Geographiedidaktische Forschungen
Herausgegeben im Auftrag des
Hochschulverbandes für Geographiedidaktik e.V.
von
Michael Hemmer
Yvonne Krautter
Jan C. Schubert
Frühere Herausgeber waren Jürgen Nebel (bis 2017),
Hartwig Haubrich (bis 2013), Helmut Schrettenbrunner (bis 2013)
und Arnold Schultze (bis 2003).

74

Hannes Schmalor

Die Förderung der Systemkompetenz durch den Einsatz von Modellen

Eine Interventionsstudie am Beispiel des Hochwassers

hgd Hochschulverband für Geographiedidaktik

Diese Arbeit wurde als Dissertationsschrift zur Erlangung des
Doktorgrades an der Fakultät für Geowissenschaften
der Ruhr-Universität Bochum angenommen unter dem Titel:

Der Einsatz von Modellen als Beitrag zur Förderung der
Systemkomptenz im Bereich der Naturrisiken -
Eine Interventionsstudie am Beispiel des Hochwassers

Erstgutachter: Prof. Dr. Karl-Heinz Otto
(Ruhr-Universität Bochum)
Zweitgutachter: Prof. Dr. Stephan Schuler
(Pädagogische Hochschule Ludwigsburg)

Geographiedidaktische Forschungen
Herausgegeben im Auftrag des Hochschulverbandes für
Geographiedidaktik e.V. von M. Hemmer, Y. Krautter und J. C. Schubert
Schriftleitung: S. Höhnle

Hannes Schmalor:
Die Förderung der Systemkompetenz durch den Einsatz von
Modellen.
Eine Interventionsstudie am Beispiel des Hochwassers.

© 2021 der vorliegenden Ausgabe:
readbox unipress
in der readbox publishing GmbH | http://www.readbox.net/unipress
Rheinische Str. 171, 44147 Dortmund

© 2021 Hannes Schmalor
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-96163-202-2

Danksagung

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. Otto, der für mich jederzeit ansprechbar war und der durch Beratung und zahlreiche konstruktive Gespräche zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat. Hierbei stellten vor allem das Vertrauen, die notwendigen Freiräume und die Arbeitsatmosphäre in der Arbeitsgruppe eine fundamentale Grundlage für die produktive Zeit an der Ruhr-Universität Bochum dar.
Meinem Zweitprüfer Herrn Prof. Dr. Schuler und seiner Arbeitsgruppe danke ich für die zahlreichen produktiven Gespräche, die mir stets neue Perspektiven eröffnet haben und immer auch eine Quelle der Motivation waren.

Ein großes Dankeschön geht an die Professional School of Education der Ruhr-Universität Bochum und hier stellvertretend an Frau Prof. Dr. Sommer und Frau Dr. Mattiesson für die Unterstützung durch Förderlinien, Fortbildungen und die statistischen Beratungen bei Herrn Prof. Dr. Roelle.

Ein besonderer Dank geht an die zahlreichen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Arbeitsgruppe Geographiedidaktik. Wenn man eine so umfangreiche Arbeit erstellt, ist es nicht nur wichtig, fachliche Unterstützung zu haben, sondern es ist auch unerlässlich, dass man mit Freude und Motivation zur Arbeit geht. Beides habt ihr für mich ermöglicht! An dieser Stelle möchte ich besonders Dr. Klaus Jebbink hervorheben, der mich von allen Mitarbeitern am längsten begleitet hat. Meinen Bürokolleginnen Katharina Feja, Franziska Früh und Saskia Weitekamp danke ich für die produktive und schöne Zeit, in der ich mit ihnen arbeiten durfte. Marko Ellerbrake und Christopher Prisille sowie Steffen Ciprina gilt für die professionelle und vorbildliche Durchführung der Interventionsstudie bzw. für die Unterstützung als wissenschaftliche Hilfskraft ein besonderer Dank.

Eine Interventionsstudie lässt sich ohne engagierte Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler nicht durchführen. Mein Dank gilt daher allen Personen, die die Durchführung der Studie erst möglich gemacht haben!

Meinen Freunden danke ich für den guten Zuspruch, Tipps und Hinweise sowie für jede Form der Ablenkung.

Mein letzter und größter Dank geht aber an meine Familie und in diesem Fall besonders an meinen Vater. Ihr habt mich am längsten und engagiertesten unterstützt. Danke für das offene Ohr und all die Unterstützung, die Ihr mir auf unterschiedlichste Art und Weise jeden Tag zukommen lasst.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung III
Zusammenfassung VII
Abbildungsverzeichnis X
Tabellenverzeichnis XIV
Abkürzungsverzeichnis XVI
1 Einleitung 1
2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung 4
2.1 Systemkompetenz 4
2.1.1 Systemtheorien 4
2.1.2 Systemisches Denken 9
2.1.3 Systemkompetenz in der Geographiedidaktik 14
2.1.4 Förderung der Systemkompetenz 27
2.2 Modelle 33
2.2.1 Modelle – Eine Begriffsklärung 33
2.2.2 Kategorisierung von Modellen 35
2.2.3 Modelle in der Geographie 38
2.2.3.1 Modelle als Medien 39
2.2.3.2 Klassifikationen von Modellen in der Geographiedidaktik 41
2.2.3.2.1 Graphische Modelle 43
2.2.3.2.2 Konkrete Modelle 44
2.3 Motivation 45
2.4 Fachwissenschaftliche Grundlagen 48
2.4.1 Naturkatastrophen, Naturrisiken und Sozialkatastrophen – Begriffsklärungen 48
2.4.2 Hochwasser 50
2.4.2.1 Ursachen für Hochwasser 52
2.4.2.1.1 Natürliche Ursachen 54
2.4.2.1.2 Anthropogene Verstärkung 63
2.4.2.1.3 Die Auswirkungen des (anthropogenen) Klimawandels auf Hochwasserereignisse 66
2.4.2.2 Mögliche Hochwasserschäden 74
2.4.2.3 Hochwasserrisikomanagement 79
3 Forschungsfragen 89
4 Forschungsdesign und Methodik 95
4.1 Forschungsdesign 95
4.2 Stichprobe 97
4.3 Darstellung der Unterrichtseinheit 100

4.3.1 Experimentalgruppe 103
4.3.2 Vergleichsgruppe 106
4.4 Messinstrumente 109
4.4.1 Entwicklung der Messinstrumente 109
4.4.2 Fragebogen 113
4.4.3 Concept Map 115
4.4.4 Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM) 130
4.4.5 Bewertung der Erhebungsinstrumente nach den Gütekriterien 131
4.4.5.1 Objektivität 131
4.4.5.2 Reliabilität 134
4.4.5.3 Validität 135
4.5 Statistische Auswertungsverfahren 137
4.5.1 Statistische Verfahren 138
4.5.2 Voraussetzungen der Verfahren 141
5 Ergebnisse 144
5.1 Ausgangsbedingung der Gruppen 144
5.2 Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens von t_1 zu t_2 147
5.3 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen von t_1 zu t_2 150
5.4 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen von t_2 zu t_3 152
5.5 Methodische Ergebnisse: Zusammenhang zwischen Scoringsystem und Fragebogen 156
5.6 Unterschiede der Motivationsfaktoren zwischen den Interventionsgruppen 158
5.6.1 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen bezüglich der Motivationsfaktoren beim ersten Einsatz der Modelle 159
5.6.2 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen bezüglich der Motivationsfaktoren beim zweiten Einsatz der Modelle 162
5.6.3 Ergänzende Ergebnisse: Veränderung der Motivationsfaktoren vom ersten zum zweiten Einsatz der Modelle 164
5.6.4 Ergänzende Ergebnisse: Zusammenhang zwischen den Motivationsfaktoren und Systemorganisation und Systemverhalten 168
5.7 Ergänzende Ergebnisse: Zusammenhang zwischen Systemorganisation und Systemverhalten und anderen Variablen 170
6 Diskussion 173
6.1 Förderung von Systemorganisation und Systemverhalten durch die Intervention 173
6.2 Unterschiede zwischen graphischen und konkreten Modellen bei der Förderung von Systemorganisation und Systemverhalten 175
6.3 Langfristige Wirksamkeit der Intervention 179

6.4 Auswirkung der Intervention auf die tätigkeitszentrierte Motivation . 181
6.5 Diskussion der Methodik 185
6.6 Ergänzende Betrachtung: Kontrolle möglicher Störvariablen 186
7 Fazit und Ausblick 188
8 Literaturverzeichnis 192
9 Anhang 234
9.1 Intervention 234
9.1.1 Übersicht über die Unterrichtsreihe 234
9.1.2 Materialien Experimentalgruppe 241
9.1.3 Materialien Vergleichsgruppe 263
9.1.4 Berechnung Wasserstandsganglinie Hochwassermodell 271
9.1.5 Instruktionen für das Vorgehen der Kursleitung in der Hauptstudie 273
9.2 Messinstrumente 281
9.2.1 Fragebogen und Concept Map 281
9.2.2 Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM) 291
9.3 Methodik und Auswertung 293
9.3.1 Manual Fragebogenauswertung 293
9.3.2 Manual Auswertung Concept Map 305
9.3.3 Expertenmaps 307
9.3.3.1 Expertenmap Fachdidaktiker/in 1 307
9.3.3.2 Expertenmap Fachwissenschaftler/in 1 308
9.3.3.3 Expertenmap Fachwissenschaftler/in 2 309
9.3.3.4 Expertenmap Lehrer/in 1 310
9.3.3.5 Expertenmap Lehrer/in 2 311
9.3.4 Berechnung der Referenzmap aus den Expertenmaps 313
9.3.5 Referenzmap 322

Zusammenfassung

Eine zunehmend globalisierte Welt mit ihren komplexen Zusammenhängen und Problemen macht eine systemische Betrachtung geographischer Inhalte notwendig. Nur durch eine systemische Betrachtung kann die Entwicklung einer adäquaten raumbezogenen Handlungskompetenz bei Schülerinnen und Schülern gefördert werden (MEHREN et al. 2017, S. 223). Die Systemkompetenz wurde von der Deutschen Gesellschaft für Geographie als das Hauptbasiskonzept der Geographie festgelegt (DGFG 2020, S. 10f.). Durch die Betrachtung von Mensch-Umwelt-Systemen kommt der Geographie als „Brückenfach" bei der Entwicklung der Systemkompetenz zudem eine besondere Bedeutung zu. Theoretische Überlegungen gehen davon aus, dass der Einsatz von Modellen eine Möglichkeit darstellt, systemisches Denken in geographischen Kontexten zu fördern (KÖCK 1995, S. 256; WIKTORIN 2013, S. 4). Für die Geographiedidaktik stehen dabei vor allem graphische und konkrete Modelle im Mittelpunkt (WIKTORIN 2013, S. 5).

Bei der hohen Bedeutung der Systemkompetenz für die Geographiedidakik ist es erstaunlich, dass in der Geographiedidaktik erhebliche Defizite im Bereich empirischer Studien zur Förderung der Systemkompetenz bestehen (REMPFLER, UPHUES 2011A, S. 36f.). Die vorliegende Interventionsstudie verfolgt daher das Ziel, empirisch zu untersuchen, ob graphische und konkrete Modelle die Systemkompetenz von Schülerinnen und Schülern fördern können. Einhergehend mit dieser Fragestellung wird überprüft, ob statistisch signifikante Unterschiede bei der Förderung der Systemkompetenz zwischen graphischen und konkreten Modellen vorzufinden sind. Zudem soll erstmals durch eine Interventionsstudie die langfristige Entwicklung der Systemkompetenz in einem geographischen Kontext tiefergehend untersucht werden. Da in der Theorie von einem engen Zusammenhang zwischen Motivation und der Förderung der Systemkompetenz ausgegangen wird (OSSIMITZ 2000, S. 47), soll zusätzlich der Einfluss der graphischen und der konkreten Modelle auf die tätigkeitszentrierte Motivation der Schülerinnen und Schüler erhoben werden.

Für die Interventionsstudie wurde das komplexe Mensch-Umwelt-System ‚Hochwasser' ausgewählt, da dieses in NRW verpflichtend im Kernlehplan steht und diesem Unterrichtsgegenstand aufgrund des Klimawandels vermutlich auch für die Zukunft eine hohe Bedeutung im Geographieunterricht zugesprochen werden kann. Zur Betrachtung der Systemkompetenz wurde das empirisch validierte Kompetenzstruktur- und Kompetenzstufenmodell zur Systemkompetenz im Geographieunterricht nach MEHREN et al. (2016, S. 159) zugrunde gelegt. In der vorliegenden Studie soll mit der Systemorganisation und dem Systemverhalten die erste Dimension des Kompetenzstrukturmodells eingehend untersucht werden.

Die Interventionsstudie (n = 112) erfolgte randomisiert, basierend auf einem Dreigruppenplan (Experimental-, Vergleichs- und Kontrollgruppe) zu drei Messzeitpunkten (Pretest, Posttest, Follow-up-Test). An der Interventionsstudie nahmen Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe EF (Zusammensetzung der Jahrgangsstufen 10 und 11) von Gymnasien in NRW teil. Während der sechsstündigen Intervention wurden in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) die identischen Inhalte zur Thematik ‚Hochwasser' erarbeitet. Die Kontrollgruppe führte im selben Zeitraum keine Behandlung der Hochwasserthematik durch. Die Überprüfung der Systemorganisation und des Systemverhaltens wurde als Pretest eine Woche vor (t_1), als Posttest direkt im Anschluss (t_2) sowie im Follow-up-Test sechs Wochen nach der Intervention (t_3) durchgeführt. Als Messinstrument wurde ein, in Anlehnung an MEHREN et al. (2016, S. 156) und nach den Gütekritieren entworfener sowie in einer Pilotierung (n = 136) überprüfter, Fragebogen eingesetzt. Zur Messung der Kompetenzdimension Systemorganisation und Systemverhalten wurde zusätzlich, im Sinne der Triangulation, eine halboffene Concept Map verwendet. Die Auswertung der Concept Maps erfolgte über ein Scoringsystem. Für das Scoringsystem wurden die Schülerergebnisse mit einer Referenzmap, die aus mehreren Expertenmaps erstellt wurde, abgeglichen. Neben der Erhebung der Kompetenzdimension Systemorganisation und Systemverhalten durch den entwickelten Fragebogen und die halboffene Concept Map wurde der Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM) als Messinstrument eingesetzt (RHEINBERG et al. 2001). Durch den FAM sollten motivationale Unterschiede bei der Nutzung von konkreten und graphischen Modellen erfasst werden, die möglicherweise Auswirkungen auf die Förderung der Systemorganisation und das Systemverhalten besitzen. Der FAM, welcher die Motivationsfaktoren ‚Interesse', ‚Herausforderung', ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und ‚Misserfolgsbefürchtung' beinhaltet, erfasst dabei die tätigkeitszentrierte Motivation, welche von den SuS bei der Arbeit mit den Modellen empfunden wird.

Die inferenzstatistischen Ergebnisse machen deutlich, dass der Einsatz graphischer und konkreter Modelle zu einem statistisch signifikanten Anstieg der Kompentezdimension Systemorganisation und Systemverhalten führt. Die Studie zeigt auf, dass durch graphische und konkrete Modelle auch langfristig (nach sechs Wochen) ein statistisch signifikanter Anstieg der Kompetenzdimension Systemorganisation und des Systemverhaltens nachweisbar ist. Sowohl in der Entwicklung von t_1 zu t_2 als auch von t_2 zu t_3 zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern, welche mit den konkreten oder graphischen Modellen gearbeitet haben. Bei der Erhebung der tätigkeitszentrierten Motivation zeigten sich zudem statistisch signifikante Unterschiede bei der Arbeit mit graphischen und konkreten Modellen.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen verschiedene Potenziale konkreter und graphischer Modelle zur Förderung der Kompetenzdimension Systemorganisation und des Systemverhaltens bei Mensch-Umwelt-Systemen für die Unterrichtspraxis auf. Zudem können für die Systemforschung methodische Erkenntnisse, so z. B. der Zusammenhang zwischen Scoringsystem und Fragebogen bei der Betrachtung der Systemorganisation und des Systemverhaltens, aufgezeigt und für zukünftige Studien empfohlen werden.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Basiskonzepte der Analyse von Räumen im Fach Geographie (DGfG 2020, S. 11) 15

Abb. 2: Modell des Modellseins (eigene Darstellung nach UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010, S. 45) 35

Abb. 3: Gliederung von Modellen nach Stachowiak (eigene Darstellung nach Wirth 1979, S. 145) 37

Abb. 4: Klassifikation von Medien (eigene Darstellung, gekürzt nach Krautter 2015, S. 213) 40

Abb. 5: Typen von graphischen Modellen (WIKTORIN 2013, S. 5) 43

Abb. 6: Klassifikation von konkreten Modellen (eigene Darstellung nach Rinschede, Siegmund 2020, S. 310f.) 45

Abb. 7: Darstellung des Grundmodells der ‚klassischen' Motivationspsychologie (nach Rheinberg, Vollmeyer 2018, S. 77) 46

Abb. 8: Flusseinzugsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland) (Umweltbundesamt 2016) 53

Abb. 9: Typischer Verlauf einer Vb-Wetterlage (Engelhard, Otto 2015, S. 343) .. 56

Abb. 10: Natürliche Einflüsse auf den Abfluss (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2004, S. 23) 60

Abb. 11: Hochwasserganglinie bei unterschiedlichen Formen des Einzugsgebietes (Graw 2003, S. 16) 61

Abb. 12: Abflussganglinie (Disse 2013, S. 44) 62

Abb. 13: Gliederung einer Auenlandschaft (Allianz Umweltstiftung 2014, S. 6) .. 63

Abb. 14: Oberflächenabfluss bei unterschiedlichen Nutzungsarten (Graw 2003, S. 18) 65

Abb. 15: Natürliche und anthropogene Antriebe des Klimasystems (Schmidt et al. 2017, S. 9) 68

Abb. 16: Gemessene Veränderung des jährlichen Niederschlags über Land 1951–2010 (IPCC 2014A, S. 41) 69

Abb. 17: Veränderung des mittleren Niederschlags von 2081–2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1986–2005 (IPCC 2014A, S. 63) ... 69

Abb. 18: Prozentuale Abweichungen der Starkniederschlagshöhen für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren für den Zeitraum von 1971–2000 im Vergleich zu 1951–1980, für den Sommer (a) und Winter (b) (KUNZ et al. 2017, S. 59) 71

Abb. 19: Kategorisierung von Hochwasserschäden (NIEKAMP, PIROTH 2013, S. 524) 75

Abb. 20: Verteilung der direkten Gesamtschäden durch das Sommerhochwasser 2013 nach Sektoren, in den Bundesländern Bayern (1,2 Mrd. Euro Schäden) und Sachsen (1,9 Mrd. Euro Schäden) (MÜLLER et al. 2015, S. 34) 77

Abb. 21: Anteil der verschiedenen Auswirkungen bei Unternehmen, die nach den Hochwasserereignissen 2002 und 2013 in Deutschland berichteten (MÜLLER et al. 2015, S. 35)..... 78

Abb. 22: Graphische Darstellung von ‚Risiko' (BROMBACH et al. 2013, S. 317) 80

Abb. 23: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements (MÜLLER 2010, S. 9)..... 81

Abb. 24: Vermögens- und Lebensversicherungsdichte von Naturereignissen weltweit im Zeitraum 2012–2017 (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018)..... 87

Abb. 25: Forschungsdesign der Interventionsstudie (eigene Darstellung) 96

Abb. 26: ‚Stormwater Floodplain Simulation System' von WARD`S (eigene Aufnahme) 104

Abb. 27: Einsätze des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' (eigene Aufnahme) 104

Abb. 28: Eigene Berechnung der typischen Wasserstandsganglinien des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' bei verschieden Einsätzen..... 105

Abb. 29: Beispiel für ein graphisches Modell des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' (Entwurf Schmalor, graphische Umsetzung Wieland)..... 107

Abb. 30: Verschiedene Antwortformate, die im Fragebogen zum Einsatz kamen (grau hervorgehoben) (eigene Darstellung nach JONKISZ et al. 2012, S. 39) 114

Abb. 31: Graphische Darstellung von Propositionen und ihren Teilelementen (eigene Darstellung nach JAHN et al. 2015, S. 344)..... 116

Abb. 32: Beispiel für eine hierarchische Concept Map (NOVAK, GOWIN 1984, S. 16) 117

Abb. 33: Beispiel für eine netzartige Concept Map (eigene Darstellung) 118

Abb. 34: Einordnung der eigenen Aufgabenstellung (Kreis mit X) in offene und geschlossene Aufgabenformate (eigene Darstellung nach CAÑAS, NOVAK 2012) 126

Abb. 35: Aus fünf Expertenmaps entwickelte Referenzmap (eigene Darstellung) 128

Abb. 36: Nr. 13.1 als Beispiel für eine Concept Map mit wenig wertbaren Propositionen 129

Abb. 37: Nr. 89.2 als Beispiel für eine Concept Map mit vielen wertbaren Propositionen 130

Abb. 38: Mittelwerte des Fragebogens zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests (eigene Darstellung) 148

Abb. 39: Mittelwerte des Scoringsystems zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests (eigene Darstellung) 150

Abb. 40: Mittelwerte des Fragebogens zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre-, Post- und Follow-up-Tests (eigene Darstellung) 153

Abb. 41: Mittelwerte des Scoringsystems zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre-, Post- und Follow-up-Tests (eigene Darstellung) 154

Abb. 42: Populationsmittelwertunterschiede zwischen den FAM-Faktoren bei der Verwendung von graphischen und konkreten Modellen zum ersten Testzeitpunkt mit Signifikanz-unterschieden und Standardfehlern (eigene Darstellung) 161

Abb. 43: Populationsmittelwertunterschiede zwischen den FAM-Faktoren bei der Verwendung von graphischen und konkreten Modellen zum zweiten Testzeitpunkt mit Signifikanzunterschieden und Standardfehlern (eigene Darstellung) 163

Abb. 44: Veränderung der Mittelwerte der FAM-Faktoren ‚Herausforderung' und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' beim ersten und zweiten Einsatz der graphischen und konkreten Modelle mit Standardfehler (eigene Darstellung) 165

Abb. 45: Veränderung der Mittelwerte der FAM-Faktoren ‚Misserfolgsbefürchtung' und ‚Interesse' beim ersten und zweiten Einsatz der graphischen und konkreten Modelle mit Standardfehler (eigene Darstellung) 167

Abb. 46: Einsatz von graphischen und konkreten Modellen bei den Probanden im Erdkundeunterricht (eigene Darstellung) 178

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Systemtypen und ihre Operationsweisen nach Luhmann (eigene Darstellung, nach BERGHAUS 2011, S. 62) 6

Tab. 2: Kompetenzstufenmodell der Biologie für Grundschüler nach Sommer (eigene Darstellung, verändert nach SOMMER 2005, S. 78; 225) 11

Tab. 3: Kompetenzmodell zum systemischen Denken nach Frischknecht-Tobler (eigene Darstellung, nach FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 30) 13

Tab. 4: Freiburger Kompetenzstrukturmodell zum systemischen Denken (eigene Darstellung, nach Rieß et al. 2015, S. 16) 18

Tab. 5: Modell der Geographischen Systemkompetenz des HEIGIS-Projektes (eigene Darstellung nach VIEHRIG et al. 2017, S. 38) 20

Tab. 6: Theoretisch entwickeltes normatives Kompetenzstrukturmodell der Systemkompetenz im Geographieunterricht (eigene Darstellung, verändert nach MEHREN et al. 2016, S. 153)..... 22

Tab. 7: Theoretisch entwickeltes und empirisch überprüftes zweidimensionales Modell der Systemkompetenz im Geographieunterricht (eigene Darstellung, verändert nach MEHREN et al. 2018, S. 701) 24

