um gleiche, förderliche Bedingungen zu schaffen.

Bei der Entwicklung der Aufgaben zur Erfassung des prozeduralen Wissens wurde ein mehrstufiges Delphi-Verfahren mit einer zwischengeschalteten Studie Lauten Denkens mit Lehramtsstudierenden gewählt (Abb. 1.1). Das Ziel war es, ein Set an Lösungsstrategien zu entwickeln, welches sowohl literaturbasiert und von Expert*innen geprüft, als auch für Lehramtsstudierende verständlich ist. Dieser Teil der Messinstrumententwicklung wird in Publikation 2 (Kap. 3.2) ausführlich dargestellt.

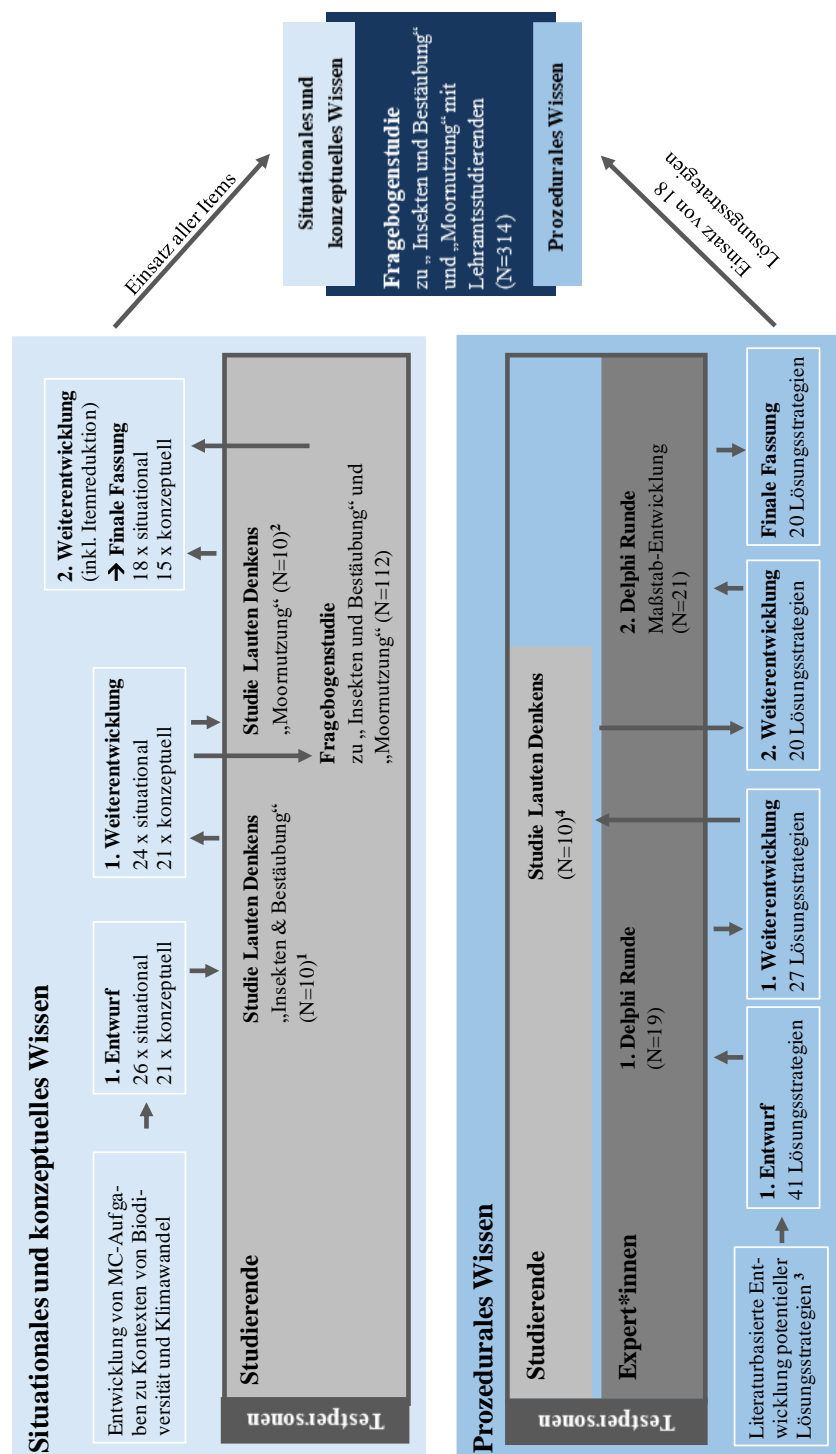


Abbildung 1.1. Schritte der Messinstrumententwicklung für situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen zu den Themenbereichen Biodiversität und Klimawandel (N: Stichprobengröße, Unterstützt durch Masterarbeiten: ¹ Derksen, 2017, ² Grube, 2018, ³ Knedeisen, 2017, ⁴ Achterberg, 2018).

In Tabelle 1.1 sind alle im Rahmen des Promotionsprojektes durchgeführten Studien zusammengestellt. Aufgeführt werden dabei jeweils die untersuchten Wissenstypen und Kontexte. Zudem werden die in dieser Dissertation enthaltenen Publikationen, den aufgeführten Studien zugeordnet.

Tabelle 1.1. Übersicht über Erhebungen und Zuordnung der Publikationen.

Erhebung	Wissenstyp(en)	Ziel	Zugehörige Publikationen/ Manuskripte
Studie Lauten Denkens <i>Insekten und Bestäubung</i>	situationales und konzeptuelles Wissen	Messinstrumententwick- lung	1 konzeptuelles Wissen in Richter-Beuschel, Derksen & Bögeholz 2018a (Kap. 2)
Studie Lauten Denkens <i>Moornutzung</i>	situationales und konzeptuelles Wissen	Messinstrumententwick- lung	
Quantitative Vorstudie <i>Insekten und Bestäubung & Moornutzung</i>	situationales und konzeptuelles Wissen	Messinstrumententwick- lung	
Delphi-Studie <i>Insekten und Bestäubung & Moornutzung</i>	Runde I	prozedurales Wissen	Messinstrumententwick- lung
	Studie Lauten Denkens	prozedurales Wissen	Messinstrumententwick- lung
	Runde II	prozedurales Wissen	Erfassung prozeduralen Wissens von Expert* innen u. Erstellung eines Maßstabs zur Erfassung prozeduralen Wissens angehender Lehrkräfte
Quantitative Hauptstudie <i>Insekten und Bestäubung & Moornutzung</i> , inkl. Validierung		situationales, konzep- tuelles und prozedura- les Wissen	2 Richter-Beuschel, Grass & Bögeholz 2018b (Kap. 3)
			3 Richter-Beuschel & Böge- holz 2020a, Teilstichprobe von n = 236 (Kap. 4)
			4 Erfassung und Kompe- tenzmodellierung situati- onalen, konzeptuellen und prozeduralen Wis- sens angehender Lehr- kräfte

2. Konzeptuelles Wissen angehender Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Tagungsbandbeitrag. In: Korn, H., Dünnfelder, H. & Schliep, R. (Hrsg.) 2018 - *Treffpunkt Biologische Vielfalt XVI - Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt* - BfN-Skripten 487. Bonn, Bad-Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN), S.88-95.

Lisa Richter-Beuschel¹, Christine Derksen & Susanne Bögeholz¹

¹ *Albrecht-von-Haller Institut für Pflanzenwissenschaften, Didaktik der Biologie, Universität Göttingen.*

2.1. Einleitung

Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) wird „[...] international immer stärker als wesentlicher Bestandteil einer qualitätsorientierten Bildung und als Schlüsselfaktor für eine nachhaltige Entwicklung anerkannt“ (DUK 2014, S. 9). Spätestens seit Verabschiedung des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity – CBD) 1992 soll laut Artikel 13 Biodiversität verbindlich in Bildungsprogramme integriert werden. Dabei spielt schulische Bildung eine zentrale Rolle. Bisherige Bildungsinitiativen wie das BLK-Programm „21“ und „Transfer-21“ fokussierten auf eine stärkere Verankerung von BNE in der schulischen Regelpraxis. Dazu wurde seitens der Wissenschaft mit ausgewählten Lehrkräften zusammengearbeitet, um beispielsweise Konzepte über Unterrichtseinheiten umzusetzen sowie BNE-Materialien zu entwickeln, zu erproben und zu verbreiten. Erklärtes Ziel war es, 10 % aller Schulen zu erreichen (Programm Transfer-21). Weder erreichte das BLK21 noch das Transfer-21 den Großteil der Schulen und Lehrkräfte in Deutschland, noch fand das BLK21 Einzug in die Lehrerbildung, da vornehmlich nur in das Programm involvierte Bildungswissenschaftler*innen die innovativen Konzepte breit in der Lehre implementierten.

Welche Herausforderungen ein interdisziplinäres Unterrichten von BNE beinhaltet bzw. welche Schwierigkeiten für Lehrkräfte mit dem Unterrichten von BNE verbunden sind, wurde auch jenseits des BLK21 sichtbar (Gayford 2000, Koch et al. 2013, Summers et al. 2000). Auch knapp 20 Jahre nach Einführung des BLK21 besteht bei der unterrichtsfachbezogenen Lehrerbildung der Fachdidaktiken weiterhin Handlungsbedarf. Dabei wurde der „Kompetenzaufbau bei Lehrenden und Multiplikatoren“ im Weltaktionsprogramm „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ der UNESCO (2015-2019) als eines der fünf prioritären Handlungsfelder deklariert (DUK 2014). Multiplikator*innen für BNE sollten Wissen über ökologische, sozio-ökonomische und institutionelle Faktoren besitzen, die eine nachhaltige Entwicklung beeinflussen

können (Koch 2012, DUK 2014). Bislang ist ein derart umfassendes Konzept von BNE noch nicht hinreichend in der Lehramtsausbildung verankert (Siegmond & Jahn 2014). Eine entsprechende Ausbildung von Lehrkräften ist jedoch zentral für die Umsetzung von BNE.

Zur Verbesserung der Lehrerbildung startete 2016 die Qualitätsoffensive Lehrerbildung des Bundes. Zahlreiche Projekte an unterschiedlichen Hochschulstandorten beschäftigen sich mit der Entwicklung von Konzepten zur stärkeren Einbindung von BNE in die Hochschullehre. Das Göttinger Projekt „Schlözer Programm Lehrerbildung“ (SPL) bietet Lehramtsstudierenden seit dem Sommersemester 2017 die Möglichkeit, mittels eines Zertifikatstudiums zum fächerübergreifenden Unterrichten eine Zusatzqualifikation im Bereich BNE zu erlangen. Berichtet wird über ein Vorhaben im SPL, in dem ein Messinstrument für eine Ermittlung von Lernausgangslagen zu interdisziplinärem Wissen für eine Gestaltung von nachhaltigen Entwicklungen sowie zur Evaluation der BNE-Zusatzqualifikation entwickelt wird.

2.2. Biodiversität in der Lehrerbildung

Für eine nachhaltige Entwicklung spielt die Erhaltung der biologischen Vielfalt eine zentrale Rolle (TEEB 2015). Bisherige Studien lassen den Schluss zu, dass die Komplexität von Themen nachhaltiger Entwicklung, bei denen ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen zu berücksichtigen sind, Studierende überfordern kann (Fiebelkorn & Menzel 2013, Gayford 2000, Koch et al. 2013). Konzeptuelles Wissen gilt dabei als Grundlage für das Verständnis fachspezifischer Inhalte und kann sowohl explizit als auch implizit bestehen. Nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996) ist konzeptuelles Wissen statisches Wissen zu Fakten, Begriffen und Prinzipien, welches als „knowledge-in-use“ angewendet werden kann. Derart anwendbares Wissen ist erforderlich, um Lösungsstrategien zu Umweltproblemen beurteilen und damit Entscheidungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung treffen zu können. Die angestrebte Messinstrumententwicklung nimmt insgesamt situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen in den Blick (vgl. Koch et al. 2013).

2.3. Bienensterben als fachdidaktisch aufbereiteter Bildungskontext für eine Messinstrumententwicklung

Ein BNE relevantes Themenfeld für die Lehrerbildung ist eine „nachhaltige Landnutzung in Deutschland“. Aus dem Themenfeld wurden für die gesamte Messinstrumententwicklung Biodiversität und Klimawandel – zwei zentrale Probleme des globalen Wandels (TEEB 2015) – als Kontexte für die Aufgabenentwicklung aufbereitet. Zur exemplarischen Erfassung des konzeptuellen Wissens hinsichtlich der Biodiversität, dem sich der vorliegende Beitrag spezifisch widmet, wurde das Bienensterben ausgewählt.

Weltweit sind 35 % der Nahrungsmittelproduktion von Bestäubern abhängig (Haefeker 2010). Insgesamt 80 % der Nutz- und Wildpflanzen werden von Bienen bestäubt (Potts et al. 2010). Die Bestäubung ist damit eine zentrale Ökosystemdienstleistung. In Deutschland gehen sowohl die Anzahl der Honigbienenvölker als auch die Anzahl der ca. 560 Arten von Wildbienen zurück. Ein Grund dafür liegt vor allem in der intensiven Landwirtschaft (z. B. Monokulturen, Pestizid-Einsatz) (Tscharrnke et al. 2005). Zudem wirken sich Änderungen in der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU auf die Bienenbestände aus.

Die komplexe Umweltproblemsituation des Bienensterbens wurde anhand eines fachdidaktischen Rahmenmodells rekonstruiert (Gausmann et al. 2010). Das Modell stellt den Zusammenhang zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialem heraus und differenziert dabei zwischen verschiedenen sozialen Gruppen, die sich gegenseitig beeinflussen (Bögeholz 2011). Angewandt auf das Bienensterben ergeben sich die in Abbildung 2.1 ausgewiesenen zentralen Aspekte und Zusammenhänge. Dargestellt werden die Beziehungen zwischen Obstbauern/Imkern, Landwirten mit Maisanbau und Saatgutherstellern sowie die daraus resultierenden Konflikte.

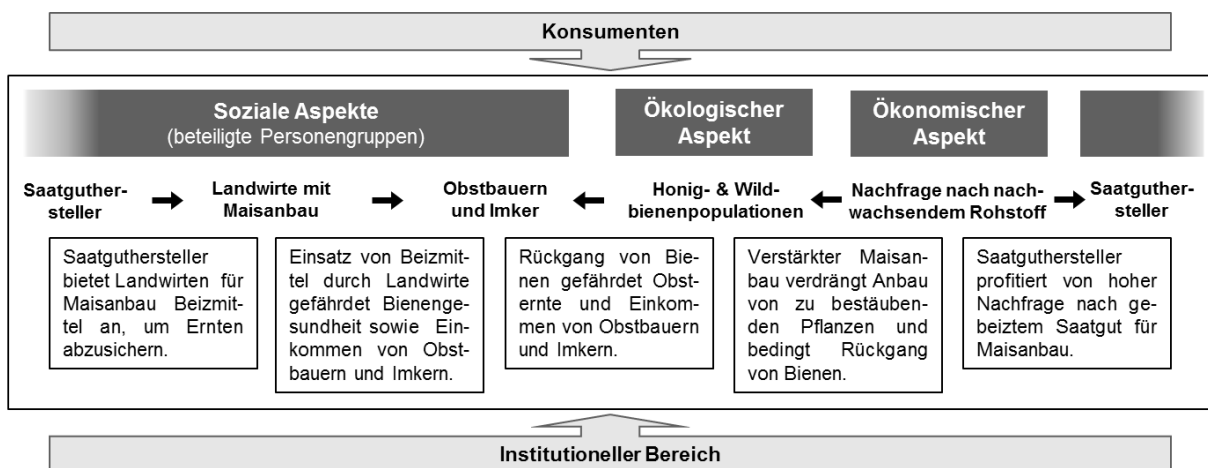


Abb. 2.1. Rekonstruktion der Umweltproblemsituation Bienensterben

Alle in Abbildung 2.1 ausgewiesenen Verbindungen zwischen den verschiedenen BNE relevanten Aspekten werden in einer Situationsbeschreibung thematisiert. Diese Situationsbeschreibung zum Bienensterben wurde als Informationstext für eine Fragebogenstudie aufbereitet, die Multiple-Choice-Aufgaben (MC-Aufgaben) enthält. Die Aufgaben lassen sich nur unter Einbringen von zusätzlichem, konzeptuellem Wissen zum Informationstext richtig beantworten. Neben Fakten zu Wild- und Honigbienen steht ein Gespräch zwischen einem Obstbauern (Nebenerwerb Imkerei) mit einem benachbarten Landwirt mit Maisanbau im Vordergrund. Anlass für das Gespräch ist das Sterben zahlreicher Honigbienenvölker des Obstbauern, das vermutlich durch den Einsatz gebeizten Maissaatgutes verursacht wurde.

Die Entwicklung des quantitativen Messinstrumentes erfolgt angelehnt an die Vorgehensweise von Koch (2012). Während jedoch Koch das Wissen zu nachhaltiger Entwicklung bei indonesischen Studierenden anhand von für Indonesien relevanten Bildungskontexten erfasste, werden in diesem Vorhaben für Deutschland bedeutsame Bildungskontexte – wie das Bienensterben – ins Zentrum der Aufgabenentwicklung gestellt. Operationalisiert wird das Wissen nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996; vgl. auch Koch et al. 2013). Erste Entwürfe von Aufgaben werden bei der Messinstrumententwicklung über eine Studie Lauten Denkens evaluiert (Ericsson & Simon 1993).

Gegenstand dieses Beitrages ist es, über eine qualitative Vortestung von MC-Aufgaben in einer Studie Lauten Denkens zu berichten, die Evidenzen zu Aufgaben zum konzeptuellen Wissen zur Biodiversität für eine Weiterentwicklung eines quantitativen Messinstrumentes liefert. Neben der qualitativen Validierung der Aufgaben liegen erste inhaltliche Informationen über Lernausgangslagen im Erkenntnisinteresse, die konzeptuelles Wissen von Lehramtsstudierenden zum Thema Biodiversität betreffen.

2.4. Stichprobe der Studie Lauten Denkens

Die Studie wurde mit zehn Testpersonen der Universität Göttingen durchgeführt. Die Testpersonen verfügen über unterschiedliche Fächerkombinationen für das Lehramt am Gymnasium und belegen jeweils mindestens ein für BNE relevantes Fach (Politik / Wirtschaft oder Biologie; s. Tab. 2.1a / b). Die Testpersonen befinden sich in unterschiedlichen Ausbildungsabschnitten. Fünf Testpersonen studieren derzeit noch (2-Fächer-Bachelor oder Master of Education). Die anderen fünf Testpersonen haben ihr Studium bereits absolviert und sind im Referendariat bzw. beginnen dieses in Kürze oder sind in der Wissenschaft im Bereich der Lehrerbildung tätig (Promovierende).

Tab. 2.1a. Testpersonen mit Fach Politik-Wirtschaft (2-Fä-Ba=2-Fächer Bachelor, MoE= Master of Education, A-MoE=Abgeschlossener MoE)

Testperson	Zweites Unterrichtsfach	Ausbildungsabschnitt
Maria	Englisch	MoE
Sarah	Französisch	A-MoE
Lukas	Englisch	Promotion

Tab. 2.1b. Testpersonen mit Fach Biologie

Testperson	Zweites Unterrichtsfach	Ausbildungsabschnitt
Luisa	Chemie	2-Fä-Ba
Jana	Spanisch	MoE
Christian	Latein	MoE
Angelika	Deutsch	MoE
Christina	Mathematik	A-MoE
Anna	Englisch	Referendariat
Daniel	Latein	Promotion

2.5. Aufgabenmaterial beim Lauten Denken sowie Studiendurchführung und -auswertung

Anknüpfend an die realweltliche Problembeschreibung zum Bienensterben wurden zehn MC-Aufgaben (je ein Attraktor und drei Distraktoren) zur Erfassung des konzeptuellen Wissens zu Biodiversität entwickelt. Dabei stammen fünf Aufgaben aus dem ökologischen, zwei aus dem sozio-ökonomischen und drei aus dem institutionellen Bereich (in den Analysen in der Folge zusammengefasst als sozio-ökonomisch bzw. institutioneller Bereich).

In der Studie Lauten Denkens wurden die Testpersonen aufgefordert, bei jeder der vier Antwortmöglichkeiten aller Aufgaben zu begründen, warum sie diese auswählen bzw. ablehnen. Das Laute Denken zu den konzeptuellen Wissensaufgaben wurde jeweils als Audiodatei aufgezeichnet und anschließend transkribiert sowie redigiert. Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010). Es wurde ein Codier-Leitfaden mit Regeln zur Codierung und Ankerbeispielen entwickelt (Mayring 2010). Das Codier-System weist verschiedene Kategorien zur Eignung von Aufgaben bzw. Überarbeitungserfordernissen für Aufgaben aus. Es wurden die in Tabelle 2.2 angeführten Kategorien gebildet.

Tab. 2.2. Kategorien zur Prüfung der Attraktoren und Distraktoren der entwickelten MC-Aufgaben

Kategorie	Bezeichnung
Attraktor / Distraktor korrekt identifiziert und begründet	A1 / D1
Attraktor / Distraktor korrekt identifiziert	A2 / D2
Attraktor / Distraktor korrekt geraten	A3 / D3
Attraktor / Distraktor nicht identifiziert	A4 / D4
Distraktor als nicht sinnvoll eingestuft	D5
Attraktor / Distraktor nur beim Vorlesen genannt	A6 / D6
keine Einordnung möglich	99

Jede durch Testpersonen kommentierte bzw. als richtig oder falsch eingestufte Antwortmöglichkeit wurde einer Kategorie zugeordnet, wodurch die Eignung eines jeden Attraktors bzw. Distraktors geprüft wurde (Tab. 2.2). Als Schätzung für die Übereinstimmung der Beurteiler*innen wurde der prozentuale Anteil der Übereinstimmungen an der Gesamtzahl der Codierungen berechnet (Hammann & Jördens 2014). Nachdem 40 % der redigierten Transkripte unabhängig voneinander doppelt codiert wurden (Übereinstimmung der Codierungen: 84,1%), erfolgte eine Überarbeitung des Codier-Leitfadens. Die anschließenden Codierungen lieferten eine Übereinstimmung von 92,4 %.

Neben der Prüfung der Eignung der Aufgaben erfolgten vorläufige Analysen zum konzeptuellen Wissen. Dazu wurden die Aufgaben jeweils mit 1 (korrekt gelöst) und 0 (falsch gelöst) codiert. Berechnet wurde der prozentuale Anteil korrekt gelöster Aufgaben. Der prozentuale Anteil korrekt gelöster Aufgaben entspricht dem Quotienten aus der Anzahl beobachteter

korrekter Antworten (Zähler) dividiert durch die mögliche Anzahl von Antworten (Nenner). Der Nenner ergibt sich aus einer Multiplikation der Anzahl der Aufgaben im jeweiligen Wissensbereich mit der Anzahl der Personen in der jeweiligen Subgruppe. Bei der Auswertung wurden die ökologisch orientierten Aufgaben gesondert betrachtet und die sozio-ökonomisch und institutionell orientierten Aufgaben zusammengefasst.

2.6. Erste Ergebnisse zur Eignung der Aufgaben

Exemplarisch sollen Ergebnisse der Studie Lauten Denkens anhand einer MC-Aufgabe gezeigt werden. Die Aufgabe mit der Frage „Was wird unter dem Begriff der Biodiversität zusammengefasst?“ wurde von neun der zehn Testpersonen korrekt beantwortet (Tab. 2.3). In zwei Fällen konnten die Testpersonen die Wahl des Attraktors korrekt begründen (A1 s. Tab. 2.2 und 2.3). Vier Testpersonen konnten den Attraktor korrekt identifizieren (A2), und bei drei Testpersonen führte ein Raten zur korrekten Wahl (A3) (z. B. „Ich tippe jetzt einfach auf eins, aber ich weiß es wirklich überhaupt nicht.“ [Sarah, 463-478]). Aufgrund 90 % korrekter Antworten ist die Aufgabe möglicherweise zu einfach. Ziel war es daher, die Attraktivität der Distraktoren zu erhöhen. Hierfür liefert die Studie Lauten Denkens geeignete Anknüpfungspunkte: „Also Ökosystemvielfalt würd[e] ich auf jeden Fall sagen, dass das mit drin sein muss. Da würde ja schon nur die erste Antwort bleiben.“ [Daniel, 490-505] und „weil Ökosysteme gehören auch zur Diversität, auf jeden Fall, würd ich jetzt intuitiv so sagen.“ [Luisa, 634-644]. Aufgrund von Probandenäußerungen wurden der zweite und dritte Distraktor um jeweils einen Bereich erweitert (Ökosystemvielfalt bzw. strukturelle Vielfalt, s. Tab. 2.3 kursiv gekennzeichnet). Insgesamt wurden sechs der zehn MC-Aufgaben weiterentwickelt.

Tab. 2.3. Weiterentwicklung von MC-Aufgabe zum konzeptuellen Wissen „Was wird unter dem Begriff der Biodiversität zusammengefasst?“ (grau: Attraktor [korrekt gewählt])

Ursprüngliche Aufgabe		Zugeordnete Kategorien (s. Tab. 2.2)									
a	Artenvielfalt, genetische Vielfalt und Ökosystemvielfalt.	A4	A2	A2	A1	A1	A3	A3	A3	A2	
b	Artenvielfalt und Populationsvielfalt.	D3	D6	D6	D2	D2	D2	D2	D3	D2	
c	Artenvielfalt und genetische Vielfalt.	99	D6	D6	D1	D6	D3	D1	D3	D6	
d	Artenvielfalt, Populationsvielfalt und strukturelle Vielfalt.	D4	D6	D6	D3	D2	D2	D3	D3	D2	
Weiterentwickelte Aufgabe											
a	Artenvielfalt, genetische Vielfalt und Ökosystemvielfalt.										
b	Artenvielfalt, Populationsvielfalt und <i>Ökosystemvielfalt</i> .										
c	Artenvielfalt, <i>strukturelle Vielfalt</i> und genetische Vielfalt.										
d	Artenvielfalt, Populationsvielfalt und strukturelle Vielfalt.										

2.7. Vorläufige Ergebnisse zum konzeptuellen Wissen

Alle im Folgenden präsentierten vorläufigen Ergebnisse zum konzeptuellen Wissen sind zunächst rein deskriptiver Natur – bedingt durch die begrenzte Stichprobe und deren Gruppenzusammensetzungen.

Insgesamt erscheinen die ökologisch orientierten Aufgaben für die Testpersonen der Gesamtstichprobe leichter lösbar als die sozio-ökonomisch bzw. institutionell orientierten Aufgaben (Tab. 2.4). Die Biologie-Studierenden / Studierten des Lehramts lösen durchschnittlich mehr der ökologisch ausgerichteten Aufgaben als die Politik / Wirtschaft-Studierenden / Studierten des Lehramts. Demgegenüber lösen die Politik-Studierenden / Studierten durchschnittlich mehr sozio-ökonomisch bzw. institutionell orientierte Aufgaben als die Biologie-Studierenden / Studierten.

Eine getrennte Betrachtung der beiden Ausbildungsabschnitte ergab, dass die Gruppe der Bachelor- und Masterstudierenden im Durchschnitt weniger ökologisch sowie weniger sozio-ökonomisch bzw. institutionell orientierte Aufgaben korrekt beantworten konnte als die Gruppe der Personen mit abgeschlossenem Lehramtsstudium (Referendare bzw. Personen, die ins Referendariat eintreten, und Promovierende). Bei Betrachtung des Ausbildungsabschnittes ist der Anteil gelöster Aufgaben der Personen mit abgeschlossenem Studium höher als bei den aktuell sich noch im Studium befindlichen Personen.

Tab. 2.4. Prozentualer Anteil korrekt gelöster Aufgaben zum konzeptuellen Wissen (in den Bereichen ökologisch (fünf Aufgaben) sowie sozio-ökonomisch bzw. institutionell (fünf) und über alle zehn Aufgaben (insgesamt))

		Ökologisch	Sozio-ökonomisch bzw. institutionell	Insgesamt
Gesamt	(N=10)	76,0	68,0	72,0
Studiertes Unterrichtsfach				
Biologie	(n=7)	82,9	65,7	74,3
Politik	(n=3)	60,0	73,3	66,7
Ausbildungsabschnitte				
Im Lehramtsstudium	(n=5)	68,0	64,0	66,0
Abgeschlossenes Studium	(n=5)	84,0	72,0	78,0

2.8. Diskussion und Ausblick

Die Durchführung der Studie Lauten Denkens war aufschlussreich, um einen Zugang zur kognitiven Verarbeitung der Aufgaben durch die Testpersonen zu erlangen. Beispielsweise konnten Anhaltspunkte für eine zu geringe Attraktivität von Distraktoren identifiziert werden. Des Weiteren konnten – jenseits der dargestellten Ergebnisse – Distraktoren, die als

offensichtlich falsch wahrgenommen werden, beispielsweise durch Lachen der Testperson oder durch die Aussage „Naja, das ist wohl Quatsch.“ [Christina, 522-555] der Kategorie D5 zugeordnet und anschließend überarbeitet werden. Auch Distraktoren, die nach dem Vorlesen der Aufgabe nicht mehr genannt werden, können für eine Überarbeitung in Betracht gezogen werden, da sie vermutlich direkt ausgeschlossen werden (Kategorie D6). Distraktoren, die von Personen als korrekte Antwort eingestuft wurden, bleiben vorerst für den nächsten quantitativen Schritt in der Messinstrumententwicklung unverändert. Insgesamt lieferte die Studie Lauten Denkens hilfreiche Informationen über die Qualität der Aufgabenentwürfe und Evidenzen, um die Aufgaben weiterzuentwickeln. Die Vorgehensweise bei der Weiterentwicklung wurde an einem Aufgabenbeispiel „Was wird unter dem Begriff der Biodiversität zusammengefasst?“ illustriert (Tab. 2.3).

Folgend werden erste Ergebnisse zur Lösung der entworfenen MC-Aufgaben betrachtet. Bei Koch et al. (2013), die die Wissensbereiche getrennt voneinander betrachten (auch den sozio-ökonomischen und institutionellen Bereich), liegen in einer großen quantitativen Studie teilweise ähnliche Befunde vor: Alle Bereiche des konzeptuellen Wissens erfahren mit Studienfortschritt einen Zuwachs. Im weitesten Studienfortschritt ist das Wissen im ökologischen Bereich am höchsten, etwas geringer im institutionellen und sehr gering im sozio-ökonomischen Bereich. In der vorliegenden Studie kann aufgrund der geringen Anzahl der Items keine differenzierte Aussage zum sozio-ökonomischen und institutionellen Bereich getroffen werden. Zum Einsatz kamen bei Koch et al. (2013) und der vorliegenden Studie strukturell ähnlich angelegte Aufgaben – allerdings mit abweichenden Umweltproblemsituationen als Kontexte. Unterschiede in den beiden Studien können durch unterschiedliche Stichprobenzusammensetzungen, unterschiedliche Schwierigkeiten der Aufgabenzusammenstellungen und Anzahl der Aufgaben für die einzelnen BNE relevanten Bereiche sowie unterschiedliche Schwierigkeiten der Bearbeitungskontexte der Aufgaben erklärt werden.

Bezogen auf die eigene Studie: Die jeweils höheren Lösungsanteile der Biologie-Studierenden im ökologischen und der Politik-Studierenden im sozio-ökonomischen bzw. institutionellen Bereich entsprechen aufgrund der Fächerschwerpunkte im Lehramtsstudium den Erwartungen. Auffällig ist, dass der prozentuale Anteil korrekt gelöster Aufgaben der noch studierenden Testpersonen im ökologischen und im sozio-ökonomischen bzw. institutionellen Bereich ähnlich ist – obschon mehr Biologie- als Politik / Wirtschaft-Studierende in der Stichprobe sind. Bei der Stichprobenzusammensetzung kann ein Selection Bias nicht ausgeschlossen werden, da BNE affine Testpersonen insbesondere in den beiden Subgruppen mit Unterrichtsfach Biologie (Studierende und Studierende) in der Stichprobe möglicherweise überrepräsentiert sind. Der

vergleichsweise höhere Anteil korrekt gelöster Aufgaben bei bereits abgeschlossenem Studium im ökologischen und sozio-ökonomischen bzw. institutionellen Bereich lässt vermuten, dass während des für den Bereich einschlägigen Studiums entsprechendes Wissen erworben wurde. Der vermutete Wissenserwerb dokumentiert sich daher auch in der bereichsübergreifenden Analyse (Insgesamt-Spalte in Tab. 2.4). Der prozentuale Anteil korrekt gelöster Aufgaben bei abgeschlossenem Studium liegt im ökologischen Bereich 16 % im sozio-ökonomischen bzw. institutionellen Bereich jedoch nur 8 % über dem der noch im Studium befindlichen Personen. Das könnte damit zusammenhängen, dass in der Stichprobe der Biologiestudierenden sich eine Person noch im Bachelor befindet (ein Viertel der Subgruppe), während alle anderen Biologie- bzw. Politik / Wirtschaft-Studierenden sich ausschließlich im MoE befinden.

Um weitere Anhaltspunkte für eine Modifikation des Messinstrumentes zu erhalten, erfolgt derzeit eine quantitative Vorstudie mit ca. 100 Testpersonen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der qualitativen (Studie Lauten Denkens) und quantitativen Vorstudien erfolgt eine Weiterentwicklung des Messinstrumentes, bevor es an ca. 300 Lehramtsstudierenden, insbesondere der Fächer Biologie, Erdkunde und Politik / Wirtschaft, im quasi-längsschnittlichen Design der Hauptstudie eingesetzt wird. Da durch zusätzliche Aufgaben zum Thema Klimawandel insgesamt mehr Testaufgaben vorliegen, sollen der ökologische, sozio-ökonomische und institutionelle Bereich zukünftig differenziert betrachtet werden. Zunächst sollen Lernausgangslagen ermittelt werden, um Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Lehrerbildung im Bereich BNE geben zu können. Anschließend soll das Instrument für die Evaluation der Wirkung von Lehrveranstaltungen zu BNE (u.a. der BNE-Zusatzqualifikation im Zertifikat zum Fächerübergreifenden Unterrichten) aufbereitet und eingesetzt werden.

Förderhinweis

Das Schlözer Programm Lehrerbildung wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1617 gefördert.

2.9. Quellenverzeichnis

Bögeholz, S. (2011): Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltiger Entwicklung: Ein Forschungsprogramm. In: Höttecke, D. (Hg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Potsdam 2010. Münster. LIT-Verlag: 32-46.

CBD – Convention on Biological Diversity (1992): The Convention on Biological Diversity. UN Conference on Environment and Development, 5 June 1992, Rio de Janeiro (Brazil).

- de Jong, T., Ferguson-Hessler, M. (1996): Types and qualities of knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 31: 105-113.
- DUK – Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (2014): UNESCO-Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms "Bildung für nachhaltige Entwicklung". Bonn. Deutsche UNESCO-Kommission.
- Ericsson, K. A., Simon, H. A. (1993): Protocol analysis: Verbal reports as data. A Bradford book. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Fiebelkorn, F., Menzel, S. (2013): Student Teachers' Understanding of the Terminology, Distribution, and Loss of Biodiversity. Perspectives from a Biodiversity Hotspot and an Industrialized Country. *Research in Science Education*, 43 (4): 1593-1615.
- Gausmann, E., et al. (2010): Wie verarbeiten Schüler/innen Sachinformationen in Problem- und Entscheidungssituationen Nachhaltiger Entwicklung? *Zeitschrift für Pädagogik*, Beiheft 56: 204-215.
- Gayford, C. (2000): Biodiversity Education: A teacher's perspective. *Environmental Education Research*, 6 (4): 347-361.
- Haefeker, W. (2010): Emsig und am Ende? Bienen und Imker existenziell bedroht – Umdenken in der Landwirtschaft gefordert. In: AgrarBündnis e.V. (Hg.): *Der kritische Agrarbericht 2010*. Konstanz. ABL Verlag: 146-150.
- Hammann, M., Jördens, J. (2014): Offene Aufgaben codieren. In: Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hg.): *Methoden in der naturwissensdidaktischen Forschung*. Heidelberg. Springer Verlag: 169-178.
- Koch, S. (2012): Natural Resource Use Conflicts in Indonesia: A Challenge for Sustainable Development and Education for Sustainable Development. Dissertation, Universität Göttingen.
- Koch, S., et al. (2013): Knowledge of Indonesian University Students on the Sustainable Management of Natural Resources. *Sustainability*, 5: 1443-1460.
- Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015): *Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte*. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Berlin/Leipzig.
- Potts, S. G. et al. (2010): Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25 (6): 345-353.
- Programm Transfer-21 (o. J.): *Programm Transfer-21. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung*. Abschlussbericht des Programmträgers 1. August 2004 bis 31. Juli 2008.

- Siegmund, A., Jahn, M. (2014): Abschlussbericht zur Evaluation „BNE in der Lehramtsausbildung an baden-württembergischen Hochschulen“. Heidelberg: Pädagogische Hochschule Heidelberg.
- Summers, M., et al. (2000): Primary School Teachers' Understanding of Environmental Issues: An interview study. *Environmental Education Research*, 6 (4), 293-312.
- Tscharntke, T., et al. (2005): Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8 (8): 857-874.

3. How to Measure Procedural Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges

Education Sciences 8 (4), doi: 10.3390/educsci8040190

Lisa Richter-Beuschel¹, Ingo Grass² & Susanne Bögeholz¹

¹ Department of Biology Education, University of Goettingen, Waldweg 26, 37073 Goettingen, Germany; sboegeh@gwdg.de

² Department of Agroecology, University of Goettingen, Grisebachstraße 6, 37077 Goettingen, Germany; ingo.grass@agr.uni-goettingen.de

Abstract: To cope with biodiversity and climate change challenges, Education for Sustainable Development (ESD) needs to emphasize knowledge that considers multiple perspectives. Optimizing teacher education requires knowledge about the prerequisites of student teachers. The latter includes content knowledge with respect to Sustainable Development (SD). Apart from situational and conceptual knowledge, procedural knowledge (containing solution strategies) is of special interest, but it is much more difficult to measure. Thus, this study aims at developing a refined procedure to measure SD-relevant procedural knowledge and to define a measure for such knowledge, including a suitable benchmark for its evaluation. As SD-relevant knowledge, the SD challenges biodiversity loss and climate change were focused on. For operationalizing these challenges, the highly relevant contexts insects and pollination and peatland use were chosen. For both SD challenges and contexts, potential solution strategies were identified by a literature review. A procedure was then tested to measure procedural knowledge. The procedure includes a two-round expert survey (Delphi approach) with an in-between think-aloud study with student teachers. The described innovative procedure resulted in a measure (18 items) to assess procedural knowledge of student teachers via effectiveness estimations of provided solution strategies. This measure contains procedural knowledge items that are related to prior presented scenarios regarding the two contexts and a benchmark to evaluate these items. The benchmark derives from the second round of the Delphi study. The procedure and the developed final instrument include expertise from multiple disciplines such as ESD, SD, biodiversity, insect and pollination, climate change and peatland use. The sophisticated procedure can be transferred to challenging measurement developments. Furthermore, the measure provided for SD-relevant knowledge can be applied to other target groups in upper secondary and in higher education within ESD.

Keywords: teacher education; education for sustainable development (ESD); Delphi survey; procedural knowledge; biodiversity; climate change

3.1. Introduction

Sustainable Development (SD) and sustainability are omnipresent concepts in today's world. In nearly all programmatic documents on sustainable development, education is an important component [1]. It is internationally recognized that Education for Sustainable Development (ESD) is a substantial “element of quality education and a key enabler for sustainable development” [2]. ESD should serve to enhance the ability of children and adolescents to participate in establishing SD [1]. “ESD is expected both to make people more aware and better qualified to take part in shaping future developments responsibly and to raise their awareness of the problems related to sustainable development and bring forth innovative contributions to all economic, social, environmental and cultural issues” [3]. In the years 2005 to 2014, the United Nations (UN) Decade of ESD fostered the role of education regarding SD [2]. Also, one of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) addresses education. Goal Four reads, “Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all” [4]. Particularly, the associated “Target 4.7” deals with SD. In the Global Action Programme (GAP) on ESD of UNESCO (2015–2019), the “building capacities of educators and trainers” is one of five priority action areas identified [2]. Therefore, the education of future multipliers is an objective to support SD in a wider range. Because of its potential multiplier effect [5,6], teacher education has a key function in fostering ESD.

Target 4.7: *“By 2030, ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development, including, among others, through education for sustainable development and sustainable lifestyles, human rights, gender equality, promotion of a culture of peace and non-violence, global citizenship and appreciation of cultural diversity and of culture's contribution to sustainable development”* [4].

Despite the UN Decade, teacher training has been insufficient so far. “To date there are hardly any structural changes in teacher education and training, and there is a need for development in the school structures and curricular requirements in order to promote the ESD concept” [6]. There are several initiatives to promote ESD in teacher education. There are joint networks for teacher education promoting ESD around the world (e.g., the United States Teacher Education for Sustainable Development Network [7], the Teacher Education for Equity and Sustainability Network (TEESnet) in the UK, and the German-speaking network Teacher Education for a Sustainable Development (LeNa) [8]).

3.1.1. Teacher Education and Knowledge relevant for ESD

Regarding teacher education, professional action competence is crucial for successful teaching [9,10] and can decisively impact ESD [11]. Professional action competence is composed of

professional knowledge along with motivational, volitional, and social willingness and skills [12]. Professional knowledge can be divided into content knowledge (CK), pedagogical content knowledge (PCK), and pedagogical knowledge (PK) (cf. [9,13]). Based on Shulman [13], Baumert and Kunter [9] developed a competence model for mathematics, which was adapted for ESD by Hellberg-Rode, Schrüfer and Hemmer (cf. [14,15]). Cognitive competencies, which teachers are supposed to be equipped with, regarding ESD could be extracted in an expert study. Thirty-eight percentage points of these competencies were assigned to CK, 23% to PCK, and 19% to PK. Therefore, CK plays a critical role regarding ESD and should be focused on in this contribution.

To optimize ESD in teacher education, knowledge about the prerequisites for teachers facing SD challenges is essential [16]. Kaiser and Fuhrer [17] complain about the often undifferentiated measurement of knowledge which may result in underestimating the role of knowledge (cf. [17,18]). In the literature, there exists a variety of knowledge classifications (e.g., [19,20]). A common distinction is made between know-that/what (declarative, conceptual knowledge) and know-how (procedural, strategic knowledge) [21–23]. Challenges of SD are often situations of high complexity with conflicts between different legitimate objectives, e.g., ecological, economic, social, and/or institutional perspectives. Therefore, solving problems is crucial for coping with SD challenges. The knowledge model of de Jong and Ferguson-Hessler [23] explicitly focuses on problem-solving and thus on knowledge-in-use. The model defines four types of knowledge: situational, conceptual, procedural, and strategic knowledge [23]. Situational knowledge comprises the knowledge about domain-specific situations. For example, this knowledge allows extracting relevant information from a given problem description and adding further information [23]. Conceptual knowledge contains “concepts, facts and principles that apply within a certain domain” [23]. It allows the problem solver to change the state of the problem. Procedural knowledge comprises actions that are suitable to certain types of problems in the specific domain [23]. Strategic knowledge comprises the sequential action steps which are necessary to solve a problem and is “applicable to a wider variety of types of problems within a domain” [23]. Other authors often do not distinguish between procedural and strategic knowledge, but rather include the step-by-step actions for problem-solving in the term procedural knowledge [19,24–26].

The model of de Jong and Ferguson-Hessler [23] turned out to be well applicable for measuring knowledge in the domain of SD. For example, the model was picked up to determine the knowledge of Indonesian university students concerning resource use problems [23,27]. With the developed measurement instrument, situational, conceptual, and procedural knowledge

(according to de Jong and Fergusson-Hessler [23]) were recorded ($n = 882$) [27]. Situational and conceptual knowledge were measured by multiple-choice items. The single items focused mainly on ecological, socio-economic or institutional questions [27]. For answering questions on situational knowledge, information from problem descriptions, presented as scenarios, had to be extracted and complemented. For answering questions on conceptual knowledge, knowledge about concepts and facts had to be applied.

In contrast to situational and conceptual knowledge, the different nature of procedural knowledge in the ESD domain requires one to consider core features of the concept of SD. Instead of clear (more discipline-focused) solutions like for situational and conceptual knowledge, different perspectives such as economic, ecological, institutional, and social factors have to be taken into account simultaneously [28] when evaluating a solution strategy. Procedural knowledge is described as “the cognitive skill of identifying and judging potential solutions (‘strategies’)” [27] of environmental problems.

For being able to evaluate procedural knowledge of students in higher education, Koch et al. [27] conducted an expert study ($n = 9$) to establish a benchmark. The expert benchmark allowed them to judge the student answers concerning procedural knowledge items. The benchmark resulted from a single expert survey. The procedural knowledge items of the benchmark were developed by the authors without integrating further considerations and suggestions on problem-solving strategies of the experts. Thus, the procedure for benchmark development can be improved with respect to more intensively incorporating the expertise of the participants. Koch et al. [27] showed how to measure knowledge for typical Indonesian resource use dilemmas, such as rattan extraction from the rainforest or dynamite fishing, in higher education in Indonesia. The study demonstrated substantial gaps in the students’ ability to solve complex environmental problems [27].

For European teacher education and even teacher education in other continents, the Indonesia-related resource use dilemmas are not of similar relevance as they are for education in Indonesia. Therefore, this contribution focuses on challenges of SD relevant on a global scale: biodiversity loss and climate change [29]. Both are implied in the ESD goals. Several studies reported that science teachers show large deficits in their biodiversity-related knowledge [16,30–33]. For example, biology student teachers are unaware of the core facets attached to biodiversity, such as its sustainable use [33]. Furthermore, student teachers’ understanding of “the terminology, distribution, and loss of biodiversity” [16] does not equate with scientific understanding. Studies with teachers, pre-service teachers, and student teachers also revealed gaps in knowledge and understanding, e.g., misconceptions of the greenhouse effect and (the

causes of) global warming [32,34–36]. However, knowing the concepts of biodiversity and climate change, with the complex relations between ecological, social, and economic factors, is crucial for ESD. Thus, the ability to change perspectives is an indispensable ESD-specific competence [15,37–39] and highly important for procedural knowledge in the domain of SD [27]. However, interdisciplinary approaches to face controversial SD challenges are hardly implemented in science courses (cf. [40]).

3.1.2. SD Challenges Biodiversity Loss and Climate Change and the Corresponding Fields of Action

For the SD challenges biodiversity loss and climate change, there are many possible contexts. In the following section, an up-to-date, highly socially relevant and exemplary context concerning local and global biodiversity is described: insects and pollination. Second, a context with noteworthy impact on climate change is exemplified: use of peatlands.

Numerous crops and wild plants depend on insects as pollinators, particularly bees. Besides domesticated pollinators (honeybees), wild pollinator populations play an important role [41]. Seventy-five percent of leading global food crops rely on animal pollination. In total, 35% of global production depends on pollinators [42]. The global economic value of insect pollination amounts to about €153 billion per year [43]. In the last few decades, managed honeybee populations, as well as wild pollinators and plants that depend on their pollination services, declined [41,44]. A combination of different factors may be the cause of these declines: land use intensification with loss and fragmentation of habitats in agricultural landscapes [45,46], improper use of plant protection products, particularly neonicotinoids [44,47–49], and diseases or parasites like the Varroa mite [50].

In Europe, over the last century, 52% of total peatland area has been converted for agriculture, forestry, and peat extraction [51]. Peatlands influence the global climate system, particularly through carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄), and less through nitrous oxide (N₂O) [52]. Because they accumulate more carbon through photosynthesis than they release through respiration, most uncultivated peatlands are sinks for atmospheric CO₂ [51]. Simultaneously, most peatlands emit the powerful greenhouse gas methane (CH₄), caused by the wet conditions [51]. The most accumulation of peat occurred within the past 10,000–20,000 years [52]. Land use activities like agriculture and peat extraction for potting soil require drainage of the peatland. Consequences of drainage include enhanced decomposition of peat, the generation of CO₂ and N₂O emissions and reduced CH₄ emissions [52].

Thus, insects and pollination and peatland use are major contexts within the SD challenges biodiversity loss and climate change. It is common practice in current research, e.g., on

knowledge [27] or on socio-scientific reasoning [53], to incorporate two socio-scientific issues (rattan extraction and dynamite fishing in [27], land use management issue and fracking in [53]) to assess the respective competencies. To measure the constructs to be investigated, independent from prior knowledge, problem descriptions are provided in the form of scenarios. This is conventional in competence research, e.g., in Programme for International Student Assessment (PISA) [54].

Recently, measures for situational and conceptual SD-related knowledge have been developed for the following contexts: insects and pollination and peatland use [55–57]. To complete the SD knowledge measurement instrument in the domain of SD, a measure for crucial procedural knowledge is still lacking. The term “measure” is used for clearly distinguishing from the term “measurement instrument”, which additionally includes situational and conceptual knowledge. Therefore, the core research question is: how can interdisciplinary SD-related procedural knowledge of student teachers be measured? The overall study aims to:

- (i) refine a procedure to measure procedural knowledge of student teachers for coping with SD challenges and thereby,
- (ii) define a measure for such knowledge and a benchmark for its evaluation.

3.2. Methods

In the following section, the methodological approaches for developing a procedure to measure SD-relevant procedural knowledge of student teachers will be presented. In the current project, procedural knowledge refers to the domain of SD. Procedural knowledge equates with the cognitive skill to solve certain SD-related problems (cf. [23]). Therefore, considering and weighing different perspectives is necessary.

The development of a measurement instrument for SD-related knowledge of student teachers considers the contexts of insects and pollination and peatland use. Both are complex environmental problems requiring an interdisciplinary and/or multidisciplinary perspective. According to common practices [27,53], two scenarios of the real-world problem (one for each context) are given. They form the basis for evaluating situational, conceptual and, presented in this study, procedural knowledge. One scenario deals with a large bee colony loss in Germany in 2008 [49]. The second context deals with the agricultural and industrial use of peatlands. The scenarios (abbreviated and slightly modified) are printed in Appendices A and B.

With respect to developing the measure for procedural knowledge, the following steps have been conducted: first, a literature review was performed to gather proposed solution strategies for SD challenges. Second, a two-round Delphi study was realized (cf. [58]). The Delphi procedure was enriched by an intermediate think-aloud study with student teachers (Figure 3.1).

Before answering the questionnaire regarding solution strategies for both contexts, the students received the above-mentioned corresponding scenarios. The latter was not given to the experts. It was assumed that experts possessed such knowledge. The whole procedure serves to develop sets of potential solution strategies that are literature based, reviewed by experts and accessible to the understanding of student teachers. The elaborate procedure will result in a measure for a survey on SD-relevant procedural knowledge of student teachers (Figure 3.1).

According to common practice (cf. [27,53]) two contexts were chosen to operationalize procedural knowledge: insects and pollination and peatland use. The solution strategies proposed in the items require interdisciplinary considerations that integrate environmental, socio-economic, and institutional issues. To broadly cover both exemplified SD challenges, items were deduced from eight overarching topics: environmental policy, ensuring the diversity of species, sustainable management, and ESD (see Section 3.3) [58].

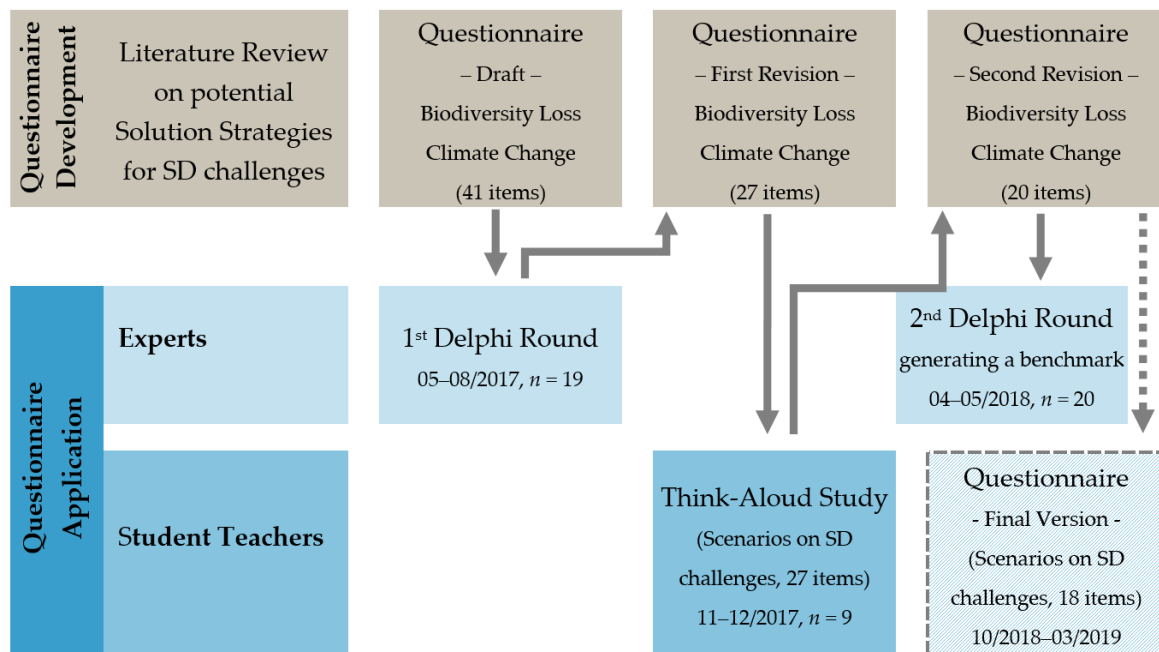


Figure 3.1. Procedure for developing a measure for procedural knowledge exemplified for solution strategies regarding Sustainable Development (SD) challenges.

During the process of questionnaire development (Figure 3.1), a special questionnaire format was used. In the Delphi survey, the experts were asked to rate the effectiveness of given solution strategies on a four-point Likert scale, from “ineffective” to “very effective”. Each solution strategy was rated for three essential fields of action. For the insect and pollination context, the solution strategies were estimated concerning: (i) realization of sustainable land use, (ii) provision of ecosystem services, and (iii) biodiversity conservation. For the peatland use context, the solution strategies were equally reviewed regarding (i) and (ii), whereas (iii) consisted of the contribution to climate protection (Figure 3.2). Each expert had to rate

effectiveness in both contexts. In addition to the three answers per solution strategy, the experts gave information about how certain they were about their effectiveness estimations on a four-point Likert scale, from “absolutely uncertain” to “very certain” (Figure 3.2). The evaluation of subjective certainty of estimations is a characteristic of Delphi surveys [59,60].

Imagine that the solution strategies listed beneath would be realized.																
How effective do you rate them?																
Effectiveness regarding realization of sustainable land use?				... provision of ecosystem services?				... conservation of biodiversity? ¹ ... contribution to climate protection ²				How certain are you about your three estimations?			
Solution strategies:	Ineffective		Very effective		Ineffective		Very effective		Ineffective		Very effective		Absolutely uncertain	Very certain		
IP-2 Individuals ask in petitions to introduce bee-friendly laws.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⋮																
PU-1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
⋮																

Figure 3.2. Assessment of procedural knowledge (¹ = insect and pollination context; ² = peatland use context; IP = solution strategies for insect and pollination context; PU = solution strategies for peatland use context; ⋮ = the same applies to the other solution strategies of these contexts).

In addition to the procedural knowledge assessment, the experts were asked to self-assess their knowledge regarding eight topics: biodiversity, bees and pollination, climate change, the importance of peatlands, sustainable development, sustainable land use, environmental policy, and ecosystem services. The experts could choose “unsatisfactory”, “satisfactory”, “good”, “very good”, or “excellent”. Each expert answered the questions once, even if they participated in both rounds. The entire procedure was conducted in German.

3.2.1. Sample Composition

Experts from different disciplines were invited to participate in the Delphi survey. Potential participants had expertise as scientists in subjects such as teacher education, biology, climatology, or agricultural sciences. The final participant list included 15 professors, four postdoctoral scientists and four persons with unknown academic degrees. They came from nine German universities as well as from four non-university institutions (Table 3.1). All participants were people who deal with ESD, biodiversity, climate change or real-world problems of insects and pollination and peatland use in a wide range of fields.

For the first Delphi round, 27 experts were invited to participate. Among them, 19 answered the questionnaire in time (five female, 13 male, one not stated). The average age of the experts

was 46.6 years (standard deviation (SD): 9.3). In the second Delphi round, 30 experts were invited, and 21 answered the questionnaire in the given deadline (five female, 15 male, one not stated). One person was subsequently excluded because of a lack of expertise (youngest scientific age and high self-assessment in contrast to the other experts). One person of the remaining experts only answered the peatland use context items. The average age of the 20 experts was 50.4 years (SD: 8.7). Three persons were between 31 and 40 years of age, nine were between 41 and 50 years, five were between 51 and 60 years, and three were older than 60 years. Sixteen of the 20 persons also participated in the first Delphi round. Table 3.1 displays the sample compositions with all participants of the first and second Delphi round. All experts of both Delphi rounds participated without any expense allowance.

Table 3.1. Sample composition of the Delphi survey.

	Working Areas (Age Groups)
University	ESD—Geography Education (41–50), Geography Education (41–50), Geography Education (41–50), Biology Education (41–50), Biology and Geography Education (51–60), Science Education (31–40), Political Science Education (41–50)
	Biology (51–60) ² , Plant Ecology (>60) ² , Paleoecology and Botany (51–60)
	Peatlands and Paleoecology (>60) ² , Climatology (41–50)
	Soil Science (51–60), Agroecology (21–30) ^{1, -2} , Agroecology (31–40), Agroecology (>60) ² , Agricultural Economics (41–50)
	Human Geography—Sustainable Resource Use (51–60)
	Risk and Sustainability Research (41–50)
Non-university Institutions	Research Institute: Greenhouse gas emissions of organic soils, policy advice in the field of climate-friendly use of organic soil (31–40)
	Professional Association: Representative of beekeepers (>60) ¹
	Ministry of Environment: Conservation management (peatland protection) (41–50), protection of species (31–40) ¹

ESD = Education for Sustainable Development; ¹ these experts participated in the first Delphi round only; ² these experts participated in second Delphi round only; ⁻² excluded in the second Delphi round.

The think-aloud study was conducted with nine student teachers: one bachelor and two masters students in biology, two bachelors and one masters student in geography, and two bachelors students and one student after his studies in political science.

3.2.2. Delphi Survey First Round

Based on the literature review, 41 solution strategies (Likert scale items) for insects and pollination (21 items) and for peatland use (20 items) were identified [58]. Apart from estimating effectiveness in the three essential fields of action and the certainty of the effectiveness, the experts had the opportunity to comment on the solution strategies and make suggestions for further solution strategies in an open-ended format. The qualitative data generated by comments and suggestions were analyzed through qualitative content analysis according to Mayring [58,61]. This analysis resulted in clarifying and optimizing items and determining further new

solution strategies. Two items concerning agricultural subsidies originated from suggestions made by the experts in the first Delphi round (IP-8 and PU-10, see Section 3.3).

The processing time of the questionnaire with all of its elements (estimations of effectiveness, estimation of certainty, comments, suggestions for solution strategies, and self-assessed knowledge) amounted to a maximum of 45 minutes. For the quantitative analysis, Excel (Microsoft Office Professional Plus 2013) was used. Statistical measures like means, medians and standard deviations were calculated with the quantitative data. Medians and percentage distribution within the response categories were used for providing graphically documented results to the participants of the second Delphi round (Figure 3.3). In some cases, two boxes were marked for one rating scale. Instead of excluding these answers, it was assumed that the experts wished to have a scale with higher resolution. Therefore, the neighboring values were averaged.

Taking into account: (i) the results of analyzing the items from the questionnaire draft, (ii) the item difficulties, (iii) the comments and suggestions from the experts, and (iv) the representation of the eight overarching topics, a first revised version of the questionnaire with 27 items was created (Figure 3.1). These 27 items cover 14 items in the insects and pollination context and 13 items in the peatland use context.

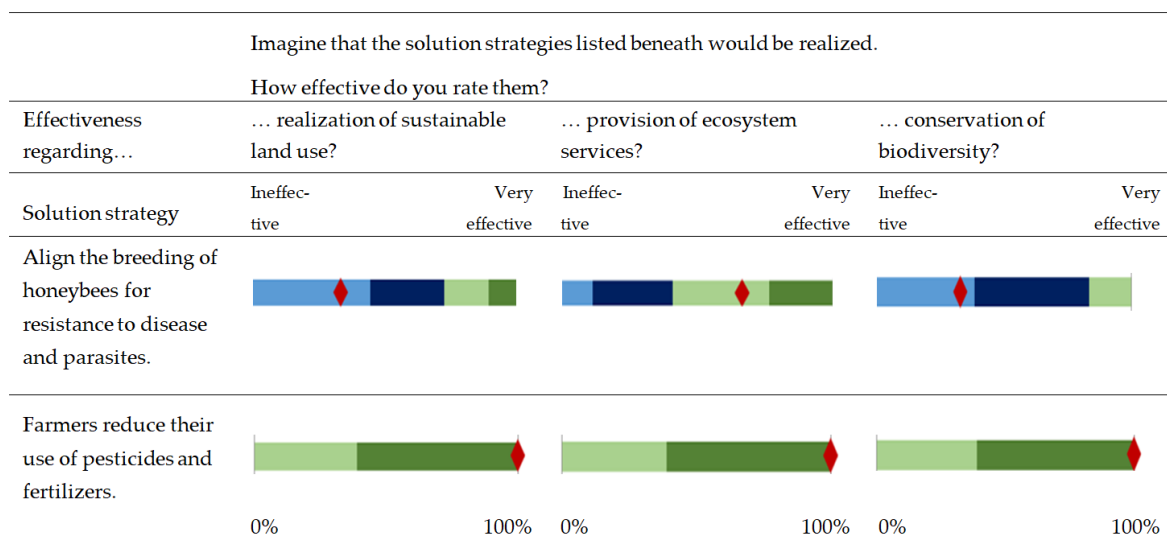


Figure 3.3. Examples of graphically processed results of quantitative data (percentage distribution and median) of two items of the insects and pollination context of the first Delphi round (ineffective to very effective: ; median:).

3.2.3. Think-aloud Study with Student Teachers

To develop a procedural knowledge test for teacher education purposes, the procedure requires testing with (prospective) teachers. Therefore, a think-aloud study was performed with nine student teachers (Figure 3.1; for the method, see [62]) with the first revised version of the questionnaire (27 solution strategies; Figure 3.1). The think-aloud method is well suited to

checking how items are perceived by subjects and a common method of item validation [63]. The think-aloud protocols were transcribed and analyzed through qualitative content analysis according to Mayring [61,64].

Like the experts, the students assessed the effectiveness of solution strategies on a four-point Likert scale in three fields of action: (i) realization of sustainable land use, (ii) provision of ecosystem services, and (iii) biodiversity conservation in the insect and pollination context or contribution to climate protection in the peatland use context (Figure 3.2). In contrast to the experts, the students received background information on two scenarios of real-world problems before answering the questionnaire (Appendices A and B). The objective was to establish a homogeneous knowledge base on which procedural knowledge could be assessed.

The aim of the think-aloud study was to adapt the questionnaire material for student teachers. Thus, problems concerning the two scenarios, the corresponding solution strategies (items), and the three fields of action were identified. Problems in understanding items led to rewording of those items, e.g., several items were linguistically simplified. Sometimes, a supplement in the sentence was added to make the strategy presented more understandable for student teachers. For example, in the solution strategy “The government provides financial incentives for using bee-friendly bloomers as biomass in biogas power stations”, the phrase “as biomass” was appended after the think-aloud study. Several students were confused with the former formulation, e.g., Sandra mentioned, “I do not know if biogas power plants [...] are the areas where plants are grown that produce biogas? I have no idea at all” (134–136, translated from German). In addition to item revision and optimization, the think-aloud study provided indications for the potential removal of items, as we were aiming for a short measure of 20 items broadly covering both contexts. Furthermore, the think-aloud study revealed a need to explain the meanings of “sustainable land use”, “ecosystem services”, and “biodiversity” for student teachers. This resulted in editing a supplementary informational sheet containing brief definitions of these terms.

3.2.4. Delphi Survey Second Round

Controlled feedback and statistical aggregation of all participating experts from the first round responses are key characteristics of a Delphi survey [65]. Therefore, in the second Delphi round, the experts received the graphically processed results of the first Delphi round, the supplementary information sheet containing the requested definitions of fields of action, and the second revised and condensed version of the questionnaire (20 items, Figure 3.1). Ten items addressed solution strategies for insects and pollination and 10 items addressed solution strategies for peatland use. Again, the experts had to assess these strategies regarding their effectiveness concerning the three fields of action and indicate their certainty of their effectiveness

assessment, as in the first round (Figure 3.2). The processing time of the questionnaire took 15 to 20 minutes. The latter was due to the reduced item number, no further requested comments or suggestions and the self-assessment of knowledge was only necessary for those who did not participate in the first round.

The processing of the quantitative data of the second Delphi round finally aimed at establishing a benchmark for being able to evaluate procedural knowledge of student teachers. For the quantitative analysis, IBM SPSS Statistics 24 and Excel (Microsoft Office Professional Plus 2013) were used. The four-point Likert scales for effectiveness were coded from 1 (ineffective) to 4 (very effective). Like in the first Delphi round, if two boxes were marked, the neighboring values were averaged. Because of the two different contexts and due to differing expertise, the experts' answers were weighted with the given certainty [66] for more reliable results. Therefore, the function "weight cases" in SPSS was used. With the weighted values, means and standard deviations were calculated. These statistics were calculated separately into the three fields of action. Additionally, these measures were calculated for each solution strategy across the three fields of action. We call this the "total weighted effectivity with respect to SD challenge", or in short version "SD effectivity".

For each of the three fields of action, a reliability analysis was performed with the expert data on effectiveness estimations. Because of a lack of procedure in SPSS to weigh the items with different variables, the unweighted values were used for the analyses. In addition, a reliability analysis with weighting over averaged certainty estimation was performed. Cronbach's alpha was computed across the 10 solution strategies for insects and pollination and peatland use and separated according to the three fields of action. Furthermore, analyses of significant differences between the fields of action of each solution strategy were tested by repeated measures ANOVA (rmANOVA) with unweighted values. To check the validity of the expert data, the experts' self-assessment of knowledge was correlated with their averaged certainty for each context. Due to the data being not normally distributed, Spearman's rho (r_s) was used for correlation analysis.

3.3. Results

Considering the quantitative data of the second Delphi round is essential for generating a benchmark for assessing procedural knowledge. Looking at the SD effectivity of the insects and pollination context, effectiveness corrected by certainty estimations (weighted) ranges from 2.21 to 3.71 (Table 3.2). The range of weighted effectiveness for the 10 items of peatland use is from 2.54 to 3.50 (Table 3.3). The mean SD effectivity across all solution strategies of each context amounts to 3.01 for insects and pollination and 3.01 for peatland use, too.

Table 3.2. Weighted effectiveness estimations of solution strategies regarding the insects and pollination context (M: mean; SD: standard deviation) for total weighted effectivity with respect to SD challenge (“SD effectivity”) and separated into three fields of action ($n = 19$).

Solution Strategies Regarding Insects and Pollination	SD Effectivity (Mean Across Fields of Action)		Fields of Action						Overarching Topic
	M	SD	Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Biodiversity Conservation		
			M	SD	M	SD	M	SD	
IP-1 Align the breeding of honeybees for resistance to disease and parasites.	2.21	0.55	1.87	0.85	2.85	0.70	1.91	0.76	Research for sustainable development
IP-2 Individuals ask in petitions to introduce bee-friendly laws.	2.23	0.71	2.14	0.82	2.24	0.78	2.31	0.85	Environmental policy
IP-3 Include contents of pollinator respective bee-related problems in curricula for schools, environment-related vocational training, and university studies.	2.54	1.00	2.25	1.03	2.41	1.09	2.69	0.97	Education for sustainable development
IP-4 The government provides financial incentives for using bee-friendly bloomers as biomass in biogas power stations.	2.71	0.74	2.68	0.96	2.68	0.69	2.77	0.66	Agricultural policy
IP-5 Support pollinator-friendly agriculture by purchasing ecologically produced products.	2.93	0.71	2.88	0.68	3.00	0.78	2.93	0.85	Sustainable consumption
IP-6 The legislator prohibits application of neonicotinoids.	3.11	0.82	3.03	1.04	3.03	0.81	3.27	0.81	Environmental/agricultural policy
IP-7 Farmers reduce their use of pesticides and fertilizers.	3.48	0.56	3.56	0.60	3.31	0.66	3.58	0.68	Sustainable production
IP-8 Realign agricultural subsidies to stop promoting conventional and intensive agriculture.	3.55	0.42	3.77	0.44	3.42	0.60	3.47	0.52	Agricultural policy, sustainable production
IP-9 Design a cultural landscape to serve pollinators as food source and habitat.	3.62	0.37	3.60	0.51	3.42	0.60	3.85	0.37	Sustainable management, diversity of species
IP-10 Strengthen the protection of wild bees and other pollinating insects.	3.71	0.51	3.49	0.88	3.78	0.43	3.86	0.36	Diversity of species, sustainable management/production, environmental policy

Lowest effectiveness, highest effectiveness, IP-6 to be excluded for the benchmark for evaluating student teacher knowledge (for explanation see Section 3.4).

The standard deviation in the insects and pollination context is about 0.10 lower (0.64) than in the peatland use context (0.74). The means and standard deviations of the individual fields of action are shown in Tables 3.2 and 3.3. The solution strategies are presented in ascending order with respect to weighted effectiveness.

Table 3.3. Weighted effectiveness estimations of solution strategies regarding peatland use context (M: mean, SD: standard deviation) for total weighted effectivity with respect to SD challenge (“SD effectivity”) and separated into the three fields of action ($n = 20$).

Solution Strategies Regarding Peatland Use	SD Effectivity (Mean Across Fields of Action)		Fields of Action						Overarching Topic
			Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Climate Protection		
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
PU-1 After rewetting of intensively agricultural used peatlands, farmers grow moisture-loving plants, e.g., reed.	2.54	0.81	2.75	0.96	2.19	0.91	2.69	0.92	Sustainable management/production
PU-2 Individuals purchase products only from sustainable peat extraction.	2.69	0.87	2.78	0.95	2.61	0.88	2.69	0.96	Sustainable consumption
PU-3 Inform the public more intensively about the important role of peatlands, e.g., via media or educational projects.	2.70	0.75	2.75	0.71	2.57	0.85	2.78	0.86	Education for sustainable development
PU-4 Allow companies to incorporate CO ₂ savings from peatland conservation into the EU emissions trading.	2.97	0.69	3.11	0.80	2.88	0.82	2.92	0.68	Environmental policy
PU-5 Investigate cultivation methods that preserve peatlands to apply them on agricultural-used peatlands.	2.98	0.55	3.09	0.67	2.91	0.64	2.94	0.60	Research for SD, sustainable management
PU-6 Cultivate peatlands without fertilizers and pesticides.	2.98	0.92	3.20	0.92	3.08	0.87	2.67	1.20	Sustainable production
PU-7 Raise the water level of dehydrated peatlands to the water level of intact, near-nature peatlands.	3.23	0.62	3.08	0.82	3.13	0.87	3.48	0.77	Sustainable management
PU-8 Intensify the investigation of regenerative peat substitutes.	3.26	0.71	3.34	0.69	3.13	0.86	3.31	0.76	Research for sustainable development
PU-9 Apply existing laws- stricter, e.g., prohibit the converting of grassland into maize cultivation.	3.27	0.69	3.50	0.71	3.28	0.65	3.03	0.97	Agricultural policy
PU-10 Provide agricultural subsidies only for sustainably managed peatlands.	3.50	0.64	3.64	0.64	3.39	0.72	3.47	0.71	Environmental policy

Lowest effectiveness, highest effectiveness, PU-2 to be excluded for the benchmark for evaluating student teacher knowledge (for explanation see Section 3.4).

In contrast to the presented results of weighted effectivity estimations, the following data analyses are conducted with unweighted effectivity estimations (see Section 3.2.4)—if not indicated otherwise. In the following table, differences between the means of the single fields of action of sustainable land use, ecosystem services, and biodiversity conservation or climate protection are presented. The repeated measures ANOVA (partially with a Greenhouse–Geisser correction because of a lack of sphericity) reveals five statistically significant differences in solution strategies for the insects and pollination context and two for peatland use (Table 3.4). The respective effect sizes (partial η^2) indicate large effects (Table 3.4; $\geq 0.01 - < 0.06$: small, $\geq 0.06 - < 0.14$: moderate, ≥ 0.14 : large, cf. [67]). Also, four solution strategies show tendencies

(≤ 0.10) (Table 3.4). The Bonferroni-adjusted post hoc analysis revealed eight statistically significant differences between the fields of action (marked in Figures 3.4 and 3.5, cf. Appendix C).

Table 3.4. Differences in the effectivity estimations of solution strategies for insects and pollination and peatland use contexts using repeated measures (rm) ANOVA.

Insects and Pollination				Peatland Use			
Item	rmANOVA	<i>p</i>	Partial η^2	Item	rmANOVA	<i>p</i>	Partial η^2
IP-1	F (2, 36) = 11.73	0.001	0.395	PU-1 ¹	F (1.47, 26.36) = 3.23	0.069	0.152
IP-2 ¹	F (1.33, 24.00) = 0.262	0.681	0.014	PU-2 ¹	F (1.47, 26.52) = 0.869	0.400	0.046
IP-3	F (2, 36) = 3.60	0.038	0.167	PU-3	F (2, 38) = 2.08	0.139	0.099
IP-4 ¹	F (1.47, 26.48) = 0.655	0.483	0.035	PU-4	F (2, 38) = 0.903	0.414	0.045
IP-5	F (2, 36) = 0.486	0.619	0.026	PU-5 ¹	F (1.55, 29.44) = 0.719	0.462	0.036
IP-6	F (2, 36) = 2.22	0.124	0.110	PU-6	F (2, 38) = 7.39	0.002	0.280
IP-7	F (2, 36) = 2.73	0.079	0.132	PU-7 ¹	F (1.45, 27.55) = 2.06	0.156	0.098
IP-8	F (2, 36) = 5.27	0.010	0.226	PU-8	F (2, 36) = 2.52	0.095	0.123
IP-9	F (2, 36) = 5.90	0.006	0.247	PU-9	F (2, 38) = 5.47	0.008	0.224
IP-10	F (2, 36) = 5.85	0.006	0.245	PU-10 ¹	F (1.38, 26.15) = 2.87	0.091	0.131

F(df, df_{error}) = F-value, ¹ Greenhouse–Geisser correction.

For the insects and pollination context, the item “Align the breeding of honeybees for resistance to disease and parasites” (IP-1) is rated to be more effective for ecosystem services than for the realization of sustainable land use and biodiversity conservation (Figure 3.4). The item “Realign agricultural subsidies to stop promoting conventional and intensive agriculture” (IM-8) is rated to be more effective concerning sustainable land use than the provision of ecosystem services and biodiversity conservation. The item “Design a cultural landscape to serve pollinators as food source and habitat” (IP-9) is rated to be more effective in biodiversity conservation than in ecosystem services. In contrast, the item “Strengthen the protection of wild bees and other pollinating insects” (IP-10) does not differ between biodiversity conservation and ecosystem services. However, IP-10 is rated more effective for biodiversity conservation than for sustainable land use, which does not account for IP-9 (Figure 3.4).

For the peatland use context, the items “Cultivate peatlands without fertilizers and pesticides” (PU-6) and “Apply existing laws stricter, e.g., prohibit the converting of grassland into maize cultivation” (PU-9) are rated to be more effective in sustainable land use than in climate protection (Figure 3.5).

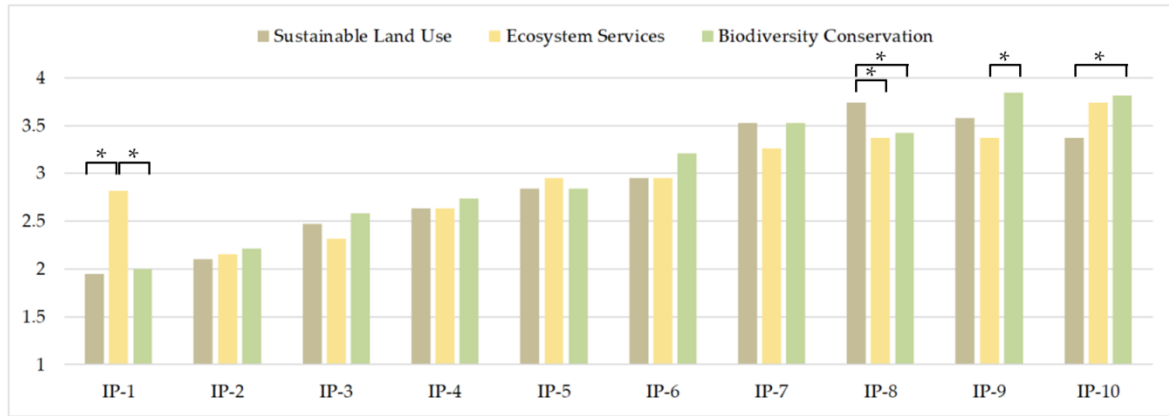


Figure 3.4. Means of solution strategies regarding the insect and pollination context (unweighted effectivity estimations). * = significant differences between the fields of action.

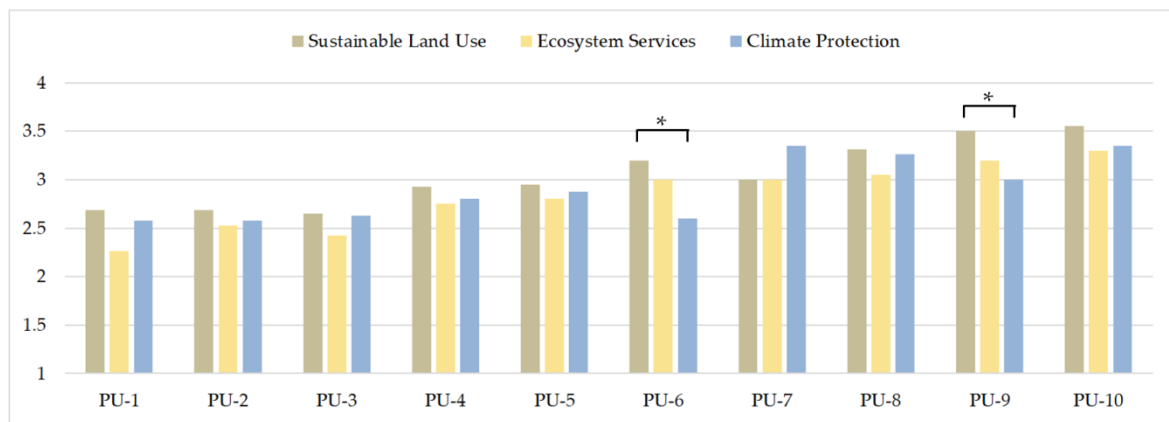


Figure 3.5. Means of solution strategies regarding the peatland use context (unweighted effectivity estimations). * = significant differences between the fields of action.

In short, the results in the essential fields of action of sustainable land use, ecosystem services, and biodiversity conservation or climate protection differ partly. Thus, the individual consideration provides more information than the SD effectivity.

Reliabilities were calculated with unweighted effectivity estimations for consistency of data analysis. Cronbach’s α values for the insects and pollination context indicate satisfactory (biodiversity conservation = 0.758) to high reliabilities regarding fields of action (sustainable land use = 0.838, and ecosystem services = 0.887) (Table 3.5). In the peatland use context, the reliability of the fields of action ecosystem services and climate protection is acceptable (0.763 and 0.764, respectively); the reliability of sustainable land use is relatively low (0.572). The reliability over both contexts in sustainable land use (0.852) and ecosystem services (0.906) indicate reliable scales (cf. [68]). For the reliability analyses, a weighting with the averaged certainty of the 10 solution strategies per context is a feasible procedure. The results differ by less than 0.01 from the reported values—except for the peatland use context (see Cronbach’s α values in brackets in Table 3.5 with, e.g., 0.633 instead of 0.572 for sustainable land use).

Table 3.5. Reliability of the scales with unweighted effectivity estimations of solution strategies ($n = 20$).

	Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Biodiversity Conservation		Climate Protection	
Insects and pollination	0.838	0.800 *	0.887	0.874 *	0.758	0.734 *		
Peatland use	0.572 (0.633)	0.456 * (0.513) *	0.763	0.727 * (0.714) *			0.764 (0.780)	0.726 *
Both contexts	0.852	0.810 *	0.906	0.889 *				

* = without item IP-6 or PU-2; brackets = reliability analyses weighted by averaged certainty, only reported if deviation $> \pm 0.01$.

For validation purposes, the certainty of estimations in the two contexts from the experts was correlated with their fitting self-assessed knowledge. Therefore, special variables were computed. Regarding the insects and pollination context, the mean of a variable combining self-assessed knowledge on biodiversity, bees and pollination, and sustainable development was calculated and correlated with the averaged certainty about all 10 solution strategies. The correlation is large and statistically significant ($r_s = 0.73$, $p < 0.001$; $r > 0.5$: large (cf. [68])). A large effect and significance could also be identified for the correlation of averaged certainty about all 10 solution strategy items from the peatland use context, with the mean of a variable consisting of self-assessment concerning the importance of peatlands, climate change, and sustainable development ($r_s = 0.53$, $p = 0.016$). Thus, participants who assessed their knowledge as lower seemed to be less confident in answering the corresponding solution strategies. The results underline the validity of the expert certainty estimations.

3.4. Discussion

Here we present a refined procedure to measure procedural knowledge with a multi-level Delphi approach. The two-round Delphi survey with an intermediate think-aloud study enabled us to develop a measure for procedural knowledge including a benchmark to evaluate such knowledge of student teachers in the future.

The procedure consisted of using solution strategies for SD challenges according to the literature [58], estimations of such solution strategies and further suggestions from experts in the first Delphi round and item revisions due to the results of a think-aloud study with student teachers. The resulting measure contains 20 items reflecting the SD challenges of biodiversity loss and climate change. In the second Delphi round, the 20 solution strategies were estimated concerning effectivity with respect to three fields of action. Furthermore, the certainty of three effectivity estimations per solution strategy item was judged by the experts.

Regarding the sample composition of the Delphi study, experts from a broad range of expertise throughout Germany participated (Table 3.1). In addition, non-university experts

contributed (e.g., from the Ministry of Environment and from a research institute). The fields of expertise cover multiple perspectives with respect to ESD, SD, biodiversity, insect and pollination, climate change, and peatland use. Furthermore, the degree of expertise was very high, comprising 15 professors among the 20 participants of second Delphi round.

In contrast to an expert study, the two-round Delphi study allowed us, for example, to integrate new solutions strategies in the second Delphi round that were suggested by the first round participants. In the present study, the solution strategies “Realign agricultural subsidies to stop promoting conventional and intensive agriculture” (IP-8, see Table 3.2) and “Provide agricultural subsidies only for sustainably managed peatlands” (PU-10, see Table 3.3) were newly proposed in addition to the 41 solution strategies provided by the authors in the first Delphi round [58]. These two solution strategies were integral components in the second Delphi round questionnaire. Furthermore, the Delphi procedure chosen includes that the participants in the second round can work with the expert knowledge from the first Delphi round, e.g., the graphically processed results of the questionnaire, judging upon revised solution strategies. In sum, the two-round Delphi procedure enriches the knowledge base for the assessment of—in the present study—SD-relevant interdisciplinary knowledge.

Strengths of the performed Delphi study are: (i) the great number of participants, (ii) the high degree of (scientific) expertise of the participants, (iii) the repeated questioning of the experts, and the possibility of the experts to suggest further solution strategies in contrast to other expert studies aiming at establishing benchmarks for assessing procedural knowledge [27,69]. Another strength of the Delphi study presented is the diversity of the disciplines of the participants involved, which enriches the input given with respect to SD challenges. The expertise behind the measure of procedural knowledge for student teachers proposed in Tables 3.2 and 3.3, as well as the respective benchmark information for evaluating such knowledge, is deeply integrated in the measure. The presented measure resulted from a two-round Delphi study instead of a single data collection.

Another aspect of the Delphi study is the weighting of the experts’ answers. Despite being legitimated through the use of two different contexts [66], the weighting can lead to a bias, because potentially self-critical persons chose a moderate confidence level despite high knowledge while self-confident persons chose a high confidence level [70]. However, tests have shown that subjective certainty builds an indicator for the quality of estimations [59]. An alternative method could be to only consider experts with high self-assessments [66]. The latter would lead to different sample sizes in the two contexts because the self-assessment concerning biodiversity and bees is lower than that concerning climate change and peatlands. However, in

the present study, weighting the estimations through certainty seems to be the best method for considering the individual knowledge of the experts. Besides, one participant with evidently biased responses was excluded from the analyses of the second Delphi round (see Section 3.2.1). Applying the method of using weighted effectiveness estimations of solution strategies through considering certainty estimations is also supported by the fact that experts with lower self-assessed knowledge seem to be less confident in answering the solution strategies.

To determine the benchmark, it is recommended to exclude one item for each context. For the insect context, the item “The legislator prohibits application of neonicotinoids” (IP-6) should be excluded because, on 27 April 2018, the EU Commission prohibited the use of neonicotinoids based on the substances clothianidin, thiamethoxam, and imidacloprid. On the same day, the invitation to participate in the second Delphi round was sent to the experts. Because most abundant neonicotinoids are prohibited, this is no longer possible but rather an implemented strategy and therefore negligible. Solution strategy IP-6 was one of three items of the overarching topic “environmental policy”. Accordingly, this topic will still be represented.

Also, the item “Individuals purchase products only from sustainable peat extraction” (PU-2) should be excluded from the prospective benchmark. Contrasting all other items, solution strategy PU-2 does not derive from the literature review. The original objective was to create an ineffective item. Because of the very slow growth rate of peat, despite ideal conditions, sustainable extraction of peat is virtually impossible. The exclusion of PU-2 no longer represents the overarching topic of “sustainable consumption”. Contrasting, the relevance of sustainable consumption in the insects and pollination context, this topic could be neglected in the peatland use context, as the peat consumption is not as widespread as the use of agricultural products requiring pollination services. By eliminating items IP-6 and PU-2 from the benchmark, all remaining 18 items are valid regarding the actual legislation as well as the literature base. In addition, they cover a wide range of essential overarching SD-relevant topics. By extracting the two items, the reliability of expert ratings only slightly differ—except for sustainable land use in the peatland use context (Table 3.4). All in all, for the measure of procedural knowledge, the reliabilities of the prospective data of student teachers is important.

As a result of the project, a final item set for a measure for interdisciplinary procedural knowledge concerning CK for ESD is provided. It includes two contexts concerning SD challenges. The insect and pollination and the peatland use contexts cover 18 items in total (Tables 3.2 and 3.3, without IP-6 and PU-2) for a differentiated assessment of procedural knowledge in three essential fields of action: the realization of sustainable land use, provision of ecosystem services, and biodiversity conservation or climate protection. These fields of action are all

interdisciplinary and/or multidisciplinary. Within the fields of action, the items either have clear foci (e.g., PU-8: “Intensify the investigation of regenerative peat substitutes”) or cover broader ESD requirements beyond the assessed fields of action (e.g., IP-10: “Strengthen the protection of wild bees and other pollinating insects”). Thus, the two-round Delphi study, complemented by an intermediate think-aloud study with student teachers, turned out to be a suitable procedure for generating an instrument with an included benchmark for measuring SD-related procedural knowledge of student teachers.