Tab. 8: Vergleich verschiedener Systemkompetenzmodelle (nach BROCKMÜLLER 2019, S. 24) 26

Tab. 9: Klassifikationen von Modellen in der Geographiedidaktik (eigene Darstellung)..... 42

Tab. 10: Übersicht über den Ablauf der Interventionsstudie (eigene Darstellung)..... 99

Tab. 11: Konzeptionelle Übersicht über die Unterrichtsreihe (eigene Darstellung)..... 101

Tab. 12: Eingesetzte Verfahren zur Analyse des Fragebogens und der Concept Map (eigene Darstellung) 109

Tab. 13: Itemanalyse des Standard-Pretest (Grau hervorgehoben sind die anschließend modifizierten Items) (eigene Darstellung) 112

Tab. 14: Verschiedene Messgrößen zur Erfassung der Komplexität in Concept Maps (eigene Darstellung, nach REMPFLER 2010, S. 14) 121

Tab. 15: Beispiele für unterschiedliche Aufgabenstellungen, Antwortformate und Bewertungssysteme bei der Diagnostik mit Concept Maps (eigene Darstellung, nach RUIZ-PRIMO, SHAVELSON 1996, S. 574-577).... 122

Tab. 16: Ergebnisse des Intraklassenkorrelationskoeffizienten für die verschiedenen Messinstrumente (eigene Darstellung) 133

Tab. 17: Cronbachs Alpha-Werte der einzelnen Skalen (eigene Darstellung).... 134

Tab. 18: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte im Fragebogen (max. 32 P.) im Pre-, Post- und Follow-up-Vergleich (eigene Darstellung)..... 147

Tab. 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte in der Concept Map im Pre-, Post- und Follow-up-Vergleich (eigene Darstellung)..... 149

Tab. 20: Mittwerte mit Standardabweichungen der motivationalen Faktoren zum ersten Testzeitpunkt (eigene Darstellung) 159

Tab. 21: Mittelwerte mit Standardabweichungen der motivationalen Faktoren zum zweiten Testzeitpunkt (eigene Darstellung)..... 162

Tab. 22: Punktbiseriale Korrelation nach Spearman zwischen motivationalen Faktoren und ‚Fragebogen' sowie ‚Scoringsystem' zum Pre-, Post- und Follow-up-Zeitpunkt (eigene Darstellung) 169

Tab. 23: Punktbiseriale Korrelation nach Spearman zwischen Schulnoten und ‚Fragebogen' sowie ‚Scoringsystem' zum Pre-, Post- und Follow-up-Zeitpunkt (eigene Darstellung) 171

Tab. 24: Vergleich der verschiedenen Expertenmaps (eigene Darstellung) 185

Abkürzungsverzeichnis

2D Zweidimensional/Zweidimensionalität
3D Dreidimensional/Dreidimensionalität
ANCOVA analysis of covariance (Kovarianzanalyse)
ANOVA analysis of variance (Varianzanalyse)
APA American Psychological Association
B. A. Bachelor of Arts
BBK Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BMZ Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BNE Bildung für nachhaltige Entwicklung
BRD Bundesrepublik Deutschland
CmapTool Programm zur Erstellung und Auswertung von Concept Maps
DGfG Deutsche Gesellschaft für Geographie
DUK Deutsche UNESCO-Kommission e. V.
EDV Elektronische Datenverarbeitung
EF Einführungsphase (Zusammensetzung der Jahrgangsstufen 10 und 11 in NRW)
EG Europäische Gemeinschaft
EU Europäische Union
FAM Fragebogen zur aktuellen Motivation
GeoForschungsZentrum Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
GIS Geoinformationssystem
GSK Geographische Systemkompetenz
H0 Hypothese 0
H1 Hypothese 1
HEIGIS Heidelberger Inventars Geographischer Systemkompetenz
HIMATT Highly Interactive Model-based Assessment Tools and Technologies
HQ_{100} Hochwasser das im Mittel alle 100 Jahre auftritt
HQ_{extrem} Hochwasser das seltener als alle 100 Jahre auftritt
$HQ_{häufig}$ Hochwasser das im Mittel alle 10–20 Jahre auftritt
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
K_1 Kontrast 1
K_2 Kontrast 2
K_3 Kontrast 3
KIM Kurzskala intrinsischer Motivation
KMK Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
KWS Kurzwellige Strahlung
LAWA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LWS Langwellige Strahlung

MDR Mitteldeutscher Rundfunk
MicroDYN Computerbasierter Ansatz für die Diagnostik der Lösekompetenz von komplexen Problemen
MSW Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen
MULNV NRW Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
NatCatSERVICE Natural catastrophe service (der Münchner Rückversicherung)
NINA Notfall-Informations- und Nachrichten-App
NN Normalnull
NRW Nordrhein-Westfalen
OECD Organisation for Economic Co-operation and Development
SAT Scholastic Assessment Test
Sek. Sekundarstufe
SOC self-organized criticality
SPSS Statistical Package for the Social Sciences
SYSDENE Systemisches Denken für die Nachhaltige Entwicklung
SysThema Förderung systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten als Ziel der BNE (System Thinking in Ecological and Multidimensional Areas)
t_1 Pretest
t_2 Posttest
t_3 Follow-up-Test
UN United Nations/Vereinte Nationen
US United States/Vereinigte Staaten
Vb-Wetterlage 5-B-Wetterlage/Mittelmeertief
WARDS Ward's science (benannt nach Henry Ward)
WETRAX Weather Patterns, Cyclone Tracks and related precipitation Extremes
WGI Worldwide Governance Indicators

1 Einleitung

„Thoughtful leaders increasingly recognize that we are not only failing to solve the persistent problems we face, but are in fact causing them“ (STERMAN 2002, S. 501).

Diese und zahlreiche andere Äußerungen (u. a. MEADOWS et al. 1972) machen deutlich, dass unangemessene Reaktionen auf komplexe Probleme oftmals dazu führen, neue Probleme zu erschaffen. In einer globalisierten Welt fällt es dabei vielen Menschen schwer, komplexe Systeme zu verstehen und angemessen auf diese zu reagieren (MEHREN et al. 2014, S. 4). Systemisches Denken wird dabei als die zentrale Fähigkeit angesehen, mit komplexen dynamischen Systemen adäquat umzugehen (BOOTH SWEENEY, STERMAN 2007, S. 285). Es ist daher nicht verwunderlich, dass STERMAN (2002, S. 501) nach seinem einleitenden Zitat zu der zentralen Frage kommt:

„What does it take to be an effective systems thinker, and to teach system dynamics fruitfully?“ (STERMAN 2002, S. 501).

Im Zuge des Paradigmenwechsels von der Lernzielorientierung zur Kompetenzorientierung hat die Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGFG 2020, S. 10f.) die Systemkompetenz als das Hauptbasiskonzept der Geographie ausgewiesen. Der Geographie kommt bei der Förderung systemischen Denkens durch die Betrachtung von humangeographischen, naturgeographischen und Mensch-Umwelt-Systemen eine zentrale Rolle zu. Das Betrachten übergeordneter Prinzipien von Systemen wird dabei als wichtige Fähigkeit angesehen, um einem systemadäquaten und zukunftsorientierten Raumverhalten näher zu kommen (MEHREN et al. 2017, S. 223). Aufgrund der hohen Bedeutung der Systemkompetenz für die Fachdisziplin Geographie ist es erstaunlich, dass erhebliche Defizite im Bereich empirischer Studien zur geographischen Systemkompetenz bestehen (REMPFLER, UPHUES 2011A, S. 36f.).
Theoretische Überlegungen gehen davon aus, dass Modelle eine Möglichkeit darstellen, die Systemkompetenz von Schülern[1] zu fördern (vgl. KÖCK 1995, S. 256; WIKTORIN 2013, S. 4). Für den Geographieunterricht sind vor allem konkrete und graphische Modelle von Bedeutung (WIKTORIN 2013, S. 5).
In der vorliegenden Studie soll empirisch die Frage untersucht werden, ob durch

[1] In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Dabei sind weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten ausdrücklich mitgemeint.

graphische und konkrete Modelle systemisches Denken von Schülern im Geographieunterricht gefördert werden kann. Darauf aufbauend soll den Fragen nachgegangen werden, ob es Unterschiede bei der Förderung des systemischen Denkens zwischen graphischen und konkreten Modellen gibt und inwiefern sich eine Förderung des systemischen Denkens durch Modelle auch langfristig bei den Schülern niederschlägt. Da theoretische Überlegungen von einem starken Einfluss der Motivation auf die Förderung des systemischen Denkens ausgehen (vgl. OSSIMITZ 2000, S. 47), soll zudem überprüft und diskutiert werden, ob die tätigkeitszentrierte Motivation der Schüler bei der Arbeit mit konkreten und graphischen Modellen Auswirkungen auf die Förderung des systemischen Denkens besitzt.

Ausgehend von diesen Fragestellungen werden im zweiten Kapitel die fachdidaktischen bzw. fachwissenschaftlichen Grundlagen und der aktuelle Stand der Forschung dargelegt. So wird in Kapitel 2.1 aufgezeigt, was unter einem ‚System' und ‚systemischem Denken' zu verstehen ist. Darauf aufbauend werden verschiedene Systemkompetenzmodelle der Geographiedidaktik vorgestellt. Die vorliegende Arbeit orientiert sich, da mit der Thematik ‚Hochwasser' ein Mensch-Umwelt-System zugrunde liegt, dabei an dem empirisch validierten Kompetenzstrukturmodell und dem Kompetenzstufenmodell zur Systemkompetenz im Geographieunterricht nach MEHREN et al. (2016, S. 159). In der vorliegenden Studie soll die erste Dimension (Systemorganisation und Systemverhalten) des zweidimensionalen Kompetenzstrukturmodells und des Kompetenzstufenmodells untersucht werden. Aufbauend auf diesen Erkentnnissen werden, unter Einbezug nationaler und internationaler Studien, der aktuelle Forschungsstand zur Förderung der Systemkompetenz dargelegt und mögliche Störvariablen auf die abhängige Variable der Systemkompetenz evaluiert. Da in der vorliegenden Studie die Förderung der Systemkompetenz durch Modelle untersucht werden soll, wird in Kapitel 2.2 nach einer Begriffsklärung zunächst die auch in der Geographie häufig verwendete (u. a. WIRTH 1979; WIKTORIN 2014) Kategorisierung von Modellen nach STACHOWIAK (1973) vorgestellt, um sich darauf aufbauend mit verschiedenen Klassifikationen in der Geographiedidaktik auseinanderzusetzen. In der Darstellung der verschiedenen Modelltypen wird, aufgrund der Forschungsfragen, ein Schwerpunkt auf graphische (Kapitel 2.2.3.2.1) und konkrete Modelle (Kapitel 2.2.3.2.2) gelegt. Da angenommen wird, dass sich die Motivation durch konkrete oder graphische Modelle unterschiedlich stark entwickelt und der Motivation eine besonder Bedeutung bei der schulischen Lernleistung zugesprochen wird (HATTIE 2017, S. 278), soll in Kapitel 2.3 das Grundmodell der ‚klassischen' Motivationspsychologie (RHEINBERG, VOLLMEYER 2018, S. 77) als theoretische Grundlage für den in dieser Studie eingesetzten Fragebogen zur ‚Aktuellen Motivation' (RHEINBERG et al. 2001) erläutert werden.

Die Interventionsstudie wird am Beispiel des Themas ‚Hochwasser' durchgeführt,

da es sich bei dieser Thematik um ein komplexes Mensch-Umwelt-System handelt, welches in NRW in der Schule (MSW 2014, S. 22f.) thematisiert werden muss. Die fachwissenschaftliche Darstellung dieses Themengebietes (Kapitel 2.4) macht zudem deutlich, dass im Sinne der Katastrophenvorsorge eine systemische Betrachtung der Thematik in der Schule notwendig ist (OTTO, MÖNTER 2013, S. 47). Die Darstellungen in Kapitel 2.4.2.1 zeigen zudem auf, dass aufgrund des Klimwandels in Zukunft häufiger mit Starkniederschlagsereignissen in Deutschland zu rechnen ist, so dass der Thematik ‚Hochwasser' vermutlich auch für die Zukunft eine hohe Bedeutung im Geographieunterricht zugesprochen werden kann.
Die Fragestellungen und Hypothesen der vorliegenden Arbeit werden anschließend in Kapitel 3, aufbauend auf theoretischen Überlegungen und Studien anderer Fachdisziplinen, abgeleitet und ein auf die Fragestellungen und Hypothesen ausgerichtetes Forschungsdesign vorgestellt (Kapitel 4). In der Interventionsstudie wird auf der Basis eines Dreigruppenplans (Experimental-, Vergleichs- und Kontrollgruppe) zu drei verschiedenen Testzeitpunkten (Pretest, Posttest, Follow-up-Test) die Förderung der Systemorganisation und des Systemverhaltens, anhand eines auf der Grundlage der Gütekritieren entwickelten Fragebogens und mit Hilfe von Concept Maps, in einem experimentellen Studiendesign untersucht.
Die Gliederung der Ergebnisse der Interventionsstudie in Kapitel 5 orientiert sich an den in Kapitel 3 aufgestellten Hypothesen. Neben den inferenzstatistischen Verfahren zur Überprüfung der Hypothesen werden auch deskriptive Statistiken eingesetzt. Zusätzlich werden ergänzende Ergebnisse, z. B. zum Zusammenhang zwischen Scoringsystem (Concept Map) und Fragebogen oder auch zum Einfluss von möglichen Störvariablen auf die Systemorganisation und das Systemverhalten, dargelegt.
Die in Kapitel 5 gewonnenen Ergebnisse stellen anschließend die Grundlage für die den Hypothesen folgende Diskussion in Kapitel 6 dar. Im abschließenden Fazit und Ausblick (Kapitel 7) werden, basierend auf einer Zusammenfassung der Ergebnisse, Vorschläge für den Unterrichtseinsatz vorgestellt. Zudem werden Schlussfolgerungen aus der Studie für die Forschung im Bereich der Systemkompetenz gezogen und ein Ausblick auf weitere mögliche Forschungsfragen gegeben. Mit der vorgelegten Studie soll der Forderung in der Geographiedidaktik entsprochen werden, Verbesserungen in der Unterrichtsqualität verstärkt auf der Basis empirischer Qualitätsforschung zu etablieren (REMPFLER 2018, S. 24).

2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Systemkompetenz

“Der Systembegriff wird in unterschiedlichen Wissenschaftsgebieten benutzt. Wir begegnen ihm in der Technik, Physik und Mathematik ebenso wie in der Ökologie, der Wirtschaft, dem Management oder in der Soziologie, Psychologie und den Kommunikationswissenschaften. Alle diese Disziplinen arbeiten mit Systemansätzen und definieren den Begriff ‚System‘ unterschiedlich“ (FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 12). Da sich die in der Geographiedidaktik entwickelten Modelle zum systemischen Denken auf verschiedene Systemtheorien berufen, sollen im Folgenden zunächst die für das Verständnis notwendigen zentralen Theorien erläutert werden (Kapitel 2.1.1). Darauf aufbauend werden verschiedene Kompetenzstrukturmodelle zum systemischen Denken in unterschiedlichen Forschungsbereichen (Kapitel 2.1.2) sowie in der Geographiedidaktik (Kapitel 2.1.3) vorgestellt und der aktuelle Forschungsstand (Kapitel 2.1.4) dazu dargelegt.

2.1.1 Systemtheorien

Das Wort ‚System‘ stammt vom altgriechischen Wort ‚sýstema‘ ab und bedeutet so viel wie das „Gebilde, Zusammengestellte, Verbundene“ (RATTER, TREILING 2008, S. 23). Schon die Wortherkunft macht deutlich, dass es sich bei einem System um ein Gebilde handelt, welches aus mehreren anderen, verbundenen Aspekten besteht.
Die historische Erklärung des Systemverständnisses kann bis Aristoteles zurückverfolgt werden, der sich mit Systemganzheiten und der Wechselwirkung der Einzelteile beschäftigte (vgl. ZIMMERMANN 2010, S. 8). Als erste ausgearbeitete Systemtheorie kann das ‚Fragment einer Systematologie‘ nach Lambert genannt werden (ZIMMERMANN 2010, S. 13). In dem Werk, welches zwischen 1764–1771 verfasst wurde, wird der Systembegriff als ein „zweckmäßig zusammengesetztes Ganzes“ (LAMBERT 1969, S. 387) beschrieben, dessen Einzelteile „mit Absicht gestellt oder geordnet, und alle mit einander so verbunden seyn [sic!], daß [sic!] sie gerade das der vorgesetzten Absicht gemäße Ganze ausmachen, und dieses muß [sic!], so gut es angeht oder so lange es die Absicht erfordert, fortdauern können“ (LAMBERT 1969, S. 386). Mit diesem sehr allgemeinen Systembegriff umfasst Lambert von Planeten, der Natur bis hin zu Gesetzen und Gedichten einen vielfälltigen und umfassenden Bereich (vgl. ZIMMERMANN 2010, S. 13f.), der sich jedoch aufgrund der „inneren Gleichartigkeit“ (LAMBERT 1969, S. 389) unter dem Systembegriff klassifizieren lässt (ZIMMERMANN 2010, S. 13f.). Das Werk weist dabei viele Ähnlichkeiten

mit der von Bertalanffy aufgestellten ‚Allgemeinen Systemtheorie' auf (ZIMMERMANN 2010, S. 15).
Das vom Biologen BERTALANFFY (1968) veröffentlichte Werk der ‚Allgemeinen Systemtheorie' kann als richtungsweisendes Werk der Systemtheorie angesehen werden. Auch wenn seine Forschung im Nachhinein wesentlich öfter zitiert wurde als zur Zeit seiner Veröffentlichung, beschleunigte das Werk doch die Entwicklung der damaligen Systemforschung (DE ZEEUW 2016, S. 61). Auch heute noch besitzt sein Werk eine immense Bedeutung. So ist seine Systemdefinition „A System can be definded as a set of elements standing in interrelations" (BERTALANFFY 1968, S. 55) ein verbindendes Element bei der unterschiedlichen Betrachtung von Systemen (REMPFLER 2009, S. 59; REMPFLER, UPHUES 2011B, S. 4; ROSENKRÄNZER et al. 2016, S. 110; LESER et al. 2017A, S. 923).
Die Grundgedanken von Bertalanffys allgemeiner Systemtheorie beruhen auf den Ideen Norbert Wieners (RATTER, TREILING 2008, S. 25), der als Begründer der Kybernetik angesehen werden kann (EGNER, RATTER 2008, S. 10). In seinem Werk ‚Kybernetik oder Kontrolle und Kommunikation in Tier und Maschine' arbeitet er disziplinübergreifende Regelmäßigkeiten heraus, die er in Grundstrukturen unterschiedlichster Disziplinen wiederfindet. Ein weiterer Schwerpunkt seines Werkes liegt auf dem Begriff des ‚Regelkreises' oder ‚feed-backs' sowie der Steuerung eines Prozesses im Systemverlauf (EGNER, RATTER 2008, S. 10). Von den Gedanken Wieners grenzt sich Bertalanffy ab, indem er die mechanische Denkweise als nicht passend zur Beschreibung lebender Systeme ansieht (FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 18). In der ‚Allgemeinen Systemtheorie' wird davon ausgegangen, dass aus dem komplexen Weltgeschehen Teile isoliert werden können und diese als Systeme bezeichnet werden. Da unter einem System mehrere Elemente verstanden werden, die in Interdependenzen zueinander liegen, sind anschließend Aussagen möglich, die auf alle Systeme zutreffen (DIESNER 2015, S. 71). Bei BERTALANFFY (1968, S. 121) werden Systeme als offene Bereiche betrachtet, die in einem Austausch mit der Umwelt stehen: „The organism is not a closed, but an open system. We term a system 'closed' if no material enters or leaves it; it is called 'open' if there is import and export of material." Geschlossene Systeme müssen als Idealisierung angesehen werden, in welcher Systeme isoliert von Umwelteinflüssen beschrieben werden können (DIESNER 2015, S. 86). Bei den offenen Systemen werden für den Metabolismus Masse und Energie aus der Umwelt absorbiert. Dabei wird für die offenen Systeme zudem von einer Zielgerichtetheit ausgegangen, um mit der Umwelt ein Fließgleichgewicht anzustreben (ELVERFELDT 2012, S. 14). Neben dem Fließgleichgewicht geht BERTALANFFY (1968, S. 60-75) auf zahlreiche weitere Eigenschaften von Systemen, wie Wachstum, Konkurrenz, Mechanisierung und Finalität ein, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Seine ‚Allgemeine Systemtheorie' sieht Bertalanffy zudem als Metatheorie der Wissenschaften an, die dementsprechend auch eine universelle Gültigkeit für alle Systeme

besitzt (RATTER, TREILING 2008, S. 25). Neben der ‚Allgemeinen Systemtheorie' von Bertalanffy ist für die Geographie vor allem die Systemtheorie nach Luhmann relevant (vgl. REMPFLER, UPHUES 2010, S. 206; REMPFLER, UPHUES 2011B, S. 4; RIEß et al. 2015, S. 18).
Zentrale Idee der Systemtheorie nach LUHMANN (1984, S. 35) ist die Differenz zwischen System und Umwelt: „Als Ausgangspunkt jeder systemtheoretischen Analyse hat, darüber besteht heute wohl fachlicher Konsens, die Differenz von System und Umwelt zu dienen." Ein System wird daher folgerichtig als Differenz zur Umwelt gesehen, wobei die Umwelt nur durch das System existiert und systemrelativ ist. Die Umwelt stellt daher für jedes System etwas anderes dar, da es das außerhalb des Systems Bestehende, aus der Perspektive des jeweiligen Systems, selbst ist (BERGHAUS 2011, S. 41). Als weiteren entscheidenden Faktor für das Verständnis von Systemen beschreibt LUHMANN (1991, S. 28) die ‚Autopoiesis'. Demnach ist ein System erst ein System, wenn es sich selbst produziert und reproduziert.
Systeme grenzen sich durch systemspezifische Operationsweisen voneinander ab. Bei den für Luhmann zentralen ‚sozialen Systemen' stellt die ‚Kommunikation' die spezifische Operationsweise dar (siehe Tabelle 1): „Der basale Prozeß sozialer Systeme, der die Elemente produziert, aus denen diese Systeme bestehen, kann unter diesen Umständen nur Kommunikation sein" (LUHMANN 1984, S. 192).

Tab. 1: Systemtypen und ihre Operationsweisen nach Luhmann (eigene Darstellung, nach BERGHAUS 2011, S. 62)

Systeme		
• operieren in Differenzen zur Umwelt	• operieren in Autopoiesis	
Biologische Systeme	**Psychische Systeme**	**Soziale Systeme**
… operieren durch Leben.	… operieren durch Bewusstseinsprozesse (Wahrnehmen, Denken, Fühlen, Wollen, Aufmerksamkeit).	… operieren durch Kommunikation.