The developed measure as well as the measurement instrument can likewise be applied to other target groups, such as students in higher education in academic fields such as biology, geography, and sustainability, as well as in secondary school education for students. The chosen contexts of insects and pollination and peatland use are suitable to European countries and even other continents. When students receive the questionnaire (without item IP-6 and PU-2), different evaluation procedures of the benchmark are possible: to correlate the answer profile for each student teacher with the profile of the experts (cf. [27]) or to compare the ranking of effectiveness between experts and student teachers (cf. [69]). Furthermore, the innovative procedure used to develop the measure can be applied to cope with the challenges attached to procedural knowledge for further contexts.

In the future, it would be conceivable to use a shorter, and thus time-efficient, instrument by, for example, recording only one of the three fields of action. However, it is too early in the process of instrument development to recommend such a condensed version. Regarding the experts, there are eight significant differences out of 60 answers to the three fields of action. This might be explained by the interdisciplinary knowledge needed. However, it is still unclear how student teachers assess the different fields of action. Therefore, in order not to lose important information, the differentiation between the three fields of action will be kept. In our research, the measure of procedural knowledge is one of three parts to evaluate interdisciplinary knowledge of student teachers concerning biodiversity and climate change issues (see Section 3.1.2). The complete measurement instrument to evaluate situational, conceptual, and procedural knowledge will be applied in a survey with student teachers (starting in October 2018, $n = 300$; cf. Figure 3.1).

Based on the present study, recommendations on how to develop a measure for procedural knowledge, that reflects expert knowledge as well as student teacher perceptions, can be derived from the procedure demonstrated. The sophisticated procedure integrates a Delphi study and a think-aloud study. Furthermore, the relevant expert data for the benchmark (means, standard deviations, and ranking of effectiveness estimations) for using the presented measure for

evaluating the procedural knowledge of student teachers are provided. Thus, the present study fills in the gap on how to assess SD-relevant procedural knowledge. In addition, to provide a refined procedure for developing a measure for procedural knowledge, the article specifically supplies a measure for procedural knowledge regarding the SD challenges biodiversity loss and climate change.

Author Contributions: LRB and SB conceived and designed the study. LRB, IG and SB performed the study. LRB, IG and SB analyzed the data. CK and NA contributed material and analyses (see Acknowledgments). LRB, IG and SB wrote the paper. IG co-advised parts of the study. SB coordinated and advised the study.

Funding: This project is part of the “Qualitätsoffensive Lehrerbildung”, a joint initiative of the Federal Government and the Länder which aims to improve the quality of teacher training. The programme is funded by the Federal Ministry of Education and Research (reference number 01JA1617). The authors are responsible for the content of this publication.

Acknowledgments: The authors thank Christian Knedeisen for drafting solution strategies for the first Delphi round and for performing and analyzing parts of the first round in his Master of Education thesis. We thank Neele Achterberg for performing and analyzing the think-aloud study with student teachers in her Master of Education thesis.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

3.5. Appendix

3.5.1. Appendix A

Scenario: Insects and pollination context

In Germany, 80% of the domestic crops and wild plants depend on **insect pollination**, e.g. honeybees and wild bees. Pollination is an example of an ecosystem service. Honeybees and wild bees use resources like nectar, pollen and water. Honeybees are bred by beekeepers and live in hives. Among others, wild bees nest in hedges, soils from extensive grassland, field margins or fallow land.

Until 2007, farms needed to fallow 10% of their land to receive subsidies from the EU's common agricultural politics. The aim was reducing overproduction and soil erosion, as well as protecting biodiversity. In 2007, the set-aside instrument was abolished. Now, these areas are often used to cultivate plants for renewable energies.

Corn can be planted as a monoculture. By growing on the same fields over several years, corn becomes susceptible to pests and diseases. In 2007, farmers suffered from crop failures in Germany due to the western corn rootworm. Consequently, the Board of Agriculture suggested

applying new seeds of a European seed company. These corn seeds were treated with an insecticide from the group of neonicotinoids. This so-called seed dressing should protect the seeds and later the entire plants from the corn rootworm.

In spring 2008, many bee colonies were lost in southern Germany, e.g., in the Upper Rhine valley, 11,500 bee colonies of 700 beekeepers were affected. The Julius-Kühn Institute in Braunschweig assumed that employing dressed corn seeds intoxicated honeybees and wild bees, and presumably other insects, too. Reasons for the bee intoxication were that the dressing did not stick to the corn seeds properly. Corn farmers frequently used dressed seeds to prevent suffering from crop loss. Corn is commonly grown for operating biogas facilities since it is a renewable resource. For honeybees and wild bees, those renewable resources are problematic as corn, for example, provides little food for bees. The European seed company, however, rather suspected the Varroa mite, that was introduced from Asia, as a cause for bee mortality. By breeding bees, comprising the aims of being easy to keep and producing a lot of honey, they became more vulnerable to the mite and other parasites and diseases.

In February 2018, the European Food Safety Authority (EFSA) confirmed the harmfulness of neonicotinoids. On 27 April 2018, the European Commission banned the use of the three neonicotinoids clothianidin, thiamethoxam and imidacloprid on fields, but not in greenhouses. Also, there are other neonicotinoids that may be used without restriction. The risk of these alternative neonicotinoids for bees is currently considered low. These plant protection products offer alternatives for farmers. However, environmental groups are calling for a ban on all neonicotinoids.

3.5.2. Appendix B

Scenario: Peatland use context

Worldwide, **peatlands** store 20–30% of total soil carbon although they only cover approximately 3% of the land surface. Peatlands characteristically feature a relatively high water level that can reach up to the surface. Because of the water saturation, organic matter is produced faster than it can be degraded. Peat is formed out of dead and preserved plant material over a long time span. The climate balance of undisturbed peatlands in Central Europe is roughly balanced.

The main types of peatlands are bogs and fens. Fens are fed by groundwater and show varying nutrient content. Bogs are only fed by rainwater and are rather poor nutrient systems. Peatlands provide ecosystem services. For example, they regulate water supplies, or they function as a recreation area. Due to little substance conversion, pollutants and nutrients are stored in peat. Using peatlands can have an impact on the ecosystem services.

In the past in Germany, peat from bogs was used as fuel. Nowadays, the German peat industry is the world's largest producer of peat for potting soil. Many drained areas are now used for agriculture (grassland and cropland). In Germany, almost every peatland area is used. Only about 4% of German peatlands are in a near-natural, intact state. To use peatlands, the water level needs to be lowered. This is accomplished by drainage ditches and pumping stations. The decreased water level results in ventilating the peat. Decomposition processes are accelerated by the ventilation. As a result, the peat layers which have been formed for thousands of years, release carbon dioxide (CO₂). Furthermore, nitrous oxide (N₂O) can be emitted.

Though peatlands only constitute 6% of agricultural land, their use is responsible for 57% of all agricultural emissions. That equals 4.3% of Germany's greenhouse gas emissions. Germany is committed to reducing greenhouse gas emissions. The aim until 2050 is to emit 80 to 95% less greenhouse gases than in the year 1990. At the UN conference on climate change in 2009 in Copenhagen, a limit of 2 °C of global warming was determined, compared to the temperature value of the years 1861–1880.

Renaturation measures of peatlands, such as raising the water level, can reduce greenhouse gas emissions; sometimes, even new peat can be formed. At the beginning of the renaturation measure, forced emissions of methane (CH₄) can lead to higher greenhouse gas emissions than in a dehydrated state. However, over a long period peatlands can become carbon stores through renaturation.

3.5.3. Appendix C

Table A3.1. Bonferroni-adjusted post hoc analysis.

Solution Strategy	Sustainable Land Use vs. Ecosystem Services				Sustainable Land Use vs. Biodiversity Conservation/Climate Protection				Ecosystem Services vs. Biodiversity Conservation/Climate Protection			
	MD	<i>p</i>	95% CI		MD	<i>p</i>	95% CI		MD	<i>p</i>	95% CI	
IP-2	-0.867	0.001	-10.36	-0.376	-0.053	1.000	-0.674	0.569	0.816	0.001	0.351	10.28
IP-3	0.158	0.248	-0.069	0.385	-0.105	0.992	-0.383	0.173	-0.263	0.062	-0.537	0.011
IP-8	0.368	0.045	0.007	0.730	0.316	0.030	0.027	0.605	-0.053	1.000	-0.370	0.265
IP-9	-0.368	0.092	-0.783	00.46	-0.447	0.045	-0.886	-0.009	-0.079	0.992	-0.287	0.129
IP-10	0.211	0.488	-0.171	0.592	-0.263	0.288	-0.659	0.132	-0.474	0.002	-0.784	-0.163
PU-6	0.200	0.488	-0.161	0.561	0.600	0.006	0.157	10.043	0.400	0.085	-0.043	0.843
PU-8	0.300	0.166	-0.086	0.686	0.500	0.005	0.144	0.856	0.200	0.775	-0.251	0.651

MD = mean difference; CI = confidence interval; IP = solution strategies for insects and pollination context; PU = solution strategies for peatland use context; *tendencies*.

3.6. References

1. Bertschy, F.; Künzli, C.; Lehmann, M. Teachers' Competencies for the Implementation of Educational Offers in the Field of Education for Sustainable Development. *Sustainability* **2013**, *5*, 5067–5080, doi:10.3390/su5125067.
2. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*; UNESCO: Paris, France, 2014.
3. Barth, M.; Rieckmann, M. State of the Art in Research on Higher Education for Sustainable Development. In *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development*; Barth, M., Michelsen, G., Rieckmann, M., Thomas, I., Eds.; Routledge: London, UK, 2016; pp. 100–113, ISBN 9780415727303.
4. United Nations (UN), General Assembly. *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*; United Nations (UN), General Assembly: 2015.
5. Lindemann-Matthies, P.; Constantinou, C.; Junge, X.; Köhler, K.; Mayer, J.; Nagel, U.; Raper, G.; Kadji-Beltran, C. The Integration of Biodiversity Education in the Initial Education of Primary School Teachers: Four Comparative Case Studies from Europe. *Environ. Educ. Res.* **2009**, *15*, 17–37, doi:10.1080/13504620802613496.
6. Rieckmann, M.; Holz, V. Verankerung von BNE in der Lehrerbildung in Deutschland. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik (ZEP)* **2017**, *40*, 4–10.
7. Bourn, D.; Frances, H.; Phil, B. A Review of Education for Sustainable Development and Global Citizenship Education in Teacher Education, 2017. Background Paper Prepared for the 2017/8 Global Education Monitoring Report. Available online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002595/259566e.pdf> (accessed on 26 June 2018).

8. LeNa. Teacher Education for a Sustainable Development from Pilot Projects and Initiatives to New Structures. A Memorandum on Reorienting Teacher Education in Germany, Austria and Switzerland. Available online: https://www.leuphana.de/fileadmin/user_upload/portale/netzwerk-lena/Memorandum_LeNa_English_Stand_August_15.pdf (accessed on 14 June 2018).
9. Baumert, J.; Kunter, M. Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **2006**, *9*, 469–520.
10. Baumert, J.; Kunter, M. Das Kompetenzmodell von COACTIV. In *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*; Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M., Eds.; Waxmann: Münster, Germany, 2011; pp. 29–53, ISBN 978-3-8309-2433-3.
11. Reinke, V.; Hemmer, I. Bildung für nachhaltige Entwicklung—über welche Kompetenzen verfügen Lehrkräfte und Akteur/-innen aus den außerschulischen Einrichtungen. *Zeitschrift ZLB.KU* **2017**, *1*, 38–42.
12. Weinert, F.E. Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In *Defining and Selecting Key Competencies*; Rychen, D.S., Salganik, L.H., Eds.; Hogrefe & Huber: Seattle, WA, USA; Toronto, ON, Australia; Bern, Switzerland; Göttingen, Germany, 2001; pp. 45–65, ISBN 978-0889372481.
13. Shulman, L.S. Knowledge and Teaching: Foundation of the New Reform. *Harv. Educ. Rev.* **1987**, *57*, doi:10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411.
14. Hellberg-Rode, G.; Schrüfer, G.; Hemmer, M. Brauchen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) spezifische professionelle Handlungskompetenzen? Theoretische Grundlagen, Forschungsdesign und erste Ergebnisse. *Zeitschrift für Geographiedidaktik (ZGD)* **2014**, *42*, 257–281.
15. Hellberg-Rode, G.; Schrüfer, G. Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)? Ergebnisse einer explorativen Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)* **2016**, *20*, 1–29, doi:10.4119/UNIBI/zdb-v20-i1-330.
16. Fiebelkorn, F.; Menzel, S. Student Teachers' Understanding of the Terminology, Distribution, and Loss of Biodiversity: Perspectives from a Biodiversity Hotspot and an Industrialized Country. *Res. Sci. Educ.* **2013**, *43*, 1593–1615, doi:10.1007/s11165-012-9323-0.
17. Kaiser, F.; Fuhrer, U. Wissen für ökologisches Handeln. In *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze*; Mandl, H., Gerstenmaier, J., Eds.; Hogrefe: Göttingen, Germany, 2000; pp. 51–71, ISBN 9783801713386.

18. Gräsel, C. *Ökologische Kompetenz: Analyse und Förderung*; Ludwig-Maximilian-Universität, Fakultät für Psychologie und Pädagogik: München, Germany, 2000, in press.
19. Anderson, L.W.; Krathwohl, D.R.; Airasian, P.W.; Cruikshank, K.A.; Mayer, R.E.; Pintrich, P.R.; Raths, J.; Wittrock, M.C. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*; David McKay Company, Inc.: New York, NY, USA, 2001; ISBN 0-8013-1903-X.
20. Alexander, P.A.; Schallert, D.L.; Hare, V.C. Coming to Terms: How Researchers in Learning and Literacy talk about Knowledge. *Rev. Educ. Res.* **1991**, *61*, 315–343, doi:10.3102/00346543061003315.
21. Ryle, G. *The Concept of the Mind*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1949.
22. Anderson, J.R. Acquisition of Cognitive Skill. *Psychol. Rev.* **1982**, *89*, 369–406.
23. de Jong, T.; Ferguson-Hessler, M. Types and Qualities of Knowledge. *J. Educ. Psychol.* **1996**, *31*, 105–113, doi:10.1207/s15326985ep3102_2.
24. Sáenz, C. The Role of Contextual and Procedural Knowledge in Activating Mathematical Competencies (PISA). *Educ. Stud. Math.* **2009**, *71*, 123–143, doi:10.1007/s10649-008-9167-8.
25. Baroody, A.J.; Feil, Y.; Johnson, A.R. An Alternative Reconceptualization of Procedural and Conceptual Knowledge. *J. Res. Math. Educ.* **2007**, *38*, 115–131.
26. Rittle-Johnson, B.; Koedinger, K.R. Designing Knowledge Scaffolds to Support Mathematical Problem Solving. *Cognit. Instruct.* **2005**, *23*, 313–349, doi:10.1007/s10857-015-9325-8.
27. Koch, S.; Barkmann, J.; Strack, M.; Sundawati, L.; Bögeholz, S. Knowledge of Indonesian University Students on the Sustainable Management of Natural Resources. *Sustainability* **2013**, *5*, 1443–1460, doi:10.3390/su5041443.
28. Robertson, M. *Sustainability Principles and Practice*; Taylor and Francis: Hoboken, NJ, USA, 2014; ISBN 041584018X, 9780415840187.
29. United Nations (UN). The Sustainable Development Goals Report 2017. Available online: https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoals_Report_2017.pdf (accessed on 28 June 2018).
30. Esa, N. Environmental Knowledge, Attitude and Practices of Student Teachers. *Int. Res. Geogr. Environ. Educ.* **2010**, *19*, 39–50, doi:10.1080/10382040903545534.
31. Gayford, C. Biodiversity Education: A Teacher's Perspective. *Environ. Educ. Res.* **2000**, *6*, 347–361, doi:10.1080/713664696.

32. Summers, M.; Kruger, C.; Childs, A.; Mant, J. Primary School Teachers' Understanding of Environmental Issues: An Interview Study. *Environ. Educ. Res.* **2000**, *6*, 293–312, doi:10.1080/713664700.
33. Dikmenli, M. Biology Student Teachers' Conceptual Frameworks in Regarding Biodiversity. *Education* **2010**, *130*, 479–490.
34. Khalid, T. Pre-service Teachers' Misconceptions Regarding Three Environmental Issues. *Can. J. Environ. Educ.* **2001**, *6*, 102–120.
35. Boon, H.J. Climate Change? Who Knows? A Comparison of Secondary Students and Pre-service Teachers. *Aust. J. Teach. Educ.* **2010**, *35*, 103–120, doi:10.14221/ajte.2010v35n1.9.
36. Boon, H.J. Teachers and the Communication of Climate Change Science: A Critical Partnership in Australia. *Procedia—Soc. Behav. Sci.* **2014**, *116*, 1006–1010, doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.336.
37. Bögeholz, S.; Hössle, C.; Höttecke, D.; Menthe, J. Bewertungskompetenz. In *Theorien in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*; Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 261–281, ISBN 978-3-662-56319-9.
38. Schreiber, J.-R. Competencies, Themes, Standards, Design of Lessons and Curricula. In *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*, 2nd ed.; Schreiber, J.-R., Siege, H., Eds.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; pp. 86–110, ISBN 978-3-06-230062-2.
39. Overwien, B. Education for Global and Sustainable Development in Teacher Education. In *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*, 2nd ed.; Schreiber, J.-R., Siege, H., Eds.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; pp. 420–435; ISBN 978-3-06-230062-2.
40. Gayford, C. Controversial Environmental Issues. A Case Study for the Professional Development of Science Teachers. *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 1191–1200, doi:10.1080/09500690210134866.
41. Potts, S.G.; Biesmeijer, J.C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O.; Kunin, W.E. Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers. *Trends Ecol. Evol.* **2010**, *25*, 345–353, doi:10.1016/j.tree.2010.01.007.
42. Klein, A.-M.; Vaissière, B.E.; Cane, J.H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S.A.; Kremen, C.; Tscharntke, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci.* **2007**, *274*, 303–313, doi:10.1098/rspb.2006.3721.

43. Gallai, N.; Salles, J.-M.; Settele, J.; Vaissière, B.E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* **2009**, *68*, 810–821, doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
44. European Academies' Science Advisory Council (EASAC). *Ecosystem Services, Agriculture and Neonicotinoids*; EASAC policy report 26; EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Halle, Germany, 2015.
45. Hopfenmuller, S.; Steffan-Dewenter, I.; Holzschuh, A. Trait-specific Responses of Wild Bee Communities to Landscape Composition, Configuration and Local Factors. *PLoS ONE* **2014**, *9*, 1–10, doi:10.1371/journal.pone.0104439.
46. Krewenka, K.M.; Holzschuh, A.; Tschardt, T.; Dormann, C.F. Landscape Elements as Potential Barriers and Corridors for Bees, Wasps and Parasitoids. *Biol. Conserv.* **2011**, *144*, 1816–1825, doi:10.1016/j.biocon.2011.03.014.
47. Henry, M.; Beguin, M.; Requier, F.; Rollin, O.; Odoux, J.-F.; Aupinel, P.; Aptel, J.; Tchamitchian, S.; Decourtye, A. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science* **2012**, *336*, 348–350, doi:10.1126/science.1215039.
48. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUB). Die Biene: Eines der wichtigsten Nutztiere. Umwelt im Unterricht: Materialien und Service für Lehrkräfte—BMUB-Bildungsservice. 2013. Available online: http://ag-binnenduene.de/downloads/130502_Bienen.pdf (accessed on 5 July 2016).
49. Pistorius, J.; Bischoff, G.; Heimbach, U.; Stähler, M. Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. In *Julius-Kühn-Archiv: Vol. 423. Hazards of pesticides to bees. 10th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group Bucharest (Romania)*; Oomen, P.A., Thompson, H.M., Eds.; Julius Kühn-Institut: Quedlinburg, Germany, 2008; pp. 118–126.
50. Ernährung und Landwirtschaft (BMELV). Bestandsaufnahme und Perspektiven der Bienenhaltung und Imkerei in Deutschland; Bundesministerium für. 2013. Available online: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Tier/TierzuchtTierhaltung/Bestandsaufnahme-Imkerei.pdf?__blob=publicationFile (accessed on 19 July 2016).
51. Christensen, T.R.; Friberg, T.; Byrne, K.A.; Chojnicki, B.; Christensen, T.R.; Freibauer, A.; Friberg, T.; Frohling, S.; Lindroth, A.; Mailhammer, J.; et al. EU Peatlands: Current Carbon Stocks and Trace Gas Fluxes. In *Report 4/2004 to 'Concerted Action: Synthesis of the European Greenhouse Gas Budget'*; Geosphere-Biosphere Centre, Univ. of Lund: Lund, Sweden, 2004.

52. Frolking, S.; Talbot, J.; Jones, M.C.; Treat, C.C.; Kauffman, J.B.; Tuittila, E.-S.; Roulet, N. Peatlands in the Earth's 21st Century Climate System. *Environ. Rev.* **2011**, *19*, 371–396, doi:10.1139/a11-014.
53. Romine, W.L.; Sadler, T.D.; Kinslow, A.T. Assessment of Scientific Literacy: Development and Validation of the Quantitative Assessment of Socio-Scientific Reasoning (QuASSR). *J. Res. Sci. Teach.* **2017**, *54*, 274–295, doi:10.1002/tea.21368.
54. Mang, J.; Ustjanzew, N.; Schiepe-Tiska, A.; Prenzel, M.; Sälzer, C.; Müller, K.; González Rodríguez, E. *PISA 2012 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*; Waxmann: Münster, Germany; New York, NY, USA, 2018; ISBN 978-3-8309-3825-5.
55. Derksen, C. Situationales und konzeptuelles Wissen zu “Biodiversität” von Lehramtsstudierenden: Eine Studie Lauten Denkens zur Weiterentwicklung eines quantitativen Messinstruments. Master Thesis, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Germany, 14 September 2017.
56. Grube, Y. Eine Studie Lauten Denkens am Beispiel von “Klimawandel und Moornutzung” zur Weiterentwicklung eines Messinstruments. Master Thesis, Georg-August-University, Göttingen, Germany, 15 March 2018.
57. Richter-Beuschel, L.; Derksen, C.; Bögeholz, S. Konzeptuelles Wissen angehender Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung. In *Treffpunkt Biologische Vielfalt XVI—Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt—BfN-Skripten 487*; Korn, H., Dünfelder, H., Schliep, R., Eds.; Bundesamt für Naturschutz (BfN): Bonn, Germany, 2018; pp. 88–95.
58. Knedeisen, C. Maßnahmen Gegen Bienensterben und Moordegradierung. Eine Delphi-Studie zum Prozeduralen Wissen. Master Thesis, Georg-August-University, Göttingen, Germany, 6 September 2017.
59. Häder, M. *Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch*; Westdeutscher Verlag: Wiesbaden, Germany, 2002; ISBN 978-3-658-01928-0.
60. Niederberger, M.; Renn, O. *Das Gruppendelphi-Verfahren. Vom Konzept bis zur Anwendung*; Springer: Wiesbaden, Germany, 2018; ISBN 978-3-658-18755-2.
61. Mayring, P. *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*; Beltz: Weinheim, Germany, 2007; ISBN 9783825282295.
62. Ericsson, K.A.; Simon, H.A. *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data. A Bradford Book*; MIT Press: London, UK, 1993; ISBN 9780262050470.
63. Sandmann, A. Lautes Denken—die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*; Krüger, D., Parchmann, I.,

- Schecker, H., Eds.; Springer Spektrum: Berlin, Germany, 2014; pp. 179–188; ISBN 978-3-642-37826-3.
64. Achterberg, N. Prozedurales Wissen von Lehramtsstudierenden zur Gestaltung Nachhaltiger Entwicklung. Erkenntnisse aus einer Studie Lauten Denkens für die Weiterentwicklung eines Messinstrumentes. Master Thesis, Georg-August-University, Göttingen, Germany, 16 March 2018.
 65. Vallor, R.; Yates, K.; Brody, M. Delphi Research Methodology Applied to Place-Based Watershed Education. *Educ. Sci.* **2016**, *6*, doi:10.3390/educsci6040042.
 66. Vorgrimler, D.; Wübben, D. Die Delphi-Methode und ihre Eignung als Prognoseinstrument. *Wirtschaft und Statistik* **2003**, *8*, 763–774.
 67. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: New York, NY, USA, 1988; ISBN 9780805802832 0805802835.
 68. Bortz, J.; Döring, N. *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler*, 3rd ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2002; ISBN 978-3-662-07299-8.
 69. Lenske, G.; Thillmann, H.; Wirth, J.; Dicke, T.; Leutner, D. Pädagogisch-psychologisches Professionswissen von Lehrkräften: Evaluation des ProwiN-Tests. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften (ZFE)* **2015**, *18*, 225–245, doi:10.1007/s11618-015-0627-5.
 70. Gordon, T.; Pease, A. RT Delphi: An Efficient, “Round-less” Almost Real Time Delphi Method. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* **2006**, *73*, 321–333, doi:10.1016/j.techfore.2005.09.005.



© 2018 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

4. Student Teachers' Knowledge to Enable Problem-Solving for Sustainable Development

Sustainability 12 (1), doi: 10.3390/su12010079

Lisa Richter-Beuschel ¹ and Susanne Bögeholz ^{1,2}

¹ Department of Biology Education, University of Goettingen, Waldweg 26, 37073 Goettingen, Germany

² Centre of Biodiversity and Sustainable Land Use (CBL), University of Goettingen, Goettingen, Germany; sboegeh@gwdg.de

Abstract: Education is a central strategy in terms of sustainable development (SD) and can contribute to solving global challenges like biodiversity loss and climate change. Content knowledge represents one base for teaching education for sustainable development (ESD). Therefore, identifying teaching and learning prerequisites regarding SD challenges in teacher education is crucial. The focus of the paper was to assess and learn more about student teachers' procedural knowledge regarding issues of biodiversity and climate change, by using an expert benchmark. The aims of the study are to describe and identify (i) differences between students' and experts' effectiveness estimations, (ii) differences in bachelor and master students' procedural knowledge, and (iii) differences between procedural knowledge of students studying different ESD-relevant subjects. Student teachers at eight German universities (n = 236) evaluated the effectiveness of solution strategies to SD challenges. The results showed high deviations in the effectiveness estimations of experts and students and, therefore, differing procedural knowledge. The lack of student teachers' interdisciplinary knowledge to reduce biodiversity loss and climate change seemed to be largely independent of their study program and ESD-relevant subject. One reason for this may be the generally low number of ESD-relevant courses they attended. This study suggests further longitudinal research in order to make clear statements about changes in SD-related knowledge during teacher education.

Keywords: knowledge; problem-solving; education for sustainable development (ESD); climate change; biodiversity loss; sustainable development

4.1. Introduction

Global challenges like biodiversity loss, climate change, and poverty require societal transformation toward a more sustainable future that is characterized by knowledge transfer, participatory decision-making, and lifelong learning [1]. Education is a central strategy in terms of sustainable development (SD) and can contribute to solving global challenges [2]. Education for sustainable development (ESD) enables “learners to take informed decisions and

responsible actions for environmental integrity, economic viability and a just society for present and future generations” [3] (p. 7). The United Nations (UN) Decade of ESD (2005–2014) sought to foster the implementation of the approach of SD in national education systems [4]. The current Global Action Programme on ESD (GAP), ending in 2019, aims to generate and scale-up ESD actions at all levels and areas of education [2]. The UN 17 Sustainable Development Goals (SDGs) further reflect the importance of education. SDG 4 is exclusively attributed to education. A key for SD is addressed in Target 4.7—it seeks to “ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development” [5] (p. 21). Furthermore, at least one target within the other 16 SDGs refers to education (e.g., target 13.3 “Improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning” [5]). Education can decisively contribute to achieving the SDGs [6,7].

Bagoly-Simó and Hemmer [8] analyzed existing data about national educational standards, curricula, textbooks, and school practical journals to evaluate the state of ESD in German secondary schools. They observed the deepest and broadest implementation of ESD in geography, followed by politics/economy and biology; these represent minor subjects with small course volumes [8]. Nevertheless, “school education in Germany does not demonstrate proactive take-up of ESD diffusion by the majority, due to its top-down-oriented logic” [9] (p. 11). One reason may be found in teacher education. A systematic structural implementation of ESD in German teacher education is still missing in several places, although the GAP declared educators as one of five priority action areas [2,4,10]. However, the “knowledge and competencies [of educators] are crucial for restructuring educational processes and educational institutions towards sustainability” [11]. Therefore, teacher education is fundamentally important for an increased understanding of SDGs and SD [12]. This is also mentioned in the UN program “ESD for 2030”, scheduled for 2020 to 2030, to supporting achievement of the SDGs [13].

Professional action competence is essential for successful teaching [14,15] and can therefore substantially affect ESD [16]. Beside motivational, volitional, and social willingness and skills, professional action competence includes professional knowledge consisting of content knowledge (CK), pedagogical content knowledge (PCK), and pedagogical knowledge (PK) [cf. 14,17]). Hellberg-Rode and Schrüfer reported that 38% of cognitive competencies for teaching ESD were assigned to CK (23% to PCK, 19% to PK) [18,19]. Consequently, measuring ESD-related content knowledge of student teachers can yield information about the teaching and learning prerequisites needed for dealing with SD challenges.

The current international Fridays for Future movement demonstrates students' growing awareness of global climate change and their interest in forcing SD. Nearly 27,000 German-speaking scientists have endorsed the protests [20]. To educate students to responsible citizens, teachers have to incorporate current societal topics in their teaching [21], but are they prepared to teach science-based SD challenges like climate change and biodiversity loss?

4.1.1. Student Teachers' Knowledge of SD-Related Topics

The highly important challenges linked to the SDGs, like climate change and biodiversity, are supposed to be included in teaching and learning [3,7]. Recently, Zamora-Polo et al. [22] detected, inter alia, that student teachers had very limited knowledge of the SDGs. The UN defined with the SDGs 17 areas of activity for supporting SD. Context- or lifeworld-orientation is one of the five guiding principles for ESD [21]. According to Herman et al., "there need to be science teachers whose knowledge and perceptions are in line with those of vast majority of scientists" [23]. Investigations of student teachers', pre-service teachers', and teachers' climate change-related knowledge displayed deficits [23–29]. In their study, Herman et al. [23] reported that only 14% of science teachers in Florida and 4% in Puerto Rico gave the correct definition of climate change. Also, they did not correctly identify causes of climate change like the heating and cooling of homes; further, they incorrectly attributed primary causes to nuclear power generation, for example [23]. Among teachers, further misconceptions of climate change differing from scientific knowledge exist: for example, that ozone layer depletion contributes to climate change [23,24]. The same deficit was found in pre-service teachers [25,26]. Furthermore, science teachers in the US were unaware of the extent of scientific consensus about anthropogenic climate change [28]. Concerning biodiversity, previous research suggests that science teachers possess insufficient knowledge [30–34]. British, German, Cypriot, and Swiss student teachers were often found to be not familiar with the term "biodiversity" [31]. Student teachers of science education in Malaysia displayed limited knowledge about threats to biodiversity [34]. Furthermore, Dikmenli's [30] investigation of biology student teachers showed that the important role of biodiversity in terms of SD often remains unrecognized. Compared to scientific data, secondary pre-service science teachers consistently overestimated the percentages of threatened plant species on different spatial levels (national, transnational, and global) [33]. However, knowledge about highly complex SD challenges, like biodiversity loss and climate change, represents a key requirement for ESD. Specific data on teaching and learning prerequisites are required in order to create evidence-based teacher education.

4.1.2. Approach for Measuring Procedural Knowledge

One repeatedly used approach for measuring teaching and learning prerequisites in education sciences [35–38] is de Jong and Ferguson-Hessler's model [39]. The model is considered as it explicitly refers to problem-solving and, thus, to knowledge-in-use [39]. Solving problems is of high priority when dealing with remarkably complex SD challenges. Procedural knowledge comprises actions that are suitable for certain types of problems in a specific domain [39] and verbalizable knowledge about the execution of these actions [40].

To solve complex SD issues, it is necessary to weigh economic, ecological, and social perspectives. This important ESD-specific competence of changing perspectives [18,21,41,42] can be addressed in teaching socio-scientific issues. An investigation of procedural knowledge should promote the consideration of different stakeholder perspectives in processing SD-relevant tasks. Therefore, measuring ESD-related procedural knowledge constitutes a special requirement. However, to gain insights into the student teachers' knowledge, there is a need to develop approaches to evaluate procedural knowledge. Thus, respective measures are required.

One approach for measuring procedural knowledge is to evaluate the effectiveness of pre-defined solution strategies in terms of SD challenges and to use expert evaluations of diverse SD-relevant disciplines as a benchmark [cf. 36]. Koch et al. [36] used this method to determine the procedural knowledge of Indonesian students in land use study programs concerning local and regional resource use problems. They detected that both beginner and senior students strongly differed from experts. To the best of the authors' knowledge, biodiversity and climate change-related procedural knowledge has not been systematically analyzed thus far. In order to close this gap, the authors initially developed a measurement instrument. A multilevel Delphi approach combining qualitative and quantitative methods was applied to improve the literature-based items for measuring procedural knowledge concerning biodiversity loss and climate change [43]. An initial outcome of this prior work was a measurement instrument containing 18 solutions to real-world problems regarding (i) insects and pollination and (ii) peatland use. The key of the prior work was creating a benchmark. Here, the answers of experts from SD and ESD-relevant disciplines (e.g., biology, climatology, agroecology, ESD) in the second Delphi round were used to define the benchmark (for further information, see [43]). The expert benchmark served to analyze the procedural knowledge of student teachers regarding the SD challenges of biodiversity loss and climate change. Thus, the aims of the present research were to investigate in what ways

- (i) student teachers' effectiveness estimations differed from experts' procedural knowledge,

- (ii) student teachers in bachelor differed from those in master programs regarding procedural knowledge and
- (iii) student teachers in biology, geography, and politics differed from each other regarding procedural knowledge.

The Delphi approach first revealed indications of validity of the measurement instrument [43]. At the level of the experts, content validity was reached through qualitative data in the first expert round. Moreover, the large significant correlations between self-assessed knowledge and the indicated certainty about expert effectiveness estimations confirmed the validity of the instrument. Furthermore, at the level of student teachers, the think aloud studies enabled content validity [43]. Nonetheless, indications of validity of quantitative studies, and validation studies with related constructs like attitudes, responsibilities, or interests, are still missing.

Individual interest can be considered as a motivational factor [15] and may influence the acquisition of knowledge [44–46]. According to Renninger and Hidi, “the development of content knowledge is essential for interest development and is also an outcome of interest development” [46] (p. 96). Hence, a relation between interest and knowledge can be assumed. Beyond knowledge, attitudes can also influence students’ behavior in terms of SD [47]. Tuncer et al. [48] showed that Turkish teachers were capable of forming environmentally literate students if they showed concern for environmental problems, were equipped with environmental knowledge, and had positive attitudes toward the environment. Therefore, a further aim of the present study was to find out more about the relation between student teachers’ procedural knowledge, their attitudes, responsibilities, and interests.

4.2. Materials and Methods

4.2.1. Measurement Instrument and Data Collection

The present study used real-world issues concerning the SD challenges of biodiversity loss and climate change to investigate the procedural knowledge of German student teachers. Biodiversity loss and climate change contain numerous fields of action that might contribute to SD. Two contexts with both local and global relevance were chosen to represent these challenges: (i) insects and pollination and (ii) peatland use. Declines in honeybee populations and wild pollinators have recently appeared [49,50]; these have been triggered by intensive agriculture, causing habitat loss and fragmentation, for example [51,52]. However, many wild plants and crops depend on insects as pollinators, particularly, bees. Furthermore, 75% of leading global food crops and 35% of global production rely on animal pollination [53]. Thus, pollination contributes to the conservation of global biodiversity [49]. Climate change is addressed via

examining the use of peatlands. Worldwide, the loss of peatlands is highest in Europe, at 52% [54]. Peatlands are terrestrial carbon storages, as they are capable of accumulating more carbon via photosynthesis than releasing carbon by respiration [55]. However, drainage of peatlands, which is inevitable for land use activities like agriculture, forestry, or peat extraction, leads to fostered greenhouse gas emissions [56,57] and contributes to climate change. While peatlands only constitute 6% of land used for agriculture in Germany, they are responsible for 57% of all agriculturally based emissions [58].

In this study, measuring procedural knowledge was operationalized according to de Jong and Ferguson-Hessler's model [39]. Following Koch et al. [36], solution strategies were evaluated in terms of their effectiveness. The developed measure and corresponding benchmark from previous work [43] formed the base for assessing student teachers' knowledge. Further information about the development of the measure and the underlying knowledge model can be found in Richter-Beuschel et al. [43].

The questionnaire for measuring student teachers' procedural knowledge comprised nine solution strategies for each context. A four-point Likert scale was used, ranging from ineffective (1) to very effective (4) for all items. The effectiveness of each solution strategy was evaluated in three fields of action: (i) realization of *sustainable land use*, (ii) provision of *ecosystem services*, and (iii) biodiversity conservation in the insects and pollination context or contribution to climate protection in the peatland use context (in the following, (iii) is summarized by the term *protection*). Students received two scenarios of real-world problems [43]. In addition, they were given an information sheet explaining the terms "ecosystem services", "sustainable land use", and "biodiversity" prior to answering the procedural knowledge items. This served to establish a homogeneous knowledge base of all of the participants before assessing their procedural knowledge. Socio-demographic data of sex, age, and semester were also gathered. All participants received a financial reward. The questionnaire was conducted in German and carried out in a paper and pencil format. To ensure standardized conditions, the lead author of the manuscript, and at one university a representative, conducted the data collection on-site. Participation took place outside of courses, was voluntary, and anonymity was assured.

4.2.2. Validation Tools

Beside answering instruments for measuring external validity, a self-assessment on knowledge in 13 different topics (diversity of species, diversity of ecosystems, genetic diversity, ecosystem services, climate change, importance of peatlands, sustainable development, environmental policy, agricultural policy, bees and pollination, sustainable land use, sustainable consumption, and ESD) on a five-point Likert scale (very good (1), good (2), satisfactory (3),

sufficient (4), and insufficient (5)) was requested. In addition, the students' final school examination grade (German "Abitur") and an estimate of the number of attended courses with ESD relevance during the study were asked for. To gain insight into the participants' experience with ESD, they were invited to indicate predefined occasions in which they had dealt with topics of ESD (e.g., at school/university or watching film and TV).

The attitudes toward sustainable development (ASD) were measured by translating items, which have been suggested by Biasutti and Frate [59] into German. The instrument used was a factor analysis tested on the factors of environment, society, economy, and education, providing five items per factor. The ASD consisted of five-point Likert scale items: strongly disagree (1), disagree (2), neutral (3), agree (4), and strongly agree (5). The responsibility toward climate change was assessed with three items from Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety [60], which were adapted accordingly for responsibility toward loss of biodiversity. On a five-point Likert scale, students had to indicate their level of agreement with the statements: strongly disagree (1), disagree (2), neutral (3), agree (4), and strongly agree (5). All validation tools mentioned above were completed by all of the participants. The instrument for measuring interests in biodiversity issues [61] was only given to a subsample ($n = 88$) of biology students. This instrument required 15 min (on average) of processing time. Many of the participants' time restrictions kept them from answering this instrument. The measurement instrument to assess interests in biodiversity issues consisted of six subscales of biodiversity (loss of biodiversity, conservation of biodiversity, biodiversity in general, ecosystem services, access and benefit sharing, and biodiversity and climate change), with 6×15 items. Each of the six subscales contained three items related to the domains of (i) research, (ii) politics and law, (iii) economy, (iv) ecology, and (v) society. Interest in each item was evaluated on a five-point Likert scale ranging from very little (1) to very strong (5). The processing time of the questionnaire (procedural knowledge, ASD and responsibilities) was roughly 25 min, and when including interests in biodiversity issues, this rose to about 40 min.

4.2.3. Sample Composition

The study was carried out from October 2018 to May 2019 with student teachers at eight universities in five federal states of Germany ($n = 236$). The sample consisted of students who intended to become teachers in German high schools (Gymnasium) or in integrated comprehensive schools. All of the students were studying in the bachelor/master system (bachelor $n = 123$, master $n = 112$; one not stated). The participants' age ranged from 18 to 29 ($M = 22.7$ y, $SD = 2.3$ y), except for two outliers aged 32 and 39 y. The majority of the participants were female (72.5%, male 25.8%, divers 0.8%). The target group consisted of student teachers

studying highly relevant subjects for ESD [cf. 8]. Thus, all of the participants studied at least one of three ESD-relevant subjects (55.5% biology, 24.6% geography, 10.2% politics, 8.9% combination of two subjects, 0.8% not stated).

4.2.4. Statistical Analyses

IBM SPSS Statistics 25 and RStudio (Version 1.2.1335) were used for the descriptive and inferential statistical analyses, respectively. Means and standard deviations of students’ effectiveness estimations were calculated separately for each field of action (i.e., *sustainable land use, ecosystem services, and protection*). The items within each field of action were combined into a scale, resulting in three scales. Cronbach’s α was calculated to test the internal consistency of scales. One solution strategy of the insects and pollination context was excluded from analyses, resulting in higher reliability of scales. A repeated measures ANOVA (rmANOVA) was used to analyze significant differences between the fields of action for any solution strategy.

Weighted average experts’ answers on the item level from the second Delphi round [43] served as a benchmark to evaluate the student teachers’ procedural knowledge [36,43]. Therefore, the effectiveness estimations of the student teachers were subtracted from the expert benchmark. Thus, deviations indicated an under- or overestimation of effectiveness by students compared to experts. Analyses on the level of fields of action required using the absolute values of the deviations.

In the following, the term “effectiveness estimation” is used when referring to the subjective measure of students’ knowledge, thus the initial values the students indicated. The term “deviation” is used to demonstrate the differences between the expert benchmark and the students’ estimations, even for the absolute values of the deviations (Figure 4.1). The deviation represented the objectified measure of students’ knowledge and simultaneously served as an indicator of procedural knowledge. High deviations indicated low procedural knowledge, and vice versa.

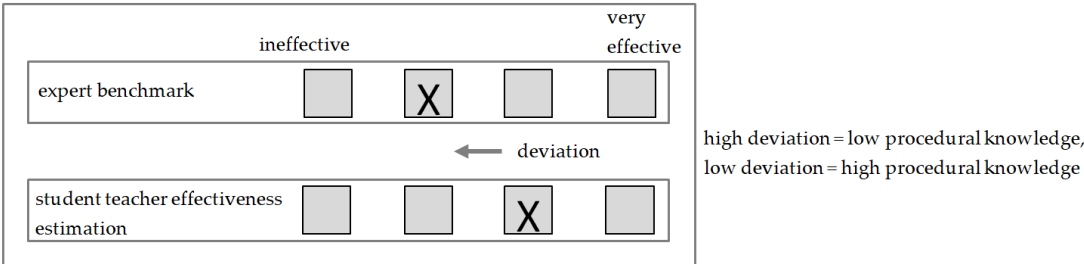


Figure 4.1. Defining student teachers’ procedural knowledge by applying an expert benchmark.

The absolute deviation values were used to execute a mixed ANOVA, with fields of action as within-factor and group membership (study program: bachelor/master) as between-factor for the whole sample and for each of the three subjects (biology, geography, politics). *T*-tests were conducted to test for significant differences in deviation between bachelor and master for each field of action. RmANOVA was used to test for significant differences between fields of action separated by study program.

Checking for external validity, effectiveness estimations, and absolute deviations were correlated with factors of attitudes toward sustainable development, responsibilities toward climate change and biodiversity loss, and subscales of interests in biodiversity issues. Therefore, the means were calculated for different factors of the validation tools. Furthermore, correlations between final school examination grade, bachelor grade, experience in ESD, and procedural knowledge were analyzed. The relationship between the previous bachelor grade of current master students as well as between effectiveness estimations and the total deviation to the expert benchmark were analyzed using linear regression.

4.3. Results

4.3.1. Comparison of the Effectiveness Estimations of Student Teachers and Experts

In comparing student teachers' effectiveness estimations with the expert benchmark, in 15 out of 17 solution strategies, the students showed a higher range across fields of action than the experts did (Table 4.1). RmANOVAs confirmed these descriptive statistics. The rmANOVAs (partially with a Greenhouse–Geisser correction due to lacking sphericity) revealed statistically significant differences between fields of action in all 17 solution strategies (Table 4.2). Effect sizes (partial η^2) indicated nine large, four medium, and four small effects (Table 4.2). Thus, for all solution strategies for both contexts, Bonferroni-adjusted post hoc analyses showed 42 statistically significant differences between fields of action (Table A4.1 Appendix A). In contrast, the experts showed significant differences of effectiveness estimations in only six solution strategies, and the post hoc analyses revealed six statistically significant differences between fields of action [43].

Table 4.1. Effectiveness estimations of solution strategies regarding insects and pollination and peatland use context (M = mean; SD = standard deviation), for student teachers (black, n = 236) and the expert benchmark (grey, n = 20, see [43]).

Solution Strategies Regarding Insects and Pollination		Fields of Action					
		Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Protection	
		M	SD	M	SD	M	SD
IP-1 Individuals ask in petitions to introduce bee-friendly laws.	2.48	0.92	2.51	0.89	2.95	0.92	
	2.14	0.82	2.24	0.78	2.31	0.85	
IP-2 Include contents of pollinator respective bee-related problems in curricula for schools, environment-related vocational training, and university studies.	2.95	0.96	2.73	0.98	3.00	0.87	
	2.54	1.03	2.41	1.09	2.69	0.97	
IP-3 The government provides financial incentives for using bee-friendly bloomers as biomass in biogas power stations.	2.83	0.87	2.73	0.81	2.97	0.92	
	2.68	0.96	2.68	0.69	2.77	0.66	
IP-4 Support pollinator-friendly agriculture by purchasing ecologically produced products.	2.99	0.73	2.81	0.73	2.95	0.75	
	2.88	0.68	3.00	0.78	2.93	0.85	
IP-5 Farmers reduce their use of pesticides and fertilizers.	3.32	0.74	2.70	0.91	3.60	0.59	
	3.56	0.60	3.31	0.66	3.58	0.68	
IP-6 Realign agricultural subsidies to stop promoting conventional and intensive agriculture.	3.27	0.81	2.59	0.85	3.04	0.81	
	3.77	0.44	3.42	0.60	3.47	0.52	
IP-7 Design a cultural landscape to serve pollinators as food source and habitat.	3.32	0.74	3.11	0.79	3.62	0.60	
	3.60	0.51	3.42	0.60	3.85	0.37	
IP-8 Strengthen the protection of wild bees and other pollinating insects.	3.39	0.80	3.41	0.76	3.85	0.39	
	3.49	0.88	3.78	0.43	3.86	0.36	

Solution Strategies Regarding Peatland Use		Fields of Action					
		Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Protection	
		M	SD	M	SD	M	SD
PU-1 After rewetting of intensively agricultural used peatlands, farmers grow moisture-loving plants, e.g., reed.	2.87	0.84	2.51	0.85	2.84	0.78	
	2.75	0.96	2.19	0.91	2.69	0.92	
PU-2 Inform the public more intensively about the important role of peatlands, e.g., via media or educational projects.	3.09	0.88	2.81	0.95	3.21	0.82	
	2.75	0.71	2.57	0.85	2.78	0.86	
PU-3 Allow companies to incorporate CO ₂ savings from peatland conservation into the EU emissions trading.	2.66	0.90	2.42	0.87	2.57	0.95	
	3.11	0.80	2.88	0.82	2.92	0.68	
PU-4 Investigate cultivation methods that preserve peatlands to apply them on agricultural-used peatlands.	3.30	0.67	2.95	0.71	3.14	0.79	
	3.09	0.67	2.91	0.64	2.94	0.60	
PU-5 Cultivate peatlands without fertilizers and pesticides.	3.34	0.77	2.59	0.95	3.02	1.02	
	3.20	0.92	3.08	0.87	2.67	1.20	
PU-6 Raise the water level of dehydrated peatlands to the water level of intact, near-nature peatlands.	3.07	0.87	2.86	0.93	3.49	0.72	
	3.08	0.82	3.13	0.87	3.48	0.77	
PU-7 Intensify the investigation of regenerative peat substitutes.	2.99	0.83	2.82	0.85	3.14	0.77	
	3.34	0.69	3.13	0.86	3.31	0.76	
PU-8 Apply existing laws stricter, e.g., prohibit the converting of grassland into maize cultivation.	3.46	0.71	2.80	0.95	3.46	0.71	
	3.50	0.71	3.28	0.65	3.03	0.97	
PU-9 Provide agricultural subsidies only for sustainably managed peatlands.	3.41	0.76	2.74	0.90	3.18	0.78	
	3.64	0.64	3.39	0.72	3.47	0.71	

The order of solution strategies follows the ascending average effectiveness estimations of experts (student teachers; expert benchmark); ineffective (1) to very effective (4).

Table 4.2. Differences between fields of action in the effectiveness estimations of solution strategies for insects and pollination and peatland use context using rmANOVA (student teachers, n = 236).

Insects and Pollination				Peatland Use			
Item	rmANOVA	p	Partial η^2	Item	rmANOVA	p	Partial η^2
IP-1	F(2, 466) = 46.28	< 0.001	0.166	PU-1	F(2, 464) = 22.88	< 0.001	0.090
IP-2 ¹	F(1.89, 445.12) = 14.72	< 0.001	0.059	PU-2 ¹	F(1.88, 439.38) = 28.82	< 0.001	0.110
IP-3	F(2, 468) = 7.74	< 0.001	0.032	PU-3 ¹	F(1.92, 443.02) = 7.85	0.001	0.033

IP-4	F(2, 468) = 7.94	< 0.001	0.033	PU-4	F(2, 468) = 20.49	< 0.001	0.080
IP-5 ¹	F(1.91, 446.45) = 115.76	< 0.001	0.331	PU-5 ¹	F(1.91, 441.32) = 52.95	< 0.001	0.186
IP-6 ¹	F(1.86, 433.68) = 68.23	< 0.001	0.227	PU-6 ¹	F(1.94, 453.93) = 44.29	< 0.001	0.159
IP-7 ¹	F(1.90, 446.26) = 38.42	< 0.001	0.141	PU-7	F(2, 466) = 14.95	< 0.001	0.060
IP-8 ¹	F(1.84, 432.71) = 84.11	< 0.001	0.264	PU-8 ¹	F(1.93, 452.24) = 72.82	< 0.001	0.237
				PU-9 ¹	F(1.84, 427.16) = 61.43	< 0.001	0.209

F(df, df_{error}) = F-value, ¹ Greenhouse–Geisser correction; IP = solution strategies for insects and pollination context; PU = solution strategies for peatland use context; partial η^2 : ≥ 0.01 and < 0.06 = small, ≥ 0.06 and < 0.14 = moderate, and ≥ 0.14 = large effect, cf. [62].

Students' Cronbach's α values were acceptable for the fields of action *sustainable land use* and *protection* and high for *ecosystem services* (Table 4.3) [63]. In all three fields of action, the reliabilities of the experts' judgments were higher than those of the students.

Table 4.3. Reliabilities (Cronbach's α) of effectiveness estimations in scales of fields of action, comprising contexts of insects and pollination and peatland use, for student teachers and experts (weighted).

	Fields of Action		
	Sustainable Land Use	Ecosystem Services	Protection
Student teachers (n = 236)	0.741	0.848	0.718
Experts (n = 20)	0.846	0.910	0.861

4.3.2. Comparing the Procedural Knowledge of Bachelor and Master Students

Considering the bachelor and master students' answers per item, results demonstrated frequently over- or underestimations compared to the expert benchmark. For the insects and pollination context, the three solution strategies containing the least attributed effectiveness by experts were mainly overestimated by students (negative values), whereas solution strategies with the highest attributed effectiveness were underestimated (positive values). A comparable pattern was found within the peatland use context (Figure 4.2). However, the solution strategy PU-3 and the value of climate protection in PU-8 did not fit the pattern (Figure 4.2). The averaged absolute deviation between bachelor and master was 0.10 in the insects and pollination context and 0.08 in the peatland use context.

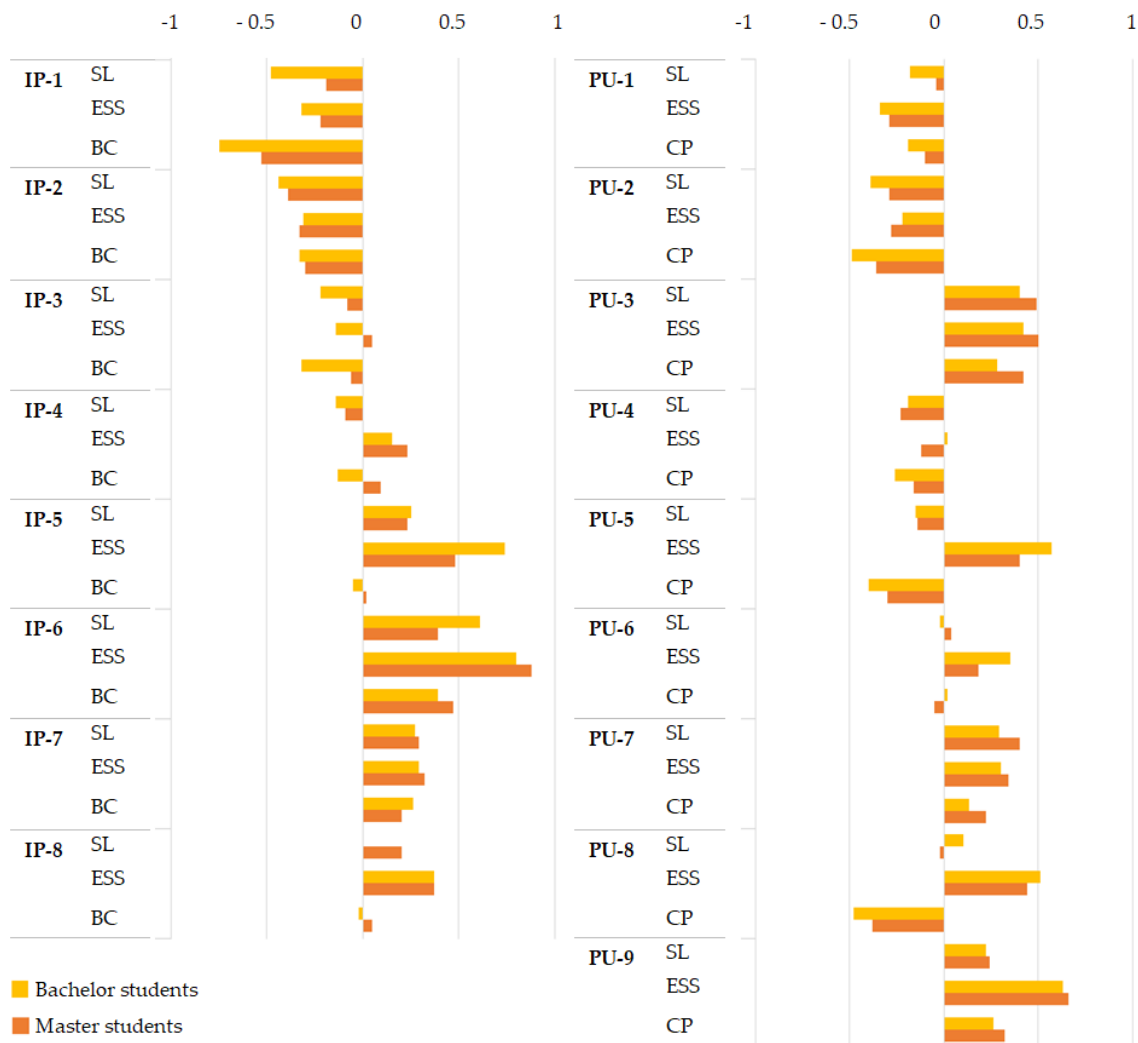


Figure 4.2. Deviations between expert benchmark and means of student teachers' estimates for the insects and pollination context (IP) and peatland use context (PU) separated by bachelor and master students (SL = *sustainable land use*; ESS = *ecosystem services*; BC = *biodiversity conservation*; CP = *climate protection*). The order of solution strategies follows the ascending effectiveness estimations of the experts. Item wording is shown in Table 4.1, IP-1 to IP-8 and PU-1 to PU-9.

At the level of fields of action, the absolute values of deviations from the expert benchmark were lower for master than bachelor students (Figure 4.3). In *ecosystem services*, the highest deviation from the benchmark occurred for both bachelor and master students. The lowest difference between bachelor and master students and the experts was observed in *protection*, and the highest in *sustainable land use*. The latter was the only field of action, where *T*-tests revealed significant differences between bachelor and master students (95% CI (0.01, 0.09), $t(233) = 2.52, p = 0.013$). Significant differences between fields of action separated by study program (results of rmANOVA) are presented in Figure 4.3.

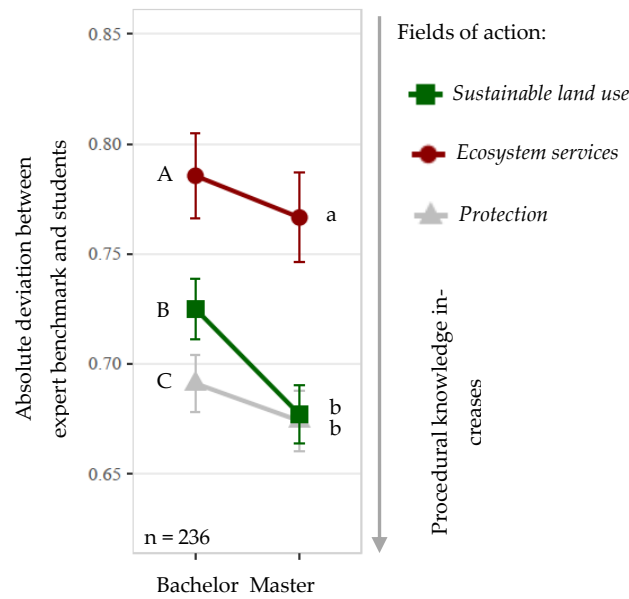


Figure 4.3. Procedural knowledge indicated by absolute deviation comparing bachelor and master students ($n = 236$) and experts ($n = 20$). The error bars indicate standard errors. According to rmANOVA and Bonferroni post hoc ($p < 0.05$), means with no letter in common indicate significant differences between fields of action, separated by study program. Capital and small letters represent bachelor and master students, respectively.

In total, procedural knowledge differed concerning the field of action ($p < 0.001$), but it did not differ concerning the study program ($p = 0.100$) and the interaction between study program and field of action ($p = 0.357$) (Table 4.4). The Bonferroni-adjusted post hoc test revealed significant differences between the fields of action of *sustainable land use* and *ecosystem services* (MD = -0.076 , $p < 0.001$, 95% CI -0.111 , -0.040) and *ecosystem services* and *protection* (MD = 0.093 , $p < 0.001$, 95% CI 0.059 , 0.126).

Table 4.4. Mixed ANOVA of procedural knowledge with field of action (*sustainable land use*, *ecosystem services*, *protection*) as within-factor and study program (bachelor/master) as between-factor.

Source of Variance	dfw	dfb	F	p	eta ²
Study program	1	233	2.72	0.100	0.012
Field of action	2	466	29.19	< 0.001	0.111
Study program * field of action	2	466	1.00	0.357	0.004

dfw = degrees of freedom within group; dfb = between groups; eta² = effect size.

The master students demonstrated higher Cronbach's α values in *ecosystem services* and *protection* than the bachelor students (Table 4.5). Except for the value for bachelor students in *protection*, all the values were satisfactory or high.

Table 4.5. Student teachers' reliabilities (Cronbach's α) of effectiveness estimations in scales of fields of action separated by study program.

Study Program	Fields of Action		
	<i>Sustainable Land Use</i>	<i>Ecosystem Services</i>	<i>Protection</i>
Bachelor (n = 123)	0.748	0.837	0.648
Master (n = 112)	0.729	0.861	0.757

4.3.3. Comparing the Procedural Knowledge of Biology, Geography, and Politics Students

Separated by subject, the patterns of over- and underestimation were similar to those of the comparison of bachelor and master students (see Section 4.3.1) (Figure 4.4). With a few exceptions (e.g., IP-4 BC), the patterns did not differ between subjects. Nonetheless, some items revealed differences between subjects (e.g., IP-5, PU-2, and PU-5) (Figure 4.4). The averaged absolute deviation in the insects and pollination context amounted to 0.08 between biology and geography, 0.13 between biology and politics, and 0.12 between geography and politics. In the peatland use context, biology and geography differed by about 0.09, biology and politics about 0.17, and geography and politics by about 0.15.



Figure 4.4. Deviations between expert benchmark and means of student teachers' estimates for the insects and pollination context (IP) and peatland use context (PU) separated by subjects (SL = *sustainable land use*; ESS = *ecosystem services*; BC = *biodiversity conservation*; CP = *climate protection*). The order of solution strategies follows the ascending effectiveness estimations of the experts. Item wording is shown in Table 4.1, IP-1 to IP-8 and PU-1 to PU-9.

At the level of fields of action, procedural knowledge, separated by the subjects biology, geography, and politics, revealed the same overall pattern (cf. Figure 4.3), with highest

deviations in *ecosystem services* and lowest deviations in *protection* (Figure 4.5a, b, c). *T*-tests showed significant differences between geography bachelor and master students in *sustainable land use* (95% CI (0.02, 0.15), $t(78) = 2.51$, $p = 0.014$). The averaged absolute deviations were very similar for bachelor and master students in biology (0.71), geography (0.74), and politics (0.73). Results of rmANOVA separated by study program are contained in Figure 4.5. Table 4.6 shows the reliabilities separated by subject. No definite trend in reliability was obvious.

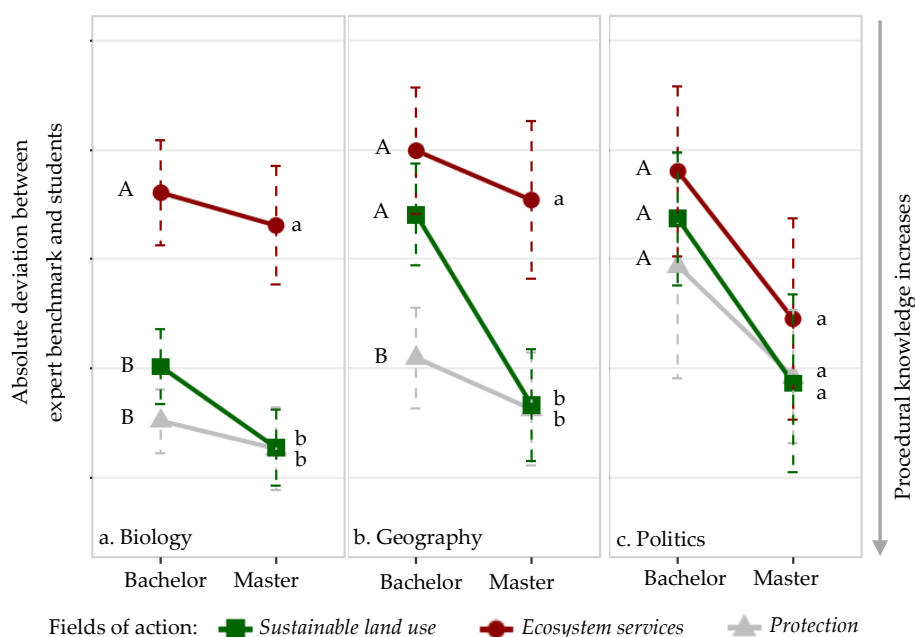


Figure 4.5. Procedural knowledge indicated by absolute deviations between (a) biology students ($n = 154$), (b) geography students ($n = 80$), (c) politics students ($n = 24$) and experts ($n = 20$). The error bars indicate standard errors. According to rmANOVA and Bonferroni post hoc ($p < 0.05$), means with no letter in common indicate significant differences between fields of action, separated by study program. Capital and small letters represent bachelor and master students, respectively.

Table 4.6. Student teachers' reliabilities (Cronbach's α) of effectiveness estimations in scales of fields of action separated by subject.

Subject	Fields of Action		
	<i>Sustainable Land Use</i>	<i>Ecosystem Services</i>	<i>Protection</i>
Biology ($n = 154$)	0.744	0.831	0.726
Geography ($n = 80$)	0.738	0.856	0.703
Politics ($n = 24$)	0.716	0.823	0.755

4.3.4. Indications for Validity of Measure

Regarding formal education, 103 participants (43.6%) reported having dealt with ESD at school (Table 4.7). While more bachelor than master students stated they had encountered ESD at school, the reverse was shown for ESD at university (Table 4.7). Regarding occasions of having dealt with ESD, the highest level was reached in "university" (55.9%), followed by in "films and TV" (46.6%). Seventeen participants (7.2%) indicated not having dealt with ESD.

Divided by subject, a large number of geography students came into contact with ESD at university (76.3%). For biology, this applied to 51% and for politics to 33.3% of students.

Table 4.7. Formal education where participants dealt with ESD, separated by study program and subject (percentage values).

ESD	Study Program			Subject								
	Total n = 236	BA n = 123	MA n = 112	Biology n = 154			Geography n = 80			Politics n = 24		
				Total	BA	MA	Total	BA	MA	Total	BA	MA
At school	43.6	49.6	37.5	40.5	46.5	32.8	55.0	64.4	42.9	58.3	66.7	53.3
At university	55.9	41.5	72.3	51.0	32.6	74.6	76.3	68.9	85.6	33.3	22.2	40.0

BA = bachelor; MA = master.

Participants indicated having attended 1.14 ($SD = 1.71$) courses with ESD-relevance (0.76 in BA ($SD = 1.66$), 1.5 in MA ($SD = 1.67$)); the ESD portion covered on average 39% ($SD = 24$) of these courses (in BA, 43% ($SD = 23$); in MA, 38% ($SD = 24$)). The majority of the courses were attended by geography students, with 1.51 ($SD = 1.93$), followed by 1.18 in biology ($SD = 1.8$) and 0.54 ($SD = 1.1$) in politics. No correlation occurred between participation in ESD-relevant courses and procedural knowledge ($r = 0.042$, $p = 0.537$).

Self-assessment of knowledge ranged from 2.10 (2 = good) in climate change to 3.75 (4 = sufficient) in agricultural policy (Table 4.8). Means of self-assessed knowledge separated by subject showed the highest knowledge among the biology students in ecologically focused topics such as “bees and pollination”. Geography students reported the highest knowledge, compared to students of other disciplines, in more interdisciplinary topics like “sustainable land use”; politics students reported the highest knowledge in policy topics (Table 4.8).

Table 4.8. Self-assessed knowledge in 13 different topics ($n = 236$) for all subjects and separated by subject.

Topic	All Subjects			Biology		Geography		Politics	
	Mean	SD	Rank	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Diversity of species	2.63	0.80	5	2.41	0.76	2.72	0.83	2.91	0.90
Diversity of ecosystems	2.59	0.80	4	2.42	0.72	2.58	0.80	2.96	1.07
Genetic diversity	2.76	1.03	6	2.41	0.86	3.14	1.04	3.13	1.06
Bees and pollination	2.76	1.09	7	2.55	1.01	2.95	1.13	3.30	1.15
Ecosystem services	3.38	1.05	11	3.36	1.04	3.12	1.02	3.78	1.09
Climate change	2.10	0.79	1	2.15	0.81	1.84	0.67	2.35	0.83
Importance of peatlands	3.68	1.10	12	3.67	1.08	3.59	1.10	3.83	1.27
Sustainable development	2.54	0.87	3	2.68	0.88	2.12	0.63	2.57	1.04
Sustainable consumption	2.19	0.84	2	2.28	0.89	1.96	0.74	2.13	0.69
Sustainable land use	2.96	1.04	8	3.05	1.00	2.49	0.90	3.52	1.10
Education for sustainable development	3.25	1.13	10	3.45	1.10	2.74	1.10	3.39	1.23
Environmental policy	3.11	1.08	9	3.34	1.01	2.89	0.97	2.00	0.74
Agricultural policy	3.75	1.00	13	3.93	0.93	3.50	0.97	3.22	1.17

SD = standard deviation; very good (1), good (2), satisfactory (3), sufficient (4), and insufficient (5); subject with highest self-assessed knowledge.

There was no correlation between final school examination grade and total procedural knowledge ($r = 0.092, p = 0.162$). However, the bachelor grade was a weak, statistically significant predictor ($R^2 = 0.048, \text{adjusted } R^2 = 0.039$) of procedural knowledge for SD ($F(1,101) = 5.09, p = 0.026$) [cf. 62]. Also, the effectiveness estimations weakly significantly predict procedural knowledge ($R^2 = 0.032, \text{adjusted } R^2 = 0.028; F(1,234) = 7.78, p = 0.006$).

According to only small differences in procedural knowledge of bachelor and master students and between subjects, the analyses of validation measurement instruments were conducted with the whole sample ($n = 236$). Existing measures for assessing attitudes, responsibilities, and interests were applied to check for external validity. In the factor analytical proofed scale for ASD, there were no significant differences between bachelor and master students in the factors of environment, economy, society, and education ($p > 0.05$). All of the participants showed positive attitudes toward SD. There was a moderate correlation of averaged effectiveness estimation and averaged ASD (Table 4.9). Weak correlations were identified between the effectiveness estimations in fields of action and related constructs of ASD (Table 4.9). However, by correlating procedural knowledge instead of an effectiveness estimation with ASD, no significances appeared (Table 4.9). The same pattern was detected for the relations between effectiveness estimations/procedural knowledge and responsibilities toward climate change and biodiversity loss (Table 4.9). Students indicated high responsibilities toward biodiversity loss ($M = 3.97$) and climate change ($M = 4.12$) (4 = agree, 5 = strongly agree). The averaged ASD showed a moderate correlation with averaged responsibilities toward climate change and biodiversity loss ($r = 0.434, p < 0.001$).

Table 4.9. Correlations between effectiveness estimations (italics)/procedural knowledge (bold) and attitudes toward sustainable development (ASD) and responsibilities.

Validation Tool	Sustainable Land Use	Ecosystem Services	Protection	Average
ASD	Environment	<i>r = 0.230</i> r = -0.044 <i>p < 0.001</i> p = 0.499	<i>r = 0.207</i> r = 0.024 <i>p < 0.001</i> p = 0.719	
	Economy	<i>r = 0.239</i> r = -0.052 <i>p < 0.001</i> p = 0.424		
	Society	<i>r = 0.21</i> r = -0.029 <i>p = 0.001</i> p = 0.658		
	Average			<i>r = 0.425</i> r = -0.044 <i>p < 0.001</i> p = 0.499
Responsibilities	Total			<i>r = 0.396</i> r = -0.022 <i>p < 0.001</i> p = 0.740

Respondents' ($n = 88$) indicated interests in biodiversity issues are presented in Table 4.10. Relating the interests in biodiversity issues to the effectiveness estimations of students, fields of action were separated by the two contexts. In contrast to the insects and pollination context,

in the peatland use context, the fields of action hardly correlated with the subscales of interests in biodiversity (Table 4.11). After correlating interests in biodiversity issues with procedural knowledge separated by contexts, no significances were detected (except between insects and pollination context and interest in access and benefit sharing).

Table 4.10. Interests in biodiversity issues (means (M) and standard deviations (SD) for subscales and contexts, n = 88).

Subscale			Domain		
	M	SD		M	SD
Biodiversity loss	3.71	0.48	Research	3.82	0.49
Biodiversity protection	3.59	0.56	Politics and law	3.21	0.65
Access and benefit-sharing	3.39	0.58	Economy	3.46	0.60
Ecosystem services	3.43	0.48	Ecology	3.88	0.49
Biodiversity in general	3.55	0.51	Society	3.80	0.56
Biodiversity and climate change	3.73	0.59			

Very little interest (1) to very strong interest (5)

Table 4.11. Correlation between subscales of interests in biodiversity issues and fields of action of students' effectiveness estimation separated by contexts (n = 88).

Subscale of Interests in Biodiversity Issues	Sustainable Land Use		Ecosystem Services		Protection	
	IP	PU	IP	PU	IP	PU
Biodiversity loss	r = 0.282 p = 0.008	r = 0.129 p = 0.231	r = 0.204 p = 0.057	r = 0.099 p = 0.360	r = -0.248 p = 0.020	r = -0.038 p = 0.722
Biodiversity conservation	r = 0.251 p = 0.018	r = 0.140 p = 0.194	r = 0.194 p = 0.080	r = 0.106 p = 0.327	r = 0.220 p = 0.039	r = -0.036 p = 0.736
Access and benefit sharing	r = 0.446 p < 0.001	r = 0.229 p = 0.033	r = 0.303 p = 0.004	r = 0.093 p = 0.393	r = 0.358 p = 0.001	r = 0.168 p = 0.119
Ecosystem services	r = 0.169 p = 0.115	r = 0.028 p = 0.795	r = 0.097 p = 0.368	r = 0.025 p = 0.818	r = 0.109 p = 0.313	r = -0.058 p = 0.592
Biodiversity in general	r = 0.326 p = 0.002	r = 0.156 p = 0.148	r = 0.196 p = 0.069	r = 0.132 p = 0.223	r = 0.193 p = 0.074	r = 0.031 p = 0.777
Climate change	r = 0.309 p = 0.003	r = 0.197 p = 0.065	r = 0.227 p = 0.033	r = 0.141 p = 0.191	r = 0.259 p = 0.015	r = 0.025 p = 0.816

IP = solution strategies for insects and pollination context; PU = solution strategies for peatland use context.

4.4. Discussion

The study on student teachers' procedural knowledge addresses two key issues: biodiversity loss and climate change. Student teachers evaluated solution strategies regarding their effectiveness in three fields of action, which are essential in terms of SD: *sustainable land use*, *ecosystem services*, and *protection*. Student teachers' procedural knowledge was assessed by using a benchmark from an expert study [43]. The effectiveness judgments of student teachers were subtracted from the values of the expert benchmark. When referring to initial values, indicated by students, the term "effectiveness estimation" is used. In contrast, deviations between expert benchmark and students' estimations indicate students' procedural knowledge. Estimations on effectiveness of experts and students deviated remarkably. Regarding procedural knowledge, between bachelor and master students, only small differences were observed. The same applies to the comparison of students of biology, geography, and politics, where the same overall pattern occurred. The advantage of the present study is the sample composition of different study

programs and subjects with the highest ESD relevance (biology, geography, politics) from eight universities of five federal states in Germany.

4.4.1. Student Teachers' Procedural Knowledge

The study showed deviating effectiveness estimations between experts and students. These findings are in line with previous research. For example, Koch et al. [36] reported differing judgements of students and experts regarding the effectiveness of solution strategies for resource use problems in Indonesia. Furthermore, studies show discrepancies in comparing (student) teachers' estimations with scientific consensus or data regarding climate change or biodiversity. Plutzer et al. [28] asked US science teachers to estimate the proportion of global warming scientists relate to humans. On average, only 37.5% of the respondents selected the correct answer of "81% to 100%" human caused global warming [28]. Therefore, teachers' views differ from those of scientists. According to Wynes and Nicholas [64], the reason for this may lie in curricula documents and textbooks. They assessed Canadian secondary school science curricula documents and textbooks and found that, for example, the documents cast doubt on the scientific consensus on human-caused climate change and the trend of global warming [64]. Regarding biodiversity, it was shown that student teachers' estimations of threats to plant species markedly differed from scientific data by overestimations [33]. One explanation would be the cognitive performance required to balance the total number of plants against the number of threatened plants [33].

The deviations between experts and students in the present study became plausible when considering the following: the participants self-assessed their knowledge in ESD as hardly satisfactory, and not even half of the students stated that they dealt with ESD at school. The remarkably higher proportion of bachelor students indicated dealing with ESD at school is probably the result of several efforts, like the UN Decade of ESD [4] and the GAP [2], as both have supported the implementation of ESD in schools. Only 55.9% of the participants stated that university was one of the most prominent contexts in which ESD played a role. Because they spent more time at university, this was higher for master than bachelor students. TV and internet also represented important sources of dealing with SD contexts. When teacher education is completed, according to Cini and Mifsud [65], mainly internet (91.1%) and television (73.3%) served as sources to obtain environmental knowledge.

Because of the missing correlation between procedural knowledge and the number of ESD-relevant courses attended, there seemed to be no considerable impact on procedural knowledge. However, the workload of ESD-relevant courses equated to 51.3 h for master and 26 h for bachelor students (one course was equivalent to 3 credit points (ECTS) and 90 h workload).

Furthermore, the deviations between experts and students partly reflected the students' self-assessed knowledge. For example, the lowest self-assessed knowledge in agricultural politics supported the lowest procedural knowledge in solution strategies to agricultural subsidies (IP-6 and PU-9 in Figures 4.2 and 4.4). The latter was also in line with the lowest interest in biodiversity issues in the domain of politics and law (Table 4.10). Additionally, the students indicated comparable high knowledge for sustainable consumption (Table 4.8). Consumer decision and behavior are often contained in curricula [e.g., 66]. This was in agreement with the highest procedural knowledge in the consumption solution strategy (IP-4 in Figure 4.2).

Over- and underestimating solution strategies resulted of the students' higher range in estimations compared to experts. Overestimation seemed to occur mainly in areas where students felt themselves addressed because of their teacher education. Therefore, three of the four solution strategies with large overestimations contained a term like "curricula" (IP-2), "public" (PU-2), or "petition" (IP-1). Underestimation especially occurred in areas where the students felt uncertain, most frequently in the field of *ecosystem services*.

The pattern of the highest procedural knowledge in *protection*, followed by *sustainable land use* and *ecosystem services* (Figures 4.3 and 4.5), could be attributed to the level of awareness and the degree of interdisciplinarity of the fields. Education seems to address fields of action to varying extents. This is supported by the rmANOVAs, revealing 42 significant differences between fields of action. *Protection* and *sustainable land use* can be more ecologically focused, whereas *ecosystem services* require a stronger integration of economic and social knowledge. The general pattern of higher procedural knowledge in *sustainable land use* than in *ecosystem services* is also supported by the half unit higher self-assessed knowledge in *sustainable land use* than in *ecosystem services* (Table 4.8). Furthermore, the pattern with the highest procedural knowledge in *protection* and the lowest in *ecosystem services* may be explained by the order in which corresponding issues are implemented in formal education. In Germany, issues of environmental protection were integrated into the curricula in the 1980s [67] and are largely established today. Through nation-wide initiatives since 1999, the implementation of sustainability issues at schools has increased. Sustainable land use can be considered, for example, in terms of sustainable consumption and production [4]. However, it seems that ecosystem services are hardly considered [68–75].

Small differences in procedural knowledge occurred between bachelor and master students (Figure 4.2). For the majority of items, the pattern of over- or underestimation at the level of solution strategies was independent of study program. Master students showed higher procedural knowledge in all fields of action. Thus, rating scale judgments of master students were

closer to the experts' judgments than the bachelor students' judgments. Despite the procedural knowledge of master students suspected to be higher than the bachelor students', significance was only detected in *sustainable land use*. This is similar to the results of Effeney and Davis [76]: they assessed student teachers separated by first to fourth year of study and detected significant differences in knowledge of sustainability issues only between first and third years.

On average, few differences in procedural knowledge were detected between the three highly ESD-relevant subjects of biology, geography, and politics (Figure 4.4). The single significant difference between bachelor and master students in *sustainable land use* was observed in geography. This may be attributed to more interdisciplinary-oriented curricula and geography's nature of combining natural and social sciences, compared to biology or politics [cf. 66]. The highest ESD-related workload of 49.9 h was reported in geography; this is in line with the broadest implementation of ESD at school [8].

4.4.2. Validity of the Measure

Participants with greater pro-sustainable attitudes evaluated the solution strategies for SD challenges as being more effective. This significant correlation of attitudes and effectiveness estimations seems logical, as both are subjective in nature (Figure 4.6). Only by relating the estimations to expert benchmark can an objectified level be reached. Hence, a statement about procedural knowledge can be derived (Figure 4.6). In the present study, procedural knowledge did not correlate with attitudes and responsibilities (Table 4.9). It seems plausible that the subjective measure of students' knowledge (effectiveness estimations) correlates stronger with other subjective measures than the objectified measure (students' deviations to expert benchmark) does. Results are in line with Tuncer et al. [48], who could not identify a significant correlation between environmental knowledge and environmental attitudes of pre-service teachers in Turkey. In contrast, for tenth grade students, Michalos et al. [47] detected a high correlation between knowledge and attitudes toward SD. One reason for the missing correlation of knowledge and attitudes in the present study may be that investigated attitudes were assessed much more generally than measured procedural knowledge [cf. 77]. As procedural knowledge is defined as knowledge-in-use [39], the attitude–action gap may be one more reason for the absence of any correlations [77]. Several situational barriers could hinder executions [78,79]. Especially, studies about sustainable consumption demonstrate that a positive attitude is no guarantee of action [80].

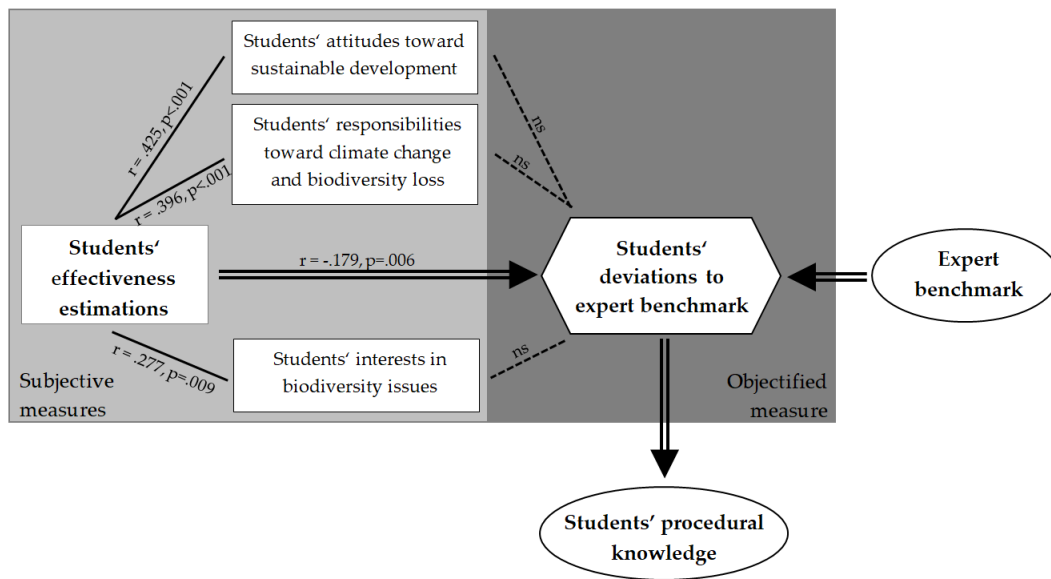


Figure 4.6. Relations between subjective measures and objectified students procedural knowledge with related constructs (ns = not significant; effectiveness estimations underlying the expert benchmark are displayed in Table 4.1).

Data concerning the interests in biodiversity and effectiveness estimations supported the expected higher correlations for the insects and pollination context than for the peatland use context. Hardly any correlations between interests in biodiversity issues and procedural knowledge were observed. Missing correlations between procedural knowledge and external validation instruments were in accordance with only weak prediction of procedural knowledge by student teachers' effectiveness estimations ($R^2 = 0.032$).

4.4.3. Limitations of the Study

The trend of overestimation on the level of solution strategies (Figures 4.2 and 4.4) can be assumed to be a phenomenon of social desirability. In other words, the respondents may have misrepresented themselves in order to appear to comply with social norms [cf. 81]. In the present study, participants had to evaluate items declared to be solution strategies in the contexts of insects and pollination and peatland use. This could lead to an exaggerated indication of desired behavior [82]. It is possible that the participants wanted to present themselves in a positive light by indicating high effectiveness. Concerning the underestimation, uncertainty in the specific contexts may have inhibited choosing high-effectiveness estimations. Furthermore, the complexity of SD challenges may have required a high cognitive performance [cf. 33] and led to incorrect estimations. Moreover, differences between subjects might have been underestimated, as the respondents who studied two ESD-relevant subjects ($n = 24$) were assigned to both subjects, and sample sizes differ.

In Germany, currently it is difficult to compile a large sample for a time-consuming questionnaire, as the nation-wide “Qualitätsoffensive Lehrerbildung” includes intensive evaluation studies in many teacher education institutions. Because of voluntary participation beyond courses, the risk of selection bias cannot be excluded. The students knew that the survey dealt with challenges of SD. Probably, students with a relatively high interest and knowledge regarding SD were overrepresented in the sample; however, this effect may have been mitigated by the financial incentive.

4.5. Conclusion and Future Work

The relevance of the addressed issues of biodiversity loss and climate change manifests through being represented mainly in the SDGs of “Life on Land”, “Life Below Water”, and “Climate Action” [83] and, thus, in the education for SDGs [3]. The present research provides insights into student teachers’ procedural knowledge. The deviations between students’ effectiveness estimations and expert benchmark demonstrate that students who are becoming teachers can improve their procedural knowledge in order to adequately solve real-world challenges of SD. Student teachers’ content knowledge as an essential competence for teaching ESD should be fostered.

So far, the level of study program (bachelor/master) seems to have only a little influence on procedural knowledge. However, the almost double workload in ESD of master students compared to bachelor students showed a small effect. Therefore, it can be assumed that approaches of the German “Qualitätsoffensive Lehrerbildung”, which foster the integration of ESD at certain universities [84–86], could affect student teachers’ procedural knowledge. Results suggest that students in the subjects of biology, geography, and politics would all benefit to the same extent from enriching their education with ESD. This study took teacher education at eight universities into account, revealing a rather poor consideration of ESD issues in courses (a maximum average of 1.5 for master students during their entire study). Thus, we are still far from the desirable extent of the ESD implementation in Germany. The results regarding expandable teaching and learning prerequisites can enrich teacher education, as they can serve as a base for strengthening ESD; thus, they contribute to achieving core facets of the SDGs.

In terms of SD, it is essential that (student) teachers possess knowledge on real-world SD challenges. According to Lawson et al. [87], by taking into account teaching SD-relevant issues, not only does a multiplier effect occur, but also a positive effect of intergenerational learning is possible. Researchers recently found that parents’ concern about climate change may be fostered by their children [87]. Furthermore, politics tend to pick up the topic to improve their policies toward the SDG “Climate action”.

So far, literature-based solution-strategies and, especially, the input of experts in the first Delphi-round [43] contributed to ensure content validity of the measure. With the present quantitative study, the final step of the measurement development was reached. By calculating the deviation, the expert benchmark served as a normative standard for student teachers' procedural knowledge and force validity. The evaluation of student teachers' procedural knowledge provided plausible results. Therefore, together with the Delphi study [43], this research developed an approach to evaluate highly complex procedural knowledge for problem-solving in SD-relevant issues. The SDGs provide numerous topics for teaching SD [3]. Therefore, it would be possible to adapt the approach of this research instrument to other highly complex and controversial SD challenges (e.g., health issues in the global south). The instrument can also be used for other target groups like senior high school students.

In the future, it would be interesting to examine if other subjects like physics or languages show deviating levels of procedural knowledge regarding SD issues. Concerning the over- and underestimation on the level of solution strategies, qualitative studies and quantitative studies with an intervention or experimental design could reveal reasons for the detected patterns. In this way, greater insight into the influence of social desirability could be gained.