Unter Kommunikation wird dabei die Synthese aus den drei Selektionen ‚Information', ‚Mitteilung' und ‚Verstehen' verstanden (LUHMANN 1997, S. 190). Kommunikation wird daher als die Operation angesehen, die soziale Systeme autopoietisch bilden, erhalten und von der Umwelt abgrenzen lässt (BERGHAUS 2011, S. 73).
Neben Bertalanffy erhebt auch LUHMANN (1984, S. 33) den Anspruch einer Metatheorie: „Die allgemeine Theorie sozialer Systeme erhebt, mit anderen Worten, den Anspruch, den gesamten Gegenstandsbereich der Soziologie zu erfassen und in diesem Sinne universelle soziologische Theorie zu sein."
Wie dargelegt wurde, unterscheiden sich die Betrachtungsweisen von Systemen

in der Systemtheorie nach Bertalanffy (naturwissenschaftlich geprägt) und der Systemtheorie nach Luhmann (sozialwissenschaftlich geprägt) grundlegend. Die Überwindung des Natur-Kultur-Dualismus stellt gerade für das Fach Geographie eine zentrale Vorraussetzung für die Betrachtung von Mensch-Umwelt-Systemen dar. Dieser Aufhebung der Dichotomie von Natur- und Sozialsystemen hat sich u. a. die Soziale Ökologie gewidmet (vgl. REMPFLER, UPHUES 2011B, S. 4).
Das im Folgenden vorgestellte Systemverständnis orientiert sich an verschiedenen Ideen der Sozialen Ökologie (u. a. WARDENGA, WEICHHART 2006), die neuere Ergebnisse der Komplexitätsforschung in ihre Theorien integriert (MEHREN et al. 2018). Für die Theorie und Forschung der Sozialen Ökologie müssen Frankfurt und Wien als prägende Standorte genannt werden. Im Folgenden sollen die beiden Standorte nicht verglichen werden (siehe hierzu KERSTING 2015, S. 55f.), es sei jedoch angemerkt, dass der Wiener Ansatz von realistisch-ontologischen Grundannahmen sowie einem dualistischen Weltbild ausgeht, während der Frankfurter Ansatz sich im Grenzbereich von Natur- und Sozialwissenschaften einordnet (KERSTING 2015, S. 55f.). Ihre Aufgabe sieht die sozial-ökologische Forschung darin, Muster zu untersuchen, die sich aus Beziehungen zwischen der Gesellschaft und der Natur ergeben (LIEHR et al. 2006, S. 267). Zur Beschreibung des Begriffes ‚System' wird auf die Standarddefinition von Bertalanffy zurückgegriffen (LIEHR et al. 2006, S. 268). Um die Sphären Gesellschaft und Natur, die eigentlich als in sich gegliedert angesehen werden, miteinander zu verknüpfen, wird „das Beziehungsgeflecht zwischen Gesellschaft und Natur in seinem Gesamtzusammenhang als System" dargestellt (LIEHR et al. 2006, S. 268). Hierbei werden die äußeren Beziehungen zwischen Gesellschaft und Natur zu inneren Beziehungen des entstehenden sozial-ökologischen Systems. Es findet daher eine Interiorisierung von externen Beziehungen statt, wodurch eine Struktur von inneren Systembeziehungen entsteht (LIEHR et al. 2006, S. 268). Da der durch Luhmann geprägte Begriff ‚Umwelt' ein definitions- und beobachtungsrelatives Konzept darstellt, wird der Begriff der Umwelt nicht in die sozial-ökologischen Grundbegriffe aufgenommen. Ist ein sozial-ökologisches System jedoch begrifflich klar definiert, so ist es auch möglich, dieses von seiner spezifischen Umwelt abzugrenzen (LIEHR et al. 2006, S. 270).
Sozial-ökologische Systeme tauschen mit ihrer Umgebung Energie, Materie und Informationen aus. Es kann daher von offenen Systemen gesprochen werden (REMPFLER, UPHUES 2010, S. 208). Da sich die sozial-ökologischen Beziehungsmuster selbst reproduzieren und erhalten, handelt es sich zudem um autopoietische (lebende) Systeme. Diese produzieren und reproduzieren, im Gegensatz zu allopoietischen (mechanischen) Systemen, die für sie notwendigen konstituierenden Elemente (LIEHR et al. 2006, S. 270). Wird der Gedanke der Autopoiesis konsequent zu Ende gedacht, „definiert ein System sich und seine Grenze zur Umgebung selbst" (REMPFLER, UPHUES 2010, S. 210).

Zur Klärung des Systembegriffes wird darauf verwiesen, dass mit dem Begriff ‚System' sowohl ein Realitätsbereich als auch die modellhafte Beschreibung eines Realitätsbereiches gemeint sein kann. In der Sozialen Ökologie soll hierbei die modellhafte Beschreibung[2] des Realitätsbereiches verstanden werden. Ein Realitätsbereich direkt als System zu beschreiben, wird als stark ontologische Annahme angesehen, da der Systemcharakter bereits zugewiesen wurde, bevor dieser nachgewiesen wurde (LIEHR et al. 2006, S. 270).
Bei den sozial-ökologischen Systemen wird zudem von komplexen Systemen gesprochen. Komplexität enthält dabei, in Anlehnung an Konzepte der Komplexitätstheorie, zwei verschiedene Bedeutungen. Zunächst wird unter struktureller Komplexität das Zusammenwirken einer hohen Anzahl von Elementen verstanden. Zusätzlich ist die funktionale Komplexität bedeutsam, die besagt, dass gesellschaftliche und natürliche Elemente so eng miteinander verbunden sind, dass eine Teilung in einzelne Elemente zu einem Informationsverlust führen würde. Da die Teilung bei einer linearen Verknüpfung von Elementen möglich wäre, wird davon ausgegangen, dass sozial-ökologische Systeme als nicht-linear anzusehen sind (vgl. LIEHR et al. 2006, S. 272f.). Komplexe Systeme besitzen zudem ein Verhalten, das als Emergenz bezeichnet wird. Emergenz besagt, dass sozial-ökologische Systeme neue räumlich und zeitlich organisierte Strukturen und Eigenschaften entstehen lassen, die als Ergebnis von Selbstorganisationsprozessen verstanden werden können (REMPFLER, UPHUES 2010, S. 209f.). Selbstorganisationsprozesse sorgen dabei, aufgrund ihres inneren Beziehungsgeflechtes, ohne lenkende oder zielführende äußere Einflüsse dafür, dass es zu einer spontanen Entwicklung des Systems in einer räumlichen oder zeitlichen Struktur kommt. Dies ist aufgrund von Energie aus der Umwelt möglich und führt zu neuen Ordnungsstrukturen (LIEHR et al. 2006, S. 274f.). Eine Besonderheit stellt die ‚Selbstorgansierte Kritikalität', oder auch SOC (self-organized criticality), dar. Hier versetzt sich das sozial-ökologische System ohne äußeren Einfluss in einen kritischen Zustand. Dadurch wird es möglich, dass schon kleinste Ereignisse Kettenreaktionen auslösen, die zu beträchtlichen Auswirkungen führen. Als Beispiel hierfür können Naturgefahren wie Schneelawinen und Waldbrände aber auch soziale Systeme genannt werden (vgl. REMPFLER, UPHUES 2010, S. 210f.).
Aufgrund ihrer hohen Komplexität sind Prognosen von sozial-ökologischen Systemen, selbst bei einer vollständigen Determiniertheit, nur schwer möglich. Hier werden Erkenntnisse der Chaostheorie bedeutsam, die besagen, dass kurzfristige

[2] Bei der „modellhaften Beschreibung" wird in der Argumentation auf den Modellbegriff von Stachowiak verwiesen (LIEHR et al. 2006, S. 271f.; REMPFLER, UPHUES 2010. S. 209). Zur Erklärung des Modellbegriffes nach Stachowiak siehe Kapitel 2.2.

Prognosen eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit als langfristige Prognosen besitzen. Als Ursache für die mit der Zeit exponentiell wachsende Unsicherheit von Prognosen kann die sensible Abhängigkeit nicht-linearer Systeme von ihren Anfangsbedingungen gesehen werden. So können kleinste Unterschiede oder Störungen in den Anfangsbedingungen dafür sorgen, dass große Veränderungen in den zukünftigen Systemzuständen entstehen. Es empfiehlt sich daher, mehrere unterschiedliche, vom Prozessverlauf abhängige, Prognosen zu geben (vgl. LIEHR et al. 2006, S. 275f.).
Aufgrund der hohen Komplexität ist eine Steuerung der sozial-ökologischen Systeme nur möglich, wenn eindeutige lineare Ursachen für konkrete Probleme herausgearbeitet werden können. Sobald jedoch ein nicht-lineares System vorhanden ist, wird in der Sozialen Ökologie von Regulation statt Steuerung gesprochen. Dabei wird den menschlichen Akteuren eine zentrale Rolle zugesprochen, da diese als Teil des Regulationsprozesses gesehen werden. Dieses bietet den Vorteil, dass die Wirkungen und Handlungen mitsamt ihren Auswirkungen wahrgenommen und berücksichtigt werden können. Dadurch ist es möglich, unter Berücksichtigung der aktuellen Situation, kontinuierlich Anpassungen im Regulationsprozess vorzunehmen (REMPFLER, UPHUES 2010, S. 211).

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Konzepte des systemischen Denkens verschiedener Fachrichtungen vorgestellt.

2.1.2 Systemisches Denken

Der Begriff ‚systemisches Denken' wird in der Literatur sehr unterschiedlich verwendet. Zudem werden zahlreiche Begriffe wie ‚vernetztes Denken', ‚systems thinking', ‚komplexes Problemlösen' oder ‚Systemdenken' synonym genutzt (SOMMER 2005, S. 17). Im Zuge der Vereinheitlichung durch Bildungsstandards und den damit einhergehenden Kompetenzmodellen erhält zudem der Begriff ‚Systemkompetenz', auf welchen später eingegangen wird, eine immer größere Bedeutung (REMPFLER 2009, S. 59). Aufgrund der vielfältigen Systemtheorien gibt es, je nachdem welche Systemtheorie zugrunde liegt, unterschiedliche Definitionen des ‚systemischen Denkens' (FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 17).

In den Fachbereichen existieren verschiedenste Konzepte systemischen Denkens und der Systemkompetenz (OSSIMITZ 2000; BEN-ZVI-ASSARAF, ORION 2005; Sommer 2005; HMELO-SILVER et al. 2007; FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008; RIEß, MISCHO 2010; MEHREN et al. 2015A; VIEHRIG et al. 2017). Dies ist nicht verwunderlich, da nach KLIEME et al. (2003, S. 75) bei der Darstellung von Kompetenzstufen die fachliche Systematik und die domänenabhängige Logik des Wissenserwerbs berücksichtigt werden muss. MEHREN et al. (2016, S. 148) gehen daher bspw. davon aus, dass die

Systemkompetenz in der Geographie als domänenspezifisch gelten kann.
Im Folgenden stehen die Begriff ‚Systemisches Denken' und ‚Systemkompetenz' im Zentrum. Definitionen von ‚Kompetenz' beziehen sich oft (u. a. SOMMER 2005, S. 62; FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 26; MEHREN et al. 2017, S. 689) auf WEINERT (2001). Nach WEINERT (2001, S. 27f.) sind „Kompetenzen […] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können."
Bei der Systemkompetenz geht es demnach nicht nur darum, systemisches Denken zu erwerben, sondern diese Fähigkeit aus eigener Bereitschaft heraus handelnd einzusetzen, um unterschiedliche Probleme zu lösen. Es handelt sich daher nicht um ein rein kognitives Phänomen, sondern um eine Handlungsbefähigung (SOMMER 2005, S. 62). Dies machen auch REMPFLER und UPHUES (2013, S. 265) deutlich: „Systemkompetenz schließt alle drei Komponenten – Wissen, Fertigkeit und Handlung – mit ein, während sich ‚Systemdenken' auf die ersten beiden beschränkt."
In Anlehnung an SOMMER (2005, S. 63) soll im weiteren Verlauf der Begriff ‚systemisches Denken' verwendet werden, wenn es um die rein kognitiven Fähigkeiten, ausgenommen der motivationalen und volitionalen Aspekte, geht. Von ‚Systemkompetenz' wird gesprochen, wenn die Fähigkeiten im Umgang mit einem System einbezogen werden.
Im Folgenden werden die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Ansätze zum systemischen Denken herausgestellt. In der Mathematik erläutert OSSIMITZ (2000, S. 33), basierend auf einer ausführlichen Literaturrecherche, sein Verständnis des systemischen Denkens:
„Systemisches Denken umfasst vier zentrale Dimensionen:
1. Vernetztes Denken: Denken in Rückkoppelungskreisen
2. Dynamisches Denken: Denken in Zeitabläufen
3. Denken in Modellen
4. Systemgerechtes Handeln."

Die Dimensionen sind dabei nicht getrennt voneinander zu betrachten, und es lassen sich Bezüge zu verschiedenen systemtheoretischen Ansätzen ziehen. So wird von Ossimitz der von VESTER (1983) populär gemachte Begriff des ‚vernetzten Denkens' genutzt und definiert: „Vernetztes Denken umfasst folgende Fähigkeiten:
- Nicht nur direkte, sondern auch indirekte Wirkungen zu erkennen und zu beurteilen;
- dabei insbesondere Rückwirkungen auf die Ursache (feedback loops) zu erkennen;

- ganze Netze von Wirkungsbeziehungen aufbauen und verstehen zu können“ (OSSIMITZ 2000, S. 53f.).

In der Dimension des ‚dynamischen Denkens‘, bei der sich OSSIMITZ (2000, S. 35) an DÖRNER (1989) orientiert, geht es darum, zeitliche Abfolgen in Systemen zu erkennen und zu bewerten. Beim Denken in Modellen stellt Ossimitz heraus, dass es ihm um eine modellorientierte Sichweise von Systemen geht: „Entscheidend für das systemische Denken erscheint mir jedoch zu sein, dass es sich um bewusst wahrgenommene Modelle handelt.“ Ähnlich wie in der ‚Sozialen Ökologie‘ wird hier aus einer konstruktivistischen Perspektive heraus dargelegt, dass Systeme stets Modelle von irgendetwas sind (OSSIMITZ 2000, S. 58). Auch in der vierten Dimension, in der es um das konkrete Handeln in Systemen geht, bezieht sich OSSIMITZ (2000, S. 60) auf Dörner. Hier geht es um das bewusst reflektierte Lenken, Steuern und Weiterentwickeln des Systems (OSSIMITZ 2000, S. 60).
In der Biologie besitzen Systeme eine große Bedeutung und werden in den Bildungsstandards des Faches als eines der drei Basiskonzepte des Faches beschrieben (KMK 2005, S. 7). Dabei betrachtet die moderne Biologie „die lebendige Natur systemisch, sie ist die Wissenschaft von den Biosystemen“ (KMK 2005, S. 8). Sommer (2005) entwickelte in ihrer Dissertation für Grundschüler in der Biologie ein Systemkompetenzmodell und überprüfte dieses anschließend empirisch.

Tab. 2: Kompetenzstufenmodell der Biologie für Grundschüler nach Sommer (eigene Darstellung, verändert nach SOMMER 2005, S. 78; 225)

Übergeordnete Kompetenzbereiche	**Kompetenz-Komponenten**
Systemorganisation/ Modellbildung	Verbindung von Elementen und Beziehungen im Bezugsrahmen
Systemeigenschaften	Unterscheidung zwischen Eigenschaften des Systems und der Elemente
	dynamische Beziehungen erkennen
	Folgen von Veränderungen vorhersagen
	Wirkungen beurteilen
	Rückwirkungen erkennen

Werden die Kompetenzbereiche und Kompetenz-Komponenten mit denen von OSSIMITZ (2000) verglichen, so wird schnell deutlich, dass sowohl das ‚Denken in Modellen‘ als auch das ‚dynamische Denken‘ wiederzufinden sind. Auch das ‚vernetzte Denken‘ lässt sich über die Rückkopplungskreise, unter dem Aspekt ‚Rückwirkungen erkennen‘, wiederfinden. In einer anschließenden Erweiterung des

Kompetenzstufenmodells unterteilen SOMMER und LÜCKEN (2010, S. 128) die Systemorganisation weiter und fügen als neue Teilfähigkeit das ‚Erkennen und Benutzen der Systemgrenzen' hinzu. Nicht aufgegriffen wird weiterhin der Aspekt des systemgerechten Handelns. SOMMER (2005, S. 253-255) stellt zudem ein Kompetenzstufenmodell auf, nach welchem die Systemkompetenz in drei Niveaustufen unterteilt werden kann (niedrigstes Niveau; mittleres Niveau; höchstes Niveau). Sie macht jedoch deutlich, dass für eine Beurteilung, ob die Stufen aufeinander aufbauen, weitere Studien benötigt werden.
Neben SOMMER (2005) beschäftigen sich vor allem HMELO-SILVER und AZEVEDO (2006) sowie HMELO-SILVER et al. (2007; 2016) in mehreren Werken mit dem Lernen biologischer Systeme. Nach HMELO-SILVER und AZEVEDO (2006, S. 53) besitzen Systeme eine hierarchische Sturktur mit verschiedenen Ebenen, die miteinander interagieren. Zudem wird davon ausgegangen, dass viele Systeme unsichtbare dynamische Prozesse und Emergenzen besitzen (HMELO-SILVER et al. 2007, S. 308). Basierend auf theoretischen Überlegungen unterteilen HMELO-SILVER et al. (2007, S. 309) das Denken über komplexe Systeme in die Fähigkeit, die ‚Struktur', das ‚Verhalten' und die ‚Funktion' von Systemen zu erkennen. Unter ‚Struktur' wird die Interaktion verschiedener Elemente eines Systems verstanden (HMELO-SILVER et al. 2007, S. 312). Hier lässt sich eine klare inhaltliche Überschneidung mit dem Kompetenzbereich ‚Systemorganisation' von SOMMER (2005, S. 78) finden. Das ‚Verhalten' hingegen meint die Mechanismen und Eigenschaften, die zum Funktionieren des Systems führen. Unter Funktionen werden dabei die verschiedenen Rollen verstanden, die ein Element in einem System einnimmt (HMELO-SILVER et al. 2007, S. 312). Die beiden Aspekte ‚Verhalten' und ‚Funktion' von Systemen können mit dem Kompetenzbereich ‚Systemeigenschaft' von SOMMER (2005, S. 78) in Verbindung gebracht werden. Im Gegensatz zu SOMMER (2005), die ihr Modell für Grundschüler aufstellte, entwickelten HMELO-SILVER et al. (2007, S. 312) ihre Systemdimensionen für Schüler der Sekundarstufe I.

Ein weiteres Kompetenzmodell zum systemischen Denken wurde von FRISCHKNECHT-TOBLER et al. (2008, S. 30) entworfen (vgl. Tab 3). Dieses Modell stützt sich auf diverse Kompetenzmodelle zum systemischen Denken (RICHMOND 1993; STUNZ et al. 2002; OSSIMITZ 2000; BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; SOMMER 2005; CABRERA 2006), so dass es nicht verwunderlich ist, dass verschiedene Gedanken dieser Autoren wiederzufinden sind.

Tab. 3: Kompetenzmodell zum systemischen Denken nach Frischknecht-Tobler (eigene Darstellung, nach FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 30)

Übergeordnete Kompetenzkomplexe	Konkrete Kompetenzbereiche
Systemkonstruktion	Kompetenzbereich 1: Modelle beschreiben Erfassen von Systemstrukturen (Systemgrenzen, Systemelemente, Ursache-Wirkungsbeziehungen)
	Kompetenzbereich 2: Dynamik erfassen Erkennen zeitlicher Veränderungen und dynamischer Zusammenhänge
Systemmodellnutzung	Kompetenzbereich 3: Prognosen treffen
	Kompetenzbereich 4: Handlungsentwürfe beurteilen

Wie bei SOMMER (2005) und OSSIMITZ (2000) findet sich auch in diesem Kompetenzmodell die Darstellung von Systemen in Modellen, sowie das Erfassen von Dynamiken in Systemen wieder. Zusätzlich wird das von OSSIMITZ (2000, S. 33) geforderte systemische Handeln im Kompetenzkomplex ‚Systemmodellnutzung' aufgegriffen.
FRISCHKNECHT-TOBLER et al. (2008, S. 30) legen dazu dar, dass sich der Kompetenzkomplex ‚Systemmodellnutzung' bewusst auf OSSIMITZ (2000, S. 33) bezieht, der eine handlungsorientierte Komponente als weiteren Teil des systemischen Denkens sieht. Dies wird dadurch begründet, dass die ‚Beschreibende Fähigkeit' alleine nicht systemisches Denken ausmachen kann (FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 30).
Bevor auf die Systemkompetenz in der Geographiedidaktik und die in dieser Arbeit verwendete Defintion des ‚systemischen Denkens' eingegangen wird, sollen zunächst die Begriffe ‚vernetztes Denken' und ‚komplexes Problemlösen' erläutert und in einen Zusammenhang zum ‚systemischen Denken' gesetzt werden.
Der Begriff ‚vernetztes Denken' wird im deutschsprachigen Raum eng mit der Person Frederic Vester verknüpft. Als Biologe zeigt er in zahlreichen Publikationen (u. a. VESTER 1983; VESTER 1988; VESTER 1999) auf, dass das Denken in komplexen Wechselwirkungen eine Vorrausetzung für die mögliche Thematisierung komplexer Systeme darstellt. OSSIMITZ (2000, S. 10-12) stellt jedoch zu Recht fest, dass Vester in keinem seiner Werke explizit definiert, was unter vernetztem Denken oder systemischem Denken verstanden werden kann. In der vorliegenden Arbeit soll daher der Begriff ‚vernetztes Denken' nicht verwendet werden.

Die Begriffe ‚komplexes Problemlösen' und ‚systemisches Denken' werden in der Literatur oftmals synonym verwendet (BRÄUTIGAM 2014, S. 30). In den 1970-er und 1980-er Jahren führte eine Gruppe von Kognitionspsychologen um Dietrich Dörner verschiedenste Szenarien in Computersimulationen durch (DÖRNER et al. 1983; DÖRNER 1989), um unter dem Schlagwort ‚Komplexes Problemlösen' zu untersuchen, wie Probanden mit zusammenhängenden Variablen umgehen. BRÄUTIGAM (2014, S. 32) weist zu Recht darauf hin, dass die Konstrukte des ‚systemischen Denkens' und des ‚komplexen Problemlösens' sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede besitzen. Als zentrale Unterschiede werden dabei die Modellbildung, der Wissenserwerb und der Verweis auf systemtheoretische Grundlagen und somit die Anwendung des Systemkonzeptes herausgestellt. So macht beim systemischen Denken u. a. „das Wissen über Eigenschaften von Systemen und die Anwendung des Systemkonzeptes […] einen zentralen Bestandteil des Konstruktes" (BRÄUTIGAM 2014, S. 32) aus.

2.1.3 Systemkompetenz in der Geographiedidaktik

Das Systemkonzept stellt laut den nationalen Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss in Deutschland das Hauptbasiskonzept des Faches Geographie dar (DGfG 2020, S. 10f.). Dabei werden, in Anlehnung an das Drei-Säulen-Modell (siehe WEICHHART 2003), das humangeographische, das naturgeographische als auch das Mensch-Umwelt-System, in welchem die beiden vorherigen Systeme als Subsysteme auftreten, betrachtet (DGfG 2020, S. 10f.). Die systemische Betrachtung wird sowohl durch verschiedene Maßstabsebenen (lokal, regional, national, international und global) als auch um die zu untersuchende Struktur, die Funktion und die Prozesse des Systems ergänzt.