The instrument of procedural knowledge was combined with the evaluation of situational and conceptual knowledge [cf. 39]. A joint analysis of all three types of knowledge is planned in a next step. Furthermore, a longitudinal study design with a large sample will be applied in order to make clear statements about changes in SD-related knowledge during teacher education. The described further projects will allow evidence-based and more precisely drawn conclusions on how to enrich ESD in teacher education.

Author Contributions: Conceptualization, Lisa Richter-Beuschel and Susanne Bögeholz; Formal analysis, Lisa Richter-Beuschel and Susanne Bögeholz; Funding acquisition, Susanne Bögeholz; Methodology, Lisa Richter-Beuschel and Susanne Bögeholz; Project administration, Susanne Bögeholz; Supervision, Susanne Bögeholz; Visualization, Lisa Richter-Beuschel and Susanne Bögeholz; Writing—original draft, Lisa Richter-Beuschel; Writing—review & editing, Susanne Bögeholz.

Funding: This project is part of the “Qualitätsoffensive Lehrerbildung”, a joint initiative of the Federal Government and the Länder, which aims to improve the quality of teacher training. The program is funded by the Federal Ministry of Education and Research (reference number: 01JA1617).

Acknowledgments: We acknowledge support by the German Research Foundation and the Open Access Publication Funds of the Goettingen University. We thank Prof. Dr. Tobias C. Stubbe for statistical advice.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

4.6. Appendix A

Table A4.1. Bonferroni-adjusted post hoc analyses of student teachers' effectiveness estimations (n = 236).

Solution Strategy	Sustainable Land Use vs. Ecosystem Services				Sustainable Land Use vs. Biodiversity Conservation/Climate Protection				Ecosystem Services vs. Biodiversity Conservation/Climate Protection			
	MD	p	95% CI		MD	p	95% CI		MD	p	95% CI	
IP-1	-0.030	1.00	-0.157	0.097	-0.466	< 0.001	-0.605	-0.326	-0.436	< 0.001	-0.561	-0.310
IP-2	0.225	0.001	0.082	0.367	-0.051	1.00	-0.183	0.081	-0.275	< 0.001	-0.391	-0.160
IP-3	0.094	0.326	-0.047	-0.234	-0.136	0.070	-0.280	0.008	-0.230	< 0.001	-0.371	-0.089
IP-4	0.183	0.001	0.062	0.304	0.043	1.00	-0.065	0.150	-0.140	0.014	-0.259	-0.022
IP-5	0.626	< 0.001	0.467	0.784	-0.277	< 0.001	-0.407	-0.146	-0.902	< 0.001	-1.051	-0.753
IP-6	0.684	< 0.001	0.531	0.836	0.226	< 0.001	0.104	0.349	-0.457	< 0.001	-0.611	-0.303
IP-7	0.203	0.006	0.047	0.359	-0.305	< 0.001	-0.435	-0.175	-0.508	< 0.001	-0.643	-0.374
IP-8	-0.013	1.00	-0.159	0.134	-0.453	< 0.001	-0.588	-0.319	-0.441	< 0.001	-0.570	-0.311
PU-1	-0.361	< 0.001	0.214	0.507	0.026	1.00	-0.110	0.162	-0.335	< 0.001	-0.482	-0.187
PU-2	0.277	< 0.001	0.148	0.405	-0.119	0.037	-0.233	-0.005	-0.396	< 0.001	-0.538	-0.253
PU-3	0.246	< 0.001	0.102	0.390	0.091	0.381	-0.052	0.233	-0.155	0.076	-0.321	0.011
PU-4	0.349	< 0.001	0.223	0.475	0.153	0.017	0.021	0.285	-0.196	0.002	-0.334	-0.057
PU-5	0.754	< 0.001	0.591	0.918	0.328	< 0.001	0.156	0.499	-0.427	< 0.001	-0.622	-0.232
PU-6	0.209	0.015	0.031	0.386	-0.421	< 0.001	-0.574	-0.269	-0.630	< 0.001	-0.793	-0.467
PU-7	0.175	0.015	0.026	0.324	-0.145	0.029	-0.280	-0.011	-0.321	< 0.001	-0.462	-0.179
PU-8	0.655	< 0.001	0.497	0.814	-0.004	1.00	-0.141	0.133	-0.660	< 0.001	-0.818	-0.501
PU-9	0.670	< 0.001	0.506	0.833	0.232	< 0.001	0.106	0.358	-0.438	< 0.001	-0.589	-0.286

MD = mean difference; CI = confidence interval; IP = solution strategies for insects and pollination context; PU = solution strategies for peatland use context; tendencies.

4.7. References

1. IPBES—Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *The Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia*; IPBES: Bonn, Germany 2018.
2. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*; UNESCO: Paris, France, 2014.
3. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*; UNESCO: Paris, France, 2017.
4. KMK (Kultusministerkonferenz der Länder). *Zur Situation und zu Perspektiven der Bildung für Nachhaltige Entwicklung: Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017*. Available online: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichung-en_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf (accessed on 15 June 2018).
5. United Nations (UN), General Assembly. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*; United Nations (UN), General Assembly: New York, NY, USA, 2015.

6. United Nations (UN), General Assembly. *Education for Sustainable Development in the Framework of the 2030 Agenda for Sustainable Development*; UN, General Assembly: New York, NY, USA, 2017.
7. Leicht, A.; Combes, B.; Byun, W.J.; Agbedahin, A.V. From Agenda 21 to Target 4.7: The development of Education for Sustainable Development. In *Issues and Trends in Education for Sustainable Development: Education on the Move*; Leicht, A., Heiss, J., Byun, W. J., Eds.; UNESCO: Paris, France, 2018; pp. 25–38. ISBN 978-92-3-100244-1.
8. Bagoly-Simó, P.; Hemmer, I. Bildung für nachhaltige Entwicklung in den Sekundarschulen: Ziele, Einblicke in die Realität, Perspektiven; 2017. Available online https://www.ku.de/fileadmin/150305/Professur_fuer_Didaktik_der_Geographie/Forschung/Literatur/Bildung_f%c3%bcr_nachhaltige_Entwicklung_in_den_Sekundarschulen_%e2%80%93_Ziele__Einblicke_in_die_Realit%c3%a4t__Perspektiven_-_Bagoly-Simo__Hemmer.pdf (accessed 20 September 2019).
9. Singer-Brodowski, M.; Etzkorn, N.; von Seggern, J. One Transformation Path Does Not Fit All—Insights into the Diffusion Processes of Education for Sustainable Development in Different Educational Areas in Germany. *Sustainability* **2019**, *11*, 269, doi:10.3390/su11010269.
10. Rieckmann, M.; Holz, V. Verankerung von BNE in der Lehrerbildung in Deutschland. *Z. Int. Bildungsforschung Entwicklungspädagogik* **2017**, *40*, 4–10.
11. Rieckmann, M. Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In *Issues and Trends in Education for Sustainable Development: Education on the Move*; Leicht, A., Heiss, J., Byun, W.J., Eds.; UNESCO: Paris, France, 2018; pp 39–59. ISBN 978-92-3-100244-1.
12. Bourn, D.; Frances, H.; Phil, B. *A Review of Education for Sustainable Development and Global Citizenship Education in Teacher Education*; Background Paper Prepared for the 2017/8 Global Education Monitoring Report; UNESCO: Paris, France, 2017. Available online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002595/259566e.pdf> (accessed on 26 June 2018).
13. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *SDG 4—Education 2030: Part II, Education for Sustainable Development Beyond 2019*; UNESCO: Paris, France, 2019.
14. Baumert, J.; Kunter, M. Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Z. Erziehungswissenschaft* **2006**, *9*, 469–520.

15. Baumert, J.; Kunter, M. Das Kompetenzmodell von COACTIV. In *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*; Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M., Eds.; Waxmann: Münster, Germany, 2011; pp. 29–53. ISBN 978-3-8309-2433-3.
16. Reinke, V.; Hemmer, I. Bildung für nachhaltige Entwicklung—Über welche Kompetenzen verfügen Lehrkräfte und Akteur/-innen aus den außerschulischen Einrichtungen. *Zeitschrift ZLB. KU* **2017**, *1*, 38–42.
17. Shulman, L.S. Knowledge and Teaching: Foundation of the New Reform. *Harv. Educ. Rev.* **1987**, *57*, doi:10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411.
18. Hellberg-Rode, G.; Schrüfer, G. Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)? Ergebnisse einer explorativen Studie. *Z. Didakt. Biol.* **2016**, *20*, 1–29, doi:10.4119/UNIBI/zdb-v20-i1-330.
19. Hellberg-Rode, G.; Schrüfer, G.; Hemmer, M. Brauchen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) spezifische professionelle Handlungskompetenzen? Theoretische Grundlagen, Forschungsdesign und erste Ergebnisse. *Z. Geographiedidakt.* **2014**, *42*, 257–281.
20. Hagedorn, G.; Loew, T.; Seneviratne, S.I.; Lucht, W.; Beck, M.-L.; Hesse, J.; Knutti, R.; Quaschnig, V.; Schleimer, J.-H.; Mattauch, L.; et al. The Concerns of the Young Protesters are Justified: A Statement by Scientists for Future Concerning the Protests for more Climate Protection. *GAIA Ecol. Perspect. Sci. Soc.* **2019**, *28*, 79–87, doi:10.14512/gaia.28.2.3.
21. Schreiber, J.-R. Competencies, Themes, Standards, Design of Lessons and Curricula. In *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*, 2nd ed.; Schreiber, J.-R., Siege, H., Eds.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; pp. 86–110. ISBN 978-3-06-230062-2.
22. Zamora-Polo, F.; Sánchez-Martín, J.; Corrales-Serrano, M.; Espejo-Antúnez, L. What Do University Students Know about Sustainable Development Goals? A Realistic Approach to the Reception of this UN Program Amongst the Youth Population. *Sustainability* **2019**, *11*, 3533, doi:10.3390/su11133533.
23. Herman, B.C.; Feldman, A.; Vernaza-Hernandez, V. Florida and Puerto Rico Secondary Science Teachers' Knowledge and Teaching of Climate Change Science. *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2017**, *15*, 451–471, doi:10.1007/s10763-015-9706-6.

24. Summers, M.; Kruger, C.; Childs, A.; Mant, J. Primary School Teachers' Understanding of Environmental Issues: An Interview Study. *Environ. Educ. Res.* **2000**, *6*, 293–312, doi:10.1080/713664700.
25. Khalid, T. Pre-service Teachers' Misconceptions Regarding Three Environmental Issues. *Can. J. Environ. Educ.* **2001**, *6*, 102–120.
26. Boon, H.J. Climate Change? Who Knows? A Comparison of Secondary Students and Pre-service Teachers. *Aust. J. Teach. Educ.* **2010**, *35*, 103–120, doi:10.14221/ajte.2010v35n1.9.
27. Boon, H.J. Teachers and the Communication of Climate Change Science: A Critical Partnership in Australia. *Procedia Soc. Behav. Sci.* **2014**, *116*, 1006–1010, doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.336.
28. Plutzer, E.; McCaffrey, M.; Hannah, A.L.; Rosenau, J.; Berbeco, M.; Reid, A.H. Climate Confusion Among U.S. Teachers. *Science* **2016**, *351*, 664–665, doi:10.1126/science.aab3907.
29. Stevenson, K.T.; Peterson, M.N.; Bradshaw, A. How Climate Change Beliefs among U.S. Teachers Do and Do Not Translate to Students. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0161462, doi:10.1371/journal.pone.0161462.
30. Dikmenli, M. Biology Student Teachers' Conceptual Frameworks in Regarding Biodiversity. *Education* **2010**, *130*, 479–490.
31. Lindemann-Matthies, P.; Constantinou, C.; Lehnert, H.-J.; Nagel, U.; Raper, G.; Kadji-Beltran, C. Confidence and Perceived Competence of Preservice Teachers to Implement Biodiversity Education in Primary Schools—Four comparative case studies from Europe. *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, *33*, 2247–2273, doi:10.1080/09500693.2010.547534.
32. Fiebelkorn, F.; Menzel, S. Student Teachers' Understanding of the Terminology, Distribution, and Loss of Biodiversity: Perspectives from a Biodiversity Hotspot and an Industrialized Country. *Res. Sci. Educ.* **2013**, *43*, 1593–1615, doi:10.1007/s11165-012-9323-0.
33. Fiebelkorn, F.; Menzel, S. Biology Teachers' Worldviews on the Global Distribution and Loss of Biodiversity: A GIS-Based Mental-Mapping Approach. *Front. Psychol.* **2019**, *10*, 1021, doi:10.3389/fpsyg.2019.01021.
34. Jiwa, R.A.M.; Esa, N. Student Teachers' Knowledge of Biodiversity. *Int. J. Sci. Res. Publ.* **2015**, *5*, 1–4.
35. Wagner, K.; Bergner, M.; Krause, U.-M.; Stark, R. Förderung wissenschaftlichen Denkens im Lehramtsstudium: Lernen aus eigenen und fremden Fehlern in multiplen und uniformen Kontexten. *Z. Pädagogische Psychol.* **2018**, *32*, 5–22, doi:10.1024/1010-0652/a000219.

36. Koch, S.; Barkmann, J.; Strack, M.; Sundawati, L.; Bögeholz, S. Knowledge of Indonesian University Students on the Sustainable Management of Natural Resources. *Sustainability* **2013**, *5*, 1443–1460, doi:10.3390/su5041443.
37. Klein, M.; Wagner, K.; Klopp, E.; Stark, R. Fostering of Applicable Educational Knowledge in Student Teachers: Effects of an Error-based Seminar Concept and Instructional Support during Testing on Qualities of Applicable Knowledge. *J. Educ. Res. Online* **2017**, *9*, 88–114, doi:0111-pedocs-148981.
38. Gräsel, C. *Ökologische Kompetenz: Analyse und Förderung*; Ludwig-Maximilian-Universität, Fakultät für Psychologie und Pädagogik: München, Germany, 2000, in press.
39. De Jong, T.; Ferguson-Hessler, M. Types and Qualities of Knowledge. *J. Educ. Psychol.* **1996**, *31*, 105–113, doi:10.1207/s15326985ep3102_2.
40. Voss, T.; Kunina-Habenicht, O.; Hoehne, V.; Kunter, M. Stichwort Pädagogisches Wissen von Lehrkräften: Empirische Zugänge und Befunde. *Z. Erziehungswiss* **2015**, *18*, 187–223, doi:10.1007/s11618-015-0626-6.
41. Bögeholz, S.; Hössle, C.; Höttecke, D.; Menthe, J. Bewertungskompetenz. In *Theorien in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*; Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 261–281. ISBN 978-3-662-56319-9.
42. Overwien, B. Education for Global and Sustainable Development in Teacher Education. In *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*, 2nd ed.; Schreiber, J.-R., Siege, H., Eds.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; pp. 420–435. ISBN 978-3-06-230062-2.
43. Richter-Beuschel, L.; Grass, I.; Bögeholz, S. How to Measure Procedural Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges. *Educ. Sci.* **2018**, *8*, 190.
44. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). *PISA 2006, Science Competencies for Tomorrow's World*; OECD: Paris, France, 2007; ISBN 9789264040007.
45. Rotgans, J.I.; Schmidt, H.G. The Relation between Individual Interest and Knowledge Acquisition. *Br. Educ. Res. J.* **2017**, *43*, 350–371, doi:10.1002/berj.3268.
46. Renninger, K.A.; Hidi, S. *The Power of Interest for Motivation and Engagement*; Routledge Taylor & Francis Group: New York, NY, USA; London, UK, 2016; ISBN 9781138779792.
47. Michalos, A.C.; Creech, H.; Swayze, N.; Maurine Kahlke, P.; Buckler, C.; Rempel, K. Measuring Knowledge, Attitudes and Behaviours Concerning Sustainable Development

- among Tenth Grade Students in Manitoba. *Soc. Indic. Res.* **2012**, *106*, 213–238, doi:10.1007/s11205-011-9809-6.
48. Tuncer, G.; Tekkaya, C.; Sungur, S.; Cakiroglu, J.; Ertepinar, H.; Kaplowitz, M. Assessing Pre-service Teachers' Environmental Literacy in Turkey as a Mean to Develop Teacher Education Programs. *Int. J. Educ. Dev.* **2009**, *29*, 426–436, doi:10.1016/j.ijedudev.2008.10.003.
 49. Potts, S.G.; Biesmeijer, J.C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O.; Kunin, W.E. Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers. *Trends Ecol. Evol.* **2010**, *25*, 345–353, doi:10.1016/j.tree.2010.01.007.
 50. European Academies' Science Advisory Council (EASAC). *Ecosystem Services, Agriculture and Neonicotinoids*; EASAC Policy Report 26; EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Halle, Germany, 2015.
 51. Hopfenmuller, S.; Steffan-Dewenter, I.; Holzschuh, A. Trait-specific Responses of Wild Bee Communities to Landscape Composition, Configuration and Local Factors. *PLoS ONE* **2014**, *9*, 1–10, doi:10.1371/journal.pone.0104439.
 52. Krewenka, K.M.; Holzschuh, A.; Tschardtke, T.; Dormann, C.F. Landscape Elements as Potential Barriers and Corridors for Bees, Wasps and Parasitoids. *Biol. Conserv.* **2011**, *144*, 1816–1825, doi:10.1016/j.biocon.2011.03.014.
 53. Klein, A.-M.; Vaissière, B.E.; Cane, J.H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S.A.; Kremen, C.; Tschardtke, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci.* **2007**, *274*, 303–313, doi:10.1098/rspb.2006.3721.
 54. Joosten, H.; Clarke, D. *Wise Use of Mires and Peatlands: Background and Principles Including a Framework for Decision-Making*; International Peat Society, International Mire Conservation Group: Greifswald, Germany, 2002; ISBN 951-97744-8-3.
 55. Christensen, T.R.; Friborg, T.; Byrne, K.A.; Chojnicki, B.; Christensen, T.R.; Freibauer, A.; Friborg, T.; Frolking, S.; Lindroth, A.; Mailhammer, J.; et al. EU Peatlands: Current Carbon Stocks and Trace Gas Fluxes. In *Concerted Action: Synthesis of the European Greenhouse Gas Budget*; Technical Report No 4; Geosphere-Biosphere Centre, University of Lund: Lund, Sweden, 2004.
 56. Frolking, S.; Talbot, J.; Jones, M.C.; Treat, C.C.; Kauffman, J.B.; Tuittila, E.-S.; Roulet, N. Peatlands in the Earth's 21st Century Climate System. *Environ. Rev.* **2011**, *19*, 371–396, doi:10.1139/a11-014.

57. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends*; Hassan, R.M., Scholes, R.J., Ash, N., Eds.; Island Press: Washington, DC, USA, 2005; Volume 1. ISBN 1-55963-227-5.
58. Joosten, H.; Brust, K.; Couwenberg, J.; Gerner, A.; Holsten, B.; Permien, T.; Schäfer, A.; Tanneberger, F.; Trepel, M.; Wahren, A. *MoorFutures. Integration von Weiteren Ökosystemdienstleistungen Einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate—Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in Andere Regionen*; BfN-Skripten 350; Bundesamt für Naturschutz: Bonn, Germany, 2013.
59. Biasutti, M.; Frate, S. A Validity and Reliability Study of the Attitudes toward Sustainable Development scale. *Environ. Educ. Res.* **2017**, *23*, 214–230, doi:10.1080/13504622.2016.1146660.
60. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2008: Ergebnisse Einer Repräsentativen Bevölkerungsumfrage*; Sinus-Institut, Berlin, Germany, 2008. Available online: www.umweltbundesamt.de/umweltbewusstsein (accessed on 2 August 2018).
61. Irfan, R.; Strack, M.; Bögeholz, S. Inwiefern interessieren sich Schülerinnen und Schüler für die biologische Vielfalt? In Proceedings of the 14. Frühjahrsschule, Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bremen, Germany, 12–15 März 2012; Bremen University: Bremen, Germany, 2012.
62. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: New York, NY, USA, 1988; ISBN 9780805802832 0805802835.
63. Bortz, J.; Döring, N. *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human-und Sozialwissenschaftler*, 3rd ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2002; ISBN 978-3-662-07299-8.
64. Wynes, S.; Nicholas, K.A. Climate Science Curricula in Canadian Secondary Schools Focus on Human Warming, not Scientific Consensus, Impacts or Solutions. *PLoS ONE* **2019**, *14*, 1–21, doi:10.1371/journal.pone.0218305.
65. Cini, A.; Mifsud, M. Knowledge, Attitudes and Behaviour Towards the Environment of Secondary School Teachers. In *Handbook of Lifelong Learning for Sustainable Development*; Leal Filho, W., Mifsud, M., Pace, P., Eds.; World Sustainability Series; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 211–227. ISBN 978-3-319-63533-0.
66. Schreiber, J.-R.; Siege, H. (Eds.) *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*; 2nd ed.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; ISBN 978-3-06-230062-2.

67. KMK (Kultusministerkonferenz der Länder). *Umwelt und Unterricht. Beschluss der Kultusministerkonferenz (KMK) vom 17.10.1980*; KMK: Neuwied, Germany, 1980.
68. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium—Gymnasiale Oberstufe die Gesamtschule—Gymnasiale Oberstufe das Fachgymnasium das Abendgymnasium das Kolleg Politik-Wirtschaft*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2018.
69. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium—Gymnasiale Oberstufe die Gesamtschule—Gymnasiale Oberstufe das Fachgymnasium das Abendgymnasium das Kolleg: Biologie*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2017.
70. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium—Gymnasiale Oberstufe die Gesamtschule—Gymnasiale Oberstufe das Fachgymnasium das Abendgymnasium das Kolleg: Erdkunde*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2017.
71. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5–10. Naturwissenschaften*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2015.
72. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5–10: Erdkunde*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2015.
73. Niedersächsisches Kultusministerium. *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 8–10: Politik-Wirtschaft*; Niedersächsisches Kultusministerium: Hannover, Germany, 2015.
74. Deutsche Gesellschaft für Geographie. *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss*; Selbstverlag Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG): Bonn, Germany, 2017.
75. Detjen, J.; Kuhn, H.-W.; Massing, P.; Richter, D.; Sander, W.; Weißeno, G. *Anforderungen an Nationale Bildungsstandards für den Fachunterricht in der Politischen Bildung an Schulen: Ein Entwurf*; Wochenschau Verlag: Schwalbach, Germany, 2004.
76. Effeney, G.; Davis, J. Education for Sustainability: A Case Study of Pre-service Primary Teachers' Knowledge and Efficacy. *Aust. J. Teach. Educ.* **2013**, *38*, 5.
77. Mairesse, O.; Macharis, C.; Lebeau, K.; Turcksin, L. Understanding the attitude-action gap: functional integration of environmental aspects in car purchase intentions. *Psicológica* **2012**, *33*, 547–574.

78. Gaspar de Carvalho, R.; Palma-Oliveira, J.M.; Corral-Verdugo, V. Why do people fail to act? Situational barriers and constraints on ecological behavior. In *Psychological Approaches to Sustainability: Current Trends in Research, Theory and Practice*; Corral-Verdugo, V., García-Cadena, C., Frías-Armenta, M., Eds.; Nova Science Publishers: New York, NY, USA, 2010; pp. 269–294. ISBN 978-1-60876-356-6.
79. Von Borgstede, C.; Biel, A. Pro-Environmental Behaviour: Situational Barriers and Concern for the Good at Stake. *Göteborg Psychol. Rep.* **2002**, *32*.
80. Terlau, W.; Hirsch, D. Sustainable Consumption and the Attitude-Behaviour-Gap Phenomenon—Causes and Measurements towards a Sustainable Development. *Int. J. Food Syst. Dyn.* **2015**, *6*, 159–174.
81. Kreuter, F.; Presser, S.; Tourangeau, R. Social Desirability Bias in CATI, IVR, and Web Surveys: The Effects of Mode and Question Sensitivity. *Public Opin. Q.* **2008**, *72*, 847–865, doi:10.1093/poq/nfn063.
82. Bogner, K.; Landrock, U. *Antworttendenzen in Standardisierten Umfragen*; GESIS Leibniz Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines): Mannheim, Germany, 2015; doi:10.15465/gesis-sg_016.
83. United Nations (UN). The Sustainable Development Goals Report 2017. Available online: [https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoals Report2017.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017.pdf) (accessed on 28 June 2018).
84. University of Koblenz-Landau. Bildung—Transformation—Nachhaltigkeit. Zertifikat für Lehramtsstudierende. Available online: <https://www.uni-koblenz-landau.de/de/bildung-transformation-nachhaltigkeit> (accessed on 30 October 2019).
85. Eggert, S.; Bögeholz, S.; Oberle, M.; Sauer, M.; Schneider, S.; Surkamp, C. Herausforderung Interdisziplinäres Unterrichten in der Lehrerbildung—Das Göttinger Zertifikatsmodell. *J. LehrerInnenbildung* **2018**, *18*, 51–55.
86. Kohlmann, E.-M.; Overwien, B. Bildung für nachhaltige Entwicklung und globale Perspektiven in der Lehrerbildung. *Z. Int. Bildungsforschung Entwicklungspädagogik* **2017**, *40*, 27–29.
87. Lawson, D.F.; Stevenson, K.T.; Peterson, M.N.; Carrier, S.J.; Strnad, L.R.; Seekamp, E. Children can Foster Climate Change Concern Among their Parents. *Nat. Clim. Chang.* **2019**, *9*, 458–462, doi:10.1038/s41558-019-0463-3.



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

5. Knowledge of Student Teachers on Sustainable Land Use Issues – Knowledge Types Relevant for Teacher Education

Sustainability 12 (20), doi: 10.3390/su12208332

Lisa Richter-Beuschel ¹ and Susanne Bögeholz ^{1,2}

¹ Department of Biology Education, University of Goettingen, Waldweg 26, 37073 Goettingen, Germany

² Centre of Biodiversity and Sustainable Land Use (CBL), University of Goettingen, Goettingen, Germany; sboegeh@gwdg.de

Abstract: For restructuring educational processes and institutions toward Sustainable Development, teachers' knowledge and competences are crucial. Due to the high relevance of teachers' content knowledge, this study aimed to (i) assess Sustainable Development-relevant knowledge by differentiating between situational, conceptual and procedural knowledge, (ii) find out via item response theory modelling how these theoretically distinguished knowledge types can be empirically supported, and (iii) link the knowledge dimension(s) to related constructs. We developed a paper-and-pencil test to assess these three knowledge types (N = 314). A two-dimensional structure that combines situational and conceptual knowledge and that distinguishes situational/conceptual knowledge from procedural knowledge, fits the data best (EAP/PV situational/conceptual: 0.63; EAP/PV procedural: 0.67). Student teachers at master level outperformed bachelor level students in situational/conceptual knowledge but master level students did not differ from students at bachelor level regarding procedural knowledge. We observed only slight correlations between the two knowledge dimensions and the content-related motivational orientations of professional action competence. Student teachers' deficits in procedural knowledge can be attributed to the small number of Education for Sustainable Development-relevant courses attended. Systematically fostering procedural knowledge in teacher education could promote achieving cognitive learning objectives associated with Sustainable Development Goals in the long term.

Keywords: knowledge; teacher education; sustainable development; climate change; biodiversity

5.1. Introduction

Promoting knowledge and competences of Education for Sustainable Development (ESD) enables people to act as informed citizens in creating a more sustainable world [1]. In 2015, the United Nations (UN) adopted 17 Sustainable Development Goals (SDGs) to foster Sustainable Development (SD) according to social, ecological, and economic interests [2]. Among other

things, the SDGs aim at ending poverty, reducing inequality, and improving health and education [2]. ESD is one goal among the SDGs (Target 4.7), and it is a key enabler for the remaining 16 goals. The new framework for ESD beyond 2019 highlights the role of education, too [3]. The program covers the period from 2020 to 2030 and concentrates on enhancing “ESD’s contribution to the achievement of all 17 SDGs, focusing on policies, learning environments, teachers and educators, youth as well as communities” [3] (p. 1). Hence, the new framework highlights actions on teacher education as a priority [3].

Schools must face the challenges of society, for example, to enable learners to deal with land use change issues, biodiversity-related issues and climate change issues [4–6]. These exemplary Sustainable Development issues build a subset of Socioscientific Issues (SSIs) [7]. SSIs represent controversial and challenging to resolve real-world problems [8], which “tend to have multiple plausible solutions” [9] (p. 4). SSIs have a high social relevance and are related to science [8]. In science education, for instance, such complex issues can be used as contexts to better prepare students to “engage in discourses and decisions related to socially relevant issues associated with science” [9] (p. 4).

Teachers are key persons for changes in classroom practice [10]. To restructure educational processes and institutions toward SD, teachers’ knowledge and competences are crucial [1]. Generally, teachers require scientific knowledge to teach a subject [11]. Teaching Sustainable Development issues is challenging because it involves knowledge of multiple disciplines. In several countries, among them, Germany [12] and Sweden [13], ESD is not an individual subject but the task of several subjects. However, almost every subject can be linked to Sustainable Development issues [12]. One learning objective of teacher education courses is to “know about sustainable development, the different SDGs and the related topics and challenges” [1] (p. 52).

For SSIs, content knowledge is of high relevance because it is related to students’ quality of informal reasoning [14,15]. Thus, “individuals need to have an understanding of an issue in order to render informed decisions” [15] (p. 73f). Also for dealing with Sustainable Development issues in the context of ESD, content knowledge is a necessary skill [16–18]. Furthermore, a study in mathematics showed that teachers’ content knowledge is a predictor of students’ achievement [19]. Therefore, knowing about teachers’ prerequisites for dealing with Sustainable Development issues is essential for optimising ESD in teacher education and, thus, in schools. Sustainable Development issues are challenging because many foci like ecological, economic, social, and political must be considered. Knowledge of different disciplines and interdisciplinary knowledge in various fields, such as sustainable land use or ecosystem services, is necessary.

Content knowledge as part of professional action competence [20] can be best investigated via Item Response Theory (IRT) models. For example, by analysing performance tests the number of correct answered items is related to a persons' ability [21]. However, it cannot be assumed that all items of a performance test measure the ability in the same way. Instead, the items of a performance test show usually different difficulties [21]. Hence, it is troublesome to make conclusions about the ability of two persons with the same amount of correct answers without considering the item difficulties [21]. With IRT models, it is possible to consider person ability as well as item difficulty [21]. Thus, "it is possible to compute the probability that a student succeeds on an item" [22]. Therefore, IRT modelling allows one to gain valid insights into learners' knowledge and competences and is frequently used in current educational research (e.g., [23–25]). However, apart from a few exceptions that have used IRT modelling [26–28], most studies evaluating knowledge about Sustainable Development issues did not use IRT-modelling for data analysis. This accounts for studies evaluating knowledge of the SDGs [29], climate change [30–32], or biodiversity [33]. Furthermore, most of these studies focused on only one type of knowledge [28,33,34], often without declaring which specific type (declarative, procedural, explicit/implicit knowledge).

For dealing with remarkably complex Sustainable Development issues, problem-solving is crucial. According to de Jong and Ferguson-Hessler [35], problem-solving requires situational, conceptual, and procedural knowledge. Situational knowledge enables learners to sift relevant information out of a specific problem statement and, if necessary, complete it with additional information outside of the specific problem statement [35]. Conceptual knowledge comprises the principles, concepts and facts that apply within a certain domain [35]. These principles, concepts, and facts to solve problems are not included in the problem statement itself. Hence, the learners have to activate relevant prior knowledge to solve the problem. Procedural knowledge includes actions that are valid for certain types of problems within a domain [35]. Procedural knowledge helps the problem solver to transfer knowledge from one problem situation to another. So far, the knowledge model of de Jong and Ferguson-Hessler [35] was rarely used in education sciences to evaluate learning and teaching prerequisites [36,37]. However, especially regarding Sustainable Development issues like resource use issues in Indonesia [38] or land use issues in Madagascar [39]—where problem-solving is essential—the model turned out to be suitable [38–40].

To the best of our knowledge, none of the educational studies applying de Jong and Ferguson-Hessler's model, e.g., [36–38] empirically checked for the independence of single knowledge types using multidimensional IRT modelling. For example, Koch et al. [38] used

classical test theory and did not situate type-specific knowledge in relation to similar SD-related constructs. To close this gap, the present study aims to

- i. Assess sustainable land use-relevant knowledge in a differentiated way (situational, conceptual, and procedural knowledge);
- ii. Find out via IRT modelling how the theoretically distinguished knowledge types can be empirically supported by the resulting knowledge dimension(s);
- iii. Link these knowledge dimension(s) to related constructs.

Therefore, the study focuses on the following three research questions:

1. Which evidence does IRT modelling provide for the distinction between situational, conceptual, and procedural knowledge?

The authors assume that the three theoretical knowledge types represent separate latent constructs. In the last few decades, digitisation has triggered changes in reading habits [41]. Deep forms of reading shifted to more superficial reading practices [41]. Commonly, situational knowledge refers to information given in specific scenarios cf. [38]. If participants have difficulty processing the extensive information, we could also assume that situational and conceptual knowledge build one dimension of knowledge together.

Zwickle et al. [28] showed that sustainability knowledge increases with higher educational level. Thus, we make a similar assumption for the present study. Considering different levels of ESD integration among the subjects of geography, biology, and politics in schools [42], evidence for a similar pattern in teacher education is lacking so far. Student teachers (students at universities aiming to become teachers, in the following interchangeably used with "pre-service teacher") of programs for different school forms, e.g., for primary or secondary schools, show varying prerequisites, such as interest in science [43]. Hence, an assumption of differing student teachers' knowledge dependent on school form can be made. Thus, a further research question is:

2. How do specifications in teacher education, such as academic progress, form of school, and subjects studied influence student teachers' knowledge of sustainable land use in the knowledge dimension(s)?

In addition to cognitive components, motivational orientations belong to professional action competence; they influence teaching [44] and are essential for problem-solving [45]. Thus, we apply existing instruments to SD-related motivational orientations and set them in relation to our knowledge dimension(s) to check for an assumed divergent validity. The assumption derives from the different nature of the constructs, which are compared (i.e., knowledge and

motivational orientations). Furthermore, we check for convergent validity to other knowledge constructs. This led to research question three:

3. How do the knowledge dimension(s) resulting from IRT modelling differ from SD-related motivational constructs, such as self-efficacy beliefs of ESD teaching, responsibility toward climate change and biodiversity, attitudes toward SD, self-assessed knowledge of SD-relevant issues, and sustainability knowledge?

We expect a higher degree of relatedness between the knowledge dimension(s) of our construct and other knowledge scales compared to scales assessing motivational orientations.

5.2. Method

5.2.1. Questionnaire Design

The three knowledge types were operationalised according to de Jong and Ferguson-Hessler [35]. The questionnaire development for SD-relevant knowledge followed Koch et al. [38]. Initially, we chose two contexts relevant to the challenges of biodiversity loss and climate change: “insects and pollination” and “use of peatlands”. Both are linked to the overarching topic of sustainable land use. For each of these contexts, we drafted a scenario based on scientific facts. We published short versions of the scenarios in Richter-Beuschel et al. in 2018 [46].

Based on the scenarios, we constructed multiple-choice items (1 attractor, 3 distractors) to test situational and conceptual knowledge (Figure 5.1). The items testing situational knowledge referred explicitly to the scenarios. Answering the items testing conceptual knowledge requires factual knowledge in the fields of biodiversity loss and climate change. In sum, we designed 47 items testing situational and conceptual knowledge. Two think-aloud studies served to improve the understanding of items and to adjust distractors that are too good or too bad [47]. An additional quantitative pre-study ($N = 109$) allowed us to revise or exclude items with extremely high or low difficulty. These steps resulted in a questionnaire with 18 situational and 15 conceptual knowledge items. The 33 items have an ecological, socio-economic, or institutional focus (11 items each).

We developed items to evaluate student teachers’ procedural knowledge through a two-round Delphi approach [46]. Student teachers had to evaluate resulting potential solution strategies regarding “insects and pollination” and “peatland use” for their effectiveness on a four-point Likert scale (1: ineffective to 4: very effective) (Figure 5.1). The student teachers rated the effectiveness of each solution strategy concerning the following three fields of action: (i) realisation of sustainable land use, (ii) provision of ecosystem services, and (iii) biodiversity conservation and climate protection (in the following abbreviated as “protection”). These are

Situational Knowledge	Conceptual Knowledge
<p>Item 5: What is most likely to apply to wild bee habitats?</p> <p>a. Grain provides an important food resource for wild bees.</p> <p>b. Fruit farmers provide only few insect hotels as nesting sites.</p> <p>c. Cities are growing and offer little food for wild bees compared to cultural landscape.</p> <p>d. <i>In today's structurally poor cultural landscape there are hardly any nesting opportunities left.</i></p>	<p>Item 26: Sustainable land use ...</p> <p>a. requires functioning ecosystem services as a prerequisite.</p> <p>b. always has a positive impact on the provision of ecosystem services.</p> <p>c. promotes ecosystem services only in industrialised countries.</p> <p>d. <i>can help to maintain or promote ecosystem services.</i></p>
Procedural Knowledge	
How effective do you rate the solution strategy?	
<p>Item 10: Support pollinator-friendly agriculture by purchasing ecologically produced products. Effectiveness regarding biodiversity conservation:</p> <p style="text-align: center;">ineffective very effective</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4</p>	<p>Item 25: Cultivate peatlands without fertilisers and pesticides. Effectiveness regarding contribution to climate protection:</p> <p style="text-align: center;">ineffective very effective</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4</p>

Figure 5.1. Exemplary items for assessing situational, conceptual, and procedural knowledge (correct answers of situational and conceptual knowledge in italics; mean experts' estimations rounded to the integer as benchmark for the evaluation of student teachers' procedural knowledge are marked by a circle).

the investigated facets of sustainable land use issues. A combination of qualitative and quantitative steps in the two-rounded Delphi study with an intermediated think-aloud study with student teachers reduced the initial number of 123 items to 51 items [46].

In total, the final paper-and-pencil survey consisted of three main sections:

- General information (e.g., gender, age, study program, semester, final school examination grade where 1 equals school grade A), ESD specific information (e.g., self-assessed knowledge of SD-relevant issues, number of courses attended including ESD and the percentage of ESD in these courses) and sustainability knowledge (10 items of Zwickle et al. published in 2014 [28]);
- Written scenarios and multiple-choice items to test situational and conceptual knowledge as well as Likert scale items to test procedural knowledge;
- Further validation instruments, i.e., self-efficacy beliefs of ESD teaching, attitudes toward sustainable development, responsibility toward climate change and biodiversity, and self-assessed knowledge of SD-relevant issues.

5.2.2. Validation Instruments

At the beginning of the questionnaire, we asked the participants to self-assess their knowledge. They indicated their knowledge regarding 13 SD-relevant topics which are related

to the contexts of “insects and pollination” and “use of peatlands”: diversity of species, diversity of ecosystems, genetic diversity, ecosystem services, climate change, importance of peatlands, Sustainable Development, environmental policy, agricultural policy, bees and pollination, sustainable land use, sustainable consumption, and ESD. We applied a five-point Likert scale with 1: insufficient, 2: sufficient, 3: satisfactory, 4: good, and 5: very good.

Furthermore, we used an instrument to evaluate self-efficacy beliefs of ESD teaching [48]. The instrument comprised 35 four-point Likert scale items: 1: not right, 2: a little right, 3: rather right, and 4: exactly right [48]. Following the confirmatory factor analysis in Lünemann [49], we did not consider one factor with four items out of the eight factors due to correlations > 1 with another factor of the model and due to content dispensability of the removed factor.

A scale used by Biasutti and Frate [50] measured Attitudes toward Sustainable Development (ASD). Their instrument covered the factors of environment, society, economy, and education, and comprised 20 five-point Likert scale items with 1: strongly disagree, 2: disagree, 3: neutral, 4: agree, and 5: strongly agree [50]. To assess responsibility toward climate change, we applied three items suggested by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety [51]. Additionally, we adapted them to create three items to assess responsibility toward biodiversity. The resulting items are presented in Figure 5.2. We used the same scale as for ASD above.

1. Citizens can significantly contribute to the conservation and sustainable use of biodiversity through biodiversity-conscious everyday behaviour.
2. The pressure of citizens on politics can bring about effective actions for the conservation and sustainable use of biodiversity.
3. Through their involvement in environmental and nature conservation associations, citizens can significantly contribute to the conservation and sustainable use of biodiversity.

Figure 5.2. Items for assessing responsibility toward biodiversity.

5.2.3. Data Collection and Sample Description

The cross-sectional study took place between October 2018 and May 2019. The survey was conducted in German. A total of 314 German student teachers from ten universities in seven federal states participated. They studied to become secondary school teachers in at least one of the subjects of biology, geography, or politics. The students were in Bachelor (54.5%), Master (36.6%), or State examination programs (8.3%) and from different semesters. About 80% of the participants were studying to become teachers in German high schools (Gymnasium) and integrated comprehensive schools (hereafter referred to as high schools). Another 20% of the student teachers were studying to become teachers in other school forms, such as vocational

school. Most of the participants were female (71.3%; male 26.8%; diverse 1%). The average age of the student teachers was 23.1 years (SD: 3.0, range: 18 to 39).

The survey was conducted onsite at the universities but outside of courses. The mean processing time of the questionnaire was about 60 minutes. Participation was voluntary, anonymity was assured, and students received a financial reward.

5.2.4. Data Analysis

We applied the dichotomous Rasch model [52] to analyse the dimensionality of situational, conceptual, and procedural knowledge using Acer ConQuest 4 [53]. The student teachers' answers to the multiple-choice items concerning situational and conceptual knowledge were coded as either correct: 1 or incorrect: 0. For procedural knowledge, an averaged expert rating [46] served as an anchor to judge the "right" answer, even where there is factually uncertain knowledge. For dichotomous modelling, the experts' answers of second Delphi round [46] were rounded to the nearest integer. We coded student teachers' answers with 1: correct, when they had chosen the same level as the rounded averaged expert ratings, and with 0: incorrect in all other cases.

We applied all analyses case centered. First, we conducted One-Dimensional (1D) modelling of situational, conceptual, and procedural knowledge. Items with misfit were excluded from further analysis. A misfit is given when discrimination is < 0.20 [54,55] or Weighted Mean Squares (wMNSQ) is < 0.8 and > 1.2 [56]. After 1D-modelling, 16 items remained for situational, 11 for conceptual, and 32 for procedural knowledge.

Second, the items remaining for the three knowledge types were modelled 1D, Two- (2D), and Three-Dimensionally (3D). Two-dimensional modelling combines situational and conceptual knowledge into one dimension. We used information criteria AIC (Akaike's Information Criterion) and BIC (Bayesian Information Criterion) as indicators for the model fit and χ^2 -test to test for significant differences of 1D-, 2D-, and 3D-models. Furthermore, we reported the Expected A-Posteriori reliability/Plausible Values (EAP/PV reliability) and person separation reliabilities based on Weighted Likelihood Estimates (WLE). We checked for potentially biased items regarding gender, study program, and educational level by analysing Differential Item Functioning (DIF).

To answer research question two, the WLE person abilities were used. We first z-standardised WLEs with IBM SPSS Statistics 26. One person built a significant outlier (WLE beyond ± 3.29 , [57]); we excluded the outlier from further analyses with person abilities. We applied one-way ANOVAs, t-tests, and linear regression analysis. Due to the homogeneity of variances (Levene Test) in all analyses, we applied Tukey's HSD (honestly significant difference) post-

hoc tests to evaluate which specific groups within an ANOVA differ from each other. Shapiro–Wilk test indicated that WLE person abilities are not normally distributed. Therefore, we used Spearman’s rho (r_s) to analyse correlations. In all analyses, the pre-defined significance level is 0.05. To test for the impact of academic progress, participants were divided by their semester into two groups: bachelor level students comprise all participants from first to sixth semester. Master level students comprise all participants in their seventh semester or later. We multiplied the number of ESD-related courses by the percentage of ESD in these courses to create the variable “ESD in university”. The product represents the amount of ESD-relevant content taught in the attended lectures, seminars and other courses.

Concerning research question three, we analysed latent correlations between knowledge dimensions and self-efficacy beliefs, responsibility, attitudes, and self-assessed knowledge using Partial Credit Models [58]. In the first step, we modelled the validation instruments one-dimensional by applying Rating Scale Models [59]. To better characterise the content of the validation constructs of self-efficacy beliefs, responsibility, attitudes, and self-assessed knowledge, we used the reasonably less restricted limit of wMNSQ from 0.7 to 1.3 [56]. Remaining items with misfit were excluded.

The modelling of self-efficacy beliefs started with 31 items; two misfitting items on media use were not considered further. In 26 of the remaining 29 items, less than 5% of participants chose the answer in category one (not right). Thus, by combining categories one and two, the response options were reduced from four to three. For the scales regarding responsibility toward climate change and responsibility toward biodiversity, no misfit occurred. The instrument measuring Attitudes toward SD (ASD) was reduced from 20 to 18 items due to misfit. The response options for both the responsibility and attitudes scale were reduced from five to three options by collapsing categories one, two, and three.

Prior to 1D modelling of self-assessed knowledge of SD-relevant issues, we aggregated the three biodiversity items, diversity of species, diversity of ecosystems, and genetic diversity, into one variable to avoid an overrepresentation of (or bias due to) biodiversity focused items in the scale. We used this new variable alongside the remaining ten variables (11 items in total). We kept the misfitting item “bees and pollination” (wMNSQ = 1.39), due to the high relevance of content.

Regarding sustainability knowledge, we calculated manifest correlations with person abilities in our knowledge dimension(s) because of low information depth of the ten dichotomous items.

5.3. Results

5.3.1. Dimensionality of Sustainable Development-Relevant Content Knowledge and Quality of the Instrument

For the 2D and 3D model, AIC and BIC fit nearly equally well (Table 5.1). The χ^2 test for both models displayed significant results (Table 5.1), and both models are interpretable.

Table 5.1. Comparison of fit statistics between One-, Two- and Three-Dimensional (1D, 2D, 3D) modelling of knowledge types with Item Response Theory (IRT) ($N = 314$).

Model	Deviance	Number of Parameters	Change in Deviance	Change in df	p	AIC	BIC
1D	22,493.13	60				22,613	22,838.09
2D	22,281.05	62	212	2	<0.001	22,405	22,637.51
3D	22,273.71	65	8	3	<0.05	22,403	22,647.42

However, looking at the EAP/PV and WLE person separation reliabilities for each dimension of the 2D and 3D model (Table 5.2), the 2D model is the more reliable solution for situational/conceptual knowledge in the present study. The 2D model combines situational and conceptual knowledge in one dimension.

Table 5.2. EAP/PV and WLE person separation reliabilities for each knowledge dimension of Two- and Three-Dimensional (2D, 3D) modelling ($N = 314$).

	2D Model		3D Model		
	Situational/ Conceptual Knowledge	Procedural Knowledge	Situational Knowledge	Conceptual Knowledge	Procedural Knowledge
EAP/PV	0.63	0.68	0.60	0.56	0.66
WLE	0.60	0.67	0.47	0.39	0.67

The latent correlation between situational and conceptual knowledge is highest in the 3D model with 0.76 (Table 5.3). In the 2D model, the latent correlation of 0.07 between situational/conceptual and procedural knowledge clearly indicates two distinct dimensions (data not shown).

Table 5.3. Latent correlations between the situational, conceptual, and procedural knowledge of Three-Dimensional (3D) modelling.

	Situational knowledge	Conceptual knowledge
Situational knowledge		
Conceptual knowledge	0.76	
Procedural knowledge	0.06	0.08

Table 5.4 displays the test characteristics of the resulting dimensions of situational/conceptual and procedural knowledge. Both dimensions show acceptable EAP/PV reliabilities. The average item difficulty is lower for the situational/conceptual than for the procedural knowledge dimension. The Wright Map (Figure 5.3) illustrates the item difficulties of situational/conceptual and procedural knowledge items.

Table 5.4. Test characteristics for the dimensions of Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK) ($N = 314$) (SE: Standard Error; wMNSQ: weighted (infit) mean-square).

	SCK (27 Items)	PK (32 Items)
Item Separation Reliability	0.98	0.83
Variance (SE)	0.35 (0.05)	0.29 (0.04)
EAP/PV Reliability	0.63	0.67
WLE Person Separation Reliability	0.60	0.67
Average Item Difficulty (SE)	-0.89 (0.05)	0.45 (0.02)
Item Difficulty range	-3.08 – 1.19	-0.14 – 1.00
wMNSQ range	0.96 – 1.05	0.96 – 1.04
Discrimination range	0.22 – 0.42	0.22 – 0.38

Situational/conceptual knowledge items with a socio-economic focus on sustainable land use issues were easiest (mean item difficulty: -1.36), followed by—in average—less difficult items with an institutional (-0.78) and ecological focus (-0.50). However, ANOVA showed no significance ($F(2,24) = 2.29$, $p = 0.123$) in average difficulty for the items of the socio-economic, institutional, and ecological discipline. All items developed for situational knowledge showed a mean difficulty of -1.01 and items developed for conceptual knowledge a mean difficulty of -0.72 . The t-test revealed no difference in difficulty of situational and conceptual knowledge items ($t(10) = -0.59$, $p = 0.571$).

In terms of procedural knowledge, the fields of action on sustainable land use (mean item difficulty: 0.36), ecosystem services (0.36), and protection (0.45) show similar mean item difficulties. ANOVA showed no differences between the average difficulty of the items of the three fields of action ($F(2,29) = 0.37$, $p = 0.692$).

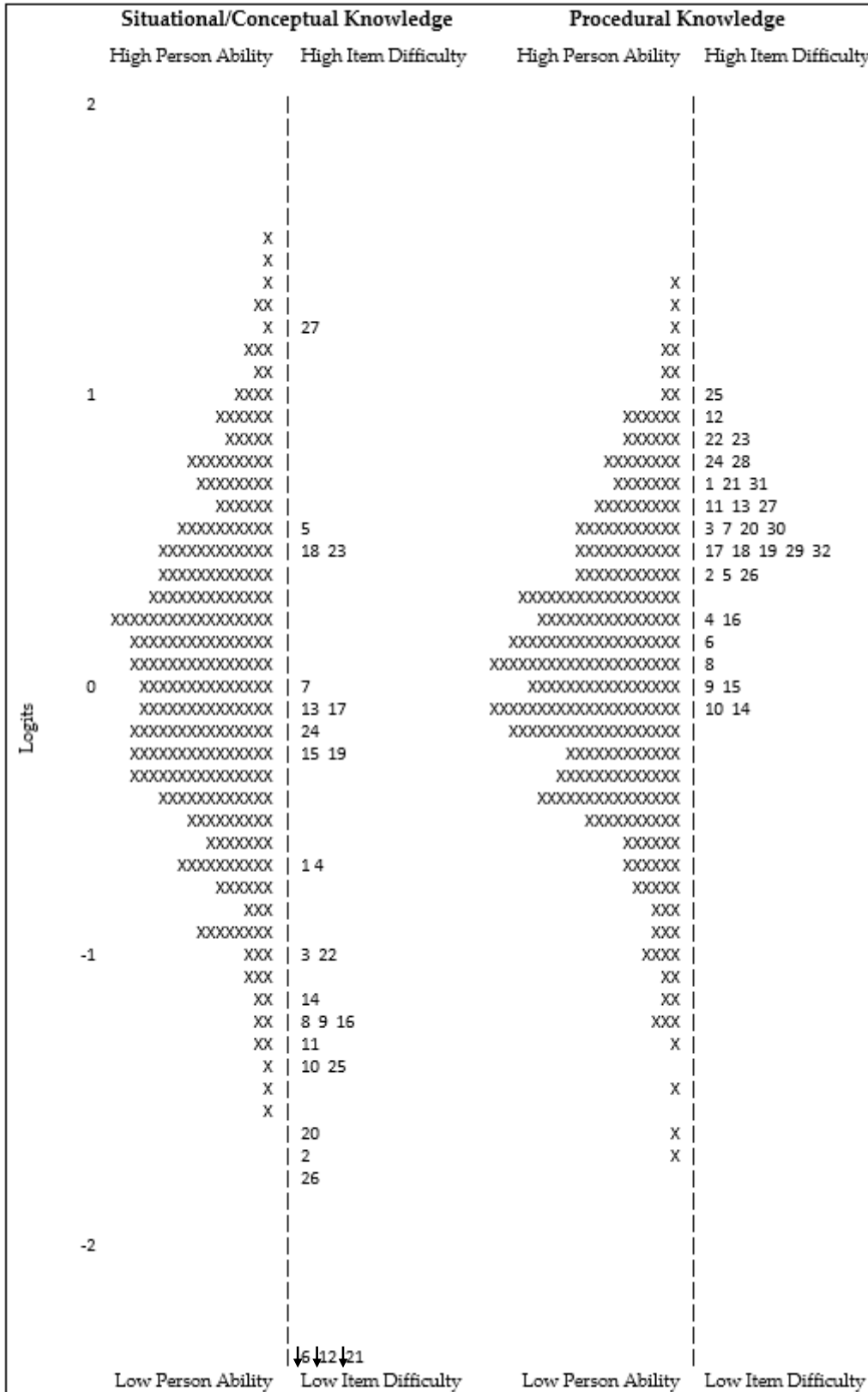


Figure 5.3. Wright Maps of Situational/Conceptual Knowledge and Procedural Knowledge (each 'X' represents 1.1 cases) (↓ : item difficulty is lower than presented) ($N = 314$).

The 1D model of situational/conceptual knowledge showed no considerable DIF for gender (average logit difference: 0.06, with females ($n = 224$) higher than males ($n = 84$)) (< 0.4 , [60]),

except for item 21 (logit difference: 0.50). For procedural knowledge, none of the items showed considerable DIF for gender (maximum logit difference: 0.30; average logit difference 0.08 higher for females).

Bachelor and master level students showed considerable DIF in item 21 on situational/conceptual dimension (logit difference: 0.71). No considerable DIF occurred in procedural knowledge (maximum logit difference: 0.27). For students who seek to be a high school teacher ($n = 250$) and students who want to become a teacher in other school forms ($n = 63$), only item 6 of situational/conceptual knowledge displayed considerable DIF (logit difference: 0.44). In procedural knowledge, only item 19 showed noteworthy DIF (logit difference: 0.61).

5.3.2. Validation

Influence of Specifications in Teacher Education on Knowledge in Sustainable Land Use Issues

Regarding WLE person abilities, master level students ($n = 135$) outperformed the bachelor level students ($n = 174$) in situational/conceptual knowledge ($t(307) = -3.96, p < 0.001$) but not in procedural knowledge ($t(307) = -0.62, p = 0.537$) (Figure 5.4). Master level students scored 0.38 logits higher in situational/conceptual knowledge and only 0.06 logits higher in procedural knowledge than bachelor level students.

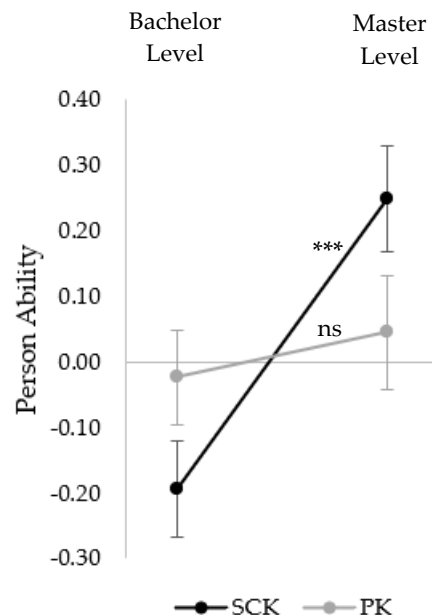


Figure 5.4. Person abilities in Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK) from bachelor and master level students (***: $p < 0.001$, ns = not significant) ($n = 309$). Error bars indicate standard errors.

Students aiming to become high school teachers ($n = 250$) displayed higher person ability for situational/conceptual knowledge of sustainable land use issues than students aiming to become teachers in other school forms ($n = 62$) ($t(310) = 3.37, p = 0.001$) (Figure 5.5). For

procedural knowledge, no differences in person ability occurred ($t(310) = 0.28, p = 0.783$). Students seeking to become a high school teacher scored 0.35 logits higher in situational/conceptual knowledge and 0.08 logits higher in procedural knowledge than students who chose other school forms for their studies.

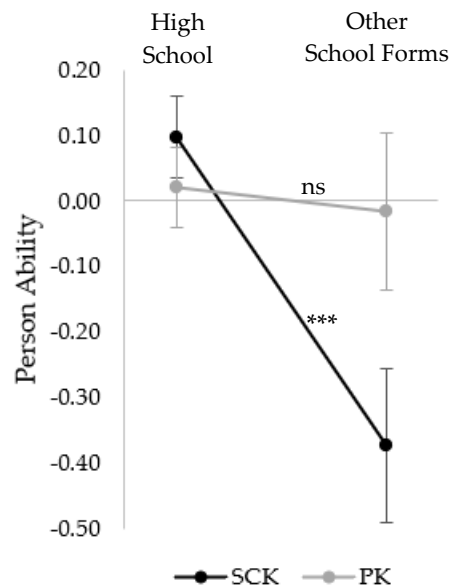


Figure 5.5. Person abilities in Situational/Conceptual Knowledge (SCK) and Procedural Knowledge (PK) from student teachers of high school and other school forms (***: $p = 0.001$, ns = not significant) ($n = 312$). Error bars indicate standard errors.

ANOVA did not reveal differences in person ability for different subjects (biology, geography, politics, and a combination of biology and geography) in the dimensions of situational/conceptual ($F(4308) = 2.05, p = 0.087$) and procedural knowledge ($F(4308) = 1.16, p = 0.329$). However, final school examination grades were significantly correlated with situational/conceptual ($r_s = -0.33, p < 0.001$) but not with procedural knowledge ($r_s = -0.03, p = 0.597$). In addition, “ESD in university” was significantly correlated with person ability for procedural knowledge ($r_s = 0.20, p < 0.001$) but not with person ability for situational/conceptual knowledge ($r_s = 0.09, p = 0.118$). Linear regressions showed that “ESD in university” predicts SD-relevant procedural knowledge with a small effect ($r^2 = 0.02, p = 0.016$).

Knowledge Dimensions and Related Constructs

In 1D modelling, all validation instruments showed at least moderately acceptable EAP/PV reliabilities. Further test characteristics of 1D models are presented in Table 5.5.

Table 5.5. Test characteristics for the validation instruments of one-dimensional rating scale models. (SD: Sustainable Development; ESD: Education for Sustainable Development; SE: Standard Error) ($N = 314$).

	Validation instrument (number of items per scale; number of scoring categories)			
	Self-Efficacy Beliefs of ESD teaching (29;3)	Responsibility toward Climate Change and Biodiversity (6;3)	Attitudes toward Sustainable Development (18;3)	Self-Assessed Knowledge regarding Sustainable Development (11;5)
Item Separation Reliability	0.97	0.96	0.98	0.99
Variance (SE)	0.64 (0.06)	1.46 (0.21)	0.47 (0.06)	0.77 (0.09)
EAP/PV Reliability	0.88	0.72	0.75	0.80
WLE Person Separation Reliability	0.88	0.68	0.75	0.84
Average Item Difficulty (SE)	-0.33 (0.03)	-0.65 (0.03)	-0.43 (0.04)	-0.06 (0.04)
Item Difficulty range	-2.45 – 0.77	-1.55 – 0.17	-1.68 – 0.78	-1.25 – 1.23
wMNSQ range	0.75 – 1.22	0.87 – 1.12	0.77 – 1.25	0.76 – 1.39
Discrimination range	0.26 – 0.61	0.54 – 0.72	0.22 – 0.54	0.46 – 0.71

The highest assumed correlation between knowledge dimensions and self-assessed knowledge of SD-relevant issues can be confirmed only for situational/conceptual knowledge (Table 5.6). The knowledge dimensions were not (situational/conceptual) or were negatively correlated (procedural) with self-efficacy beliefs of ESD teaching. Furthermore, latent correlations between the knowledge dimensions and responsibility and attitudes were almost negligible. The highest correlations appear between the motivational constructs of self-efficacy beliefs, attitudes, and responsibility (Table 5.6).

Table 5.6. Latent correlations of two Five-Dimensional modellings of (a) Situational/Conceptual Knowledge with the validation instruments of self-efficacy beliefs of education for sustainable development teaching, responsibility toward climate change and biodiversity, attitudes toward sustainable development, and self-assessed knowledge of SD-relevant issues, and of (b) Procedural Knowledge with the beforehand mentioned validation instruments, respectively ($N = 314$).

Dimension	Dimension				
	(a) Situational/Conceptual Knowledge	(b) Procedural Knowledge	Self-Efficacy Beliefs ¹	Responsibility ¹	Attitudes ¹
Self-Efficacy Beliefs	0.002	-0.14			
Responsibility	0.04	0.18	0.35		
Attitude	-0.01	0.08	0.34	0.55	
Self-Assessed Knowledge	0.26	0.10	-0.03	0.11	-0.02

¹ The latent correlations between the validation instruments itself were calculated as mean of latent correlations of both Five-Dimensional modellings with (a) Situational/Conceptual Knowledge and (b) Procedural Knowledge.

The manifest correlation between the construct of sustainability knowledge and person abilities of the situational/conceptual knowledge dimension is moderate ($r_s = 0.372, p < 0.001$), and no correlation occurs with procedural knowledge ($r_s = 0.018, p = 0.749$).

5.4. Discussion

5.4.1. Arguments for a Two-Dimensional Structure of Sustainable Development-Related Knowledge

The study aimed at empirically supporting the structure of the three theoretically distinguished knowledge types of situational, conceptual, and procedural knowledge, proposed by de Jong and Ferguson-Hessler [35]. The knowledge types were contextualised for sustainable land use. We tested our assumed 3D model against a 1D and 2D model. The global fit statistics suggest that either 2D- or 3D-modelling is applicable. We chose the 2D model due to its better EAP/PV and WLE person reliabilities for the combined situational/conceptual dimension compared to split dimensions of situational and conceptual knowledge in the 3D model (Table 5.2). The two resulting dimensions of 2D modelling, i.e., situational/conceptual knowledge and procedural knowledge, are interpretable.

Combining situational and conceptual knowledge in one dimension is plausible: To answer situational knowledge items, student teachers had to read two extensive and complex scenarios cf. [46]. We did not explicitly request the student teachers to read the scenarios carefully before working on the multiple-choice items of situational and conceptual knowledge. They did not know that they had to perform a knowledge test which checks for processing information from the scenarios. Changes in reading habits due to digitisation could have led to more superficial reading practices [41]. This could have affected the participants' information processing of the scenarios and of the multiple-choice answer options. Thus, student teachers who did not carefully read the information given were perhaps not sufficiently able to integrate information provided in their answers to situational knowledge questions. Therefore, conceptual, rather than situational knowledge, would have been assessed by the multiple-choice items. This is in line with lacking difference in item difficulties between the developed situational and conceptual knowledge items. The phenomenon of working superficially on the multiple-choice options could have occurred for both knowledge types that were assessed by the multiple-choice items.

The latent correlation between situational and conceptual knowledge in the 3D model (Table 5.3) could have been positively influenced by the use of the same multiple-choice item test format. Furthermore, the use of the same test format could be one reason that—in our modelling—a single dimension for situational/conceptual knowledge was an obvious option considering their EAP/PV and WLE (Table 5.2). In contrast, Binder et al. [61] used four different

methods to measure four types of prior knowledge of biology and physics university students. They interpreted that knowledge of facts, knowledge of meaning, integration of knowledge, and application of knowledge are distinct [61]. However, latent correlations between these knowledge types ranged between 0.24 and 0.86 [61]. Compared with our latent correlations of 0.76 between situational and conceptual knowledge, the 3D theory-driven structure could be chosen if concerns of reliability (WLE values for the 3D model) had not intervened.

Regarding the Wright Maps shown in Figure 5.3, situational/conceptual knowledge items range from -3.08 to 1.19 logits and procedural knowledge items from -0.14 to 1.00 logits. Figure 5.3 depicts the item distributions as well. It shows several areas of precise and some areas of less precise measurement. Especially items with low difficulty are rare in the procedural knowledge dimension. This could be an artefact of dichotomising the student teachers' answers. We handled all student teachers' answers deviating from the experts' answers (rounded to the integer) by one unit or more as incorrect (score 0). This loss of differentiated information about the weaker student teachers may have resulted in missing items at the lower end of the Wright Map of procedural knowledge.

Solaz-Portolés and López [62] wrote an overview of knowledge types that are involved in problem-solving regarding science education. The authors stated that while “conceptually it is possible to distinguish knowledge types, in practice they are difficult to distinguish” [62] (p. 106). A reason for this difficulty may be the assessment methods, which were not adequately adjusted to knowledge types [62]. However, the low latent correlation in our study shows a clear distinction between the dimensions of situational/conceptual knowledge and procedural knowledge in the 2D model (0.07)—and even acceptable latent correlations for the theoretically underlying 3D model structure (Table 5.3). In sum, at least two different types of knowledge can be measured with the proposed instrument.

5.4.2. Arguments for the Suitability of the Measurement Instrument

Altogether, no Differential Item Functioning (DIF) considerably impaired the measurement of the situational/conceptual and procedural knowledge dimensions. When the participants were grouped by gender, only item 21 of the situational/conceptual dimension displayed DIF. This can be explained by the extremely low difficulty of item 21 (Figure 5.3) and therefore, the comparably imprecise measurement. For the groups of bachelor and master level students, DIF occurred again only in item 21 of the situational/conceptual dimension.

When students were grouped by the different school forms they wished to work in, DIF existed for item 19 in the procedural dimension—explainable by its content. For the

situational/conceptual dimension, the DIF displayed in item 6 can be traced back to the same reasons as item 21 (imprecise estimation).

The DIF of items 6 and 21 in situational/conceptual dimension and item 19 for procedural knowledge can, additionally, be plausibly explained by the content they covered. Items 6 and 21 cover the genetic diversity of honeybees. In item 6, genetic diversity functions as a force for vulnerability toward diseases and parasites, and in item 21, genetic diversity influences the threat of extinction in general. Therefore, the DIF in item 21 indicates that bachelor level students have difficulty in understanding biodiversity at the level of genes. This is in line with the findings of Jiwa and Esa [33]. They report that definitions of the term biodiversity of student teachers lack explicitly stated aspects of genetic diversity. Additionally, Fiebelkorn and Menzel [63] showed that German biology student teachers were not sufficiently conscious of the genetic level of biodiversity. The same explanation can be applied to the DIF of item 6, resulting of the subsample compositions: the subsample of student teachers who wish to teach in high school is balanced (bachelor level: 49.6%, master level: 49.2%), whereas the subsample of student teachers for other school forms is somewhat unbalanced (bachelor level: 81%, master level: 19%).

Item 19 in the procedural knowledge dimension requested participants to evaluate the effectiveness of intensifying the investigation of regenerative peat substitutes, regarding their contribution to climate protection. High school student teachers showed higher ability to answer this item than student teachers for other school forms. High school teachers are trained more specifically in the sciences than teachers for other school forms, and they have the task to qualify their students in a research-oriented way to prepare them for university studies [64]. Additionally, the higher ability of high school student teachers to answer item 19 may be aligned with their generally higher person ability. High school and integrated comprehensive school student teachers show higher professional and scientific interest than student teachers for other school types [43]. Persons with lower final school examination grades prefer to choose school forms other than high school and integrated comprehensive school [43,65].

As shown above, the developed instrument is suitable for the following groups of student teachers: (i) females and males, (ii) bachelor and master level students, and (iii) students aiming to become high school teachers and teachers at other school forms.

5.4.3. Arguments for Validity

On average, items measuring procedural knowledge were more difficult than items measuring situational/conceptual knowledge. This is explainable due to the interdisciplinary knowledge needed to solve procedural knowledge items. The higher abilities of master level students to answer situational/conceptual items, compared to bachelor level students (Figure

5.4), could be partly explained by their knowledge acquired during teacher education. Another reason to consider is that a small number of student teachers at the master level may have changed into a Master of Education program after their bachelor's degrees in science. Probably, more intensive studies of conceptual knowledge in the science bachelor studies than in the bachelor qualifying for becoming a teacher might create a slight bias in the results of master level student teachers. The higher situational/conceptual knowledge of master than bachelor level students is in line with Koch et al. [38]. They reported no difference in situational knowledge of Indonesian university students from third to seventh semester, but in two of three domains in conceptual knowledge [38]. In addition, Zwickle et al. [28], who measured sustainability knowledge—which is comparable with knowledge defined as conceptual in the present research—found higher levels of sustainability knowledge in upperclassmen than in underclassmen. The lack of difference in person ability between bachelor and master level students for the dimension of procedural knowledge in our study (Figure 5.4) is also in line with Koch et al. [38]. They detected that third- and seventh-semester Indonesian university students both showed low procedural knowledge, with high deviations from expert judgments of solutions' effectiveness [38]. The missing correlation between final school examination grades and procedural knowledge in our study is also understandable: up to now, solution strategies for interdisciplinary problems are rarely part of upper secondary education, with its subject-specific curricula and examinations [64].

Despite the higher person ability of master level students in situational/conceptual knowledge, the results of the present study revealed no correlation between “ESD in university” and situational/conceptual knowledge. The missing correlation matches German teacher education curricular requirements of studying pedagogical content knowledge regarding two school subjects and studying corresponding natural or social sciences. Natural or social science courses probably foster situational/conceptual knowledge, but maybe they are not represented in the “ESD in university” indicator. Furthermore, other sources of knowledge can be considered: for example, participants who indicated having dealt with ESD through “private research in the internet” showed significantly higher abilities in situational/conceptual knowledge ($r_s = 0.13, p = 0.028$). This finding is in line with Burmeister and Eilks [66], who report that German chemistry pre-service teachers gained their knowledge of sustainability and ESD from media and the internet instead of their formal education. In contrast to situational/conceptual knowledge, for the procedural knowledge dimension, higher “ESD in university” was accompanied by higher person abilities. This leads to the assumption that a higher proportion of ESD in teacher education courses may foster procedural knowledge. Thus, interdisciplinary

knowledge could equip student teachers with the necessary procedural knowledge (e.g., for making land use more sustainable), and enables the teaching of such knowledge to students—the next generation of decision-makers.

Our results do not contradict the results of a prior study with only a subsample of student teachers, which revealed no correlation between the number of attended ESD-relevant courses and procedural knowledge [40]. This result was attributed to the extremely low number of courses with ESD relevance [40]. In the prior study, no correction by the percentage of ESD in the courses has been applied. However, without this correction, a significant but weak correlation between procedural knowledge and the amount of ESD taught is revealed ($r_s = 0.19$, $p = 0.001$). Furthermore, the differentiated, more diverse sample composition of the present study—comprising not only students becoming a teacher at high schools and integrated comprehensive schools as in Richter-Beuschel and Bögeholz [40]—may contribute to these differing results. Two further reasons—perhaps most important—are: first, the IRT analyses of the present study consider only 32 of the 51 items used in the prior study with analyses only considering classical test theory. Second, the present study analysed procedural knowledge in a dichotomous format (rounded to integer), whereas the prior study used the precise deviation between experts' and students' effectiveness estimations to build the specific value (decimal without rounding) for procedural knowledge [40]. Thus, different information was processed in the final analyses of the present and prior study. Overall, considering the more restrictive prerequisites for data analyses and the more sophisticated requirements connected with IRT modelling, the results of the present study are more valid.

In the following, we give first insights into the distribution of the items on the Wright Maps. Item 5 measuring situational/conceptual knowledge (Figure 5.1) was one of the most difficult items (Figure 5.3). The distractor “cities ... offer little food for wild bees” was derived from a common misconception and was chosen by many participants—indeed, urban areas provide important resources for insects [67]. Item 26 (Figure 5.1) revealed a low difficulty level (Figure 5.3). Through formulations like “always” or “only” in distractors, the item was already easy because of its structure, apart from its content. Within the dimension of procedural knowledge, item 10 (Figure 5.1), for example, was relatively easy to answer (Figure 5.3). This seems plausible because the solution strategy, “Support pollinator-friendly agriculture by purchasing ecologically produced products”, is an omnipresent option to take if one wants to. This strategy does not include any visible barrier and does not require any personal action. In contrast, item 25 (Figure 5.1) was of highest difficulty (Figure 5.3). The realisation of “Cultivate peatlands without fertilisers and pesticides” depends on diverse external conditions. For example, a

change of personal routines and common working behaviours of relevant stakeholders influences income depending on sensitive and complex cultivation and farm management. Such a complex situation is hard to estimate for student teachers, and even for other non-experts without the corresponding background.

The present study used multidimensional IRT modelling to investigate divergent validity of knowledge dimensions and motivational factors and to locate situational/conceptual and procedural knowledge in the nomological net of professional action competence. In sum, both, the situational/conceptual and procedural knowledge dimensions, showed little to no correlation with the constructs of self-efficacy beliefs of ESD teaching, responsibility toward climate change and biodiversity, and attitudes toward sustainable development. Due to findings in science education [68], one might think that content knowledge is related to self-efficacy beliefs. In our study on dimensions of situational/conceptual and procedural knowledge contextualised for sustainable land use, this is not the case. This could be explained by the subject matter addressed by self-efficacy beliefs of ESD teaching. The content of the construct content knowledge about sustainable land use cannot be equated with the content of the perceived competences in ESD teaching.

Neuhaus and Vogt [69] identified three types of German biology student teachers: the pedagogical-innovative, the scientific-innovative, and the scientific-conventional teacher types. In the present study, due to voluntary participation outside of courses, we cannot exclude an overrepresentation of the two scientific-oriented types. The participants' scientific focus may have led to lower self-efficacy beliefs of ESD teaching and, thus, to missing or negative correlations with the dimension of situational/conceptual and procedural knowledge.

The absent or slight correlations between situational/conceptual knowledge and responsibility or attitudes, as well as between procedural knowledge and responsibility or attitudes, are in line with previous research. Pre-service teachers in chemistry showed to have a positive attitude toward ESD despite lacking theory-based knowledge about sustainability and ESD [66]. Similarly, Kagawa [70] reported that Plymouth University students' knowledge about concepts of sustainability and SD and their attitude were not correlated. In addition, pre-service teachers' knowledge of the impact of mitigative climate actions has been shown not to correlate with their willingness to undertake these actions [71]. The authors attributed the lacking correlation to the insufficient knowledge of the participants [71]. Our missing correlations between situational/conceptual, procedural knowledge and motivational orientations may further result from measuring responsibility and attitudes more general instead of specific to the used contexts. According to Ajzen and Fishbein (1980, in [72]), satisfactory correlations between behaviour

and attitude require the measurement of attitudes toward a specific action. Probably, the requirement of specificity also accounts for the operationalisation of knowledge and attitudes.

For our self-assessed knowledge scale, the specificity was given, and the highest correlation between situational/conceptual knowledge and self-assessed knowledge of SD-relevant issues (Table 5.6) compared to other validation constructs occurred. However, despite the same construct being investigated (knowledge of specific land use context), the results show low correlation (0.26) between situational/conceptual knowledge and self-assessed knowledge. The reason may be that self-reported knowledge cannot be equated with performance in situational/conceptual knowledge dimension. The lack of correlation between self-assessed knowledge of SD-relevant issues and procedural knowledge may be attributed to the characteristics of the knowledge types: in answering the self-assessed knowledge scale, knowledge about facts and principles and, thus, situational/conceptual knowledge will be considered rather than unsolved, uncertain solution strategies for Sustainable Development issues of procedural knowledge. The highest correlations between self-efficacy beliefs, responsibility, and attitudes (Table 5.6) are plausible, because they all assess motivational orientations instead of knowledge.

5.5. Conclusions

This research presents an instrument for assessing disciplinary and interdisciplinary knowledge of student teachers about sustainable land use issues. We operationalised situational, conceptual, and procedural knowledge types according to de Jong and Ferguson-Hessler [35]. Their knowledge model forms a reasonable basis for evaluating knowledge in Sustainable Development issues because it focuses on problem-solving. One strength of the presented study lies in the application of IRT analysis, which considers person abilities as well as item difficulties. Differentiated knowledge assessments, including an empirical support of theoretically underlying knowledge types, were rare in educational research so far. Thus, we aimed to obtain empirical support for a 3D model that reflects the three theory-driven types of situational, conceptual and procedural knowledge. Following the EAP/PV and WLE person reliabilities, in the current state, we consider situational and conceptual knowledge together as one dimension. Furthermore, the study provides first insights into the situational/conceptual and procedural knowledge of student teachers. The results show that it is difficult for prospective teachers to deal with global challenges, which have no simple or unambiguous solution. This could be one reason for an inadequate implementation of ESD in German school education cf. [73].

The measurement instrument was constructed using three different foci of situational and conceptual knowledge (ecological, socio-economic, and institutional) and different fields of

action in procedural knowledge (sustainable land use, ecosystem services, and biodiversity conservation/climate protection). The similarity of item difficulty between the SD-relevant foci and the fields of action shows that operationalising an instrument with comparable difficulty levels, covering multiple disciplinary and interdisciplinary knowledge and SD-associated objectives, was successful.

By interpreting the results of the study, it must be considered that we conducted a one-time survey. For conclusions about knowledge acquisition during teacher education, it would be much more adequate to conduct a longitudinal study. When applying the questionnaire in future, we will examine dimensionality more closely. We will use the full item set again and request the participants to read the scenarios very carefully before working on the questionnaire, as the scenarios' contents are essential for the following knowledge questions. In this way, it may be possible to prove whether reading habits and information processing influence the lacking differentiation between situational and conceptual knowledge.

To analyse student teachers' procedural knowledge in a more differentiated way than dichotomous evaluation, we will use student teachers' deviation from the rounded averaged expert answers. Thus, we will not equate one-unit deviation and more together as incorrect (score 0); we will consider partial credit reflecting the factual units of deviation to the rounded averaged expert answers to the next integer. With these changes, we assume to produce even better and more sophisticated modelling, through more precise measurement and better coverage of the low difficulty area of procedural knowledge.

The developed instrument shows several strengths: One strength is the broad content coverage of SD-related knowledge. This includes SD-related foci and SD-related fields of action concerning highly relevant Sustainable Development issues regarding the challenges of biodiversity loss and climate change. A second strength of the instrument is the evaluation of disciplinary (situational/conceptual) knowledge and interdisciplinary (procedural) knowledge. A third strength is the broad coverage of knowledge types or rather empirically supported dimensions relevant to solve SD-related problems regarding sustainable land use issues. All strengths together, the content coverage, the disciplinary and interdisciplinary knowledge considered, and the problem-solving relevant knowledge dimensions, clearly address important prerequisites for teaching according to the objectives of education for SDGs [1]. As ESD is one important task of teacher education, we can conclude the following from our study: Student teachers attended only a small number of ESD-relevant courses during their university studies. The small effect of ESD-relevant courses on procedural knowledge in sustainable land use issues gives a first hint that procedural knowledge can be fostered during teacher education. However,

enhancing procedural knowledge in the context of ESD to solve Sustainable Development issues remains expandable. Up to now, the disciplinary knowledge is fostered by German teacher education [64]. Therefore, further developments should especially consider interdisciplinary ESD teaching in teacher education—integrated in the subject-specific courses and in additional qualifications, (e.g., [74]).

In addition to skills, attitudes, values, motivation, and commitment, knowledge is one of the key factors to improve SD-related competences worldwide [1]. Qualified teachers could promote ESD at school. Therefore, equipping teachers as change agents with situational/conceptual and procedural knowledge in SD-related challenges of biodiversity and climate change, could be a decisive contribution toward sustainable land use and achieving core SDGs.

Author Contributions: Conceptualisation, L.R.-B. and S.B.; formal analysis, L.R.-B. and S.B.; funding acquisition, S.B.; methodology, L.R.-B. and S.B.; project administration, S.B.; supervision, S.B.; writing—original draft, L.R.-B.; writing—review and editing, S.B.

Funding: This project is part of the “Qualitätsoffensive Lehrerbildung”, a joint initiative of the Federal Government and the Länder, which aims to improve the quality of teacher training. The program is funded by the Federal Ministry of Education and Research (reference number: 01JA1617). The authors are responsible for the content of this publication. The Article Processing Charge (APC) was funded by the Open Access Publication Fund of the University of Goettingen.

Acknowledgments: We thank Prof. Dr. Tobias C. Stubbe for statistical advice.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

5.6. References

1. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Education for Sustainable Development Goals. Learning objectives*; UNESCO: Paris, France, 2017.
2. United Nations (UN), General Assembly. *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*; United Nations (UN), General Assembly: New York, NY, USA, 2015.
3. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). *Framework for the implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019*; UNESCO: Paris, France, 2019.
4. McREL. Topic: Environmental issues. Available online: <http://www2.mcrel.org/compendium/topicsDetail.asp?topicsID=69&subjectID=2> (accessed on 20 August 2020).

5. NGSS Lead States. *Next Generation Science Standards: For States, by States*; The National Academies Press: Washington, DC, USA, 2013, doi:10.17226/18290.
6. OECD. *The Future of Education and Skills: Education 2030*; OECD: Paris, France, 2018. Available online: [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf) (accessed on 20 August 2020).
7. Böhm, M.; Barkmann, J.; Eggert, S.; Carstensen, C.H.; Bögeholz, S. Quantitative Modelling and Perspective Taking: Two Competencies of Decision Making for Sustainable Development. *Sustainability* **2020**, *12*, 6980, doi:10.3390/su12176980.
8. Sadler, T.D.; Barab, S.A.; Scott, B. What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Res. Sci. Educ.* **2007**, *37*, 371–391, doi:10.1007/s11165-006-9030-9.
9. Sadler, T.D. Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals in Science Education. In *Socio-Scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research*; Sadler, T.D., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2011; pp. 1–9.
10. Anderson, R.D.; Helms, J.V. The ideal of standards and the reality of schools: Needed research. *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38*, 3–16, doi:10.1002/1098-273638:1<3::AID-TEA2>3.0.CO;2-V.
11. Liakopoulou, M. The Professional Competence of Teachers: Which qualities, attitudes, skills and knowledge contribute to a teacher's effectiveness? *Int. J. Hum. Soc. Sci.* **2011**, *1*, 66–78.
12. Schreiber, J.-R. Competencies, Themes, Standards, Design of Lessons and Curricula. In *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*, 2nd ed.; Schreiber, J.-R., Siege, H., Eds.; Engagement Global gGmbH: Bonn, Germany, 2016; pp. 86–110, ISBN 978-3-06-230062-2.
13. Sund, P.; Gericke, N. Teaching contributions from secondary school subject areas to education for sustainable development—A comparative study of science, social science and language teachers. *Environ. Educ. Res.* **2020**, *26*, 772–779, doi: 10.1080/13504622.2020.1754341.
14. Sadler, T.D.; Fowler, S.R. A Threshold Model of Content Knowledge Transfer for Socioscientific Argumentation. *Sci. Educ.* **2006**, *90*, 986–1004, doi:10.1002/sce.20165.
15. Sadler, T.D.; Zeidler, D.L. The Significance of Content Knowledge for Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: Applying Genetics Knowledge to Genetic Engineering Issues. *Sci. Educ.* **2005**, *89*, 71–93, doi:10.1002/sce.20023.

16. Bertschy, F., Künzli, C.; Lehmann, M. Teachers' Competencies for the Implementation of Educational Offers in the Field of Education for Sustainable Development. *Sustainability* **2013**, *5*, 5067–5080, doi:10.3390/su5125067.
17. Hellberg-Rode, G.; Schrüfer, G. Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)? Ergebnisse einer explorativen Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)* **2016**, *20*, 1–29, doi:10.4119/UNIBI/zdb-v20-i1-330.
18. Sleurs, W. Competencies for ESD (Education for Sustainable Development) teachers. A framework to integrate ESD in the curriculum of teacher training institutes. Brussels, 2008. Available online: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/inf.meeting.docs/EGonInd/8mtg/CSCT%20Handbook_Extract.pdf (accessed on 21 August 2020).
19. Hill, H.C.; Rowan, B.; Loewenberg Ball, D. Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *Am. Educ. Res. J.* **2005**, *42*, 371–406, doi:10.3102/00028312042002371.
20. Baumert, J.; Kunter, M. Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **2006**, *9*, 469–520.
21. Neuman, K. Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstest. In *Methoden in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*; Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 355–369, ISBN 978-3-642-37826-3.
22. OECD. *PISA Data Analysis Manual: SAS*, 2nd ed.; OECD Publishing: Paris, France, 2009; ISBN 978-92-64-05624-4.
23. OECD. *PISA 2015 Technical Report*; OECD Publishing: Paris, France, 2017.
24. Camilli, G.; Dossey, J.A. IRT scoring procedures for TIMSS data. *MethodsX* **2019**, *6*, 1506–1511, doi:10.1016/j.mex.2019.06.015.
25. International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). *Methods and Procedures in Pirls*; TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College and International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA): Chestnut Hill, PA, USA 2017; ISBN: 978-1-889938-44-8.
26. Frick, J.; Kaiser, F.G.; Wilson, M. Environmental knowledge and conservation behavior: Exploring prevalence and structure in a representative sample. *Pers. Individ. Differ.* **2004**, *37*, 1597–1613, doi:10.1016/j.paid.2004.02.015.

27. Kaiser, F.G.; Frick, J. Development of an environmental knowledge measure: An application of the MRCML model. *Diagnostica* **2002**, *48*, 181–189, doi:10.1026//0012-1924.48.4.181.
28. Zwickle, A.; Koontz, T.M.; Slagle, K.M.; Bruskotter, J.T. Assessing sustainability knowledge of a student population. *Int. J. Sustain. High. Educ.* **2014**, *15*, 375–389, doi:10.1108/IJSHE-01-2013-0008.
29. Zamora-Polo, F.; Sánchez-Martín, J.; Corrales-Serrano, M.; Espejo-Antúnez, L. What Do University Students Know about Sustainable Development Goals? A Realistic Approach to the Reception of this UN Program Amongst the Youth Population. *Sustainability* **2019**, *11*, 3533, doi:10.3390/su11133533.
30. Herman, B.C.; Feldman, A.; Vernaza-Hernandez, V. Florida and Puerto Rico Secondary Science Teachers' Knowledge and Teaching of Climate Change Science. *Int. J. Sci. Math. Educ.* **2017**, *15*, 451–471, doi:10.1007/s10763-015-9706-6.
31. Boon, H. Pre-Service Teachers and Climate Change: A Stalemate? *Aust. J. Teach. Educ.* **2016**, *41*, 39–63, doi:10.14221/ajte.2016v41n4.3.
32. Plutzer, E.; McCaffrey, M.; Hannah, A.L.; Rosenau, J.; Berbeco, M.; Reid, A.H. Climate Confusion Among U.S. Teachers. *Science* **2016**, *351*, 664–665, doi:10.1126/science.aab3907.
33. Jiwa, R.A.M.; Esa, N. Student Teachers' Knowledge of Biodiversity. *Int. J. Sci. Res. Publ.* **2015**, *5*.
34. Heeren, A.J.; Singh, A.; Zwickle, A.; Koontz, T.M.; Slagle, K.M.; McCreery, A.C. Is sustainability knowledge half the battle? *Int. J. Sustain. High. Educ.* **2016**, *17*, 613–632, doi:10.1108/IJSHE-02-2015-0014.
35. De Jong, T.; Ferguson-Hessler, M. Types and Qualities of Knowledge. *Educ. Psychol.* **1996**, *31*, 105–113, doi:10.1207/s15326985ep3102_2.
36. Wagner, K.; Bergner, M.; Krause, U.-M.; Stark, R. Förderung wissenschaftlichen Denkens im Lehramtsstudium: Lernen aus eigenen und fremden Fehlern in multiplen und uniformen Kontexten. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* **2018**, *32*, 5–22, doi:10.1024/1010-0652/a000219.
37. Klein, M.; Wagner, K.; Klopp, E.; Stark, R. Fostering of Applicable Educational Knowledge in Student Teachers: Effects of an Error-based Seminar Concept and Instructional Support during Testing on Qualities of Applicable Knowledge. *J. Educ. Res. Online* **2017**, *9*, 88–114, doi:Urn:nbn:de:0111-pedocs-148981.