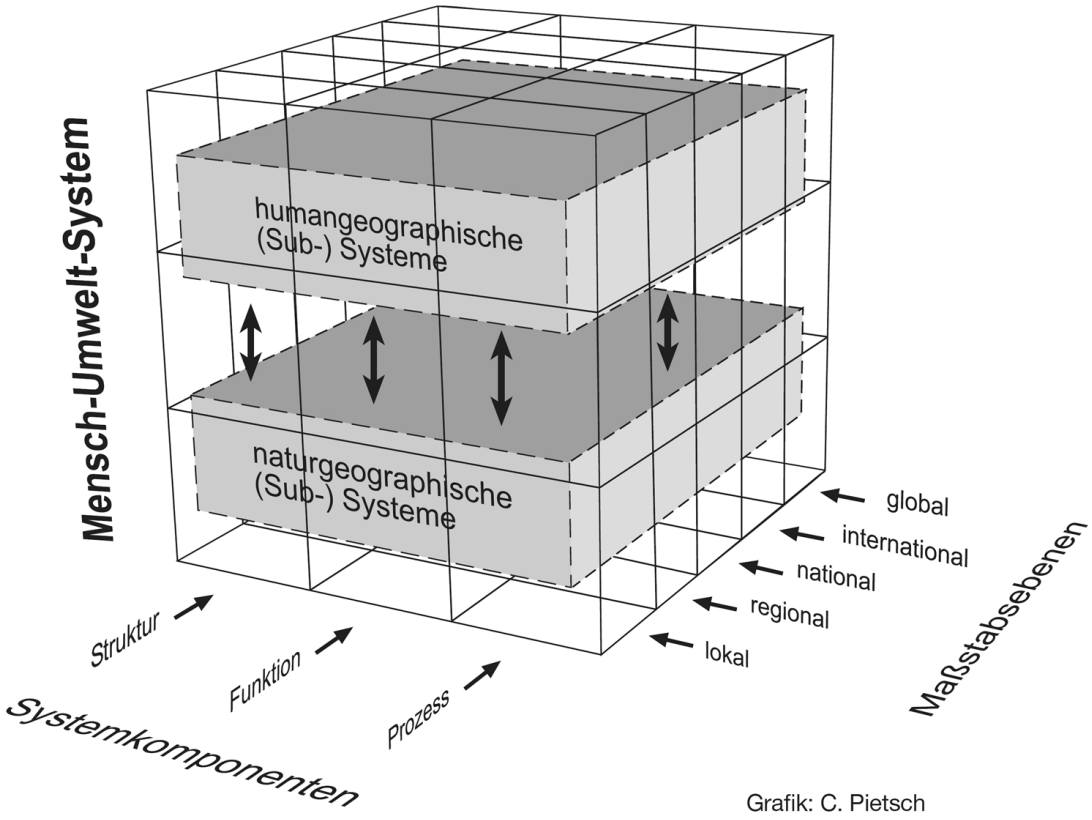


Abb. 1: Basiskonzepte der Analyse von Räumen im Fach Geographie (DGFG 2020, S. 11)

Die systemische Analyse des Raumes kann unter dem Schwerpunkt der vier Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgen. Der Verknüpfung von Systemkompetenz und Nachhaltigkeit widmet sich die Forschungsgruppe um Rieß (siehe Kapitel 2.1.3 oder RIEß, MISCHO 2008A, S. 137; RIEß et al. 2013, S. 111; RIEß et al. 2015, S. 16f.; SCHULER et al. 2018, S. 192).

Systemisches Denken lässt sich in der Geographiedidaktik, als impliziertes Topos, bis in die 1950er Jahre zurückverfolgen (vgl. KÖCK 1985, S. 15). Köck stellte bereits früh heraus, dass Systemdenken als unterrichtliches Prinzip der Geographiedidaktik angesehen werden muss: „Entsprechend ist prinzipiell jeder zu behandelnde Raumsachverhalt Lern- und Übungsfeld für Systemdenken und -verhalten“ (KÖCK 1985, S. 18). In der Folgezeit entstanden zahlreiche Unterrichtsvorschläge, um das systemische Denken stärker in die Schule zu bringen (u. a. KAMINSKE 1996; REMPFLER 1999; REMPFLER 2000). Durch die Festlegung des Systemkonzeptes als Hauptbasiskonzept der Geographie durch die Bildungsstandards entwickelten sich in den folgenden Jahren verschiedene Systemkompetenzstrukturmodelle und Systemkompetenzstufenmodelle mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Im Folgenden sollen mit den Kompetenzmodellen von RIEß et al. (2015), MEHREN et al. (2016) und

VIEHRIG et al. (2017) zentrale Systemkompetenzstrukturmodelle und Systemkompetenzstufenmodelle der Geographiedidaktik in Deutschland vorgestellt werden. Es sei jedoch kurz erwähnt, dass sich im internationalen Kontext BEN-ZVI ASSARAF und ORION (2005) erstmals mit dem System in erdräumlichen Zusammenhängen auseinandersetzten und eine Einteilung in vier Dimensionen vornahmen. Für die vorliegende Arbeit sollen jedoch, aufgrund des engen Bezugs zur deutschen Geographididaktik, bewusst nur die bereits genannten Kompetenzmodelle miteinander verglichen werden. Darauf aufbauend soll begründet dargelegt werden, an welchem Kompetenzmodell sich die vorliegende Arbeit orientiert.

Die Forschungsgruppe um Rieß stellt bei der Entwicklung ihres heuristischen Kompetenzstrukturmodells zum systemischen Denken, im Folgenden ‚Freiburger Modell' genannt, die Notwendigkeit des systemischen Denkens für BNE in den Vordergrund (vgl. RIEß, MISCHO 2008A, S. 137; RIEß et al. 2013, S. 111; RIEß et al. 2015, S. 16f.; SCHULER et al. 2018, S. 192). Dabei beziehen sie sich u. a. auf das BNE-Kompetenzmodell von ROST et al. (2003), welches der Systemkompetenz eine zentrale Rolle für BNE zuspricht. Das Freiburger Modell wird aufgrund seines Bezugs zu BNE sowohl in der Biologie (RIEß, MISCHO 2010) als auch in der Geographie herangezogen (RIEß et al. 2015). Dabei erfolgt die Orientierung einem eher naturwissenschaftlichen Verständnis von Systemen, im Sinne von Bertalanffy (RIEß et al. 2015, S. 18) (zu Bertalanffy siehe Kapitel 2.1.1). Unter einem System wird „ein Komplex bezeichnet, dessen Komponenten (= Systemelemente) miteinander kommunizieren, das heißt in steter Wechselwirkung stehen. Ein System hat durch die Beziehung seiner Einzelteile eine besondere Ordnung oder Struktur und besondere Eigenschaften" (RIEß et al. 2013, S. 111f.). Gesellschaftliche Systeme werden als Ganzes in die natürliche ‚Umwelt' eingebettet, die wiederum selber ein System darstellt. Der Mensch und damit die gesellschaftlichen Systeme sind dabei auf Vor- und Nachleistungen der natürlichen Systeme angewiesen, was sich z. B. in der Nutzung der Umwelt als Ressource oder Senke zeigt (RIEß et al. 2015, S. 17). Komplexe Systeme besitzen zahlreiche unterschiedliche Wechselwirkungen, eine strukturelle und funktionelle Integration in größere Gesamtsysteme und zudem, durch die spezielle Beziehung seiner Einzelteile zueinander, besondere Eigenschaften. So sind lebende Systeme autopoietisch und haben emergente Eigenschaften (RIEß et al. 2015, S. 17). Die zahlreichen komplexen Wechselwirkungen, ihre Verbindungen zu größeren Gesamtsystemen und die Eigenschaften der Systeme sorgen dafür, dass lebende Systeme oft nicht berechenbar sind und stochastische Züge aufweisen. Systeme sind daher oft einzigartig und können sich trotz gleicher äußerer Bedingungen unterschiedlich verhalten. Dies führt dazu, dass durch die Erforschung von komplexen Systemen zwar Regeln, jedoch nur selten Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden können (RIEß, MISCHO 2008B, S. 215).

Zur Konkretisierung des Begriffs ‚systemisches Denken' ziehen RIEß und MISCHO (2008B, S. 217f.) eine Einteilung des systemischen Denkens in vier Dimensionen

heran (Ossimitz 2000, S. 33). Ossimitz`s (2000, S. 33) Aussage, dass die vier Dimensionen nicht unabhängig voneinander sind, wird kritisiert, da es zwar empirische Belege für einen Zusammenhang zwischen systembezogenem Wissen und systemischem Handeln gibt, jedoch auch empirische Belege für eine Unabhängigkeit der Dimensionen vorhanden sind (Rieß, Mischo 2008B, S. 217). Zudem wird eine konzeptuell klare Trennung zwischen deklarativen und prozeduralen Wissensinhalten gefordert (Rieß, Mischo 2010, S. 707). In bewusster Abgrenzung zu Ossimitz (2000) beziehen Rieß und Mischo (2010, S. 707) sich daher beim systemischen Denken auf das deklarative Wissen: „[…] wird hier unter systemischem Denken daher die Fähigkeit verstanden, komplexe Wirklichkeitsbereiche als Systeme erkennen, beschreiben und möglichst modellieren (z. B. strukturieren, organisieren) zu können. Dazu gehören die Fähigkeiten, Systemelemente und Wechselbeziehungen bestimmen zu können, zeitliche Dimensionen (Dynamiken) zu erfassen sowie die Fähigkeit, auf der Basis der eigenen Modellierungen Erklärungen geben, Prognosen treffen und weiche Technologien entwerfen zu können“ (Rieß, Mischo 2008B, S. 218). Die Definition orientiert sich am Forschungsansatz der Subjektiven Theorien. Dabei „erfüllt das systemische Denken als subjektive Repräsentation (Subjektive Theorie) die gleiche Funktion für das Individuum wie die Systemtheorie (objektive Theorie) für den Wissenschaftler“ (Rieß, Mischo 2008B, S. 218). Die ‚Technologien‘ als Realitätsveränderung durch, z. B. Eingriffe in das System, können dabei als möglicher Effekt des systemischen Denkens gesehen werden, konzeptuell und empirisch gelten sie jedoch nicht als Teil des systemischen Denkens (Rieß, Mischo 2008B, S. 218). Unter den in der Definition angesprochenen ‚weichen Technologien’ werden Strategien verstanden, mit deren Hilfe Menschen Systeme nutzen, ohne die Systemdynamik oder die emergenten Eigenschaften des Systems zu verändern bzw. zu zerstören. Typisch für solche Strategien ist u. a. das vorsichtig ‚tastende‘ Vorgehen, die Beachtung von Systemgesetzen und der Einbezug der Entwicklung des Systemzustandes (Rieß, Mischo 2008B, S. 218).

Wie bereits dargelegt wurde, wird im Freiburger Modell von einem naturwissenschaftlich geprägten Systemverständnis ausgegangen. Der Schwerpunkt wird dabei auf die qualitative und quantitative Modellierung von Systemen gelegt (vgl. Rieß et al. 2015, S. 18). Der Gedanke der Modellierung lässt sich daher konsequenterweise in den einzelnen Kompetenzdimensionen wiederfinden. Dem Freiburger Modell wurde, nach einer ersten Überprüfung (Bräutigam 2014) zur dritten eine vierte Dimension hinzugefügt (Schuler et al. 2018, S. 195). Mittels einer konfirmatorischen Faktorenanalyse konnte Brockmüller (2019, S. 159) die vier Kompetenzdimensionen und ein übergeordnetes Konstrukt (Systemkompetenz) empirisch nachweisen. Die vier Dimensionen können in vier Teilfähigkeiten unterteilt werden, die jedoch nicht als Niveaustufen, sondern als Bestandteil der jeweiligen Kompetenzdimensionen zu verstehen sind (Rieß et al. 2015, S. 19).

Tab. 4: Freiburger Kompetenzstrukturmodell zum systemischen Denken (eigene Darstellung, nach RIEß et al. 2015, S. 16)

Kompetenzdimensionen	Teilfähigkeit 1	Teilfähigkeit 2	Teilfähigkeit 3	Teilfähigkeit 4
Dimension 4: Bewertung von Systemmodellen und Ergebnissen der Modellanwendung	Die Strukturgültigkeit von Systemmodellen bestimmen können	Die Verhaltensgültigkeit von Systemmodellen bestimmen können	Die Anwendungsgültigkeit bestimmen können	Die Vorhersageunsicherheit bestimmen können
Dimension 3: Fähigkeit zur Nutzung von Systemmodellen beim Lösen komplexer dynamischer Probleme (systemische Problemlösefähigkeit)	Einschätzen können, ob für die Bearbeitung vorliegender Probleme auf ein Systemmodell rekurriert werden kann bzw. muss	Einschätzen können, welcher Systemmodelltyp (u. a. qualitativ vs. quantitativ) für die Bearbeitung eines Problems adäquat ist	Mit Hilfe qualitativer Systemmodelle Erklärungen geben, Prognosen treffen und Technologien entwerfen können	Mit Hilfe quantitativer Systemmodelle Erklärungen geben, Prognosen treffen und Technologien entwerfen können
Dimension 2: Systemmodellierungsfähigkeit	Systemelemente und Wechselwirkungen identifizieren können; Typen von Systemelementen und von Wechselwirkungen sowie Subsysteme und Systemgrenzen be-	Systemisch modellierbare Wirklichkeitsbereiche mit Hilfe von Texten und Wortmodellen verstehen bzw. abbilden können	Qualitative Systemmodelle (u. a. Wirkungsgraph, Wirkungsmatrix) lesen, interpretieren und konstruieren können	Quantitative (kontinuierliche) Systemmodelle verwenden, interpretieren und konstruieren können
Dimension 1: Deklaratives/ konzeptuelles systemisches Wissen	Systemtheoretisches Grundwissen (Systembegriff, Systemstruktur, Systemverhalten, Teilsysteme,…)	Kenntnis von Wirklichkeitsbereichen, die als Systeme betrachtet werden können; Kenntnis von exemplarischen einfachen und komplexen Systemen	Kenntnis von Systemhierarchien	Kenntnis von Eigenschaften komplexer Systeme

Die erste Kompetenzdimension des Freiburger Modells beschreibt das grundlegende deklarative und konzeptuelle systemische Wissen. Das Wissen um den Systembegriff mit seinen Eigenschaften und die Grundsätze einer systemwissenschaftlichen Betrachtung sind hier zentrale Fähigkeiten (RIEß et al. 2015, S. 19). In der zweiten Dimension geht es darum, die Interaktionen in Systemen zu verstehen und diese qualitativ und quantitativ interpretieren und modellieren zu können (SCHULER et al. 2018, S. 195). Hierbei handelt es sich vor allem um Fähigkeiten und Methoden der Erkenntnisgewinnung in den Systemwissenschaften (RIEß et al. 2015, S. 19). Die dritte Dimension beinhaltet Fähigkeiten, die den Einsatz von Systemmodellen zur Lösung komplexer dynamischer Probleme möglich macht. Darunter fällt z. B. die Fähigkeit, mit qualitativen und quantitativen Systemmodellen Erklärungen und Prognosen treffen zu können sowie Technologien zu entwerfen (SCHULER et al. 2018, S. 95). Die Bewertung von Systemmodellen und deren Ergebnisse der Modellanwendung werden in der vierten Dimension zusammengefasst. Hier spielt bspw. die Fähigkeit, Vorhersageunsicherheiten bestimmen zu können, eine Rolle (RIEß et al. 2015, S. 18f.).

Ein weiteres Modell der Systemkompetenz, welches dem Forschungsbereich der Geographiedidaktik zugerechnet werden kann, ist das von VIEHRIG et al. (u. a. 2011; 2012; 2017) im HEIGIS-Projekt entworfene Modell der ‚Geographischen Systemkompetenz' (GSK) (VIEHRIG et al. 2012). Unter ‚Geographischer Systemkompetenz' (GSK) werden hier „zunächst diejenigen kognitiven Leistungsdispositionen verstanden, die notwendig sind, um in spezifischen Kontexten geographische Systeme zu analysieren, zu erfassen und ihnen gegenüber angemessen handeln zu können" (VIEHRIG et al. 2012, S. 99). Der Schwerpunkt des Kompetenzstrukturstufenmodells GSK liegt darin, mit systemischem Denken und räumlichem Denken zwei für die Geographie zentrale Konzepte miteinander zu verknüpfen (VIEHRIG et al. 2012). Basierend auf theoretischen Begründungen wurde dafür ein Modell mit drei Dimensionen entwickelt (vgl Tab. 5).

Tab. 5: Modell der Geographischen Systemkompetenz des HEIGIS-Projektes (eigene Darstellung nach VIEHRIG et al. 2017, S. 38)

	Dimension 1: Comprehend and analyze systems	**Dimension 2: Evaluate possibilities to act towards systems**	**Dimension 3: Spatial thinking**
Level 3	Identification and understanding of the complex network of relationships	Also take into account side effects and autoregressive processes	Can use 8 or more spatial thinking skills
Level 2	Identify and understand relationships, between the system elements	Take into account multiple effects	Can use 6 or 7 spatial thinking skills
Level 1	Identify and understand system elements	Take into account main effects	Can use up to 5 spatial thinking skills

Die erste Dimension, in der Systeme erfasst und analysiert werden, stützt sich dabei auf die vier hierarchischen Fähigkeiten, die von BEN-ZVI ASSARAF und ORION (2005) herausgearbeitet wurden. Dabei wird die vierte Stufe, aufgrund theoretischer Überlegungen und einer weiteren Studie von ORION und BASIS (2008) nicht übernommen (VIEHRIG et al. 2011, S. 52). Die zweite Dimension wird durch eine Studie von GREIFF und FUNKE (2010) gestützt, welche sich mit dem Lösen komplexer Probleme mit Hilfe des MicroDYN-Ansatzes beschäftigt. In dieser Dimension stellt der handelnde Umgang mit Systemen die herausragende Fähigkeit dar. Die Trennung der beiden ersten Dimensionen begründen VIEHRIG et al. (2011, S. 51) durch theoretische geographiedidaktische Überlegungen und empirische Studien aus der Psychologie. Hier sei erneut auf RIEß und MISCHO (2008B, S. 217) verwiesen, die Aspekte für und gegen eine Trennung von systembezogenem Wissen und systemischem Handeln anführen. Die dritte Dimension bezieht schließlich, mit Verweis auf GERSMEHL und GERSMEHL (2007) und deren neurologischen Ergebnisse, das räumliche Denken ein.

Das theoretisch aufgestellte Modell der GSK wurde in einer qualitativen kognitiven Laborstudie und zwei quantitativen Studien empirisch überprüft. Dabei zeigte sich, dass die zweite Dimension in beiden quantitativen Studien nicht identifiziert werden konnte, so dass diese in zukünftigen Studien der GSK getrennt betrachtet werden soll (VIEHRIG et al. 2017, S. 51). Zudem wurde deutlich, dass in geographischen Systemen ein enger Zusammenhang zwischen systemischem und räumlichem Denken besteht. Hieraus wird abgeleitet, dass beide Dimensionen im Modell der GSK benötigt werden (VIEHRIG et al. 2017, S. 51).

Ein Team um MEHREN et al. (u. a. 2015B; 2016; 2018) entwickelte ein normatives Kompetenzstruktur und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz. Dieses wurde zunächst theoretisch begründet und anschließend empirisch überprüft (MEHREN et al. 2016, S. 148). In ihrer theoretischen Begründung orientieren sich MEHREN et al. (2018, S. 687f.) an KLIEME et al. (2003), die davon ausgehen, dass Fachdidaktiken die Wissensaneignung und Kompetenzentwicklung in ihrer fachspezifischen Systematik und in ihrer domänenabhängigen Logik rekonstruieren, so dass die Systemkompetenz in der Geographie als domänenspezifisch angesehen werden muss. MEHREN et al. (2016, S. 148) legen daher ihrem Modell das Mensch-Umwelt-System zugrunde, welches ein umfassenderes Systemverständnis als die anderen Naturwissenschaften verlangt. In Anlehnung an das ‚Drei-Säulen-Modell' (WEICHHART 2003) werden dabei humangeographische Systeme, naturgeographische Systeme und Mensch-Umwelt-Systeme betrachtet (MEHREN et al. 2018, S. 687). Dafür wird in Abgrenzung zu den klassischen Theorien nach BERTALANFFY (1968) und LUHMANN (1984), zur theoretischen Fundierung erdräumlicher Mensch-Umwelt-Systeme, ein sozialökologisches Verständnis herangezogen. Wie bereits dargelegt wurde (Kapitel 2.1.1), wird in diesem Verständnis die Dichotomie zwischen physisch-materiellen und sozialen Systemen durch die Betrachtung des Beziehungsgeflechtes zwischen Gesellschaft und Natur in seinem Gesamtzusammenhang aufgehoben (MEHREN et al. 2015C, S. 63). Zentrale Prinzipien des sozialökologischen Systemverständnisses stellen Offenheit, Autopoiesis und Abgrenzung, Komplexität, Dynamik, Emergenz, selbstorganisierte Kritikalität, eingeschränkte Vorhersagbarkeit und Regulation dar (siehe Kapitel 2.1.1; MEHREN et al. 2016, S. 149f.). Hier sei kurz darauf hingewiesen, dass KERSTING (2015, S. 53) den einseitigen Bezug von REMPFLER und UPHUES (2010, S. 207f.) auf bestimmte Theorieelemente der Sozialökologie kritisiert, während andere Aspekte, hier vor allem der des Frankfurter Ansatzes, unberücksichtigt bleiben.

Aufbauend auf dem dargelegten Systemverständnis definieren MEHREN und REMPFLER (2018, S. 205) systemisches Denken wie folgt: „Systemisches Denken meint die Fähigkeit, einen komplexen Wirklichkeitsbereich sozialer und/oder natürlicher Prägung unterschiedlicher Maßstabsgröße in seiner Struktur und seinem Verhalten als System zu erkennen, zu beschreiben und zu modellieren sowie auf der Basis dieser Modellierung Prognosen und Maßnahmen zur Systemnutzung und -regulation zu treffen."

Diese Definition orientiert sich an der Definition der SYSDENE Forschungsgruppe (FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 20) sowie an der Definition von RIEß und MISCHO (2008B, S. 218) und soll in der vorliegenden Arbeit für systemisches Denken herangezogen werden.

Die Systemkompetenz wird von REMPFLER und UPHUES (2011A, S. 44; 2011C, S. 23; 2012, S. 14) und MEHREN et al. (2014, S. 5; 2015C, S. 65) zunächst in drei Dimensionen unterteilt (vgl. Tab. 6). Die drei Dimensionen ‚Systemorganisation',

‚Systemverhalten' und ‚Systemadäquate Handlungsintentionen' spiegeln dabei die verschiedenen Systemprinzipien des sozialökologischen Systemverständnisses wieder (MEHREN et al. 2015C, S. 64). Die Dimensionen ‚Systemorganisation' und ‚Systemverhalten' beruhen vor allem auf den empirischen Ergebnissen von SOMMER (2005), aber auch auf u. a. OSSIMITZ (1994), BEN-ZVI ASSARAF und ORION (2005) und RIEß et al. (2013) und werden in drei Niveaustufen differenziert (REMPFLER, UPHUES 2012, S. 11; MEHREN et al. 2016, S. 153). Die Dimension ‚Systemadäquate Handlungsintention' beruht auf Arbeiten von KÖCK (1985), LECHER (1997), OSSIMITZ (2000), ROST et al. (2003), KÖCK und REMPFLER (2004), RIEß und MISCHO (2008) sowie FRISCHKNECHT-TOBLER et al. (2008). Die ‚Systemadäquate Handlung' wurde dabei zunächst in die Dimensionen ‚Systemadäquate Handlungsintention' und ‚Systemadäquates Handeln' unterteilt. Zur empirischen Überprüfung des Modells wurde jedoch nur die ‚Systemadäquate Handlungsintention' betrachtet, da das Überprüfen einer Handlung im Realraum nur schwer zu operationalisieren ist (MEHREN et al. 2016, S. 154).

Tab. 6: Theoretisch entwickeltes normatives Kompetenzstrukturmodell der Systemkompetenz im Geographieunterricht (eigene Darstellung, verändert nach MEHREN et al. 2016, S. 153)

I. Systemorganisation		**II. Systemverhalten**			**III. Systemadäquate Handlungsintention**	
Struktur	Grenze	Emergenz	Interaktion	Dynamik	Prognose	Regulation

MEHREN et al. (2016, S. 152) gehen davon aus, dass sich die Dimensionen empirisch voneinander trennen lassen. Die drei Dimensionen können dementsprechend wie folgt beschrieben werden:

1. Unter ‚Systemorganisation' wird die Fähigkeit verstanden, „einen komplexen Realitätsbereich in seiner Organisation als System [zu] identifizieren und dessen wesentliche Bestandteile modellhaft darstellen und beschreiben zu lassen" (MEHREN et al. 2016, S. 152).
2. Die zweite Dimension, dass ‚Systemverhalten', „bezeichnet die Fähigkeit, Funktionen und Verhaltensweisen von Systemen analysieren zu können" (MEHREN et al. 2016, S. 152).
3. Während in den ersten beiden Dimensionen der Wissenserwerb bedeutsam ist, wird in der dritten Dimension die Wissensanwendung in den Vordergrund gerückt. Die systemadäquate Anwendung des Wissens kann dabei sowohl mental als auch aktional erfolgen (MEHREN et al. 2016, S. 152).