38. Koch, S.; Barkmann, J.; Strack, M.; Sundawati, L.; Bögeholz, S. Knowledge of Indonesian University Students on the Sustainable Management of Natural Resources. *Sustainability* **2013**, *5*, 1443–1460, doi:10.3390/su5041443.
39. Niens, J.; Richter-Beuschel, L.; Bögeholz, S. Land-Use and Health Issues in Malagasy Primary Education—A Delphi Study. *Sustainability* **2020**, *12*, 6212, doi:10.3390/su12156212.
40. Richter-Beuschel, L.; Bögeholz, S. Student Teachers' Knowledge to Enable Problem-Solving for Sustainable Development. *Sustainability* **2020**, *12*, 79, doi:10.3390/su12010079.
41. Mangen, A.; van der Weel, A. The evolution of reading in the age of digitisation: An integrative framework for reading research. *Literacy* **2016**, *50*, 116–124, doi:10.1111/lit.12086.
42. Bagoly-Simó, P.; Hemmer, I. Bildung für nachhaltige Entwicklung in den Sekundarschulen: Ziele, Einblicke in die Realität, Perspektiven. 2017. Available online https://www.ku.de/fileadmin/150305/Professur_fuer_Didaktik_der_Geographie/Forschung/Literatur/Bildung_f%c3%bcr_nachhaltige_Entwicklung_in_den_Sekundarschulen_%e2%80%93_Ziele__Einblicke_in_die_Realit%c3%a4t__Perspektiven_-_Bagoly-Simo___Hemmer.pdf (accessed on 20 September 2019).
43. Retelsdorf, J.; Möller, J. Grundschule oder Gymnasium? Zur Motivation ein Lehramt zu studieren. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* **2012**, *26*, 5–17, doi:10.1024/1010-0652/a000056.
44. Weinert, F.E. Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In *Defining and Selecting Key Competencies*; Rychen, D.S.; Salganik, L.H., Eds.; Seattle: Horgrefe & Huber: Seattle, WA, USA, 2001; pp. 45–65.
45. Mayer, R.E. Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem solving. *Instr. Sci.* **1998**, *26*, 49–63, doi:10.1023/A:1003088013286.
46. Richter-Beuschel, L.; Grass, I.; Bögeholz, S. How to Measure Procedural Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges. *Educ. Sci.* **2018**, *8*, 190, doi:10.3390/educsci8040190.
47. Richter-Beuschel, L.; Derksen, C.; Bögeholz, S. Konzeptuelles Wissen angehender Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung. In *BfN-Skripten: Treffpunkt Biologische Vielfalt XVI. Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt*; Korn, H., Dünnpfelder, H., Schliep, R., Eds.; Bundesamt für Naturschutz: Bonn-Bad Godesberg, Germany, 2018; Volume 487, pp. 88–95.

48. Rosenbaum, S.; Handtke, K.; Richter-Beuschel, L.; Grieger, M.; Bögeholz, S. *Fragebogen zur Befähigung für ein Unterrichten von BNE*; University of Goettingen: Goettingen, Germany, 2017.
49. Lünemann, I.K. Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehramtsstudierenden der Fächer Biologie, Erdkunde und Politik zum Unterrichten von Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Master's Thesis, Georg-August University, Goettingen, Germany, 2020.
50. Biasutti, M.; Frate, S. A Validity and Reliability Study of the Attitudes toward Sustainable Development scale. *Environ. Educ. Res.* **2017**, *23*, 214–230, doi: 10.1080/13504622.2016.1146660.
51. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. *Umweltbewusstsein in Deutschland 2008: Ergebnisse einer Repräsentativen Bevölkerungsumfrage*; BMU: Berlin, Germany, 2008.
52. Rasch, G. *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1960.
53. Wu, M.L.; Adams, R.J.; Wilson, M.R.; Haldane, S.A. *Acer ConQuest Version 2.0: Generalised Item Response Modelling Software*; Acer: Camberwell, VIC, Australia, 2007.
54. Ebel, R.L.; Frisbie, D.A. *Essentials of Educational Measurement*; Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1986; ISBN 978-0132860062.
55. Rush, B.R.; Rankin, D.C.; White, B.J. The impact of item-writing flaws and item complexity on examination item difficulty and discrimination value. *BMC Med. Educ.* **2016**, *16*, doi:10.1186/s12909-016-0773-3.
56. Boone, W.J.; Staver, J.R.; Yale, M.S. *Rasch Analysis in the Human Sciences*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2014; ISBN 978-94-007-6857-4.
57. Field, A.P.; Miles, J.; Field, Z. *Discovering Statistics Using R*; Sage Publ.: London, UK, 2014; ISBN 978-1446200469.
58. Masters, G. A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika* **1982**, *47*, 149–174, doi:10.1007/BF02296272.
59. Andrich, D. A rating formulation for ordered response categories. *Psychometrika* **1978**, *43*, 561–573, doi:10.1007/BF02293814.
60. Pohl, S.; Carstensen, C.H. NEPS Technical Report—Scaling the Data of the Competence Tests (NEPS Working Paper No. 14). Bamberg: Otto-Friedrich-Universität, Nationales Bildungspanel. [National Educational Panel Study]. 2012. Available online: https://www.neps-data.de/Portals/0/Working%20Papers/WP_XIV.pdf (accessed on 28 April 2020).

61. Binder, T.; Schmiemann, P.; Theyssen, H. Knowledge Acquisition of Biology and Physics University Students—The Role of Prior Knowledge. *Educ. Sci.* **2019**, *9*, doi:281.10.3390/educsci9040281.
62. Solaz-Portolés, J.J.; Sanjosé López, V. Types of knowledge and their relations to problem solving in science: Directions for practice. *Educ. Sci. J.* **2008**, *6*, 105–112.
63. Fiebelkorn, F.; Menzel, S. Student Teachers' Understanding of the Terminology, Distribution, and Loss of Biodiversity: Perspectives from a Biodiversity Hotspot and an Industrialized Country. *Res. Sci. Educ.* **2013**, *43*, 1593–1615, doi:10.1007/s11165-012-9323-0.
64. KMK (Kultusministerkonferenz der Länder). *Ländergemeinsame Inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019*; KMK: Hannover, Germany, 2019.
65. Neugebauer, M. Wer entscheidet sich für ein Lehramtsstudium – und warum? Eine empirische Überprüfung der These von der Negativselektion in den Lehrerberuf. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **2013**, *16*, 157–184, doi:10.1007/s11618-013-0343-y.
66. Burmeister, M.; Eilks, I. An understanding of sustainability and education for sustainable development among German student teachers and trainee teachers of chemistry. *Sci. Educ. Int.* **2013**, *24*, 167–194.
67. European Academies' Science Advisory Council (EASAC). *Ecosystem Services, Agriculture and Neonicotinoids*; EASAC policy report 26; EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Halle, Germany, 2015.
68. Schoon, K.J.; Boone, W.J. Self-Efficacy and Alternative Conceptions of Science of Pre-service Elementary Teachers. *Sci. Educ.* **1998**, *82*, 553–568, doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199809)82:5<553::AID-SCE2>3.0.CO;2-8.
69. Neuhaus, B.; Vogt, H. Dimensionen zur Beschreibung verschiedener Biologielehrertypen auf Grundlage ihrer Einstellung zum Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **2005**, *11*, 73–84.
70. Kagawa, F. Dissonance in students' perceptions of sustainable development and sustainability. Implications for curriculum change. *Int. J. Sustain. High. Educ.* **2007**, *8*, 317–338, doi:10.1108/14676370710817174.
71. Tolppanen, S.; Claudelin, A.; Kang, J. Pre-service Teachers' Knowledge and Perceptions of the Impact of Mitigative Climate Actions and Their Willingness to Act. *Res. Sci. Educ.* **2020**, *7*, 233, doi:10.1007/s11165-020-09921-1.

72. Mairesse, O.; Macharis, C.; M.; Lebeau, K.; Turcksin, L. Understanding the attitude-action gap: Functional integration of environmental aspects in car purchase intentions. *Psicología* **2012**, *33*, 547–574.
73. Singer-Brodowski, M.; Etkorn, N.; von Seggern, J. One Transformation Path Does Not Fit All—Insights into the Diffusion Processes of Education for Sustainable Development in Different Educational Areas in Germany. *Sustainability* **2019**, *11*, 269.
74. Eggert, S.; Bögeholz, S.; Oberle, M.; Sauer, M.; Schneider, S.; Surkamp, C. Herausforderung Interdisziplinäres Unterrichten in der Lehrerbildung—Das Göttinger Zertifikatsmodell. *Journal für LehrerInnenbildung* **2018**, *18*, 51–55.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

6. Synthese

Biodiversitätsverlust und Klimawandel sind zwei zentrale Herausforderungen, denen sich die Gesellschaft im 21. Jahrhundert stellen muss. Der Umgang mit diesen Herausforderungen ist entscheidend für die Gestaltung von nachhaltigen Landnutzungen und damit für die Gestaltung von nachhaltigen Entwicklungen. Das vorliegende Promotionsvorhaben hatte zum Ziel, ein reliables und valides Messinstrument für angehende Lehrkräfte zur differenzierten Erfassung von disziplinärem und interdisziplinärem Wissen zu den Themen Biodiversität und Klimawandel zu entwickeln. Dabei wurde das Fachwissen differenziert theoriegeleitet nach den Wissenstypen situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen erhoben (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996).

Aufgrund der Funktion von Lehrkräften als zentrale Multiplikator*innen formaler Bildung sind sie Schlüsselpersonen in der Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (Rieckmann & Holz, 2017). Für ein Unterrichten, das zur Umsetzung des Leitbildes der Nachhaltigen Entwicklung beiträgt, ist disziplinäres und interdisziplinäres Wissen grundlegend. Die Dissertationsschrift umfasst zentrale Bausteine für eine solide Messinstrumententwicklung zur differenzierten Erfassung von Wissen, das zur Lösung von Umweltproblemsituationen erforderlich ist. Die vorgelegte Arbeit ermöglicht es, evidenzgestützt schlusszufolgern, dass es gelungen ist, die Forschung an einer wichtigen Stelle weiterzubringen: der empirischen Differenzierung von Wissenstypen kontextualisiert für Nachhaltige Entwicklung. Die empirische Differenzierung von Wissenstypen wurde lange Zeit als schwierig erachtet (Solaz-Portolés & López, 2008). Erst in jüngster Zeit gibt es in der Lehrkräftebildungsforschung erste Erfolge – jedoch bislang in anderen Wissensdomänen (z.B. für Biologie und Physik: Binder et al., 2019).

Durch den Einsatz des entwickelten Messinstrumentes konnten erste Erkenntnisse über das disziplinäre und interdisziplinäre Wissen von Lehramtsstudierenden gewonnen werden, die erste evidenzbasierte Schlussfolgerungen erlauben. Diese Synthese basiert auf vier Publikationen (Richter-Beuschel et al., 2018a, 2018b; Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a; Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b).

6.1. Messinstrumententwicklung

6.1.1. Entwicklung der Testaufgaben

Für die übergeordnete Thematik der nachhaltigen Landnutzung wurde exemplarisch für das Thema Biodiversität der Kontext *Insekten und Bestäubung* gewählt. Als Kontext für den Klimawandel wurde der Fokus auf die *Moornutzung* gelegt. Um situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen solide zu erfassen, wurden bei der Messinstrumententwicklung qualitative

und quantitative Verfahren angewendet. Dazu wurden zwei Szenarien zu den Kontexten *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* als Bearbeitungsgrundlage für den Fragebogen entwickelt. Es wurden unterschiedliche Aufgabenformate eingesetzt: Multiple-Choice Items für situationales und konzeptuelles Wissen und Likert-Skalen für prozedurales Wissen. Bei der Aufgabenentwicklung wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt.

Im Rahmen der Aufgabenentwicklung lieferten zwei Studien Lauten Denkens, gesplittet nach den Kontexten *Insekten und Bestäubung* (Richter-Beuschel et al., 2018a) und *Moornutzung*, Einblicke in die kognitive Verarbeitung der Aufgaben des situationalen und konzeptuellen Wissens durch die Testpersonen. Die Erkenntnisse der beiden Studien Lauten Denkens ermöglichten – in Kombination mit den zusätzlichen Daten zu Lösungswahrscheinlichkeit und Häufigkeit der gewählten Antwortkategorien aus der quantitativen Vorstudie – eine Überarbeitung der Multiple-Choice Aufgaben und Szenarien. Daraus resultierten 18 Items zur Erfassung des situationalen und 15 Items zur Erfassung des konzeptuellen Wissens, die jeweils zu gleichen Teilen ökologisches, sozio-ökonomisches und institutionelles Wissen erfassen.

Zur Messung des prozeduralen Wissens von Lehramtsstudierenden wurde das Vorgehen von Koch et al. (2013) aufgegriffen und weiterentwickelt (Richter-Beuschel et al., 2018b). Im Gegensatz zu Problemsituationen mit einer einzigen korrekten Lösung, wie diese beispielsweise in der Physik meist auftreten (Friege & Lind, 2006), sind Probleme Nachhaltiger Entwicklung meist komplex und eine eindeutige Lösung gibt es nicht. Wie das Szenario zur *Moornutzung* (Richter-Beuschel et al., 2018b) beispielhaft zeigt, bestehen Zielkonflikte in Bezug auf eine nachhaltige Landnutzung häufig zwischen Naturschutz und Landwirtschaft. Im Zuge der Problemlösung müssen unterschiedliche Perspektiven eingenommen und gegeneinander abgewogen werden. Um prozedurales Wissen zu erfassen, erfolgte eine literaturbasierte Zusammenstellung von Lösungsstrategien zur Eindämmung von Insektensterben und Klimawandel (Herausforderungen der Bearbeitungskontexte *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung*). Das Verfahren der Aufgabenentwicklung setzte sich wie folgt zusammen (Richter-Beuschel et al., 2018b): Zunächst ließen wir Expert*innen die Effektivität der Lösungsstrategien einschätzen sowie Vorschläge für weitere Strategien unterbreiten. Dies erfolgte in einer ersten Delphi-Runde. Die Ergebnisse aus der ersten Delphi-Runde berücksichtigten wir bei der Überarbeitung der Lösungsstrategien zur Erfassung von prozeduralem Wissen zusammen mit Ergebnissen aus der Studie Lauten Denkens mit Lehramtsstudierenden. Daraus resultierte ein Instrument mit 20 Lösungsstrategien, deren Effektivität jeweils in Hinblick auf drei Handlungsfelder erfragt wurde: Umsetzung nachhaltiger Landnutzung, Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen und Schutz der Biodiversität beziehungsweise Beitrag zum Klimaschutz.

In einer finalen zweiten Runde der Delphi-Studie wurde über die erneute Befragung von Expert*innen eine „korrekte Lösung“ – bei faktisch vorliegendem unsicherem Wissen – über den Durchschnitt der Einschätzungen der Expert*innen für jedes der Likert-Skalen-Items generiert. Um eine höhere Genauigkeit der Einschätzungen zu erzielen, wurden dabei die Sicherheitseinschätzungen der Expert*innen zur Gewichtung der Effektivitätseinschätzungen herangezogen (Richter-Beuschel et al., 2018b). Die „korrekte Lösung“ der Expert*innen dient in der Folge als Maßstab für die Beurteilung des prozeduralen Wissens angehender Lehrkräfte.

Als Ergebnis aus der Delphi-Studie entstand ein Itemset aus insgesamt 18 Lösungsstrategien – zwei Lösungsstrategien wurden nachträglich zur zweiten Delphi-Runde ausgeschlossen (Richter-Beuschel et al., 2018b). Anhand der beiden Kontexte *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* kann interdisziplinäres, prozedurales Wissen in den drei Handlungsfeldern nachhaltige Landnutzung, Ökosystemdienstleistungen und Biodiversitäts-/Klimaschutz erfasst werden. Die Vorteile der Delphi-Studie begründen sich in der großen Anzahl an Teilnehmer*innen, dem hohen Grad der Expertise und der Möglichkeit, dass die Expert*innen weitere relevante Lösungsstrategien vorschlagen konnten. Das mehrstufige Verfahren der Aufgabenentwicklung, in dem wiederholt das Wissen von Expert*innen abgeglichen und auch Verständnis und Zugänglichkeit für Lehramtsstudierende geprüft wurde (Richter-Beuschel et al., 2018b), erwies sich als erfolgreich. Das Verfahren stellt eine geeignete Methode zur Entwicklung eines Instruments für die Erhebung von (unsicherem) prozeduralem Wissen zu Lösungsvorschlägen für nachhaltige Landnutzung sowie zur Definition eines Maßstabes zur Erfassung vergleichbaren (unsicheren) nachhaltigkeits-relevanten Wissens von Lehramtsstudierenden dar.

Das finale Messinstrument, das situationales, konzeptuelles und prozedurales Wissen erfasst, wurde deutschlandweit bei insgesamt 314 Lehramtsstudierenden eingesetzt, die mindestens eines der Fächer Biologie, Geographie oder Politik belegten.

6.1.2. Dimensionalität von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen

Als letzter Schritt der Messinstrumententwicklung erfolgte eine Modellierung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen, und damit die Überprüfung der Dimensionalität (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Die Modellierung soll zeigen, ob sich das bei der Operationalisierung zugrunde gelegte theoretische Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) empirisch fundieren lässt.

Sowohl eine zwei-dimensionale Modellierung, in der situationales und konzeptuelles Wissen gemeinsam eine vom prozeduralen Wissen zu unterscheidende Dimension bilden, als auch eine drei-dimensionale Modellierung sind aufgrund der Modellfits gegenüber einer eindimensionalen Variante zu bevorzugen. Aufgrund der höheren EAP/PV und WLE person separation

Reliabilität des zwei- gegenüber des dreidimensionalen Modells wird das zwei-dimensionale Modell derzeit als das Beste angesehen, um die empirischen Daten abzubilden (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Das Zusammenfallen von situationalem und konzeptuellem Wissen in einer Dimension kann möglicherweise auf die Lesegewohnheiten zurückgeführt werden, die sich durch Digitalisierung verändert haben (Mangen & van der Weel, 2016). Dabei hat sich die Lesefähigkeit verschlechtert und intensive Lesepraktiken wurden durch eher oberflächliche ersetzt (Mangen & van der Weel, 2016). Die Operationalisierung von situationalem Wissen im Fragebogen erfordert komplexe Szenarien zu lesen und auf dieser Basis die Aufgaben zu bearbeiten. Wenn die Information aus den Texten jedoch nicht hinreichend verarbeitet wird, können die Testpersonen die Inhalte der Szenarien bei der Aufgabenbearbeitung nicht ausreichend abrufen. Daher ist es möglich, dass die Aufgaben zum situationalen Wissen (teilweise) unabhängig von den Szenarien beantwortet wurden. Sie könnten stattdessen – unbeabsichtigt – ebenfalls konzeptuelles Wissen erfassen. Eine weitere Ursache für die nicht klare empirische Trennbarkeit von situationalem und konzeptuellem Wissen könnte in der Verwendung des gleichen Aufgabenformats für beide Wissenstypen liegen (vgl. Binder et al., 2019).

Die Prüfung der Dimensionalität hat gezeigt, dass mit Hilfe des entwickelten Messinstrumentes situational/konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen solide als zwei voneinander unabhängige Dimensionen betrachtet werden können (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Überlegungen für weitere Prüfungen bezüglich der Dimensionalität im Rahmen von Folgeforschung werden in Kapitel 7 vorgestellt.

6.2. Stärken und Schwächen

6.2.1. Inhaltsvalidität

Als Stärke der vorliegenden Arbeit kann die sehr intensive Phase der Messinstrumententwicklung aus einer Kombination qualitativer und quantitativer Verfahren und deren Beitrag zur Gewährleistung von Inhaltsvalidität angesehen werden. Dies gilt erstens für die Multiple-Choice Aufgaben zur Erfassung des situationalen und konzeptuellen Wissens angehender Lehrkräfte, deren Funktionalität in zwei Studien Lauten Denkens sowie einer quantitativen Erhebung pilotiert wurde, und zweitens für die Entwicklung von Lösungsstrategien zur Erfassung des prozeduralen Wissens, die über eine Delphi-Studie und eine Studie mit Lehramtsstudierenden abgesichert wurde.

Ergänzend zu den Ausführungen in Kapitel 6.1.1 zu einer soliden Messinstrumententwicklung, die die Inhaltsvalidität absichern, erfolgten weitere Validitätsprüfungen. Zum Beispiel zeigten sich hohe Korrelationen zwischen dem selbsteingeschätzten Wissen der Expert*innen und der Sicherheit der Expert*innen, die bei der Einschätzung jeder Lösungsstrategie erfasst

wurde (Richter-Beuschel et al., 2018b). Die Sicherheitseinschätzungen der Expert*innen flossen in die Entwicklung des Maßstabes ein, um die Einschätzungen der Expert*innen um deren Expertisegrad zu korrigieren. Der Sachverhalt unterstützt die Annahme, dass ein verlässlicher Expertenmaßstab generiert werden konnte.

6.2.2. Messung von situationalem und konzeptuellem Wissen

Situationales und konzeptuelles Wissen wurden in der vorliegenden Arbeit in Form von Multiple-Choice Aufgaben erhoben. Auch Large scale assessments wie TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study), PIRLS (Progress in International Reading Literacy Study) oder PISA (Programme for International Student Assessment) nutzen Aufgaben im Multiple-Choice Format (Baird, 2014). Kognitiv anspruchsvolle Multiple-Choice Aufgaben haben sowohl das Potential, aussagekräftige Informationen über die Fähigkeiten der Testpersonen zu erhalten als auch den Testpersonen die Möglichkeit zu geben, durch die Befragung ihre Fähigkeit zu verbessern (Scully, 2017).

Die Entwicklung der Distraktoren für die Multiple-Choice Aufgaben zum situationalen und konzeptuellen Wissen war eine große Herausforderung. Sie ist gut gelungen, wenn Fehlvorstellungen zur Konstruktion von Distraktoren herangezogen werden konnten. Bei 20 der 27 Items zur Dimension des situational/konzeptuellen Wissens wurde mindestens ein Distraktor von weniger als 5 % der Testpersonen gewählt. Die Ergebnisse des eindimensionalen Modells zum situational/konzeptuellen Wissen zeigten, dass die Aufgaben eher leicht zu beantworten waren (mean item difficulty aus IRT -0,893) (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Dass Distraktoren, die sich im Rahmen der qualitativen und quantitativen Vorstudien als besonders attraktiv dargestellt haben, teilweise abgeschwächt wurden, kann zur vergleichsweise geringen Schwierigkeit der Aufgaben in der Hauptstudie beigetragen haben. Zudem wichen die Stichprobensamensetzungen zwischen quantitativer Vorstudie und Hauptstudie ab: in der Vorstudie machten Lehramtsstudierende mit dem Ziel Gymnasium/Integrierte Gesamtschule 42 % aus, in der Hauptstudie jedoch 80 %. Wie sich im Vergleich der Personenfähigkeit zwischen Studierenden unterschiedlicher Schultypen gezeigt hat, wiesen Studierende mit der Richtung Gymnasium/Integrierte Gesamtschule höheres situationales/konzeptuelles Wissen auf als Studierende anderer Schulformen. Daher hätten die Items von Vorstudie zu Hauptstudie womöglich geringerer Überarbeitung bedurft, um auch Aufgaben höherer Schwierigkeit zu erhalten. Jedoch bestätigen die Kennwerte aus dem IRT-Modell, wie beispielsweise die EAP/PV Reliabilität, die noch in einem akzeptablen Bereich liegt (0,627) (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b), die Anwendbarkeit des Instrumentes.

Da insbesondere bei Tests im Multiple-Choice Format die Gefahr groß ist, dass keine ein-dimensionale Messung vorliegt und damit das Güterkriterium der Skalierung verletzt wäre, ist die IRT-Modellierung an dieser Stelle von großer Bedeutung (vgl. Kubinger, 2014). Ein Vorteil der Leichtigkeit der Items kann sein, dass eine größere Zielgruppe für einen Einsatz der Skala zum situational/konzeptuellen Wissen in Frage kommt, wie beispielsweise auch Schüler*innen der Sekundarstufe II.

Der große Vorteil bei der Verwendung von Multiple-Choice Aufgaben liegt in der effizienten, zeitökonomischen Messung (Solaz-Portolés & López, 2008). Für die weitere Verwendung des Instrumentes ist das Aufgabenformat aus den zuvor genannten Gründen ebenfalls vorteilhaft. Die Erfahrung bei der Akquise von Lehramtsstudierenden für eine Teilnahme an einer Befragung hat gezeigt, dass eine längere Fragebogenstudie während der Kurszeiten schwer durchführbar ist. Bei einer Befragung außerhalb von Kursen hat sich gezeigt, dass für ein Instrument mit entsprechendem Umfang Versuchspersonengelder notwendig sind, um eine sorgfältige Bearbeitung gewährleisten zu können. Ein schnell zu bearbeitendes Instrument kann daher auch auf der Durchführungsebene Vorteile mit sich bringen.

6.2.3. Messung von prozeduralem Wissen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden zwei verschiedene Ansätze zur Auswertung des prozeduralen Wissens präsentiert. Zunächst wurde das prozedurale Wissen der Studierenden durch Bildung der Differenz zwischen der Effektivitätseinschätzung der Expert*innen und der Einschätzung der Studierenden berechnet (Kap. 4, Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Dies wird im Folgenden als klassische Analyse bezeichnet. In der zweiten Variante wurde durch Runden des Wertes aus dem Expertenmaßstab auf die nächste Ganzzahl der „korrekte“ Wert auf der Likert-Skala generiert. Mit Hilfe dieses Expertenmaßstabs werden die Antworten der Studierenden mittels Rasch-Modellierung dichotomisiert ausgewertet (Kap. 5, Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Trotz der Unterschiedlichkeit der Auswertung zeigten beide Studien ähnliche Trends in den Ergebnissen, wie beispielsweise, dass die Bachelor-Note als Prädiktor für das prozedurale Wissen fungiert (klassische Analyse: $R^2 = 0,048$, adjusted $R^2 = 0,039$, $F(1,101) = 5,09$, $p = 0,026$; Rasch-Modell: $R^2 = 0,041$, adjusted $R^2 = 0,032$, $F(1,106) = 4,53$, $p = 0,036$). Durch die Rasch-Modellierung konnte die Skala zur Erfassung des prozeduralen Wissens gekürzt und damit zeitökonomischer gestaltet werden.

6.2.4. Stichprobenumfang und Items

Im Vergleich zu anderen Studien zur Erfassung nachhaltigkeitsrelevanten Wissens ist der vorliegende Stichprobenumfang als eher gering einzustufen (z.B. Koch et al., 2013: $N = 882$,

Zwickle et al., 2014: N = 1389). Zudem wäre eine bezüglich der Studiengänge und Studienfächer besser ausgewogene Stichprobe erstrebenswert gewesen.

Im Rahmen der ersten Phase der „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ wurden zwischen 2016 und 2019 deutschlandweit 49 Projekte in der Lehrkräftebildung gefördert, woraus auch die vorliegende Arbeit entstanden ist. Allerdings hat die „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ zahlreiche Erhebungen an vielen Standorten der Lehramtsausbildung mit sich gebracht hat, wodurch es schwierig war, für eine Fragebogenstudie mit einer Bearbeitungszeit von 60 Minuten eine große Anzahl an Testpersonen zu gewinnen. Nichtsdestotrotz ist es uns gelungen in der Vorstudie im Jahr 2017 an sieben Hochschulen in vier Bundesländern zu erheben (N = 112) sowie in der Hauptstudie 2018/19 314 Lehramtsstudierende der Fächer Biologie, Geographie und Politik von zehn Hochschulen aus sieben Bundesländern einzubeziehen. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die vorliegende Stichprobe der Hauptstudie – insbesondere in Kombination mit der großen Anzahl an Items pro Dimension – verlässliche Ergebnisse im Rahmen der IRT-Modellierung liefert (Akour & AL-Omari, 2013).

6.2.5. Inhaltliche Breite der Messung von nachhaltigkeitsrelevantem Wissen

Nicht nur die profunde Messinstrumententwicklung, sondern auch die inhaltliche Breite des zu erfassenden Wissens gehört zu den Vorzügen dieser Forschungsarbeit. So wird die übergeordnete Thematik der nachhaltigen Landnutzung durch die zwei Themenfelder Biodiversität und Klimawandel repräsentiert, die für die SDGs „Life on Land“, „Life Below Water“ und „Climate Action“ und damit auch für eine Bildung für Nachhaltige Entwicklung zentral sind. Die wiederum für Biodiversität und Klimawandel exemplarisch herangezogenen Kontexte *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* sind komplexe Umweltprobleme, deren Lösung eine interdisziplinäre Betrachtung erfordert. Weiterhin werden bei der Erfassung des situational/konzeptuellen Wissens wichtige Facetten der Nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt (Ökologie, Ökonomie/Soziales, Institutionelles).

Für die Erfassung des nachhaltigkeitsrelevanten prozeduralen Wissens wurden mit nachhaltiger Landnutzung, Ökosystemdienstleistungen und Biodiversitäts-/Klimaschutz drei hoch relevante Handlungsfelder herangezogen. Die Lösungsstrategien zur Erfassung des prozeduralen Wissens decken außerdem noch acht im Bereich nachhaltige Landnutzung relevante Themengebiete ab: Forschung zu nachhaltiger Entwicklung, Umweltpolitik, Agrarpolitik, Bildung für Nachhaltige Entwicklung, nachhaltiger Konsum, nachhaltige Produktion, nachhaltige Bewirtschaftung und Artenvielfalt (Richter-Beuschel et al., 2018b).

6.2.6. Konstruktvalidierung von situational/konzeptuellem Wissen und prozeduralem Wissen

Nicht nur das Wissen, sondern auch dessen Beziehungen zu verwandten Konstrukten, wurden mittels IRT-Modellierungen geprüft (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Im Zuge der quantitativen Hauptstudie wurden Validierungsinstrumente eingesetzt, die von allen Testpersonen bearbeitet wurden und eine Verortung von situational/konzeptuellem Wissen und prozeduralem Wissen im nomologischen Netzwerk erlauben. Der Fokus lag dabei auf der Erfassung weiterer Komponenten der professionellen Handlungskompetenz, insbesondere im motivationalen Bereich. Erhoben wurden Einstellungen gegenüber Nachhaltiger Entwicklung (Biasutti & Frate, 2017), Verantwortungsbereitschaft gegenüber Klimawandel und Biodiversitätsverlust (BMU, 2008), Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (Rosenbaum et al., 2017) sowie Wissen zum Thema Nachhaltigkeit (Zwickle et al., 2014). Zusätzlich wurde von einer Teilstichprobe ein Instrument zur Erfassung des Interesses an Biodiversität (Irfan et al., 2012) bearbeitet.

Bereits bei der klassischen Analyse deutete das Ausbleiben signifikanter manifester Korrelationen zwischen dem prozeduralen Wissen und den motivationalen Orientierungen der Studierenden auf eine Unabhängigkeit der Konstrukte hin (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Die latenten Korrelationen zwischen den Wissensdimensionen und den Validierungsinstrumenten (außer Interesse) der mehrdimensionalen IRT-Modellierungen haben bestätigt, dass das erfasste disziplinäre und interdisziplinäre Wissen zu nachhaltiger Landnutzung weitestgehend unabhängig von motivationalen Orientierungen der Testpersonen ist. Auch das selbsteingeschätzte Wissen zu Biodiversität und Klimawandel lässt nahezu keinen Zusammenhang mit den motivationalen Orientierungen zu, sondern lediglich zum situational/konzeptuellen Wissen (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b).

Durch die Kompetenzmodellierung sowohl kognitiver (situational/konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen, Wissen zu Nachhaltigkeit) als auch motivationaler Facetten (Selbstwirksamkeitserwartungen, Verantwortungsbereitschaft, Einstellungen) wurde ein vertiefter Einblick zu Relationen mehrerer Aspekte professioneller Handlungskompetenz von angehenden Lehrkräften gewonnen.

6.3. Wissen angehender Lehrkräfte für die Gestaltung nachhaltiger Landnutzung

Die exemplarische Präsentation zum konzeptuellen Wissen des Insekten- und Bestäubungskontextes (Richter-Beuschel et al., 2018a) ergab erste Hinweise, dass der Ausbildungsfortschritt der Studierenden das Wissen beeinflusst. So hat sich gezeigt, dass Personen, die ihr Lehramtsstudium kürzlich abgeschlossen haben, mehr Aufgaben korrekt gelöst haben als Personen, die sich noch im Studium befinden. In der quantitativen Vor- und Hauptstudie wurde

die Zielgruppe ausschließlich auf studierende Personen beschränkt. Zudem deutete sich in der Vorstudie an, dass das Studienfach das Wissen der Testpersonen beeinflusst. Ausbildungsfortschritt und Studienfach waren damit Variablen, deren Einfluss auf das Wissen in der Hauptstudie näher betrachtet werden sollte.

6.3.1. Prozedurales Wissen – Auswertung und Ergebnisse

Zunächst wurde anhand einer Teilstichprobe der Hauptstudie das prozedurale Wissen näher untersucht (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Das prozedurale Wissen der angehenden Lehrkräfte ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Wert des zuvor generierten Expertenmaßstabes und der Effektivitätseinschätzung der Studierenden (jeweils pro Item) (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a; Kap. 6.2.3.). Weiterhin wurde die Gesamtstichprobe (N = 314) für eine Rasch-Modellierung der Aufgaben des prozeduralen Wissens herangezogen (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b).

Die Ergebnisse der klassischen statistischen Analyse zeigten hohe Abweichungen in den Effektivitätseinschätzungen von Expert*innen und Studierenden und damit auch abweichendes prozedurales Wissen (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Dies wird im Rasch-Modell anhand vergleichsweise hoher Aufgabeschwierigkeiten im prozeduralen Wissen bestätigt (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Auch frühere Studien zeigten Diskrepanzen im Vergleich von Einschätzungen von Lehramtsstudierenden beziehungsweise Lehrer*innen mit dem wissenschaftlichen Konsens oder Daten hinsichtlich Klimawandel und Biodiversität. So wählten bei der Frage nach dem Anteil an der globalen Erwärmung, den Wissenschaftler dem Menschen zuschreiben, nur 37,5 % der befragten US-amerikanischen Science Education Lehrkräfte die korrekte Antwortoption mit 81 bis 100 % (Plutzer et al., 2016). Grund dafür kann beispielsweise sein, dass Lehrpläne und Lehrbücher Zweifel am wissenschaftlichen Konsens über den vom Menschen verursachten Klimawandel und den Trend der globalen Erwärmung aufkommen lassen (Wynes & Nicholas, 2019). Hinsichtlich der Biodiversität konnte gezeigt werden, dass Einschätzungen von Lehramtsstudierenden die Bedrohung von Pflanzenarten gegenüber wissenschaftlichen Daten deutlich überschätzen (Fiebelkorn & Menzel, 2019). Eine Erklärung hierfür kann die hohe erforderliche kognitive Leistung sein, um die Gesamtzahl der Pflanzen gegen die Anzahl der bedrohten Pflanzen abzuwägen (Fiebelkorn & Menzel, 2019).

In der klassischen statistischen Analyse zeigten sich Unterschiede im prozeduralen Wissen im Vergleich der Handlungsfelder: Sowohl Bachelor- als auch Master-Studierende wiesen die höchsten Abweichungen zur Experteneinschätzung – und damit das geringste prozedurale Wissen – im Bereich der Ökosystemdienstleistungen und die geringsten Abweichungen im Bereich Klima- und Biodiversitätsschutz auf (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Im Gegensatz

dazu zeigten die Aufgabeschwierigkeiten in der Rasch-Modellierung zum prozeduralen Wissen einen anderen Trend: die höchste Aufgabeschwierigkeit liegt im Handlungsfeld Biodiversitäts- und Klimaschutz, gefolgt von Ökosystemdienstleistungen und nachhaltiger Landnutzung mit gleicher Schwierigkeit. Jedoch unterscheiden sich die Schwierigkeiten zwischen den Handlungsfeldern nicht signifikant (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b).

Bei Gegenüberstellung der klassischen und der IRT-Analyse müssen jedoch einige Änderungen berücksichtigt werden, die die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen können: So wurde in der Rasch-Modellierung – statt einer Teilstichprobe (nur Lehramt Gymnasium/integrierte Gesamtschule im Bachelor/Master-System) – die gesamte Stichprobe (N = 314) berücksichtigt. Sie ist diverser, da sie zudem Studierende mit dem Ziel anderer Schulformen als Gymnasium/Integrierte Gesamtschule sowie Staatsexamen-Studiengänge umfasst. Weiterhin erfolgte im Rahmen der eindimensionalen Rasch-Modellierung des prozeduralen Wissens eine Reduktion von 51 auf 32 Items. Damit sind auch die Kontexte und Handlungsfelder nicht mehr in gleichen Anteilen wie zuvor repräsentiert. Die 32 Items (13 *Insekten und Bestäubung*, 18 *Moornutzung*) enthalten acht Items zu nachhaltiger Landnutzung, 14 Items zu Ökosystemdienstleistung und zehn Items zu Biodiversitäts- und Klimaschutz. So kommt es zu Abweichungen der Schwierigkeiten auf Ebene der Handlungsfelder zwischen den beiden Analysevarianten zum prozeduralen Wissen. Ein eindimensionales Rasch-Modell, in dem alle Items der klassischen Analyse erhalten werden, zeigt in der Aufgabeschwierigkeit den gleichen Trend wie die klassische Analyse (Biodiversitäts- und Klimaschutz: 0,25, nachhaltige Landnutzung: 0,33, Ökosystemdienstleistung: 0,43). Als dritter und letzter bedeutsamer Aspekt wurde das prozedurale Wissen in der IRT-Modellierung dichotom kodiert (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b) und nicht wie zuvor als genaue Abweichung zu den Expert*innen (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Die dichotome Behandlung basiert auf einer Datenreduktion (alle Abweichungen von einer Antwortstufe und mehr wurden als „0“ kodiert) sowie auf einer Unschärfe (Rundung der durchschnittlichen Expertenratings, die sich aus Effektivitätseinschätzung und Sicherheitseinschätzung zusammensetzen, auf Ganzzahl).

6.3.2. Gruppen von Lehramtsstudierenden und Unterschiede in den Dimensionen situational/konzeptuelles und prozedurales Wissen

Anhand diverser Angaben, zu denen die Testpersonen neben der Beantwortung der Aufgaben gebeten wurden, konnten erste Aussagen über mögliche Einflussfaktoren auf das Wissen zu Themen nachhaltiger Landnutzung angehender Lehrkräfte getroffen werden. Insgesamt konnten hinsichtlich des prozeduralen Wissens nur geringe Unterschiede in Abhängigkeit des Ausbildungsfortschritts (Bachelor/Master) festgestellt werden. In der klassischen Analyse

zeigten Master-Studierende lediglich im Handlungsfeld nachhaltige Landnutzung signifikant höheres Wissen als Bachelor-Studierende (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Auch die Rasch-Modellierung des prozeduralen Wissens zeigte keinen Unterschied in der Personenfähigkeit zwischen Studierenden auf Bachelor- und Masterlevel (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Ebenso berichten Koch et al. (2013) abweichende Einschätzungen von Studierenden und Expert*innen in Hinblick auf die Effektivität von Lösungsstrategien zu Ressourcennutzungsproblemen in Indonesien. Sie stellten dabei kein signifikant höheres Wissen bei Studierenden im siebten im Vergleich zu Studierenden im dritten Studiensemester fest (Koch et al., 2013).

Im Gegensatz zur prozeduralen Dimension wurde in der situational/konzeptuellen Dimension signifikant höheres Wissen von Studierenden auf Master- als von Studierenden auf Bachelor-Level erfasst (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Bisherige Studien, die über höheres Wissen in höheren Ausbildungsleveln berichten, erfassen meist Faktenwissen (z.B. Effeney & Davis, 2013; Zwickle et al., 2014), welches eher dem situational/konzeptuellen Wissen gleichzusetzen ist.

Beiden Analysen zum prozeduralen Wissen ist gemeinsam, dass die untersuchten BNE-relevanten Studienfächer Biologie, Geographie und Politik kaum Unterschiede im prozeduralen Wissen der Lehramtsstudierenden bedingen. So zeigte die klassische Analyse, dass alle Fächer den gleichen Trend mit höchstem prozeduralem Wissen im Bereich Biodiversitäts- und Klimaschutz aufweisen und das geringste prozedurale Wissen im Bereich Ökosystemdienstleistungen zeigten (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020a). Im Rahmen der Rasch-Modellierung konnten sowohl im prozeduralen als auch im situational/konzeptuellen Wissen keine Unterschiede in der Personenfähigkeit für die Studierenden unterschiedlicher Fächer nachgewiesen werden (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b).

Im Rahmen der IRT-Analysen hat sich gezeigt, dass die angestrebte Schulform (Gymnasium/integrierte Gesamtschule oder andere Schulformen) das situational/konzeptuelle aber nicht das prozedurale Wissen beeinflusst. Gleiches gilt für die Abiturnote (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass Schüler*innen mit einer schlechteren Abiturnote häufig ein Studium anderer Schulformen als Gymnasium/Integrierte Gesamtschule wählen und zudem Lehramtsstudierende anderer Schulformen geringeres fachliches Interesse aufweisen als Studierende mit dem Fokus Gymnasium/Integrierte Gesamtschule (Neugebauer, 2013; Retelsdorf & Möller, 2012).

Bei Betrachtung der Anzahl BNE-relevanter Kurse („ESD in university“: Produkt aus der Anzahl der Kurse mit BNE-Bezug und dem prozentualen Anteil an BNE), die die Testpersonen

angaben während ihres Studiums besucht zu haben, ergibt sich ein umgekehrtes Bild: die Personenfähigkeit im prozeduralen Wissen wächst mit steigender Anzahl BNE-relevanter Kurse („ESD in university“), im situational/konzeptuellen Wissen hingegen nicht (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Dennoch ist das situational/konzeptuelle Wissen auf Master-Level höher als das auf Bachelor-Level. Dies kann möglicherweise darauf zurückgeführt werden, dass Faktenwissen zu Biodiversität und Klimawandel – insbesondere in den fachwissenschaftlichen Kursen, die Lehramtsstudierende besuchen – vermittelt wird. Diese werden eventuell von den Studierenden nicht als BNE-relevant eingestuft.

7. Überlegungen zu Folgeforschung

Beim Ableiten von Schlussfolgerungen auf Basis der vorliegenden Ergebnisse sollte beachtet werden, dass durch das quasi-längsschnittliche Design lediglich eine Momentaufnahme erfasst wurde. Jedoch liefern die Ergebnisse der IRT-Modellierung aufgrund hoher Itemanzahlen eine gute Basis, um Items für eine zukünftig geplante Längsschnittbefragung auszuwählen. Angestrebt wird eine Studie mit mehreren Erhebungszeitpunkten an Universitäten in Deutschland. Die Erhebung soll dabei in Form einer Online-Umfrage durchgeführt werden. Weiterhin soll das Instrument zukünftig zur Evaluation des im Rahmen des Schlözer Programm Lehrerbildung an der Universität Göttingen etablierten Zertifikats zum fächerübergreifenden Unterrichten für den Schwerpunkt Bildung für Nachhaltige Entwicklung (Eggert et al., 2018) genutzt werden. So könnte das Wissen der Lehramtsstudierenden zu Beginn und nach Absolvieren aller Veranstaltungen im Zertifikatsstudium evaluiert werden, um die Zertifikatslinie zu Bildung für Nachhaltige Entwicklung weiterzuentwickeln.

Für die Erfassung des prozeduralen Wissens kann zukünftig das Itemset (32 Items) verwendet werden, welches sich im Rahmen der eindimensionalen Rasch-Modellierung herauskristallisierte (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Für das situationale und konzeptuelle Wissen hingegen gibt es zwei Varianten: In der ersten Variante können ebenfalls die 27 Items der eindimensionalen Modellierung eingesetzt werden. Wenn hingegen versucht werden soll, die Abgrenzung der beiden Wissenstypen empirisch zu bestätigen, sollte ein anderes Vorgehen gewählt werden. Bei der zweiten Variante könnten alle ursprünglichen 33 Items eingesetzt werden. Bei der Befragung sollten die Anforderungen an die Bearbeitung der Aufgaben und dabei insbesondere das aufmerksame Lesen der Szenarien angeregt werden. Möglich wäre es auch, die Szenarien zu vereinfachen. So könnten drei unterschiedliche Testvarianten eingesetzt werden. Die erste Testvariante sollte genau wie die bisherige Befragung stattfinden. Bei der zweiten Variante wird lediglich mit einer verbesserten Instruktion gearbeitet und bei der Dritten mit vereinfachten Szenarien. Damit könnten Informationen über den Einfluss der Informationsverarbeitung beziehungsweise die Tiefe der Bearbeitung der Szenarientexte durch die Lehramtsstudierenden gewonnen werden.

Für weitere Einblicke in das nomologische Netzwerk könnten Konstrukte, mit denen ein größerer Zusammenhang zu erwarten ist herangezogen werden. Möglich wäre eine gemeinsame Erfassung von prozeduralem Wissen und der Teilkompetenz „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ der Bewertungskompetenz (Bögeholz et al., 2017; Gausmann et al., 2010). Allerdings wurde diese Teilkompetenz für Schüler*innen operationalisiert (Bögeholz et al., 2017) und ist in der aktuellen Form daher nur eingeschränkt bei

Lehramtsstudierenden anwendbar. Denkbar wäre ein Einsatz des im Rahmen des Dissertationsvorhabens entwickelten Messinstruments zum Wissen zu Nachhaltiger Entwicklung mit seinen Fragebogenteilen zu den Wissenstypen beziehungsweise Dimensionen in der gymnasialen Oberstufe. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich bei den Aufgaben zu „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ um ein offenes Antwortformat handelt, welches sowohl bei der Bearbeitung als auch der Auswertung zeitintensiv ist.

Auch eine Re-Analyse der bereits vorhandenen Daten ist denkbar. Als Weiterentwicklung könnten die Multiple-Choice Aufgaben unter Einbezug eines Rateparameters (3PL-Modell) ausgewertet werden. Auch wäre es denkbar, Modelle einzusetzen, in denen auch die Distraktoren berücksichtigt werden (nominal response model, Bock, 1972 oder multiple choice model, Thissen & Steinberg, 1984). Die Aufgaben des prozeduralen Wissens könnten hingegen mit Hilfe eines Rasch Partial Credit Modells (Masters, 1982) analysiert werden. Dabei würden die Studierenden, die genau mit der gerundeten Experteneinschätzung übereinstimmen, den höchsten Score erhalten (z.B. Score: 3) und Studierende mit der größtmöglichen Abweichung den niedrigsten Score (Score: 0). So kann geprüft werden, wie sich die Personenfähigkeiten und Aufgabenschwierigkeiten bei einer differenzierteren Betrachtung des prozeduralen Wissens verhalten.

Das entwickelte Instrument zur Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen ist zudem vielfältig übertragbar. So kann das Messinstrument auch bei anderen Zielgruppen eingesetzt werden, beispielsweise im universitären, fachwissenschaftlichen Studium der Fachrichtungen Biologie, Geographie, Umweltwissenschaft und Nachhaltigkeit oder auch in der gymnasialen Oberstufe. Die für eine Gestaltung nachhaltiger Landnutzung relevanten Kontexte *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* sind sowohl auf europäischer Ebene anwendbar als auch auf viele andere Länder übertragbar. Weiterhin kann auch der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz zur Messinstrumententwicklung für das prozedurale Wissen auf andere komplexe und kontroverse Herausforderungen Nachhaltiger Entwicklung übertragen werden. Durch die im Rahmen der Kompetenzmodellierung erfolgte Kondensierung der Aufgaben konnte ein zeitökonomisches Instrument generiert werden, das entsprechend angepasst werden kann.

8. Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein Messinstrument entwickelt, mit dem disziplinäres und interdisziplinäres Wissen zu Fragestellungen Nachhaltiger Entwicklung differenziert reliabel und valide bei Lehramtsstudierenden gemessen werden kann. Dabei wurden beim disziplinären Wissen ökologische, sozio-ökonomische und institutionelle Aspekte berücksichtigt. Das interdisziplinäre Wissen betrifft Lösungsstrategien, die graduell unterschiedlich im Hinblick auf die verschiedenen Handlungsfelder (nachhaltige Landnutzung, Ökosystemdienstleistungen, Biodiversitäts-/Klimaschutz) sein können. Der Operationalisierung zur differenzierten Erfassung von situationalem, konzeptuellem und prozeduralem Wissen wurde das Modell der Wissenstypen von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) zu Grunde gelegt. Die im Messinstrument adressierten exemplarischen Kontexte für Biodiversität und Klimawandel – *Insekten und Bestäubung* und *Moornutzung* – sind von hoher Relevanz für nachhaltige Entwicklungen und damit auch zentral für die Bildung.

Neben der Entwicklung eines Messinstrumentes war es ein Ziel, die Lernausgangslagen von Lehramtsstudierenden zu erfassen. Durch den Einsatz des Instrumentes konnten erste Einblicke in das situational/konzeptuelle und das prozedurale Wissen von Lehramtsstudierenden gewonnen werden. Frühere Studien nannten eine erforderliche interdisziplinäre Bearbeitung von Themen Nachhaltiger Entwicklung als Hürde für die mangelnde Berücksichtigung nachhaltigkeitsrelevanter Themen im Unterricht (Gayford, 2002). Unter der Prämisse der Modellierung (dichotome Kodierung) zeigt die vorliegende Arbeit, dass angehende Lehrkräfte Schwierigkeiten im Umgang mit globalen Herausforderungen haben, zu denen es keine einfache beziehungsweise eindeutige Lösung gibt (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b). Dies kann ein Grund für die ausbaufähige Umsetzung einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung sein.

Ursächlich für die aufgezeigten Unzulänglichkeiten von Lehrkräften in Bezug auf die unterrichtliche Behandlung von nachhaltigkeitsrelevanten Themen kann der geringe Umfang entsprechender Kursinhalte sein. Es konnte gezeigt werden, dass die befragten Lehramtsstudierenden nur sehr wenige Lehrveranstaltungen, denen sie eine Relevanz bezüglich BNE beimessen, besucht haben. Dies bestätigt die vorherrschenden Aussagen, dass bislang in Deutschland noch keine ausreichende Implementierung von BNE stattgefunden hat (KMK, 2017; Rieckmann & Holz, 2017). Grund für die langsame Verbreitung kann sein, dass in allen Bildungsbereichen weitere Herausforderungen, wie der Umgang mit Diversität oder Digitalisierung bewältigt werden müssen (Singer-Brodowski et al., 2019). Dabei könnte einer zusätzlichen Berücksichtigung von BNE unterschiedliche Prioritäten eingeräumt werden (Singer-Brodowski et al., 2019).

Grund für eine geringe Anzahl BNE-relevanter Kurse und für begrenztes Wissen angehe-
der Lehrkräfte zu Biodiversität und Klimawandel kann auch mangelnde Kompetenz im Bereich
Nachhaltige Entwicklung oder Bildung für Nachhaltige Entwicklung von Hochschuldozierenden
sein. Um eine Verankerung von Themen Nachhaltiger Entwicklung in der Lehrkräftebildung
zu erreichen, ist es hilfreich, wenn Hochschuldozierende über entsprechende Selbstwirk-
samkeitserwartungen zum Lehren von BNE sowie entsprechende Kompetenzen in diesem Be-
reich verfügen. Damit könnten sie mit ihren Studierenden Selbstwirksamkeitserwartungen zum
Unterrichten von BNE und entsprechende Kompetenzen erarbeiten. Somit sind Kompetenzen
von Lehrpersonen zentral für eine weitere Implementierung von Bildung für Nachhaltige Ent-
wicklung in Universität und Schule. Dabei könnten zunehmend Weiterbildungsangebote für
Hochschuldozierende, wie in Bayern durch das Projekt FOLE-BNE (Universität Eichstätt-In-
golstadt, o.J.), etabliert werden. Davon können nicht nur Ausbilder*innen von Lehrkräften son-
dern auch weitere universitäre Einrichtungen profitieren. Vielversprechend dabei ist ein whole
institution approach (UNESCO, 2017), in dem Nachhaltige Entwicklung nicht nur Lehr-, Stu-
dien- oder Unterrichtsinhalt ist, sondern ganzheitlich nachhaltige Lernumgebungen geschaffen
werden (DUK, 2014). Dabei wird Nachhaltigkeit in allen Bereichen einer Einrichtung ange-
strebt (z.B. Organisationskultur, Leitung und Management, Beteiligung der Lernenden), sodass
Lehrende und Lernende Nachhaltigkeitsprinzipien in ihrem Alltag integrieren können (UNE-
SCO, 2017).

Problemlösen, also der Umgang mit unsicherem Wissen, ist eine zentrale Kompetenz, die
zukünftig immer mehr an Bedeutung gewinnen wird. So wird beispielsweise Problemlösekom-
petenz als eine Schlüsselkompetenz für Bildung zu den SDGs benannt (UNESCO, 2017). Wis-
sen um Lösungsstrategien sollte daher ein integraler Bestandteil einer Lehrkräftebildung für
und zu Bildung für Nachhaltige Entwicklung sein und werden. Als zentraler Aspekt der profes-
sionellen Handlungskompetenz sollte das Fachwissen – disziplinär und interdisziplinär – ange-
hender Lehrkräfte gestärkt werden, damit sie als Schlüsselpersonen über ihre Gestaltungsmög-
lichkeiten im Unterricht zur Lösung realweltlicher Probleme Nachhaltiger Entwicklung beitra-
gen können. Eine gezielte und fundierte Auseinandersetzung mit problemlöserrelevantem Wis-
sen für Fragen Nachhaltiger Entwicklung während des Studiums kann dazu beitragen, Bildung
für Nachhaltige Entwicklung stärker in der Schule zu verankern. Lehrkräfte sollten in die Lage
versetzt werden, gesellschaftlich hoch relevante Probleme, zu denen es aktuell keine eindeuti-
gen nachhaltigen Lösungen gibt (z.B. der Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln in der
Landwirtschaft, der die Biodiversität beeinträchtigt), mit ihren Schüler*innen im Unterricht zu
behandeln.

Aufgrund des zwar geringen jedoch signifikanten Zusammenhangs zwischen Anzahl besuchter BNE-relevanter Kurse und dem prozeduralen Wissen (Richter-Beuschel & Bögeholz, 2020b) gibt die vorliegende Arbeit erste Hinweise darauf, dass eine Erhöhung des Anteils BNE-relevanter Kurse zu einer Steigerung des prozeduralen Wissens beitragen kann. Damit unterstützen die Ergebnisse die jüngsten Forderungen und Ziele der UNESCO (2019a), in der Lehrkräftebildung Inhalte mit Relevanz für eine nachhaltige Entwicklung zu steigern. Ansätze einer Förderung von BNE in der Lehrkräftebildung, die im Rahmen diverser Projekte der Qualitäts-offensive Lehrerbildung (z.B. Eggert et al., 2018; Kohlmann & Overwien, 2017; Universität Koblenz-Landau, o.J.) und auch unabhängig davon (z.B. Universität Duisburg-Essen, 2020; Universität München, o.J.) bereits stattfinden, können somit einen wichtigen Beitrag leisten und sollten weiter ausgeweitet beziehungsweise verbreitet werden. Zudem könnten Themen Nachhaltiger Entwicklung noch tiefergehend in Dokumenten wie den Standards zur Lehrerbildung verankert werden (KMK, 2019).

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit konnte die eingangs aufgeworfene Lücke des Mangels eines Instrumentes zur differenzierten Erfassung von Wissen zu Themen nachhaltiger Entwicklung geschlossen werden. Da bislang nur vergleichsweise wenige Kompetenzmodellierungen zu Wissen im Bereich nachhaltiger Entwicklung vorliegen (Marshall et al., 2018; Zwickle et al., 2014) und noch weniger zu einer differenzierten Messung des Wissens (Frick et al., 2004; Kaiser & Frick, 2002), liefert die vorliegende Arbeit hier einen sehr wichtigen Beitrag. Die Erfassung der Lernausgangslagen kann die Lehrkräftebildung bereichern, da sie einen wertvollen Ansatzpunkt für eine evidenzbasierte differenzierte Förderung für nachhaltigkeitsrelevantes Wissen von Lehramtsstudierenden im Bereich BNE bietet. Sie trägt damit zur Umsetzung der Education for Sustainable Development Goals bei.

Literatur Einleitung und Synthese

- Abdullahi, I.K., Muhammed, N.S., Ahijo, T.M., Sabiu, N. & Bello, N.I. (2018). An Assessment of Environmental Awareness among Secondary School Teachers in Dutse Town, Nigeria. *The Environmental Studies*, 1(2), 11–19.
- Achterberg, N. (2018). *Prozedurales Wissen von Lehramtsstudierenden zur Gestaltung Nachhaltiger Entwicklung. Erkenntnisse aus einer Studie Lauten Denkens für die Weiterentwicklung eines Messinstruments*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Akour, M. & AL-Omari, H. (2013). Empirical Investigation of the Stability of IRT Item-Parameters Estimation. *International Online Journal of Educational Sciences*, 5(2), 291–301.
- Alexander, P.A., Schallert, D.L. & Hare, V.C. (1991). Coming to Terms: How Researchers in Learning and Literacy talk about Knowledge. *Rev. Educ. Res.*, 61 (3), 315–343.
- Allen, M.R., Dube, O.P, Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M. et al. (2018). Framing and Context. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D. Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A. et al. (Eds.). In Press.
- Anderson, L.W., Krathwohl, D.R., Airasian, P.W., Cruikshank, K.A., Mayer, R.E., Pintrich, P.R., Raths, J. & Wittrock, M.C. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, NY, USA: David McKay Company.
- Anderson, R.D. & Helms, J.V. (2001). The ideal of standards and the reality of schools: Needed research. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), 3–16.
- Bagoly-Simó, P. & Hemmer, I. (2017). *Bildung für nachhaltige Entwicklung in den Sekundarschulen: Ziele, Einblicke in die Realität, Perspektiven*. Internet https://www.ku.de/fileadmin/150305/Professur_fuer_Didaktik_der_Geographie/Forschung/Literatur/Bildung_f%c3%bcr_nachhaltige_Entwicklung_in_den_Sekundarschulen_%e2%80%93_Ziele__Einblicke_in_die_Realit%c3%a4t__Perspektiven_-_Bagoly-Simo__Hemmer.pdf
- Baird, K. (2014). International datasets in education. In Brewer, D. J. & Picus, L. O. (Eds.). *Encyclopedia of Education Economics and Education Finance* (pp. 418–421). Los Angeles: Sage.

- Baroody, A.J.; Feil, Y. & Johnson, A.R. (2007). An Alternative Reconceptualization of Procedural and Conceptual Knowledge. *J. Res. Math. Educ.*, 38 (2), 115–131.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Baumert, M. & Kunter, J. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). Münster: Waxmann.
- Biasutti, M. & Frate, S. (2017). A validity and reliability study of the Attitudes toward Sustainable Development scale. *Environmental Education Research*, 23(2), 214–230.
- Binder, T., Schmiemann, P. & Theyssen, H. (2019). Knowledge Acquisition of Biology and Physics University Students—the Role of Prior Knowledge. *Education Sciences*, 9(4), 281.
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2013). *Bestandsaufnahme und Perspektiven der Bienenhaltung und Imkerei in Deutschland*. Internet <https://www.dafa.de/wp-content/uploads/2013-Bestandsaufnahme-Imkerei-BMELV-2.pdf>
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014). *Bienen: Unverzichtbar für Natur und Erzeuger*. Internet http://archiv.bund-bremen.net/fileadmin/bundgruppen/bcmslvbremen/naturschutz/artenschutz/Bremen_blueht_auf/Bienen.pdf
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992). *Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Agenda 21*. Bonn: Köllen Druck+Verlag.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2008: Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Sinus-Institut: Berlin.
- BMUB - Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2013). *Die Biene: eines der wichtigsten Nutztiere*. Internet <http://www.umwelt-im-unterricht.de> (05.07.2016).
- Bock, R.D. (1972). Estimating item parameters and latent ability when responses are scored in two or more nominal categories. *Psychometrika* 37, 29–51.
- Bögeholz, S., Böhm, M., Eggert, S. & Barkmann, J. (2014). Education for Sustainable Development in German Science Education: Past – Present – Future. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(4), 231–248.
- Bögeholz, S., Eggert, S., Ziese, C. & Hasselhorn, M. (2017). Modeling and Fostering Decision-Making Competence Regarding Challenging Issues of Sustainable Development. In D.

- Leutner, J. Fleischer, J. Grünkorn & E. Klieme (Eds.), *Competence Assessment in Education Research, Models and Instruments* (pp. 263-284). Berlin: Springer.
- Bögeholz, S., Hössle, C., Höttecke, D. & Menthe, J. (2018). Bewertungskompetenz. In Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Eds.), *Theorien in der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 261–281). Berlin: Springer.
- Böhm, M., Eggert, S., Barkmann, J. & Bögeholz, S. (2016). Evaluating Sustainable Development solutions quantitatively: Competence modelling for GCE and ESD. *Citizenship, Social and Economics Education*, 15(3), 190–211.
- Boon, H. (2014). Teachers and the Communication of Climate Change Science: A Critical Partnership in Australia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 1006–1010.
- Boon, H.J. (2010). Climate Change? Who Knows? A Comparison of Secondary Students and Pre-service Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35(1).
- Bourn, D., Hunt, F., & Bamber, P. (2017). *A Review of education for sustainable development and global citizenship education in teacher education*. Paris: UNESCO.
- Bundesregierung (2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie*. Berlin.
- Burmeister, M. & Eilks, I. (2013). An understanding of sustainability and education for sustainable development among German student teachers and trainee teachers of chemistry. *Science Education International*, 24(2), 167–194.
- Burmeister, M., Schmidt-Jacob, S. & Eilks, I. (2013). German chemistry teachers' understanding of sustainability and education for sustainable development. An interview case study. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 169–176.
- Byrne, K.A., Chojnicki, B., Christensen, T. R., Freibauer, A., Friborg, T., Froelking, S. et al. (2004). *EU Peatlands: Current Carbon Stocks and Trace Gas Fluxes*. Internet <https://pdfs.semanticscholar.org/583e/c2dde5595e5f24aa4ae3584f9ae6b4db6239.pdf>
- Chapin III, F.S., Zavaleta, E.S., Eviner, V.T., Naylor, R.L., Vitousek, P.M., Reynolds, H.L., et al. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, 234–242.
- Charman, D.J. (2002). *Peatlands and environmental change*. Chichester: Wiley.
- Convention on Biological Diversity (CBD) (1992). *The Convention on Biological Diversity. UN Conference on Environment and Development, 5 June 1992*. Rio de Janeiro.
- Convention on Biological Diversity (CBD) (2010). *The Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Biodiversity Targets*. Nagoya.
- Crutzen, P.J. & Stoermer, E.F. (2000). The "Anthropocene". *IGBP Newsletter*, 41, 17–18.

- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., et al. (2019). A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances* 5, eaax0121.
- de Haan, G. & Gerold, L. (2008). Bildung für nachhaltige Entwicklung – Bildung für die Zukunft. Einführung in das Schwerpunktthema. *Umweltpsychologie*, 12(2), 4–9.
- de Jong, T. & Ferguson-Hessler, M.G.M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educ Psychol*, 31, 105–113.
- Derksen, C. (2017). *Situationales und konzeptuelles Wissen zu "Biodiversität" von Lehramtsstudierenden: Eine Studie Lauten Denkens zur Weiterentwicklung eines quantitativen Messinstruments*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F.S. & Tilman, D. (2006). Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biology* 4(8), 1300–1305.
- Dikmenli, M. (2010). Biology student teachers' conceptual frameworks in regarding biodiversity. *Education*, 130(3), 479–490.
- Drösler, M., Freibauer, A., Adelman, W. Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., et al. (2011). *Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis: Ergebnisse aus dem BMBF- Verbundprojekt "Klimaschutz - Moornutzungsstrategien" 2006-2010*. Internet https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn049337.pdf
- DUK – Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (2014). *UNESCO-Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms "Bildung für nachhaltige Entwicklung"*. Bonn: Dt. UNESCO-Kommission.
- Effeney, G. & Davis, J. (2013). Education for Sustainability: A Case Study of Pre-service Primary Teachers' Knowledge and Efficacy. *Australian Journal of Teacher Education*, 38(5), 32–46.
- Eggert, S. & Bögeholz, S. (2010). Students' use of decision-making strategies with regard to socioscientific issues: An application of the Rasch partial credit model. *Science Education*, 94(2), 230–258.
- Eggert, S., Bögeholz, S., Oberle, M., Sauer, M., Schneider, S. & Surkamp, C. (2018). Herausforderung Interdisziplinäres Unterrichten in der Lehrerbildung – Das Göttinger Zertifikatsmodell. *Journal für LehrerInnenbildung*. 18(3), 51–55.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge: Mass. MIT Press.

- Esa, N. (2010). Environmental knowledge, attitude and practices of student teachers. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 19(1), 39–50.
- EASAC – European Academies' Science Advisory Council (2015). *Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids. Building science into EU policy: Vol. 26*. Halle (Saale): EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nation (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.
- Fiebelkorn, F. & Menzel, S. (2013). Student Teachers' Understanding of the Terminology, Distribution, and Loss of Biodiversity: Perspectives from a Biodiversity Hotspot and an Industrialized Country. *Research in Science Education*, 43(4), 1593–1615.
- Fiebelkorn, F. & Menzel, S. (2019). Biology Teachers' Worldviews on the Global Distribution and Loss of Biodiversity: A GIS-Based Mental-Mapping Approach. *Frontiers in psychology*, 10, 1021.
- Frick, J., Kaiser, F.G. & Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and Individual Differences*, 37(8), 1597–1613.
- Friege, G. & Lind, G. (2006). Types and Qualities of Knowledge and their Relations to Problem Solving in Physics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 437–465.
- Frisk, E. & Larson, K.L. (2011). Educating for Sustainability: Competencies & Practices for Transformative Action. *Journal of Sustainability Education*, 2, 1–20.
- Frolking, S., Talbot, J., Jones, M.C., Treat, C.C., Kauffman, J.B., Tuittila, E.-S. & Roulet, N. (2011). Peatlands in the Earth's 21st century climate system. *Environmental Reviews*, 19, 371–396.
- Gausmann, W., Eggert, S., Hasselhorn, M., Watermann, R. & Bögeholz, S. (2010). Wie verarbeiten Schüler/-innen Sachinformationen in Problem- und Entscheidungssituationen Nachhaltiger Entwicklung? In Klieme, E., Leutner, D. & Kenk, M. (Eds.), *Kompetenzmodellierung Eine aktuelle Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms* (pp. 204–215). Weinheim: Beltz.
- Gayford, C. (2000). Biodiversity Education: A teacher's perspective. *Environmental Education Research*, 6(4), 347–361.

- Gayford, C. (2002). Controversial environmental issues: A case study for the professional development of science teachers. *International Journal of Science Education*, 24(11), 1191–1200.
- Gräsel, C. (2000). *Ökologische Kompetenz: Analyse und Förderung*. Unveröffentlichte Habilitation, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- Grass, I. & Tschardtke, T. (2020). Landwirtschaft und Naturschutz: Segregation oder Integration. *Aus Politik und Zeitgeschichte*, 11, 21-26.
- Grube, Y. (2018). *Eine Studie Lauten Denkens am Beispiel von "Klimawandel und Moornutzung" zur Weiterentwicklung eines Messinstruments*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Guntern, J., Suhner, M., Neumann, P. & Müller, A. (2014). Bienen und andere Bestäuber: Bedeutung für Landwirtschaft und Biodiversität. *Swiss Academies Factsheets*, 9(1).
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, 12(10), 1–21.
- Hassan, R.M., Scholes, R.J. & Ash, N. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. The millennium ecosystem assessment series: Vol. 1*. Washington DC: Island Press.
- Hellberg-Rode, G., Schrüfer, G. & Hemmer, M. (2014). Brauchen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) spezifische professionelle Handlungskompetenzen? Theoretische Grundlagen, Forschungsdesign und erste Ergebnisse. *Zeitschrift für Geographiedidaktik (ZGD)*, 42(4), 257–281.
- Hellberg-Rode, G. & Schrüfer, G. (2016). Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)? Ergebnisse einer explorativen Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*, 20(1), 1–29.
- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., et al. (2012). A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*, 336(6079), 348–350.
- Herman, B.C., Feldman, A. & Vernaza-Hernandez, V. (2017). Florida and Puerto Rico Secondary Science Teachers' Knowledge and Teaching of Climate Change Science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(3), 451–471.

- Hill, H.C., Rowan, B. & Loewenberg Ball, D. (2005). Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371–406.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A. et al. (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D. Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A. et al. (Eds.). In Press.
- ICSU & ISSC – International Council of Scientific Unions & International Social Science Council (2015). *Review of Targets for The Sustainable Development Goals: The Science Perspective*. Paris: International Council for Science (ICSU).
- IPBES – Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2018). *The regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia*. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC.
- IPCC (2018). Summary for Policymakers. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D. Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A. et al. (Eds.). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Irfan, R., Strack, M. & Bögeholz, S. (2012). Inwiefern interessieren sich Schülerinnen und Schüler für die biologische Vielfalt? 14. Frühjahrsschule, Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bremen, Germany, 12–15 März 2012; Universität Bremen.
- IUCN – International Union for Conservation of Nature. *Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996–2020)*. Internet www.iucnredlist.org/assessment/red-list-index (05.05.2020)
- Jiwa, R.A.M. & Esa, N. (2015). Student Teachers' Knowledge of Biodiversity. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(3), 1–4.

- Job, H., Woltering, M., Warner, B., Heiland, S., Jedicke, E., Meyer, P., et al. (2016). Biodiversität und nachhaltige Landnutzung in Großschutzgebieten. *Raumforschung und Raumordnung*, 74(6), 481–494.
- Joosten, H. (2012). Zustand und Perspektiven der Moore weltweit. *Natur und Landschaft* 87, 50–55.
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., et al. (2013). *MoorFutures: Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate - Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen*. BfN-Skripten: Vol. 350. Bonn: BfN, Bundesamt für Naturschutz.
- Kaiser, F.G. & Fuhrer, U. (2000). Wissen für ökologisches Handeln. In Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Eds.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze* (pp. 51–71). Göttingen: Hogrefe.
- Kaiser, F.G. & Frick, J. (2002). Entwicklung eines Messinstrumentes zur Erfassung von Umweltwissen auf der Basis des MRCML-Modells. *Diagnostica*, 48(4), 181–189.
- Khalid, T. (2001). Pre-service Teachers' Misconceptions Regarding Three Environmental Issues. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6(1), 102–120.
- Klein, M., Wagner, K., Klopp, E. & Stark, R. (2017). Fostering of applicable educational knowledge in student teachers: Effects of an error-based seminar concept and instructional support during testing on qualities of applicable knowledge. *Journal for educational research online*, 9(2), 88–114.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2017). *Zur Situation und zu Perspektiven der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Bericht der Kultusministerkonferenz vom 17.03.2017*. Hannover.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2019). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019*. Hannover.
- Knedeisen, C. (2017). *Maßnahmen gegen Bienensterben und Moordegradierung. Eine Delphi-Studie zum Prozeduralen Wissen*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Koch, S., Barkmann, J., Strack, M., Sundawati, L. & Bögeholz, S. (2013). Knowledge of Indonesian University Students on the Sustainable Management of Natural Resources. *Sustainability*, 5(4), 1443–1460.
- Köbbing, J.F., Groth, M. & Oheimb, G. v. (2012). *Klimaschutz durch Moorrenaturierung: Ansätze zur ökonomischen Bewertung*. Stuttgart: ibidem.

- Kohlmann, E.-M. & Overwien, B. (2017). Bildung für nachhaltige Entwicklung und globale Perspektiven in der Lehrerbildung. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik (ZEP)*, 40(3), 27–29.
- Kubinger, K.D. (2014). Gutachten zur Erstellung „gerichts-fester“ Multiple-Choice-Prüfungsaufgaben. *Psychologische Rundschau*, 65(3), 169–178.
- Leicht, A., Heiss, J. & Byun, W.J. (2018a). Introduction. In Leicht, A., Heiss, J. & Byun, W.J. (Eds.), *Issues and trends in education for sustainable development. Education on the move* (pp. 7–16). Paris: UNESCO.
- Leicht, A., Combes, B., Byun, W.J. & Agbedahin, A.V. (2018b). From Agenda 21 to Target 4.7: the development of Education for Sustainable Development. Leicht, A., Heiss, J. & Byun, W.J. (Eds.), *Issues and trends in education for sustainable development. Education on the move* (pp. 25–38). Paris: UNESCO.
- LeNa (2014). *Teacher education for a sustainable development from pilot projects and initiatives to new structures: A memorandum on reorienting teacher education in Germany, Austria and Switzerland*. Internet https://www.leuphana.de/fileadmin/user_upload/portale/netzwerk-lena/Memorandum_LeNa_English_Stand_August_15.pdf
- Lewis, S.L. & Maslin, M.A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171–180.
- Liakopoulou, M. (2011). The Professional Competence of Teachers: Which qualities, attitudes, skills and knowledge contribute to a teacher's effectiveness? *International Journal of Humanities and Social Science*, 21(1), 66–78.
- LIFE Peat Restore (2020). Fazit der Konferenz des BMEL: Alternativen zu Torf sind genauso gut wie Torf! Internet <https://life-peat-restore.eu/blog/fazit-der-konferenz-des-bundesministeriums-fuer-ernaehrung-und-landwirtschaft-alternativen-zu-torf-sind-genauso-gut-wie-torf/> (25.05.2020)
- Lindemann-Matthies, P., Constantinou, C., Lehnert, H.-J., Nagel, U., Raper, G. & Kadji-Beltran, C. (2011). Confidence and Perceived Competence of Preservice Teachers to Implement Biodiversity Education in Primary Schools—Four comparative case studies from Europe. *International Journal of Science Education*, 33(16), 2247–2273.
- LLUR – Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (2012). *Potentiale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz: Gemeinsame Erklärung der Naturschutzbehörden. Schriftenreihe LLUR SH / Natur: Vol. 20*. Flintbek: LLUR.
- Mang, J., Ustjanzew, N., Schiepe-Tiska, A., Prenzel, M., Sälzer, C., Müller, K. & González Rodríguez, E. (2018). *PISA 2012 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.

- Mangen, A. & van der Weel, A. (2016). The evolution of reading in the age of digitisation: an integrative framework for reading research. *Literacy*, 50(5), 116–124.
- Marshall, J.A., Banner, J.L. & H. Sun You (2018). Assessing the Effectiveness of Sustainability Learning. *Research and Teaching* 47(3), 57–67.
- Masters, G. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47(2), 149-174.
- MU Niedersachsen - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2016). *Programm Niedersächsische Moorlandschaften: Grundlagen, Ziele, Umsetzung*. Internet <https://www.umwelt.niedersachsen.de/download/107028>
- Müller-Christ, G., Giesenbauer, B., & Tegeler, M.K. (2017). *Studie zur Umsetzung der SDG im deutschen Bildungssystem*. Internet https://www.globaleslernen.de/sites/default/files/files/pages/mueller-christ_giesenbauer_tegeler_2017-10_studie_zur_umsetzung_der_sdg_im_deutschen_bildungssystem.pdf
- Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung (2017). *Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung: Der deutsche Beitrag zum UNESCO-Weltaktionsprogramm*. Berlin: W. Bertelsmann.
- Neugebauer, M. (2013). Who chooses to study education – and why? An empirical examination of the thesis of negative selection into the teaching profession. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 16(1), 157–184.
- Overwien, B. (2016). Education for Global and Sustainable Development in Teacher Education. In J.-R. Schreiber & H. Siege (Eds.), *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development* (pp. 420–435). Bonn.
- Plutzer, E., McCaffrey, M., Hannah, A.L., Rosenau, J., Berbeco, M. & Reid, A.H. (2016). Climate confusion among U.S. teachers. *Science*, 351(6274), 664–665.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. & Kunin, W.E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345–353.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., et al. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540 (7632), 220–229.
- Programm Transfer-21 – Bildung für nachhaltige Entwicklung. *Bildung für nachhaltige Entwicklung: Hintergründe, Legitimation und (neue) Kompetenzen*. Internet <https://netzwerken.org/wp-content/uploads/2017/07/de-Haan-2009-Bildung-für-nachhaltige-Entwicklung.pdf>

- Reinke, V. (2017). Professionelle Handlungskompetenz von BNE-Akteuren. In K.-D. Altmep-
pen, F. Zschaler, H.-M. Zademach, C. Böttigheimer, & M. Müller (Eds.), *Nachhaltigkeit in
Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Interdisziplinäre Perspektiven* (pp. 241–255). Wies-
baden: Springer.
- Remmele, M. & Lindemann-Matthies, P. (2020). Dead or Alive? Teacher Students' Perception
of Invasive Alien Animal Species and Attitudes towards their Management. *EURASIA Jour-
nal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(5).
- Retelsdorf, J. & Möller, J. (2012). Primary or Secondary School? On the Motivation for Choos-
ing Teacher Education. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 26(1), 5–17.
- Richter-Beuschel, L. & Bögeholz, S. (2020a). Student Teachers' Knowledge to Enable Prob-
lem-Solving for Sustainable Development. *Sustainability*, 12(1), 79.
- Richter-Beuschel, L. & Bögeholz, S. (2020b). Knowledge of Student Teachers on Sustainable
Land Use Issues – Knowledge Types Relevant for Teacher Education. *Sustainability* 12(20),
8332.
- Richter-Beuschel, L., Derksen, C. & Bögeholz, S. (2018a). Konzeptuelles Wissen angehender
Lehrkräfte für Bildung für Nachhaltige Entwicklung. In H. Korn, H. Dünfelder, R. Schliep,
& H. Korn (Eds.), *BfN-Skripten: Vol. 487. Treffpunkt Biologische Vielfalt XVI. Interdiszip-
linärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*
(pp. 88–95). Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- Richter-Beuschel, L., Grass, I. & Bögeholz, S. (2018b). How to Measure Procedural
Knowledge for Solving Biodiversity and Climate Change Challenges. *Education Sciences*,
8(4), 190.
- Rieckmann, M. (2018). Learning to transform the world: key competencies in Education for
Sustainable Development. In Leicht, A. Heiss, J. & Byun, W.J. (Eds.), *Issues and trends in
education for sustainable development. Education on the move* (pp. 39–59). Paris:
UNESCO.
- Rieckmann, M. & Holz, V. (2017). Verankerung von BNE in der Lehrerbildung in Deutschland.
Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik (ZEP), 40(3),
4–10.
- Rittle-Johnson, B. & Koedinger, K.R. (2005). Designing Knowledge Scaffolds to Support
Mathematical Problem Solving. *Cognition and Instruction*, 23 (3), 313–349.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R.S. & Alibali, M.W. (2001). Developing conceptual understanding
and procedural skill in mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychol-
ogy*, 93(2), 346–362.

- Romine, W.L., Sadler, T.D. & Kinslow, A.T. (2017). Assessment of Scientific Literacy: Development and Validation of the Quantitative Assessment of Socio-Scientific Reasoning (QuASSR). *Journal of Research in Science Teaching*, 54(2), 274–295.
- Rosenbaum, S., Handtke, K., Richter-Beuschel, L., Grieger, M. & Bögeholz, S. (2017). Fragebogen zur Befähigung für ein Unterrichten von BNE. Unveröffentlichtes Messinstrument. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of the Mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Sáenz, C. (2009). The Role of Contextual and Procedural Knowledge in Activating Mathematical Competencies (PISA). *Educational Studies in Mathematics*, 71, 123–143.
- Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K.A.G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27.
- Schreiber, J.-R. & Siege, H. (Eds.) (2016). *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development*. Bonn.
- Schreiber, J.-R. (2016). Competencies, Themes, Standards, Design of Lessons and Curricula. In J.-R. Schreiber & H. Siege (Eds.), *Curriculum Framework: Education for Sustainable Development* (pp. 86–110). Bonn.
- Scully, D. (2017). Constructing Multiple-Choice Items to Measure Higher-Order Thinking. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 22, 4.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010). *Die Lage der biologischen Vielfalt: 3. Globaler Ausblick: Zusammenfassung*. Montréal.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundation of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23.
- Singer-Brodowski, M., Etzkorn, N. & von Seggern, J. (2019). One Transformation Path Does Not Fit All—Insights into the Diffusion Processes of Education for Sustainable Development in Different Educational Areas in Germany. *Sustainability*, 11(1), 269.
- Skarstein, T.H. & Skarstein, F. (2020). Curious children and knowledgeable adults – early childhood student-teachers’ species identification skills and their views on the importance of species knowledge. *International Journal of Science Education*, 42(2), 310–328.
- Solaz-Portolés, J.J. & Sanjosé López, V. (2008). Types of knowledge and their relations to problem solving in science: Directions for practice. *Educational Sciences Journal*, 6, 105–112.
- Smith, K.A. & Conen, F. (2004). Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management* 20, 255–263.

- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen. *Umweltgutachten 2012- Verantwortung in einer begrenzten Welt*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Stevenson, K.T., Peterson, M.N. & Bradshaw, A. (2016). How Climate Change Beliefs among U.S. Teachers Do and Do Not Translate to Students. *PloS one*, 11(9), e0161462.
- Succow, M. & Joosten, H. (2001). *Landschaftsökologische Moorkunde* (2. Aufl.). Stuttgart: Schweizerbart.
- Summers, M., Kruger, C., Childs, A. & Mant, J. (2000). Primary School Teachers' Understanding of Environmental Issues: An interview study. *Environmental Education Research*, 6(4), 293–312.
- TEEB DE – Naturkapital Deutschland (2015). *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte*. Berlin.
- Thissen, D., & Steinberg, L. (1984). A response model for multiple choice items. *Psychometrika* 49, 501–519.
- Töpfer, K. (2013). Nachhaltigkeit im Anthropozän. *Nova Acta Leopoldina*, 398, 31–40.
- Tolppanen, S., Claudelin, A. & Kang, J. (2020). Pre-service Teachers' Knowledge and Perceptions of the Impact of Mitigative Climate Actions and Their Willingness to Act. *Research in Science Education*, 7(2), 233.
- Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8(8), 857–874.
- UNDP – United Nations Development Programme (2019). *Human development report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: inequalities in human development in the 21st century*. New York, NY: AGS.
- UNESCO (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*. Paris: UNESCO.
- UNESCO (2019a). *Framework for the implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019*. Paris: UNESCO.
- UNESCO (2019b). *SDG 4 - Education 2030: Part II, Education for Sustainable Development beyond 2019*. Paris: UNESCO.
- United Nations (UN) (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations, General Assembly.
- United Nations (UN) (2002). *Bericht des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung: Johannesburg (Südafrika), 26. August - 4. September 2002*. Johannesburg: United Nations.

- United Nations (UN) (2013). *World economic and social survey 2013: Sustainable development challenges. Economic & social affairs*. New York: United Nations.
- United Nations (UN) (2015a). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations General Assembly.
- United Nations (UN) (2015b). *Adoption of the Paris Agreement*. Paris: United Nations.
- United Nations (UN) (2017). *Education for sustainable development in the framework of the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations General Assembly.
- Universität Duisburg Essen (13.02.2020). Zertifikat Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Internet <https://www.uni-due.de/zertifikat-bne/> (12.05.2020)
- Universität Eichstätt-Ingolstadt (o.J.) Fortbildungen in Bildung für nachhaltige Entwicklung (FOLE-BNE) Internet <https://www.ku.de/mgf/geographie/didaktik/fortbildungen-und-vernetzung/bne-fortbildungen/> (12.05.2020)
- Universität Heidelberg (28.10.2019). Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Internet https://www.hce.uni-heidelberg.de/studium_bildung/bne.html (12.05.2020)
- Universität Koblenz-Landau (o.J.). Bildung—Transformation—Nachhaltigkeit. Zertifikat für Lehramtsstudierende. Internet <https://www.uni-koblenz-landau.de/de/bildung-transformation-nachhaltigkeit/konzept/ziele> (27.01.2020)
- Universität München (o.J.). Zertifikatsprogramm „Bildung für nachhaltige Entwicklung im Lehramt“ Internet <https://www.elmundo.lehrerbildung-at-lmu.mzl.uni-muenchen.de/index.html> (12.05.2020)
- Voss, T., Kunina-Habenicht, O., Hoehne, V. & Kunter, M. (2015). Stichwort Pädagogisches Wissen von Lehrkräften: Empirische Zugänge und Befunde. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 18(2), 187–223.
- Wagner, D.L. (2020). Insect Declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65, 457–480.
- Wagner, K., Bergner, M., Krause, U.-M. & Stark, R. (2018). Förderung wissenschaftlichen Denkens im Lehramtsstudium: Lernen aus eigenen und fremden Fehlern in multiplen und uniformen Kontexten. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 32(1-2), 5–22.
- Walpole, M., Almond, R.E.A., Besançon, C., Butchart, S.H.M., Campbell-Lendrum, D., Carr, G. M., et al. (2009). Ecology. Tracking progress toward the 2010 biodiversity target and beyond. *Science*, 325(5947), 1503–1504.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2009). *Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz: Sondergutachten*. Berlin: WBGU.

- Weinert, F.E. (2001). Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In Rychen, D.S. & Salganik, L.H. (Eds.), *Defining and Selecting Key Competencies* (pp. 45–65). Seattle: Horgrefe & Huber.
- World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Wynes, S. & Nicholas, K.A. (2019). Climate science curricula in Canadian secondary schools focus on human warming, not scientific consensus, impacts or solutions. *PloS one*, *14*(7), 1–21.
- Zwickle, A., Koontz, T.M., Slagle, K.M. & Bruskotter, J.T. (2014). Assessing sustainability knowledge of a student population. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *15*(4), 375–389.

Erklärung

Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die Dissertation mit dem Titel „Wissen von Lehramtsstudierenden für die Gestaltung nachhaltiger Landnutzung – Fokus: Biodiversität und Klimawandel“ selbständig, ohne unerlaubte Hilfe angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Hiermit erkläre ich, dass diese Arbeit weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits anderen Prüfungsbehörden vorgelegen hat.

Lisa Richter-Beuschel

Siebelingen, den 23.06.2020

Lebenslauf

Name Lisa Richter-Beuschel
Geburtsdatum/-ort 29.01.1988 Annweiler am Trifels

2007 Abitur
10/2008 – 01/2012 Studium der Geographie, Johannes Gutenberg Universität Mainz (Abschluss: Bachelor of Science)
10/2011 – 11/2014 Studium der physischen Geographie im Studiengang Klima und Umweltwandel, Johannes Gutenberg Universität Mainz (Abschluss: Master of Science)

03/2016 – 06/2019 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Schlözer Programm Lehrerbildung am Albrecht-von-Haller Institut für Pflanzenwissenschaften in der Abteilung der Didaktik der Biologie, Georg-August-Universität Göttingen
03/2016 – 07/2020 Promotionsstudentin im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Schlözer Programm Lehrerbildung
07/2019 – 01/2021 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften in der Abteilung der Didaktik der Biologie, Georg-August-Universität Göttingen
12/2019 – 01/2021 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Projekt Diversity Turn in Land Use Science (WP 6), Georg-August-Universität Göttingen

Siebelingen, März 2021