Die Dimensionierung des theoretisch entwickelten Kompetenzstrukturmodells der Systemkompetenz von MEHREN et al. (2015A, S. 4) wurde daraufhin durch drei Item-Response-Modelle mit verschiedenen Faktorstrukturen geschätzt und miteinander verglichen. Hierbei zeigte sich, dass ein zweidimensionales Modell, in der die Dimensionen 1 und 2 zusammengelegt werden, eine bessere Passung aufweist als ein eindimensionales oder dreidimensionales Modell (vgl. Tab. 7) (MEHREN et al. 2015A, S. 7). Durch dieses Ergebnis konnte zudem erstmals empirisch nachgewiesen werden, dass die Systemkompetenz keinen eindimensionalen, isolierbaren Kompetenzbereich darstellt, sondern sich aus mehreren Dimensionen zusammensetzt (MEHREN et al. 2016, S. 160). Dies deckt sich mit neueren Erkenntnissen von BROCKMÜLLER (2019, S. 159).

Tab. 7: Theoretisch entwickeltes und empirisch überprüftes zweidimensionales Modell der Systemkompetenz im Geographieunterricht (eigene Darstellung, verändert nach MEHREN et al. 2018, S. 701)

	Dimension 1: Systemorganisation & -verhalten Struktur | Grenze | Emergenz | Interaktion | Dynamik	**Dimension 2:** Systemadäquate Handlungsintention Prognose | Regulation
Stufe 1	a) Schüler identifiziert eine **niedrige** Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend **isoliert** oder monokausal und als vage abgrenzbaren Beziehungszusammenhang. Seine Analyse monokausaler Entwicklungsverläufe basiert auf einem **schwach entwickelten Funktions- und Prozessverständnis**.	Schüler entwickelt bei einer **niedrigen** Anzahl an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund **monokausaler** Wirkungsanalyse, **vager** Antizipation der Wirkung und **schwach ausgeprägter Komplexitätsreduktion**.
Stufe 2	Schüler identifiziert eine **mittlere** Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend **linear** und als mäßig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang. Seine Analyse linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem **Verständnis von Wechselbeziehungen**, Reihen- und Parallelkopplungen sowie einfachen Haushaltsbeziehungen.	Schüler entwickelt bei einer **mittleren Anzahl** an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund **linearer** Wirkungsanalyse, Antizipation der Wirkung und **mäßig ausgeprägter Komplexitätsreduktion**.
Stufe 3	Schüler identifiziert eine **hohe** Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend **komplex** und als eindeutig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang sowie als Teil verschachtelter Systeme. Seine Analyse linearer und nicht linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem **Verständnis von Rückkopplungen und Kreisläufen** sowie anspruchsvollen Haushaltsbeziehungen, Irreversibilität und Emergenz.	Schüler entwickelt bei einer **hohen Anzahl** an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund **komplexer** Wirkungsanalyse, Antizipation der Wirkung und **stark ausgeprägter Komplexitätsreduktion** sowie mit dem **Bewusstsein eingeschränkter Vorhersagbarkeit**.

MEHREN et al. (2016, S. 161) gehen davon aus, dass eine Trennung der Dimensionen ‚Systemorganisation' und ‚Systemverhalten' von vielen Autoren zwar theoretisch angenommen wird (OSSIMITZ 1994; BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; SOMMER 2005; HMELO-SILVER et al. 2007), in der Praxis sich die kognitiven Fähigkeiten jedoch gegenseitig bedingen (vgl. MEHREN et al. 2016, S. 161). Dies deckt sich mit Erfahrungen von MEHREN et al. (2018, S. 702), dass sich die Entwicklung von Items für lediglich eine der beiden Dimensionen als konzeptionell schwierig herausstellt. Sie folgen damit diversen Überlegungen, dass die Handlungsintention grundsätzlich von einem Wissen über Systemorganisation und -verhalten zu trennen ist (MEHREN et al. 2015A, S. 5).

In einem abschließenden Vergleich der drei vorgestellten Systemkompetenzmodelle fällt zunächst auf, dass die Dimensionen 1 und 4 des Freiburger Modells keine entsprechende Berücksichtigungen in den anderen Modellen finden (vgl. Tab. 8). Hier sei darauf verwiesen, dass MEHREN et al. (2016, S. 154) auf Dimension 1 und 4 des Freiburger Modells verweist und eine Implementierung dieser in die beiden Dimensionen ‚Systemorganisation und -verhalten' sowie ‚Systemadäquate Handlungsintention' durch schwierigkeitsgenerierende Merkmale vornimmt. „Die Kennzeichen bilden einen integralen Bestandteil der jeweiligen Kompetenzdimensionsbeschreibung und keine zusätzliche Kenntnis-/Fähigkeitsausprägung" (MEHREN et al. 2016, S. 154). Neuere Erkenntnisse ziehen dies jedoch in Zweifel und gehen insgesamt von einem vierdimensionalen Konstrukt aus, in welchem eine getrennte Betrachtung der Theorie- bzw. Reflexionsebene angenommen wird (BROCKMÜLLER 2019, S. 159). BROCKMÜLLER (2019, S. 23f.) zeigt zu Recht die Gemeinsamkeiten der Dimensionen ‚Systemmodellierungsfähigkeit' (RIEß et al. 2015, S. 18), ‚Comprehend and analyze systems' (VIEHRIG et al. 2017, S. 38) und ‚Systemorganisation und -verhalten' (MEHREN et al. 2016, S. 59) auf. Auch zwischen den Dimensionen ‚Fähigkeit zur Nutzung von Systemmodellen beim Lösen von komplexen dynamischen Problemen' (RIEß et al. 2015, S. 18), ‚Evaluate possibilities to act towards systems' (VIEHRIG et al. 2017, S. 38) und ‚Systemadäquate Handlungsintention' (MEHREN et al. 2016, S. 159) zieht BROCKMÜLLER (2019, S. 23f.) berechtigterweise eine Verbindung. Hierbei fällt die dritte Dimension ‚Spatial thinking' des HEIGIS-Modelles aus dem Rahmen der Dimensionen. VIEHRIG et al. (2017, S. 49) konnten einen engen Zusammenhang zwischen räumlichem und systemischem Denken aufzeigen, allerdings keine scharfe Trennung räumlichen Denkens als Teil der Systemkompetenz aufdecken. BROCKMÜLLER (2019, S. 154) bezieht das ‚räumliche Denken' dementsprechend in die ersten beiden Dimensionen mit ein. Dies folgt dem Gedankengang von MEHREN et al. (2016, S. 154), die räumliches Denken implizit in die Dimensionen aufnehmen.

Tab. 8: Vergleich verschiedener Systemkompetenzmodelle (nach BROCKMÜLLER 2019, S. 24)

	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3	Dimension 4
Empirisch validiertes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur Systemkompetenz im Geographieunterricht (MEHREN et al. 2016, S. 159)		1. Systemorganisation und -verhalten	2. Systemadäquate Handlungsintention	
Freiburger Kompetenzstrukturmodell zum systemischen Denken (RIEß et al. 2015, S. 18)	1. Deklaratives/konzeptuelles systemisches Wissen	2. Systemmodellierungsfähigkeit	3. Fähigkeit zur Nutzung von Systemmodellen beim Lösen von komplexen dynamischen Problemen	4. Bewertung von Systemmodellen und Ergebnissen der Modellanwendung
HEIGIS model after the CogLabs (VIEHRIG et al. 2017, S. 38)		1. Comprehend and analyze systems (3. Spatial thinking)	2. Evaluate possibilities to act towards systems (3. Spatial thinking)	

In der vorliegenden Studie wird sich auf das zweidimensionale Modell der Systemkompetenz nach MEHREN et al. (2018, S. 701) bezogen. Hierbei findet eine Konzentration auf die Entwicklung des systemischen Denkens in der ersten Dimension ‚Systemorganisation und -verhalten' statt. Da die Systemkompetenz, wie bereits aufgezeigt, kein isolierbares und mit einem Wert zu kennzeichnendes Konstrukt darstellt, kann in der vorliegenden Studie der Schwerpunkt auf den Bereich ‚Systemorganisation und -verhalten' gelegt werden.

2.1.4 Förderung der Systemkompetenz

In zahlreichen Studien (u. a. BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008; BROCKMÜLLER 2019) konnte deutlich gemacht werden, dass systemisches Denken gefördert werden kann. Jedoch konnten auch Schwierigkeiten bei der Entwicklung bestimmter spezifischer Fähigkeiten des systemischen Denkens aufgezeigt werden. So konnten Probleme beim Erlernen von Systemen mit zeitverzögerten Reaktionen, mit Rückkoplungen (BOOTH SWEENEY, STERMAN 2000, S. 278; STERMAN 2001, S. 11; KASPERIDUS et al. 2006, S. 17), mit dynamischen Systemen (BOOTH SWEENEY, STERMAN 2000, S. 278), mit Emergenzphänomenen (PENNER 2000, S. 792) und mit Bestands- und Flussmodellen (BOOTH SWEENEY, STERMAN 2000, S. 278; STERMAN 2001, S. 11; KASPERIDUS et al. 2006, S. 17) nachgewiesen werden. Da die Studien zur Förderung des systemischen Denkens eine große Spannbreite sowohl hinsichtlich der Methodik als auch der Foschungsausrichtung besitzen, soll im Folgenden ein kurzer, ausgewählter Überblick über den aktuellen Forschungsstand gegeben werden.

Die Förderung von systemischem Denken wurde sowohl bei Grundschülern (SOMMER 2005; BERTSCHY 2007; EVAGOROU et al. 2009;), Schülern der Sekundarstufe I (BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008; RIEß et al. 2013; BRÄUTIGAM 2014; FAVIER, VAN DER SCHEE 2014; HMELO-SILVER et al. 2017), Schülern der Sekundarstufe II (OSSIMITZ 2000; MAIERHOFER 2001; BELL 2004; HLAWATSCH et al. 2005; BROCKMÜLLER 2019) als auch bei Studierenden (KAPMEIER 2004; SCHULER et al. 2018) untersucht. In den Studien wurden dafür Unterrichtsgegenstände aus verschiedenen Fächern, wie z. B. Geographie (u. a. BROCKMÜLLER 2019), Biologie (u. a. BRÄUTIGAM 2014), Physik (u. a. SCHECKER et al. 1999) und Mathematik (u. a. OSSIMITZ 2000) oder aus dem Bereich der Nachhaltigkeit (u. a. SCHULER et al. 2018), herangezogen.

In einer Metastudie zeigen HOPPER und STAVE (2008) auf, dass die Förderung von systemischem Denken bereits um 1980 erstmals erforscht wurde. Bei der Entwicklung verschiedener Aufgabentypen zum Erfassen des systemischen Denkens ist vor allem die Studie von BOOTH SWEENEY und STERMAN (2000) zu nennen, auf die sich in den folgenden Jahren zahlreiche andere Studien (u. a. KAPMEIER 2004; PALA, VENNIX 2005; KASPERIDUS et al. 2006) beziehen.

Nachdem BOOTH SWEENEY und STERMAN (2000, S. 278) bei Studierenden in den USA

ein schwach ausgeprägtes systemisches Denken festgestellt hatten, bestätigten KASPERIDUS et al. (2006, S. 17) diese Ergebnisse durch Untersuchungen an Studierenden aus Deutschland.
Zahlreiche Interventionsstudien untersuchten die Entwicklung systemischen Denkens mittels Computersoftware. KLIEME und MAICHLE (1994) konnten nachweisen, dass sich das systemische Denken von Schülern in der 9. und 10. Klasse anhand einer Simulationssoftware zur Thematik ‚Ökosystem Wald', welche im Durchschnitt über 16 Unterrichtstunden eingesetzt wurde, steigern lässt. MAIERHOFER (2001) untersuchte in einer fünfstündigen Interventionsstudie, inwiefern die Arbeit mit einem Simulationsprogamm zum Thema ‚Ökosystem See' bei Schülern der Jahrgangsstufe 12 (n = 62) systemisches Denken fördert. Dabei zeigte sich in einer quantitativen (Fragebögen) und qualitativen (Interviews) Auswertung, dass sich verschiedene Fähigkeiten, wie das Verstehen von vernetzten Strukturen, das Erstellen von Wirkungsdiagrammen oder das Erkennen von sinnvollen Lenkungseingriffen in ein System, steigern lassen. Demgegenüber konnte die Bewertung von Systemverhalten bei komplexen Strukturen nicht gesteigert werden (MAIERHOFER 2001, S. 249f.). EVAGOROU et al. (2009) überprüften bei Grundschülern (n = 13), inwiefern sich systemisches Denken zum Thema ‚Ökosystem Moor' durch eine fünfstündige interaktive Simulation steigern lässt. Eine Entwicklung des systemischen Denkens durch eine interaktive Simulation konnte in verschiedenen Teilbereichen, z. B. der Identifizierung von Elementen eines Systems (EVAGOROU et al. 2009, S. 664), schon bei Grundschülern nachgewiesen werden. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Schüler Probleme haben, in Rückkoppellungen zu denken (EVAGOROU et al. 2009, S. 671). Gestützt werden diese Ergebnisse durch die Studie von SOMMER (2005), die bei Grundschülern (n = 363) zur Thematik ‚Weißstorch' eine Entwicklung des systemischen Denkens durch ein von einem Computerspiel gestütztem Treatment nachweisen konnte. Dabei zeigte sich auch, dass die Grundschüler bei Relationen zwischen drei Elementen Probleme hatten und Relationen zwischen vier Elementen kaum gelöst werden konnten (SOMMER 2005, S. 244f.). Eine weitere computergestützte Intervention führten SCHECKER et al. (1999) zur systemdynamischen Modellierung im Physikunterricht bei Leistungskursschülern durch. Dabei zeigte sich, dass systemdynamisches Modellieren, im Vergleich zu konventionellem Unterricht, zu keinem besseren Systemverständnis führt (SCHECKER et al. 1999, S. 17f.). In einer großangelegten Interventionsstudie (n = 424) untersuchten RIEß und MISCHO (2010), inwieweit sich systemisches Denken durch verschiedene Unterrichtsmethoden fördern lässt. In der Biologie wurden dafür zur Thematik ‚Ökosystem Wald' drei Vergleichgruppen und eine Kontrollgruppe, bestehend aus der Jahrgangsstufe 6, gebildet. Während in der ersten Vergleichsgruppe ein Computersimulationsspiel zum Thema ‚Ökosystem Wald' eingesetzt wurde, erhielt die zweite Vergleichsgruppe eine Unterrichtseinheit zum systemischen Denken. Die

dritte Treatmentgruppe bekam eine Kombination aus den beiden anderen Versuchsgruppen. In der Kontrollgruppe hingegen wurde klassischer Unterricht nach dem Bildungsplan durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten auf, dass lediglich die dritte Vergleichsgruppe einen signifikanten Anstieg systemischen Denkens im Posttest verzeichnen konnte.

FAVIER und VAN DER SCHEE (2014, S. 225) verglichen in ihrer Intervention einen mit GIS unterstützten Unterricht mit konventionellem Unterricht. Bei den 14–15-jährigen Schülern aus den Niederlanden (n = 287) zeigte sich nach einer dreistündigen Intervention (FAVIER, VAN DER SCHEE 2014, S. 229), dass die Schüler, die das GIS unterstüzte Treatment erhalten hatten, signifikant bessere Ergebnisse erzielten als die Vergleichsgruppe (FAVIER, VAN DER SCHEE 2014, S. 232). In einer weiteren Interventionsstudie untersuchte BROCKMÜLLER (2019) den unterschiedlichen Einfluss von analogen und digitalen Modellen auf die Entwicklung der Systemkompetenz von Schülern der Klassen 10 bis 12 (n = 203) am Beispiel des Themas ‚Bodenerosion'. Hier wurde mit den Jahrgangsstufen 10–12 (BROCKMÜLLER 2019, S. 106) ein ähnlicher Altersdurchschnitt wie in der vorliegenden Studie untersucht. In der Studie wurde zwischen den Interventionsgruppen ‚konkrete Modelle', ‚digitale Modelle' und einer ‚Kombination aus konkreten und digitalen Modellen' unterschieden. Da sich BROCKMÜLLER (2019, S. 24) am Freiburger Kompetenzstrukturmodell zum systemischen Denken orientierte, müssen die Ergebnisse dieser Arbeit, die sich auf die Systemorganisation und das Systemverhalten des empirisch validierten Kompetenzstruktur- und -stufenmodells zur Systemkompetenz im Geographieunterricht (MEHREN et al. 2016, S. 159) beziehen, mit der von ihr untersuchten Dimension 2 verglichen werden (siehe Kapitel 2.1.3, Tabelle 8). In der Studie zeigte die Gruppe, die mit einer Kombination von digitalen und analogen Modellen arbeitete, signifikant höhere Mittelwerte als eine Vergleichsgruppe, welche die Intervention nur mit digitalen Modellen durchlaufen hatte (BROCKMÜLLER 2019, S. 137).

Ein weiterer Schwerpunkt betrifft die Untersuchung von systemischen Darstellungsmitteln, die eingesetzt wurden, um systemisches Denken zu fördern. Hier muss zunächst die Arbeit von OSSIMITZ (2000) genannt werden, der aufzeigt, dass systemisches Denken durch systemische Darstellungsformen gefördert werden kann und dass die adäquate Darstellung von Systemen sich bereits durch kurze Interventionen verbessern lässt (OSSIMITZ 2000, S. 171). Diese Ergebnisse werden von HMELO-SILVER et al. (2017) gestützt, die in ihrer Inteventionsstudie verschiedene Ökosysteme in der Jahrgangsstufe 7 (n = 112) untersuchten (HMELO-SILVER et al. 2017, S. 8). In der Experimentalgruppe, die mit systemischen Darstellungsmitteln unterrichtet wurde, zeigte sich eine stärkere Entwicklung des systemischen Denkens als in der konventionell unterrichteten Vergleichsgruppe (HMELO-SILVER et al. 2017, S. 11f.). In Anlehnung an OSSIMITZ (2000) führte BOLLMANN-ZUBERBÜHLER (2008) eine Interventionsstudie zur Entwicklung des systemischen Denkens in der

8. Klasse (n = 44) durch. In der elfstündigen Unterrichtseinheit wurden an verschiedenen Inhalten zentrale Prinzipien des systemischen Denkens anhand von systemischen Darstellungsmitteln aufgezeigt. Im Pre-, Posttest-Verfahren konnte aufgezeigt werden, dass die Intervention Wirkung zeigte und sich die Prognosefähigkeit und die Darstellungskompetenz im Posttest zwischen der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe, die keine Intervention durchlaufen hatte, signifikant unterschieden. BOLLMANN-ZUBERBÜHLER (2008, S. 115) bestätigte damit die Ergebnisse von Ossimitz und zeigte auf, dass systemische Darstellungsmittel auch schon in der Sekundarstufe I sinnvoll eingesetzt werden können. In der Physik untersuchte BELL (2004) in einer qualitativen Untersuchung (n = 16), inwiefern Schülern das eigenständige Erstellen von systemischen Darstellungsmitteln als Hilfe beim Erlernen von komplexen Systemen nutzen können. In der Studie zeigte sich, dass das eigenständige Zeichnen systemischer Darstellungsmittel beim Erlernen unbekannter komplexer Beispielsysteme hilfreich sein kann (BELL 2004, S. 200f.). Zudem wurde deutlich, dass das eigenständige Erstellen von Skizzen hilfreich für das langfristige Lernen sein kann, da die eigenen Skizzen noch nach fünf Monaten von den Schülern aus der Erinnerung rekonstruiert werden konnten (BELL 2004, S. 201).

Im Rahmen des Projektes ‚SysThema' wurde ein Messinstrument entwickelt, um in den Fächern Biologie und Geographie das systemische Denken bei Lehramtsstudierenden zu erheben (FANTA et al. 2017, S. 241; ROSENKRÄNZER et al. 2017, S. 1932). Die daran anschließende Interventionstudie erhob in einem Pre-, Post-, Follow-up-Design das systemische Denken von Lehramtsstudierenden. Die Intervention bestand aus einem Dreigruppenplan mit einer zusätzlichen Kontrollgruppe. Treatmentgruppe 1 erlernte in einem ‚fachwissenschaftlichen Kurs' an verschiedenen Beispielen Systeme, bestehend aus Elementen und ihren Beziehungen, zu modellieren. In einem weiteren ‚didaktischen Kurs' (Treatmentgruppe 2) wurde aufgezeigt, mit welchen Methoden systemisches Denken in der Schule vermittelt und gelernt werden kann. In einem dritten ‚Mix Kurs' (Treatmentgruppe 3) wurden sowohl zentrale Komponenten aus dem ‚fachwissenschaftlichen Kurs' als auch aus dem ‚didaktischen Kurs' vermittelt (FANTA et al. 2019, S. 8-9). Die Ergebnisse zeigten im Post- und Follow-up-Test im Vergleich zur Kontrollgruppe für alle drei Kurse einen signifikanten Anstieg, sowohl für das systemische Denken als auch für das didaktische Wissen zur Vermittlung systemischen Denkens auf. Zwischen den drei Treatmengruppen konnte dabei kein signifikanter Unterschied zum systemischen Denken festgestellt werden (FANTA et al. 2019, S. 12f.). Jedoch schnitt der ‚fachwissenschaftliche Kurs', bei der Vermittlung des fachdidaktischen Wissen zur Förderung von systemischen Denken, im Vergleich zum ‚didaktischen Kurs', signifikant schlechter ab (SCHULER et al. 2018, S. 201).

Die dargestellten, für den Forschungsbereich ‚Systemisches Denken' bedeutsamen, Interventionsstudien machen deutlich, dass bisherige Schwerpunkte auf

computergestützte Treatments und Interventionen mit systemischen Darstellungsmitteln gelegt wurden. Da im Bereich des systemischen Denkens bisher keine Interventionsstudie mit den Treatmentgruppen ‚konkrete Modelle' und ‚graphische Modelle' bekannt ist, soll auf diesen Aspekt in der vorliegenden Arbeit ein Schwerpunkt gelegt werden (Kapitel 3). Bei der Durchsicht der Studien stellte sich zudem heraus, dass einige Studien ohne Kontrollgruppen (u. a. SCHECKER 1993; MAIERHOFER 2001; KAPMEIER 2004; BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; PALA, VENNIX 2005; KASPERIDUS et al. 2006; FAVIER, VAN DER SCHEE 2014; HMELO-SILVER et al. 2017) oder mit nur kleinen Stichprobengrößen (u. a. SCHECKER et al. 1999; MAIERHOFER 2001; BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2005; BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008) gearbeitet hatten. Dieser Problematik soll in der vorliegenden Studie durch eine Kontrollgruppe und einer, im Rahmen der Arbeit möglichen, großen Stichprobenzahl entgegengewirkt werden.
Neben den bisher dargelegten Ergebnissen konnten zudem in zahlreichen Studien Korrelationen zwischen systemischem Denken und anderen Variablen gefunden werden.
KASPERIDUS et al. (2006, S. 10) stellen in ihrer Studie einen signifikanten Unterschied zugunsten der männlichen Teilnehmer im Vergleich mit den weiblichen Teilnehmerinnen (10 Klasse) fest. Auch BOOTH SWEENEY und STERMAN (2000, S. 278) weisen in ihrer Studie einen schwach signifikanten Effekt zugunsten der männlichen Teilnehmer (Studierende) nach. COX et al. (2019, S. 49f.) stellen ebenfalls heraus, dass in der 12. Jahrgangststufe die männlichen Teilnehmer schwach signifikant besser als die weiblichen Teilnehmer abschneiden, während dies in der 11. Jahrgangsstufe noch umgekehrt zu verzeichnen war. In der Studie von BRÄUTIGAM (2014) liegen die weiblichen Teilnehmer (6 Klasse) signifikant vor den männlichen Teilnehmern. Es kann daher festgehalten werden, dass bisherige Studien bei der Korrelation zwischen Geschlecht und systemischem Denken ein insgesamt uneinheitliches Bild aufzeigen.
Erwartungsgemäß konnten zudem in einigen Studien (BRÄUTIGAM 2014, S. 127; BROCKMÜLLER 2019, S. 93f.) negative Korrelationen zwischen systemischem Denken und Schulnoten vorgefunden werden. Die Korrelationen sind negativ, da niedrige Schulnoten einer besseren Leistung entsprechen und diese daher negativ mit einem höheren Wert des systemischen Denkens korrelieren. Die Ergebnisse machen deutlich, dass systemisches Denken in engem Zusammenhang mit der schulischen Leistung steht. Da ein enger Zusammenhang zwischen Schulnoten und Intelligenz besteht (BRÜNKEN et al. 2019, S. 176f.) decken sich die Ergebnisse mit Erkenntnissen von BEN-ZVI ASSARAF und ORION (2004, S. 554), die einen Einfluss der kognitiven Fähigkeiten auf systemisches Denken feststellen konnten.
Als weiterer möglicher Einflussfaktor muss das lernpsychologische Konzept des ‚Lernstiles' genannt werden, welches nach HATTIE (2014, S. 231) einen Einfluss von d = 0.41 auf den Lernerfolg der Schüler besitzt (auf die Kritik an der Metastudie von Hattie soll hier nicht tiefergehend eingegangen werden, siehe dazu u. a.

Snook et al. 2009; Lind 2013). Unter dem personenbezogenen Faktor ‚Lernstil' werden unterschiedliche Präferenzen für bestimmte Lernwege von Menschen beschrieben (Hattie 2014, S. 231). Es ist nicht verwunderlich, dass verschiedene Konzepte zu ‚Lernstilen' entwickelt wurden, die wiederum unterschiedliche Testinstrumente hervorbrachten (vgl. Ferrell 1983, S. 33). In Deutschland setzte sich dabei das von Kolb und Kolb (2005) entwickelte und empirisch überprüfte Lernstilmodell durch, welches die vier Lernstile ‚Akkomodierer' (bevorzugt aktives Experimentieren und konkrete Erfahrungen), ‚Divergierer' (bevorzugt konkrete Erfahrungen und reflektiertes Beobachten), ‚Assimilierer' (bevorzugt reflektiertes Beobachten und abstrakte Begriffsbildung), sowie ‚Konvergierer' (bevorzugt abstrakte Begriffsbildung und aktives Experimentieren) beschreibt (Haller, Nowack 2003, S. 10f.). Brockmüller (2019, S. 43) äußert zu Recht, dass „Eigenschaften, die den Kolb'schen Lernstilen zugeschrieben werden, […] sich mit Systemdenken positiv in Einklang bringen lassen, so betrachten Divergierer Situationen gern multiperspektivisch, Konvergierer überprüfen gern Theorien, Assimilierer erzeugen gern theoretische Modelle." Auch wenn ein Einfluss des Faktors ‚Lernstil' auf die hier diskutierte zweite Fragestellung theoretisch angenommen werden kann, wurde auf Basis methodischer Überlegungen in der vorliegenden Arbeit bewusst auf eine Erhebung des ‚Lernstils' bei den Schülern verzichtet. So stellt Ferrell (1983, S. 38) in einer empirischen Prüfung der Fragebögen zum ‚Lernstil' heraus, dass u. a. der von Kolb und Kolb (2005) entwickelte Fragebogen in den Ergebnissen keine empirische Übereinstimmung mit den konzeptionellen Grundlagen aufweist und somit die Validität nicht gegeben ist. Dies wird u. a. auch von Haller und Nowack (2003, S. 12) aufgegriffen, welche das Testinstrument ins Deutsche übersetzten und kritisch eine fehlende Validität und Reliabilität anmerkten, so dass ein Einsatz des Fragebogens von Kolb und Kolb (2005) in der vorliegenden Studie als nicht zielführend angesehen wurde.

Ben-Zvi Assaraf und Orion (2005, S. 555) fanden zudem heraus, dass der Einbezug aktiven Handelns bei der Wissensaneignung einen Einfluss auf den Zugewinn des systemischen Denkens besitzt. Ossimitz (2000, S. 47) stellt fest, dass der entscheidende Faktor hierfür in der Motivation der Schüler, mit der diese die systemische Modellbildung betreiben, zu suchen ist.

Ableitend aus den Ergebnissen werden die Modelle in der vorliegenden Interventionsstudie so eingesetzt, dass alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer im gleichen Maße aktiv am Lerngeschehen teilnehmen müssen (siehe Kapitel 4.3). Zudem werden mit dem ‚Fragebogen zur aktuellen Motivation' (FAM) und den Variablen ‚Schulnote' und ‚Geschlecht' mögliche Störvariablen erhoben, die in Korrelation zu den Ergebnissen des Fragebogens und der Concept Map stehen könnten. Auf die Erhebung des ‚Lernstils' wird hingegen aufgrund methodischer Überlegungen zu den Messinstrumenten verzichtet.

2.2 Modelle

BOSSEL (1994, S. 20; 2004, S. 50f.) stellt in seinen Werken heraus, dass ‚Modelle' eine gute Möglichkeit bieten, komplexe Systeme mit dynamischen Entwicklungen abzubilden, Aussagen über zukünftige Entwicklungen des Systems zu treffen und das eigene Verhalten adäquat auf das System anzupassen. Die Vorstellungen darüber, was ein Modell ist, gehen jedoch vielfach auseinander. Im Folgenden soll daher zunächst ein Überblick darüber gegeben werden, wie und wo der Terminus ‚Modell' Verwendung findet und was darunter jeweils verstanden wird. Darauf aufbauend wird der Einsatz von Modellen in der Schule und im Speziellen die Verwendung von Modellen im Unterrichtsfach Geographie dargelegt. Ein besonderer Schwerpunkt wird abschließend, aufgrund des Schwerpunktes der Intervention, auf die Betrachtung des Einsatzes von graphischen und konkreten Modellen in der Geographiedidaktik gelegt.

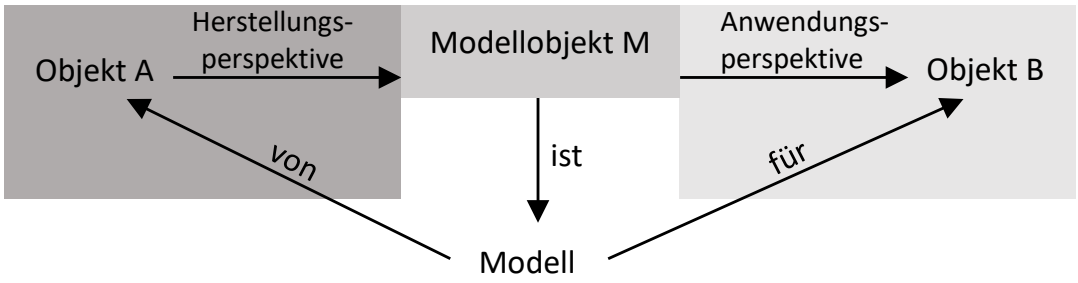
2.2.1 Modelle – Eine Begriffsklärung

Modelleisenbahn, Modellfrisur, Züricher Modell oder Fotomodell sind Begriffsbeispiele, die in der Alltagswelt vielfach benutzt werden (GRÜNKORN 2014, S. 22). Auch in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen hat der Modellbegriff einen festen Platz inne. In der Chemie wird z. B. vom Kugel-Stab-Modell, in der Physik vom Atommodell und in den Ingenieurwissenschaften vom technischen Modell gesprochen. Für die Geographie konnte WIRTH (1979, S. 129f.) schon früh nachweisen, dass es zahlreiche unterschiedliche Vorstellungen darüber gibt, was unter einem Modell verstanden werden kann. Da der Begriff Modell so vielfältig gebraucht wird und scheinbar keine definitorischen Grenzen erkennbar sind, wird er auch als ‚Wort-Joker' (JANICH 2002, S. 15) bezeichnet. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Verwendung und der geringen Gemeinsamkeiten ist es nicht verwunderlich, dass die Frage, ‚was ein Modell' ist, unscharf und scheinbar nur schwer zu beantworten ist (MAHR 2003, S. 59). Trotz dieser Problematik soll im Folgenden eine Begriffsdefinition vorgenommen werden, um damit zugleich klarzustellen, was in der vorliegenden Arbeit darunter verstanden wird.
Eine Ursache für die vielfältige und uneinheitliche Verwendung des Begriffs ‚Modell' ist die lange Historie dieses Wortes (vgl. GRÜNKORN 2014, S. 22). Es wurde erstmals im 16 Jh. unter dem lateinischen Wort ‚modellus' für ‚Maßstab' verwendet (WOLTERS 2004, S. 911). Der Begriff entstammt ursprünglich der Architektur und es entwickelten sich schnell weitere verwandte Wörter wie ‚Modul' (Einheit für rechteckige Grundrisse), ‚Model' (Form) und ‚modello' (Entwurf). Ausführliche Beschreibungen der Entwicklungsgeschichte des Begriffes ‚Modell' liefern u. a. MÜLLER (1983, S. 23f.), MAHR (2003, S. 60-62; 2008, S. 189-191) und GRÜNKORN (2014, S. 22).

STACHOWIAK (1973, S. 131-133) legt zur Eingrenzung in seinem Grundlagenwerk ‚Allgemeine Modelltheorie' drei Hauptmerkmale eines Modells fest. Diese Kategorien werden auch in der Geographie oftmals aufgegriffen (siehe dazu Kapitel 2.2.3).

1. „Ein Modell ist stets ein Abbild von einem natürlichen Original oder einem künstlichen Original, welches selber wieder ein Modell sein kann.
2. Modelle bilden nicht alle Attribute eines Originales ab, sondern nur die Attribute, die für den Modellersteller und/oder Modellnutzer von Bedeutung sind.
3. Ein Modell ist seinem Original nicht per se zugeordnet. Es erfüllt seine ihm zugeschriebene Ersatzfunktion nur für a) bestimmte Subjekte, b) innerhalb einer bestimmten Zeitspanne und c) unter Einschränkungen der jeweiligen vorhandenen gedanklichen oder tatsächlichen Vorgänge."

An dieser Stelle sei angemerkt, dass bei einer, sowohl euklidisch-geometrischen als auch maßtechnisch exakten Abbildung vom Original nicht von einem Modell, sondern von einer Kopie gesprochen wird (STACHOWIAK 1973, S. 153).
Neben dem Werk von STACHOWIAK (1973) muss der Versuch von TARSKI (1935) genannt werden, der aus mathematischer Sicht das Wort ‚Modell' zu charakterisieren versuchte. Sowohl die Herangehensweise von STACHOWIAK (1973) als auch die von TARSKI (1935) werden von MAHR (2008) als zu spezifisch und andere Modelbegriffe ausgrenzend empfunden (MAHR 2008, S. 192). Als Lösung, bei der sich MAHR (2008) auf STACHOWIAK (1973) und TARSKI (1935) bezieht, schlägt er das konzeptuelle ‚Modell des Modellseins' (Abbildung 2) vor, wobei jedes Modell in einem einzelnen Fall über sein Modellsein hinterfragt wird (MAHR 2008, S. 199). Deshalb ist es bei der Beurteilung, ob es sich um ein Modell handelt, entscheidend, dass ein bestimmtes Modellobjekt (M) aus einem anderen Objekt (A) als Modell entworfen oder ausgewählt wird und diesem somit der Modellgedanke zugeschrieben wird (Modell μ). Gleichzeitig wird aus der Anwendungsperspektive das Modellobjekt (M) für ein Modell eines bestimmten Objektes (B) eingesetzt und ihm somit ebenfalls der Modellgedanke zugeschrieben (Modell μ). Hierbei ist entscheidend, dass Objekt A und B nicht identisch sein müssen. Das Modellobjekt ist also aus der Herstellungsperspektive ein Modell ‚von etwas' und gleichzeitig aus der Anwendungsperspektive ein Modell ‚für etwas'. Diese beiden Aspekte müssen in der Beurteilungsperspektive berücksichtigt werden (MAHR 2008, S. 203-206).



Legende: Unterschiedliche Perspektiven auf:

Herstellung,	Objekt,	Anwendung.

Abb. 2: Modell des Modellseins (eigene Darstellung nach UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010, S. 45)

Das ‚Modell des Modellseins' beruft sich damit zum Teil auf STACHOWIAK (1973, S. 133), der in seinem dritten Kriterium erklärt, dass Modelle immer von einem Subjekt zu einem Modell erklärt werden und eine bestimmte Idee des Subjektes transportieren. Dies ist eine Gemeinsamkeit, die von zahlreichen Autoren aufgegriffen wird (u. a. MAHR 2008; GRÜNKORN 2014). ‚Das Modell des Modellseins' wird u. a. von UPMEIER ZU BELZEN und KRÜGER (2010, S. 43-45) verwendet, um die dargelegte Strukturierung als Orientierung zur Entwicklung der Modellkompetenz heranzuziehen. Die Problematik des sich aus dem ‚Modell des Modellseins' heraus ergebenden, weit umfassenden Modellbegriffes, wird auch in neueren Definitionsversuchen bezüglich des Begriffs ‚Modell' deutlich: „Modelle sind zweckbestimmt, können aber nicht mit pauschal gültigen Merkmalen definiert werden. Grund hierfür ist, dass diese gleichzeitig Modell von und für etwas sein können" (PETER 2018, S. 151).
Für die folgende Verwendung des Begriffes ‚Modell' bedeutet dies, dass die Modellobjekte ‚von jemandem' als Modell entwickelt oder ausgewählt wurden und bei dem Einsatz als Modell ‚für etwas' verstanden werden. Da in der vorliegenden Arbeit beide Modelle beschrieben werden (siehe dazu Kapitel 4.2.1 und 4.2.2) kann der Begriff ‚Modell' problemlos verwendet und dem ‚Modell des Modellseins' nach MAHR (2008), bzw. UPMEIER ZU BELZEN und KRÜGER (2010; siehe Abbildung 2) gefolgt werden.

2.2.2 Kategorisierung von Modellen

Basierend auf seinen drei Kategorien entwickelte STACHOWIAK (1973) eine Kategorisierung in vier Modellarten, die von zahlreichen anderen Autoren, auch im Fach Geographie, übernommen wurden (u. a. WIRTH 1979; WIKTORIN 2013; WIKTORIN 2014).

Graphische Modelle
Unter ‚graphischen Modellen' werden „zweidimensionale anschaulich-räumliche Originalabbildungen" (STACHOWIAK 1973, S. 159) verstanden. Stachowiak (STACHOWIAK 1973, S. 168) unterteilt die graphischen Modelle zudem in Bildmodelle und Darstellungsmodelle. Graphische Modelle können z. B. Fotographien, Gemälde, Luftbilder, Landkarten, Pläne, Profile und Diagramme sein (WIRTH 1979, S. 144).

Physiko-technische Modelle
‚Physiko-technische Modelle' sind im Vergleich zu graphischen Modellen überwiegend dreidimensionale technische Modelle. Diese stellen raumzeitliche und materiell-energetische Repräsentationen beliebiger Natur dar (STACHOWIAK 1973, S. 174). Eine Unterteilung kann hier in die Untergruppen der ‚Mechanischen Modelle' und ‚Elektrotechnischen Modelle' vorgenommen werden (STACHOWIAK 1973, S. 190). Beispiele für Physiko-technische Modelle sind z. B. Modelle von Gebäuden, das Modell einer Skulptur, Modelleisenbahnen oder der Globus (WIRTH 1979, S. 146).

Biotechnische, psychotechnische und soziotechnische Modelle
Diese Modelle besitzen ihre Originale oftmals im organisch-organismischen, psychischen und sozialen Bereich. So werden beispielsweise organismische Teilsysteme von größeren organismischen Teilsystemen abgebildet (STACHOWIAK 1973, S. 190). Beispiele sind hier aber auch z. B. Studien, die mit ihrer Stichprobenanzahl eine größere Grundgesamtheit abbilden, oder das exemplarische Ausprobieren neuer Arzneimittel im Tierversuch (WIRTH 1979, S. 146).

Semantische Modelle
Semantische Modelle lassen sich in interne und externe semantische Modelle unterteilen (STACHOWIAK 1973, S. 196). Während die internen semantischen Modelle Perzeption und Denken umfassen (WIRTH 1979, S. 147), werden die expliziten semantischen Modelle durch Zeichen oder Zeichenkombinationen dargestellt (STACHOWIAK 1973, S. 196). Sie dienen der intersubjektiven Kommunikation und lassen sich beispielsweise in Sprache, Schrift und mathematischen Formeln wiederfinden, wenn diese keine graphischen Darstellungen beinhalten (WIRTH 1979, S. 147). Hier wird bereits deutlich, dass der Übergang von explizit-semantischen Modellen hin zu graphischen Modellen fließend ist (STACHOWIAK 1973, S. 196). STACHOWIAK (1973, S. 196f.; siehe Abbbildung 3) unterteilt die expliziten und internen semantischen Modelle in weitere Unterkategorien. Von diesen Unterkategorien sei nur die Kategorie der theoretisch-wissenschaftlichen Modelle genannt, die von einem Protokoll über die mathematische Formel bis hin zur umfassenden Theorie reichen kann (WIRTH 1979, S. 146-148; zur Abgrenzung der Begriffe ‚Theorie' und ‚Modell' siehe WIKTORIN 2014, S. 7).

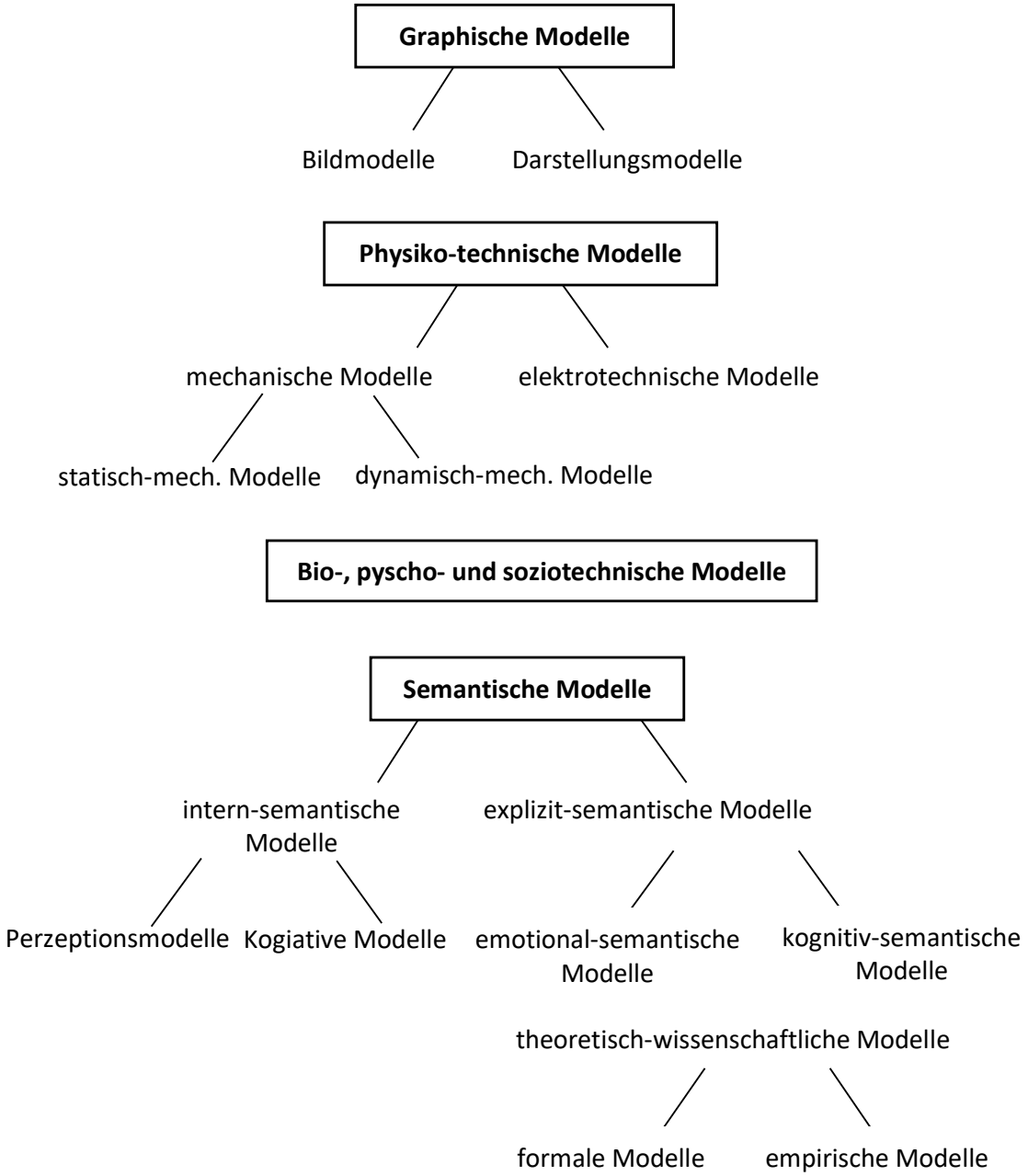


Abb. 3: Gliederung von Modellen nach Stachowiak (eigene Darstellung nach WIRTH 1979, S. 145)

Es sei zudem auf die aktuelle Debatte über Modelle als Vermittler zwischen ‚Theorie' und ‚Realität' hingewiesen (UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010, S. 45). Da die Debatte jedoch keinen entscheidenden Einfluss auf die Zielsetzung der Arbeit hat, soll an dieser Stelle darauf nicht näher eingegangen werden (zur ausführlichen Darlegung der Debatte und ihrer Positionen siehe u. a. BAILER-JONES 2002; DEVELAKI 2007; MEISERT 2008; GIERE 1999 und 2010; UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010).

2.2.3 Modelle in der Geographie

Bereits seit den 1980er Jahren setzt sich die Geographie und Geographiedidaktik mit Modellen auseinander (WIKTORIN 2014, S. 6). Hervorzuheben sind hier vor allem die Werke von WIRTH (1979) und KÖCK (1979; 1984; 1995). Während WIRTH (1979) in seinem Werk theoriegeleitet die Bedeutung von Modellen für das Fach Geographie im Allgemeinen darlegt, legitimiert KÖCK (1979; 1984; 1995) in seinen Beiträgen den Einsatz von Modellen im Unterricht (KÖCK 1979), stellt die verschiedenen Funktionen von Modellen im Unterricht dar (KÖCK 1995) und erörtert bereits erste Einsatzmöglichkeiten im Unterricht (KÖCK 1984).
In der internationalen Literatur können vor allem die Grundlagenwerke von HAGGETT und CHORLEY (1970) und MINSHULL (1975) genannt werden. HAGGET und CHORLEY (1970) stellen in ihrem Werk die gesamten theoretischen Begrifflichkeiten dar und zeigen zudem die hohe wissenschaftsmethodische Bedeutung von Modellen für das Fach Geographie auf. MINSHULL (1975) hingegen beleuchtet in seinem Werk die Notwendigkeit und die Problematiken von Modellen für das Fach Geographie.
Modelle werden in der Geographie als Vermittlungsinstanz zwischen den geographischen Beschaffenheiten der Welt und dem Lerner als Erkenntnissubjekt verstanden (KÖCK 1995, S. 256). Sowohl aufgrund der Spannbreite und der Bedeutung der Thematik als auch bezüglich der Problematik des Modellbegriffs im Allgemeinen (siehe Kapitel 2.2.1) ergeben sich für die Geographie unterschiedliche Definitionen und Klassifizierungen.
Wie bereits WIRTH (1979, S. 129) und MINSHULL (1975, S. 24f.) deutlich machen, werden auch in der Geographie verschiedene Definitionen herangezogen. Stellvertretend seien drei für diese Arbeit wichtige Definitionen dargelegt. So erklärt Wirth (WIRTH 1979, S. 131): „Ein Modell ist eine Abbildung von subjektiv-pragmatisch ausgewählten Sachverhalten zu einem vereinfachten System. Dabei bemüht sich die Auswahl der abzubildenden Sachverhalte darum, im Modell die fundamentalen und/oder die interessanten und/oder die operationalisierbaren Aspekte des jeweiligen realen Systems zu berücksichtigen.“ Diese Definition orientiert sich stark an der Ausarbeitung von STACHOWIAK (1973) und ist insgesamt sehr allgemein gehalten und wenig geographiespezifisch. Im Wörterbuch der Geographiedidaktik erklärt SCHUBERT (2013, S. 199) deutlich spezifischer: „Bei im Geographieunterricht eingesetzten Modellen handelt es sich um (fast immer) vereinfachte Rekonstruktionen von geographischer Wirklichkeit bzw. Abbilder von Theorien über Wirklichkeit. Modelle machen zentrale Aspekte verständlich und können genutzt werden, um Erklärungen zu formulieren oder Vorhersagen zu treffen.“ Bei dieser Definition wird ein didaktischer Schwerpunkt gesetzt, da Modelle als Mittel zum Erklären aufgefasst werden. In dieser Arbeit wird, wie bereits dargelegt (siehe dazu Kapitel 2.2.1) das ‚Modell des Modellseins‘ nach MAHR (2008) zugrunde gelegt.

Im Allgemeinen werden Modelle in der Geographiedidaktik unter zwei Perspektiven betrachtet. Modelle werden einerseits als ‚Medien' aufgefasst, welche geographische Inhalte durch ihre Anschaulichkeit vermitteln (vgl. SCHUBERT 2013, S. 199). Andererseits werden Modelle auch als geographische Methode der Erkenntnisgewinnung verstanden. So wurde auf Grundlage des Paradigmenwechsels, von der Lernzielorientierung hin zur Kompetenzorientierung, für alle naturwissenschaftlichen Fächer die Modellkompetenz als Teil des Kompetenzbereichs ‚Erkentnissgewinnung' in den Bildungsstandards fest verankert (vgl. KMK 2005, S. 7). Hierfür wurde ein Kompetenzmodell der Modellkompetenz (UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010) entwickelt, dass nicht nur für die Biologie (u. a. TERZER et al. 2013; GRÜNKORN et al. 2014; KOCH et al. 2015), sondern auch für die Geographie als das zentrale Kompetenzmodell zur Modellkompetenz angesehen werden kann (u. a. OTTO, MÖNTER 2013; SCHUBERT 2013; WIKTORIN 2013; WIKTORIN 2014; PETER 2018; BETTE et al. 2019). AMMONEIT et al. (2019) entwickelten zudem ein Kompetenzmodell der Modellierkompetenz, in welchem das Entwerfen, die Anwendung, die Evaluation und die Revision von Modellen enthalten ist. Da in der vorliegenden Studie ein Vergleich verschiedener Modelltypen in seiner Wirkung auf die Systemkompetenz und nicht das Ausbilden oder das Überprüfen verschiedener Modelldimensionen angestrebt wird, soll hier auf das Kompetenzmodell zur Modellkompetenz bzw. auf das Kompetenzmodell der Modellierkompetenz, nicht näher eingegangen werden (siehe hierzu UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010; KRELL et al. 2016; KRÜGER et al. 2018; AMMONEIT et al. 2019). Stattdessen werden zunächst Modelle als Teil der Medien dargelegt, um darauf aufbauend eine abschließende Klassifizierung der für diese Arbeit relevanten Modellbegriffe vorzunehmen.

2.2.3.1 Modelle als Medien

„Medien sind Träger von subjektiv ausgewählten und gespeicherten Informationen. Im unterrichtlichen Lernprozess haben sie eine Mittlerfunktion zwischen der Wirklichkeit und dem Adressaten/Lernenden" (RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 297). Modelle stellen ein Bindeglied zwischen der realen Begegnung vor Ort und dem abstrakten Vermitteln im Unterricht (KRAUTTER 201, S. 268) und somit ein zentrales Medium im Geographieunterricht dar (KRAUTTER 2015, S. 213). Medien können unter verschiedenen Schwerpunkten klassifiziert werden. Gängige Klassifikationen ergeben sich dabei nach den Kriterien ‚software' und ‚hardware', nach der ‚Komplexität' und dem ‚Technisierungsgrad', nach dem ‚Abstraktionsgrad der Darstellungsebene' oder nach dem ‚didaktischen Ort' (RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 297). Im Folgenden soll der erweiterten Klassifikation nach Fuchs gefolgt werden (KRAUTTER 2015, S. 213) (siehe Abbbildung 4).

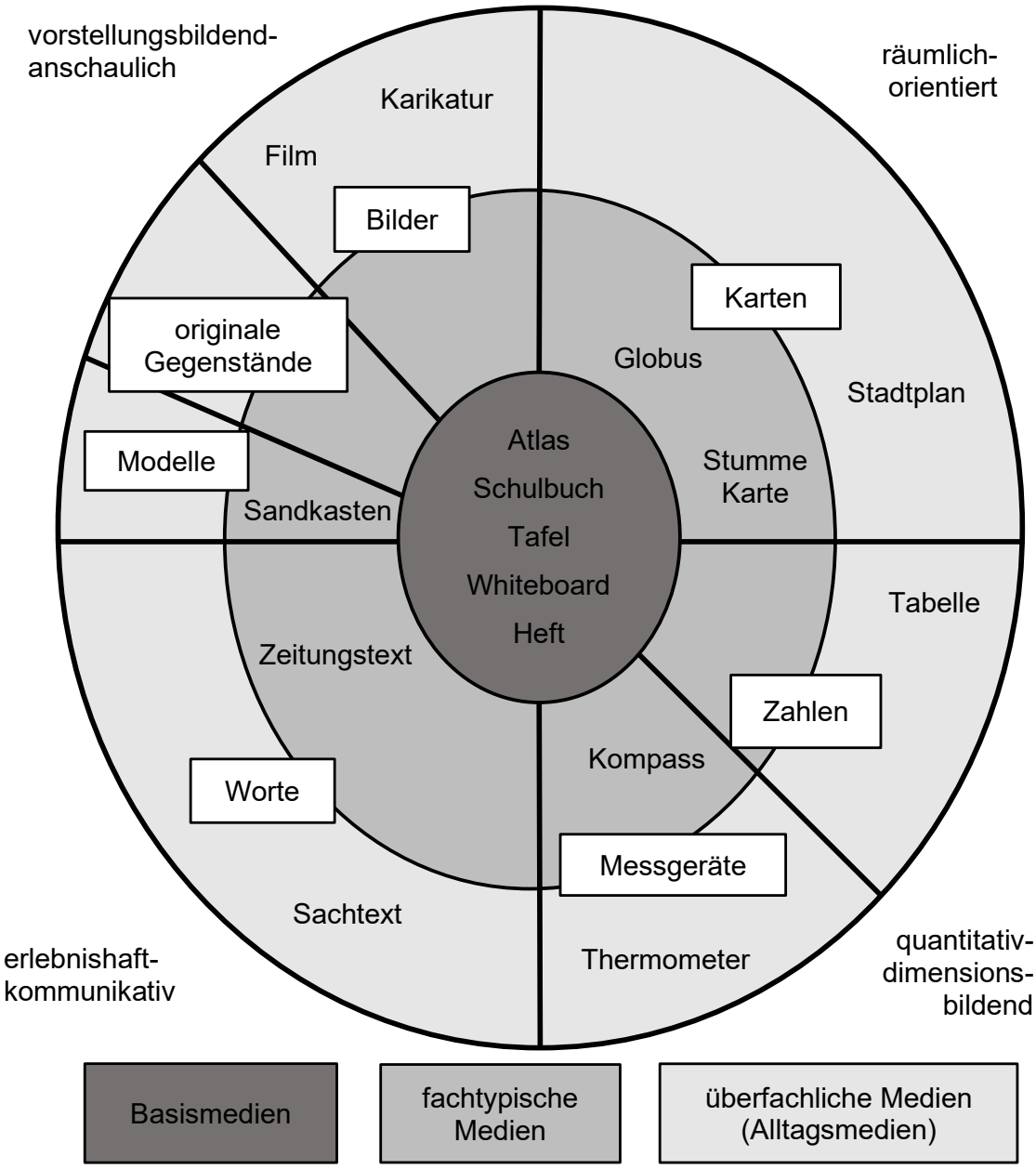


Abb. 4: Klassifikation von Medien (eigene Darstellung, gekürzt nach KRAUTTER 2015, S. 213)

Die vorliegende Klassifikation unterteilt Medien durch lernförderliche Kriterien. Das Modell wird hierbei unter dem Aspekt der ‚vorstellungsbildend-anschaulich[en]' Medien aufgelistet. Beispielhaft wird als fachtypisches Modell für den Geographieunterricht der Sandkasten beschrieben. Diese in der Geographiedidaktik häufig genutzte Klassifikation von Medien erscheint in der vorliegenden Arbeit insgesamt nicht sinnvoll, da der verwendete Modellbegriff zu eng definiert ist. So können nach dem dargelegten Modellverständnis in dieser Arbeit auch Medien wie z. B. ‚Bilder' oder ‚Karten' als Modelle verstanden werden. Beispielhaft sei hier

angemerkt, dass z. B. der Globus, welcher in der Geographiedidaktik als meist genutztes konkretes Modell beschrieben wird (THEIßEN 1986, S. 255), in der vorliegenden Klassifikation nicht dem Modellbegriff zugeordnet wird. Die Klassifikation nach Fuchs (KRAUTTER 2015, S. 213) kann für die vorliegende Arbeit daher eher als Übersicht der verschiedenen Medientypen verwendet werden. Für das weitere Vorgehen erscheint es daher sinnvoller, zu untersuchen, wie in der Geographiedidaktik Modelle ‚in sich' klassifiziert werden.

2.2.3.2 Klassifikationen von Modellen in der Geographiedidaktik

In der Geographiedidaktik werden Modelle nach verschiedenen Kriterien klassifiziert. Die folgende Tabelle 9 soll einen Überblick über die verschiedenen Klassifikationsmöglichkeiten geben.

Tab. 9: Klassifikationen von Modellen in der Geographiedidaktik (eigene Darstellung)

Nach Repräsentationsform	Nach Funktion	Nach Raumbezug	Nach Raumbezug und Funktion
- theoretische Modelle (zweidimensional), konkret-gegenständliche Modelle (dreidimensional) (KRAUTTER 2015) - graphische Modelle (zweidimensional), physiko-technische/konkrete Modelle (dreidimensional) (WIKTORIN 2013) - plastische Modelle (dreidimensional), grafische Modelle (zweidimensional) (SCHULTZE 1994) - konkret-gegenständlich (dreidimensional), - theoretische Modelle (zweidimensional) (SCHUBERT 2013)	- als Veranschaulichung, - als Mittel zur Erkenntnis-gewinnung, - als Ergebnis von Erkenntnisprozessen (SCHUBERT 2013)	- konkrete Modelle (Raumbezug), - theoretische Modelle (ohne Raumbezug) (BIRKENHAUER 1997A; BETTE et al. 2019)	- konkrete Modelle, - illustrative Modelle, - theoretische Modelle, - Aktions- oder Verhaltensmo-delle (CLAAßEN 1997)

Da in der vorliegenden Arbeit verschiedene Darstellungsformen von Modellen verglichen werden sollen, wird der Klassifikation nach dem Kriterium der ‚Repräsentationsform' gefolgt. Dabei sollen die Begrifflichkeiten ‚graphische Modelle' und ‚konkrete Modelle' von WIKTORIN (2013; 2014) übernommen werden. Sie orientiert sich bei ihrer Klassifikation an der bereits in Kapitel 2.2.1 dargelegten Unterteilung nach STACHOWIAK (1973) (WIKTORIN 2013, S. 5).

2.2.3.2.1 Graphische Modelle

Graphische Modelle stellen zumeist zweidimensionale Abbildungen eines raumzeitlichen Systems dar (WIKTORIN 2014, S. 7). Sie lassen sich weiter unterteilen in Bildmodelle und Darstellungsmodelle (siehe Abbbildung 5).

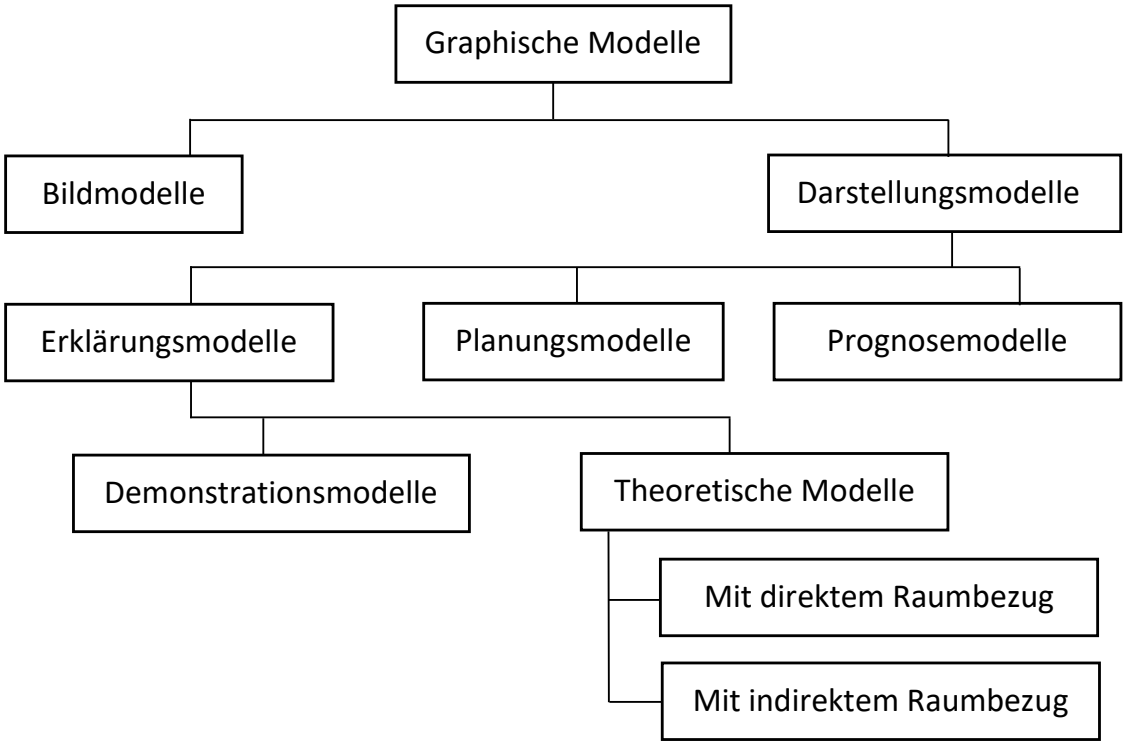


Abb. 5: Typen von graphischen Modellen (WIKTORIN 2013, S. 5)

Während unter ‚Bildmodellen' ikonische Medien verstanden werden, welche das Original ohne Code abbilden, werden unter ‚Darstellungsmodellen' codierte graphische Modelle gefasst. Dazu zählen u. a. topographische und thematische Karten sowie Diagramme. Darstellungsmodelle können nach ihrem Zweck weiter in ‚Prognosemodelle', ‚Planungsmodelle' sowie ‚Erklärungsmodelle' und diese wiederum in ‚Demonstrationsmodelle' und ‚Theoretische Modelle', unterteilt werden. Unter Demonstrationsmodellen werden Modelle wie Merkbilder, Schaubilder oder schematische Darstellungen zusammengefasst, die meist einen

didaktischen Zweck besitzen. Theoretische Modelle hingegen, die auch Forschungsmodelle genannt werden, weisen einen direkten oder indirekten Raumbezug auf und sind für die Wissenschaft von grundlegender Bedeutung. Hier können z. B. das Modell des Produktlebenszyklus, das Modell des demographischen Übergangs oder das Modell der landwirtschaftlichen Bodennutzung genannt werden (WIKTORIN 2014, S. 7).
Bei dem in der vorliegenden Arbeit genutzten graphischen Modell wird eine Codierung verwendet, so dass es den Darstellungsmodellen zugeordnet werden kann. Da es im Unterricht genutzt wird, um Beziehungen zwischen verschiedenen Elementen darzulegen, handelt es sich um ein Erklärungsmodell. Hier kann es schlussendlich der Gruppe der Demonstrationsmodelle zugeteilt werden.

2.2.3.2.2 Konkrete Modelle

Auch für konkrete Modelle in der Geographiedidaktik gibt es verschiedene Definitionen (u. a. BIRKENHAUER 1997B; KESTLER 2002; RASCHKE 2018). Im Folgenden soll der Definition von RASCHKE (2018, S. 48) gefolgt werden: „Dreidimensionale Modelle [oder auch konkrete Modelle] stellen auf Grundlage modellhafter Vorstellungen plastische oder digital konstruierte und durch die Vernachlässigung unwesentlicher Bestandteile vereinfachte Ausschnitte der komplexen Wirklichkeit dar und können nicht beobachtbare oder schwer zu beobachtende Sachverhalte sichtbar [machen].“ Klassische konkrete Modelle sind z. B. der Globus oder das Tellurium (THEIßEN 1986, S. 254). Für konkrete Modelle lässt sich in der Geographiedidaktik bis jetzt nur die Einteilung nach ACHILLES (1994), verändert nach RINSCHEDE (2007) und aufgenommen von KRAUTTER (2015), finden. Konkrete Modelle werden demnach in ‚Modelle eines Erdausschnittes‘, ‚Erdmodelle‘, ‚Modelle des Sonnensystems‘ und ‚Modelle des Weltalls‘ unterteilt (siehe Abbildung 6; RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 310). Die Modelle, welche einen Erdausschnitt darstellen, können in ihrer didaktischen Funktion noch weiter in ‚Anschauungsmodelle‘, ‚Funktionsmodelle‘, ‚Arbeitsmodelle‘, ‚Planungsmodelle‘ und ‚Versuchsmodelle‘ unterteilt werden (vgl. RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 310f.). Diese Unterteilung erfolgt nach den didaktischen Einsatzmöglichkeiten. Während am Anschauungsmodell nur begutachtet und befühlt werden kann, können im Funktionsmodell bereits Vorgänge und Funktionen in Aktion gesetzt werden. Arbeitsmodelle bestehen aus verschiedenen Teilen, die zusammengesetzt werden, während das Planungsmodell vor allem planerische Fragestellungen simuliert. Beim Versuchsmodell werden verschiedene Aspekte untersucht, wie beispielsweise das Versickern von Wasser in verschiedenen Bodenarten. Dafür werden Manipulationen vorgenommen, um zu Erkenntnissen zu gelangen. Der Begriff ‚Versuchsmodell‘ besitzt einen fließenden Übergang

zu geographischen Experimenten (RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 311). Auf den Begriff Modell-Experiment soll im Folgenden nicht eingegangen werden (siehe dazu OTTO, MÖNTER 2015, S. 5; SOMMER et al. 2017).

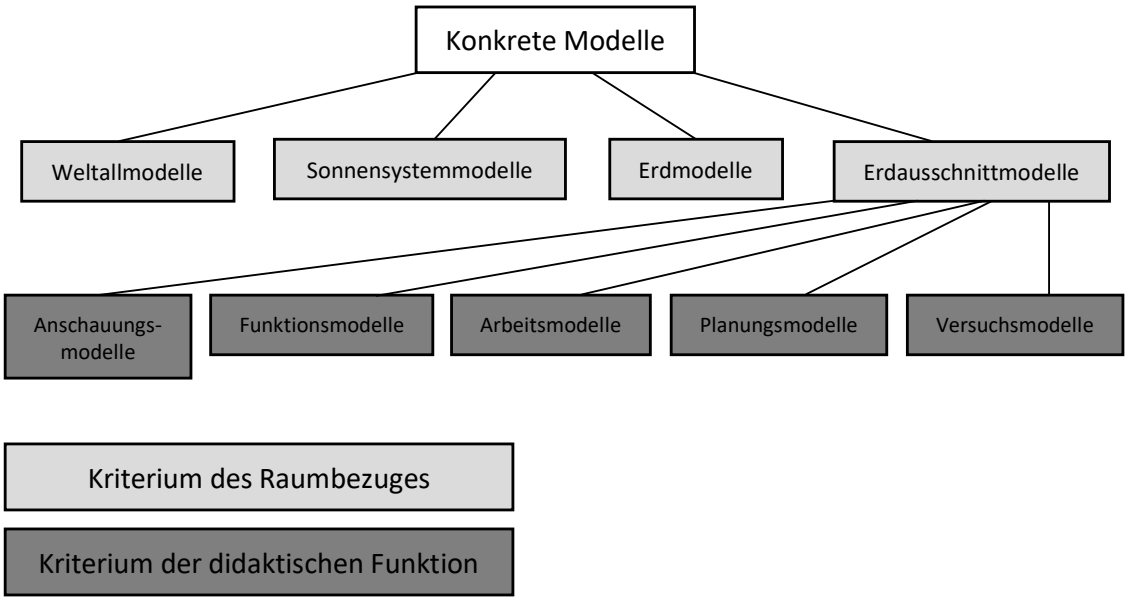


Abb. 6: Klassifikation von konkreten Modellen (eigene Darstellung nach RINSCHEDE, SIEGMUND 2020, S. 310f.)

Bei dem in der vorliegenden Arbeit genutzten konkreten Modell handelt es sich nach dieser Kategorisierung um ein Versuchsmodell, da verschiedene Aspekte manipuliert werden, um zu Ergebnissen zu gelangen.
Die lernpsychologischen Konsequenzen, die aus der Unterscheidung zwischen graphischen und konkreten Modellen resultieren, werden nicht hier, sondern in Kapitel 3 dargelegt.

2.3 Motivation

Die Untersuchung der Motivation der Schüler in der vorliegenden Studie erscheint aus mehreren Gründen sinnvoll. So zeigte bereits OSSIMITZ (2000, S. 47) als wesentliches Ergebnis auf, dass die Motivation der Schüler den entscheidenden Faktor bei der systemischen Modellbildung darstellt. Dies wird durch Ergebnisse aus der Metastudie von HATTIE (2017, S. 278) gestützt. Hier wird Motivation mit einem Einflussfaktor von d = 0.48 als bedeutsamer Einflussfaktor auf die schulische Lernleistung bestimmt. Da in der vorliegenden Interventionsstudie bei den Treatmentgruppen aufgrund der unterschiedlichen Modelle von verschiedenen Einflüssen auf die Motivation ausgegangen wird (siehe Kapitel 3), soll durch den ‚Fragebogen zur aktuellen Motivation' der mögliche Einfluss auf die Ergebnisse überprüft werden.

Unter Motivation wird im Allgemeinen „die aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzuges auf einen positiv bewerteten Zielzustand bzw. auf das Vermeiden eines negativ bewerteten Zustandes“ (RHEINBERG, VOLLMEYER 2018, S. 17) verstanden. Da Motivation keine homogene Einheit widerspiegelt, sondern eine Abstraktionsleistung darstellt, bei der aus verschiedenen Prozessen des Lebensvollzuges Teilaspekte herausgegriffen werden, kann Motivation nicht unmittelbar wahrgenommen werden (RHEINBERG, VOLLMEYER 2018, S. 15f.). Generell wird zwischen interner und externer Motivation unterschieden. Bei externer Motivation wird die Quelle der Motivation in einem außerhalb der Person liegenden Umweltanreiz gesehen, der die Richtung und die Energie eines Verhaltens bestimmt, während als interne Quellen Bedürfnisse, Kognitionen und Emotionen angesehen werden. Verhalten kann in vielen Fällen jedoch auch durch interne und externe Motivationsquellen bestimmt sein, die miteinander interagieren (HESS 2018, S. 17f.). Die intrinsische Motivation wird dabei der extrinsischen Motivation in Bezug auf den Lernerfolg als überlegen angesehen, da die Schüler sich dem Lerngegenstand ohne Druck und mit langfristiger Freude widmen (SCHLAG 2013, S. 22).
Gewichtig ist in der Motivationsforschung die Unterscheidung zwischen dem aktuellen Zustand der ‚Motiviertheit‘ und dem ‚Motiv‘, welches eine „zeitlich überdauernde Bereitschaft für bestimmte Klassen von Zuständen“ (WILD et al. 2006, S. 212) darstellt. In der vorliegenden Arbeit soll das Grundmodell der ‚Klassischen Motivationspsychologie‘ herangezogen werden, um eine theoretische Einordnung des hier eingesetzen Messinstruments vorzunehmen.

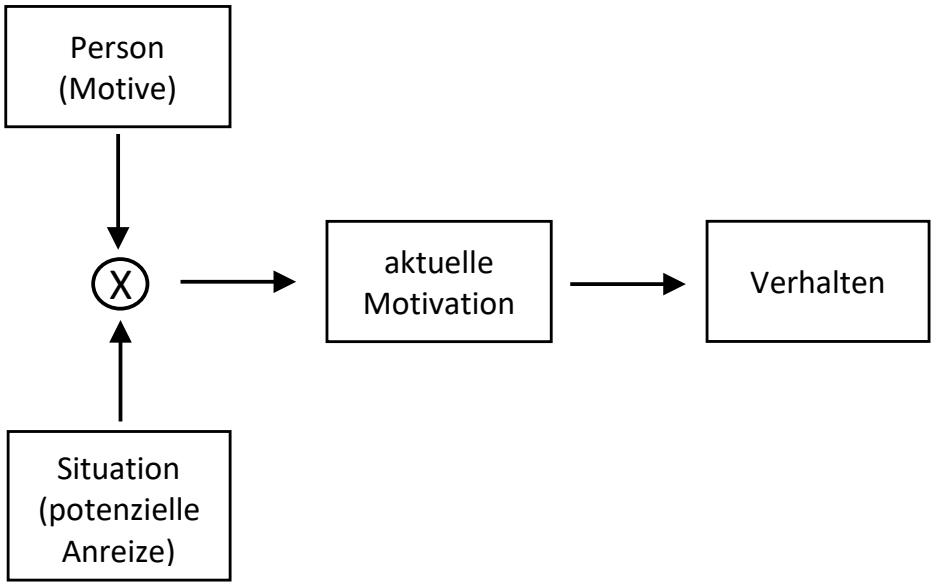


Abb. 7: Darstellung des Grundmodells der ‚klassischen‘ Motivationspsychologie (nach RHEINBERG, VOLLMEYER 2018, S. 77)

Im Grundmodell der ‚klassischen' Motivationspsychologie wird davon ausgegangen, dass Motivation aus einer Wechselbeziehung zwischen Person und Situation entsteht. Personenbezogene Aspekte wie Motive oder das Interesse sind nicht immer in der gleichen Stärke vorhanden und führen erst im Zusammenspiel mit der Situation, welche potenzielle Anreize schafft, zu einer aktuellen Motivation (siehe Abbildung 7). Entscheidend ist, dass nicht die personenbezogenen Merkmale (Motive und Interesse) unser Verhalten prägen, sondern die aus dem Zusammenspiel mit der Situation entstehende aktuelle Motivation (RHEINBERG 2004, S. 21). Zur Abbildung 7 muss angemerkt werden, dass diese den Prozess stark vereinfacht darstellt. So wird bspw. mit dem X-Zeichen ein Vermittlungsprozess zwischen Person und Situation symbolisiert. Wie viele Vermittlungsprozesse vor einem Verhalten durchlaufen werden, wird jedoch nicht dargestellt. Auch der Pfeil zwischen der ‚aktuellen Motivation' und dem ‚Verhalten' ist stark simplifiziert, da Schwierigkeiten bei der Zielverfolgung und mögliche sich daraus entwickelnde Folgeprozesse nicht dargestellt werden (RHEINBERG 2004, S. 22f.).

In der vorliegenden Studie wird der Fragebogen zur Erfassung der ‚Aktuellen Motivation' (FAM) von RHEINBERG et al. (2001) eingesetzt. Der FAM besteht dabei aus vier Faktoren (Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung), welche die aktuelle Motivation ausmachen.

Unter ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' wird der Grad der Zuversicht verstanden, mit der die vorgelegte Aufgabe erfolgreich bewältigt wird (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 285). Während die Erfolgswahrscheinlichkeit um so mehr steigt, je leichter die Aufgabe ist, sinkt gleichzeitig der Anreiz, eine Aufgabe anzugehen. Es wird daher von einer invers linearen Beziehung zwischen Erfolgswahrscheinlichkeit und Erfolgsanreiz ausgegangen. Unter ‚Misserfolgsbefürchtung' wird die subjektive Einschätzung der Betroffenheit der Probanden bezüglich der Erwartung, in einer Lernsituation schlecht abzuschneiden, verstanden (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 286). Die Misserfolgsbefürchtung kann dabei nicht als reiner Gegenpol zur Erfolgswahrscheinlichkeit verstanden werden, da in der Misserfolgsbefürchtung die Betroffenheit der Person eine zentrale Rolle spielt (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 286). Die Erfolgswahrscheinlichkeit und das Misserfolgsmotiv finden sich bereits u. a. in den Arbeiten von ATKINSON (1957, S. 371) und HECKHAUSEN (1963, S. 45f.) wieder und lassen sich den Personenmerkmalen zuschreiben (siehe Abbildung 7). Die ‚Herausforderung' gibt hingegen wieder, inwiefern die Probanden durch die vorgelegte Aufgabe einen Anreiz an die eigenen Fähigkeiten empfinden (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 286). Der Faktor ‚Interesse' beschreibt demgegenüber, inwiefern die Probanden den Lerngegenstand wertschätzen (RHEINBERG et al. 2001, S. 5). Da hier ein Bezug zur aktuellen Situation hergestellt wird, spricht man auch von situationalem Interesse. Das situationale Interesse ist dabei vor allem von den Anreizstrukturen des Gegenstandes und seiner Darbietung abhängig (OTTO, SCHULER 2012, S. 146f.).

Abschließend kann festgehalten werden, dass durch die Erhebung der ‚aktuellen Motivation' keine langanhaltenden Personenmerkmale, sondern der gerade gegebene Motivationszustand, der im Zusammenspiel aus Situation und Person entsteht, erhoben wird. Die Erhebung der aktuellen Motivation muss daher streng genommen für jede Situation neu erhoben werden (RHEINBERG 2004, S. 21). In der vorliegenden Studie fiel die Entscheidung bewusst für den FAM, da der direkte Einfluss der aktuellen Motivation auf eine experimentelle Situation erhoben werden kann und somit die motivationalen Effekte statistisch kontrolliert werden können (RHEINBERG et al. 2001, S. 2-4).

2.4 Fachwissenschaftliche Grundlagen

Für die vorliegende Interventionsstudie sollte ein eher „klassischer" Gegenstand des Geographieunterrichts ausgewählt werden, welcher eine systemische Betrachtung ermöglicht bzw. notwendig macht. „Naturrisiken und Katastrophen gehören seit jeher zu den zentralen Themen im Geographieunterricht" (OTTO, MÖNTER 2013, S. 33). Dieses Zitat stellt die besondere Bedeutung der Thematik ‚Naturrisiken' für das Schulfach Geographie heraus. Zusätzlich hat die Thematik ‚Naturrisiken' unter dem Gesichtspunkt der BNE an Aktualität gewonnen, was sich auch in verschiedenen Vorgaben wiederfinden lässt (bspw. DUK 2014; UN 2015A). Da in dieser Studie der inhaltliche Schwerpunkt der Hochwasserthematik jedoch nicht auf BNE gelegt wird, soll auf diesen Aspekt nicht tiefergehend eingegangen werden (zu einer allgemeinen Einführung zum Thema Nachhaltigkeit siehe HAAN 2008; HAAN et al. 2008; HAUFF, KLEINE 2009; KMK, BMZ 2016; GRUNDMANN 2017 zu Geographiedidaktik und BNE siehe SCHRÜFER, SCHOCKEMÖHLE 2012; BAHR 2013; OTTO 2017). Im Folgenden sollen stattdessen, ausgehend von einer Begriffsklärung, die Thematik der Naturrisiken und insbesondere das Thema ‚Hochwasser' ausgeführt werden. Dabei kann u. a. aufgezeigt werden, dass eine systematische Betrachtung der Thematik ‚Hochwasser' notwendig und eine Thematisierung in der Schule im Sinne des Hochwasserrisikomanagements erforderlich ist.

2.4.1 Naturkatastrophen, Naturrisiken und Sozialkatastrophen – Begriffsklärungen

Der ‚Katastrophenbegriff' wird in der Wissenschaft und in der Praxis sehr uneinheitlich verwendet und kontrovers diskutiert. Oftmals wird darunter „eine die menschliche Gesellschaft treffende schwere Störung verstanden, die sehr große, überdurchschnittliche materielle Schäden und menschliche Opfer nach sich zieht" (DIKAU 2016, S. 4). Der Begriff ‚Katastrophe' wird jedoch so häufig und unterschiedlich benutzt, dass FELGENTREFF et al. (2012, S. 13) zu Recht anmerken: „alles Mögliche kann als Katastrophe gedeutet, empfunden und bezeichnet werden –

dementsprechend meint der Begriff alles Mögliche.“ Auch der Begriff der‚Naturkatastrophe‘ ist stark umstritten. DIKAU und WEICHSELGARTNER (2005, S. 180) verstehen unter einer Naturkatastrophe „eine schwere Störung und schwerwiegende Veränderung der Tätigkeiten, Aufgaben und Ziele einer Gemeinde oder Gesellschaft durch den tatsächlichen Eintritt eines extremen natürlichen Prozesses.“ Zudem führen Naturkatastrophen „zu ausgedehnten materiellen, ökonomischen oder den Naturraum betreffenden Schäden, die massive soziale Folgen nach sich ziehen. Entscheidend ist, dass bei Naturkatastrophen die Fähigkeit der betroffenen Gemeinde oder Gesellschaft, die Krise zu überwinden, mit den eigenen Mitteln nicht mehr möglich und Hilfe von außen erforderlich ist“ (DIKAU, WEICHSELGARTNER 2005, S. 180). Der Begriff wurde jedoch zu Recht von unterschiedlichen Seiten kritisiert (u. a. FELGENTREFF, DOMBROWSKY 2008, S. 14; FELGENTREFF et al. 2012, S. 24; OTTO, MÖNTER 2013, S. 44f.; DIKAU 2016, S. 4). Bereits 1979 formulierte Max Frisch „Katastrophen kennt allein der Mensch, sofern er sie überlebt“ (FRISCH 1979, S. 103). Dieser Sichtweise schließen sich FELGENTREFF et al. (2012) an, wenn sie ‚Naturkatastrophe‘ als „hochgradig soziale Angelegenheit“ beschreiben (FELGENTREFF et al. 2012, S. 9). Durch den Verweis auf die Natur als Ursache wird der Blick auf die Bedingungen gelegt, welche seitens der Gesellschaft bereitgestellt werden, so dass es zu einer Katastrophe kommen kann (FELGENTREFF et al. 2012, S. 11). Dies ist insofern problematisch, da hierdurch die Verantwortung auf die Natur übertragen wird und somit Fehlentwicklungen, die möglicherweise korrigiert werden könnten, übersehen werden (FELGENTREFF et al. 2012, S. 11). Oftmals wird daher auf andere Begriffe wie ‚Sozialkatastrophe‘ oder ‚Naturrisiken‘ verwiesen (FELGENTREFF, GLADE 2008, S. 3f.). Der Begriff ‚Sozialkatastrophe‘ eignet sich daher, da die sozialen, kulturellen oder ökonomischen Voraussetzungen dafür entscheidend sind, ob ein Naturereignis zu einer Katastrophe wird (DIKAU 2016, S. 4). Unter Naturrisiko wird hingegen verstanden, wenn Schäden einem möglichen Naturereignis zugerechnet werden können und das Risiko trotzdem bewusst in Kauf genommen wird. Da der mögliche Schaden bekannt ist, kann man sich vor ihm schützen, den Prozess verhindern, mildern oder umlenken (FELGENTREFF, GLADE 2008, S. 4). Mit der ‚Naturgefahr‘ muss ein weiterer Begriff genannt werden. Unter ‚Gefahr‘ wird allgemein ein in der Zukunft möglicherweise auftretendes, potenziell Schaden verursachendes Phänomen verstanden. Bei dem Begriff ‚Naturgefahr‘ wird dieses potenziell Schaden verursachende Phänomen auf ein Naturereignis und damit einen natürlichen Prozess spezifiziert (DIKAU et al. 2020, S. 1103).

Obwohl der Begriff ‚Naturkatastrophen‘ kritisch zu betrachten ist, wird er in zahlreichen aktuellen Publikationen verwendet (u. a. BITTNER et al. 2009, S. 7; UN 2015B, S. 23-25). Für diese Arbeit sollen je nach Sinnzusammenhang die Begriffe ‚Naturrisiken‘, ‚Naturgefahren‘ und ‚Naturereignisse‘ benutzt werden.

Naturgefahren können unterschiedlich klassifiziert werden. Oftmals wird in der wissenschaftlichen Literatur die Einteilung nach Prozesstypen herangezogen. Hier

werden Gefahren in meteorologische, hydrologisch-glaziologische, geologisch-geomorphologische, biologische, extraterrestrische Naturgefahren sowie technologische Gefahren, globale Umweltgefahren und kriminelle Gefahren unterteilt (DIKAU et al. 2020, S. 1103f.).
Eine weitere in dieser Arbeit heranzuziehende Klassifikation ist die der Münchner Rückversicherung. Hier findet eine Einteilung in ‚Geophysische Ereignisse' (Erdbeben, Tsunamis, vulkanische Aktivitäten), ‚Meteorologische Ereignisse' (tropische Zyklone, konvektive Stürme, lokale Stürme), ‚Hydrologische Ereignisse' (Hochwasser und Massenbewegungen) und ‚Klimatologische Ereignisse' (Extremtemperaturen, Dürren, Waldbrände) statt (vgl. MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018).
Im Folgenden soll jedoch auf den Bereich der hydrologischen Ereignisse und an dieser Stelle insbesondere auf das ‚Hochwasser' genauer eingegangen werden.

2.4.2 Hochwasser

Bei der Betrachtung des Naturereignisses ‚Hochwasser' muss zunächst definiert werden, was unter diesem Begriff im Allgemeinen und was in dieser Arbeit im Speziellen darunter verstanden werden soll.
Die in der Fachliteratur benutzten Definitionen zu ‚Hochwasser' weisen insgesamt viele Überschneidungen, aber auch einige Differenzen auf. Eine gängige Definition ist die von HERGET (2008, S. 165): „Unter Hochwasser versteht man das vorübergehende Ansteigen des Wasserstandes über einen festzulegenden Schwellenwert; häufig wird hierfür der mittlere Wasserstand als Referenzwert herangezogen." Hier wird festgelegt, dass ein Hochwasser erstens vorübergehend ist und zweitens ein Ansteigen des Wasserstandes über einen bestimmten Schwellenwert mit sich bringt. Diese beiden Aspekte werden auch in der Definition von EVERS (2018, S. 27) herausgestellt „Hydrologisch wird Hochwasser definiert als ein zeitlich begrenzter Abfluss mit hoher Wasserführung, bei dem ein Pegelstand oder Abfluss in einem bestimmten Querprofil über einem statistisch festgelegten Wert liegt." Im Gegensatz dazu bringen MERZ et al. (2014, S. 15) den Aspekt des natürlichen Phänomens mit ein (siehe hierzu auch Kapitel 2.4.2.1): „Hochwasser sind natürliche Phänomene, definiert als zeitlich begrenzte Überflutung von Land, das normalerweise nicht von Wasser bedeckt ist." Im Wörterbuch der Geographie hingegen wird ‚Hochwasser' in drei Bereiche eingeteilt. So wird der Hochstand des Wassers im Zusammenhang mit der Flut des Meeres, bei Flüssen sowie hinsichtlich einer hydrologischen Definition erwähnt: „In der Hydrologie [als] zeitlich begrenztes Anschwellen des Abflusses über den Basisabfluss, also jede hydrologische Messgröße, die eine für jeden Abflussquerschnitt aus der Statistik oder den örtlichen Gegebenheiten zu bestimmende Grenze überschreitet und eine Folge meteorologischer oder anthropogener Ereignisse ist" (LESER et al. 2017B, S. 369). Die

hydrologische Definition deckt sich dabei größtenteils mit den von HERGET (2008, S. 165) und EVERS (2018, S. 27) aufgestellten Definitionen. Im Wörterbuch wird zudem auf eine weitere Unterscheidung zwischen ‚Hochwasser' und ‚Überschwemmungen' hingewiesen. Unter dem Begriff ‚Überschwemmungen' werden im Wörterbuch Hochwasser verstanden, die durch ein „durch verschiedene Ursachen bedingtes Ansteigen des Wasserstandes von Oberflächengewässern und Meeren über einen bestimmten Schwellenwert" entstehen (LESER et al. 2017C, S. 979). So kommt es zu Überschwemmungen, wenn der Wasserstand in Flüssen einen Extremfall darstellt (LESER et al. 2017B, S. 369). In der folgenden Arbeit soll von ‚Hochwasserereignissen' und nicht von ‚Überschwemmungen' gesprochen werden, da zwar jede Überschwemmung ein Hochwasser, nicht aber jedes Hochwasser eine Überschwemmung darstellt und auch der Anstieg eines Flusses über statistisch festgelegte Werte, welcher nicht zu Überschwemmungen führt, für diese Arbeit von Interesse ist.

In der internationalen Fachliteratur zeigen die Definitionen eine hohe Übereinstimmung mit denjenigen des deutschsprachigen Raumes auf. Die von FATTORELLI et al. (1999, S. 19) „A flood is an overflowing of water from rivers onto land not usually submerged" dargelegte Definition weist beispielsweise zahlreiche Parallelen zu der von MERZ et al. (2014, S. 15) verfassten Definition auf (für einen Vergleich internationaler Definitionen siehe SMITH, WARD 1998, S. 8f.).

Auch wenn die Definitionen insgesamt sehr ähnlich gefasst werden, sind sie insgesamt doch offen gehalten und lassen es zu, dass viele unterschiedliche Naturereignisse unter dem Begriff ‚Hochwasser' subsumiert werden können. Die im deutschsprachigen Raum wohl gängigste Unterteilung ist die von PATT und JÜPNER (2013). Hier werden Hochwasserarten in „Sturzfluten, Überschwemmungen aus Starkniederschlägen, Sturmfluten und Flussüberschwemmungen" unterteilt (PATT, JÜPNER 2013, S. 6). Unter Sturzfluten wird dabei das Auftreten von Starkregen auf kleiner Maßstabsebene und steilem Einzugsgebiet verstanden, welches zu stark energiereichen Hochwasserwellen führt. Überschwemmungen aus Starkniederschlägen können hingegen auch auf ebenem Gelände auftreten. Sturmfluten entwickeln sich dagegen an der Küste, wenn das Wasser aufgrund orkanartiger Winde Richtung Land gedrückt wird. Als letzte Hochwasserart wird schließlich die Flussüberschwemmung genannt, welche vor allem nach lang andauernden Niederschlägen auf einem großen Einzugsgebiet mit einer reduzierten Versickerungsrate entsteht (PATT, JÜPNER 2013, S. 6f.). Im Gegensatz zu PATT und JÜPNER (2013) teilen GRÜNEWALD und SÜNDERMANN (2001) ‚Hochwasser' in zwei Kategorien ein. Die erste Kategorie geht davon aus, dass Hochwasser von Wasserflächen oder -körpern ausgehen. Hierzu gehören sowohl Küstenüberschwemmungen bei Sturmfluten als auch Hochwasser im Binnenland, wie z. B. Regenhochwasser oder andere Hochwasserereignisse, die durch Aufstau ausgelöst werden. Die zweite Kategorie dagegen geht auf Naturereignisse ein, die nicht von Wasserflächen ausgehen. Hier werden

Sturzfluten oder hydrometeorologisch beeinflusste Erdrutsche als Beispiele genannt. Als weitere mögliche Ursachen, die zu Tsunamis führen können, werden Vulkane, Seebeben und unterseeische Erdrutsche aufgelistet (GRÜNEWALD, SÜNDERMANN 2001, S. 159f.).
Auch EVERS (2018) teilt Hochwasser in vier verschiedene Kategorien ein. Hier wird neben den Sturzfluten, Sturmfluten und dem Flusshochwasser noch das Grundhochwasser genannt, welches über die Grundwasserleiter nach oben gedrückt wird. EVERS (2018, S. 27) verweist zudem zu Recht darauf, dass eine zeitgleiche oder zeitnahe Kombination verschiedener Hochwasserarten möglich ist.
In der vorliegenden Arbeit soll der Definition und der Einteilung nach EVERS (2018) gefolgt werden. Dies erscheint sinnvoll, da im Folgenden das Flusshochwasser thematisiert wird. Sturzfluten (siehe hierzu BRONSTERT et al. 2017, S. 97) und Sturmfluten am Meer (siehe hierzu NIEDEK, FRATER 2003; LOHMANN, PODBREGAR 2015) sollen an dieser Stelle nicht näher dargestellt werden. Weiterhin soll der Schwerpunkt im Folgenden verstärkt auf das Raumbeispiel Mitteleuropa und das Binnenland mit seinen Fließgewässern gelegt werden.

2.4.2.1 Ursachen für Hochwasser

Hochwasser an Flüssen stellen Naturereignise dar und sind Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes (PATT, JÜPNER 2013, S. 1). Sie sind das Ergebnis einer Kombination verschiedenster meteorologischer Ereignisse, hydrologischer Gebietszustände und ihrer Wechselbeziehungen (GRÜNEWALD, SÜNDERMANN 2001, S. 162). Erst durch den Menschen kann das Naturereignis ‚Hochwasser' zu einer Katastrophe werden (NIEDEK, FRATER 2003, S. 77). Da das Hochwasser ein Teil des natürlichen Wasserkreislaufes ist, kann als Beschreibung für ‚Hochwasser' eine umgestellte Wasserhaushaltsgleichung herangezogen werden: $A = N - ET \pm S$. So ergibt sich der für das Hochwasser entscheidende Abfluss (A) aus dem Niederschlag (N) abzüglich der Evapotranspiration (ET) und dem verstärkenden oder vermindernden Einflussfaktor (Zwischen)-Speicher (S) (HERGET 2008, S. 165). Die Evapotranspiration kann zwischen 0 und 100 % schwanken und dadurch Einfluss auf die Hochwasserentstehung nehmen (ENGEL 1997, S. 10). Im Folgenden sollen jedoch vor allem der Niederschlag und die Speicherleistung des Einzugsgebietes betrachtet werden. Unter Einzugsgebiet kann dabei, von der Mündung des Flusses aus, das Gebiet verstanden werden, aus welchem dem Fluss Wasser zufließt (GRAW 2003, S. 24).

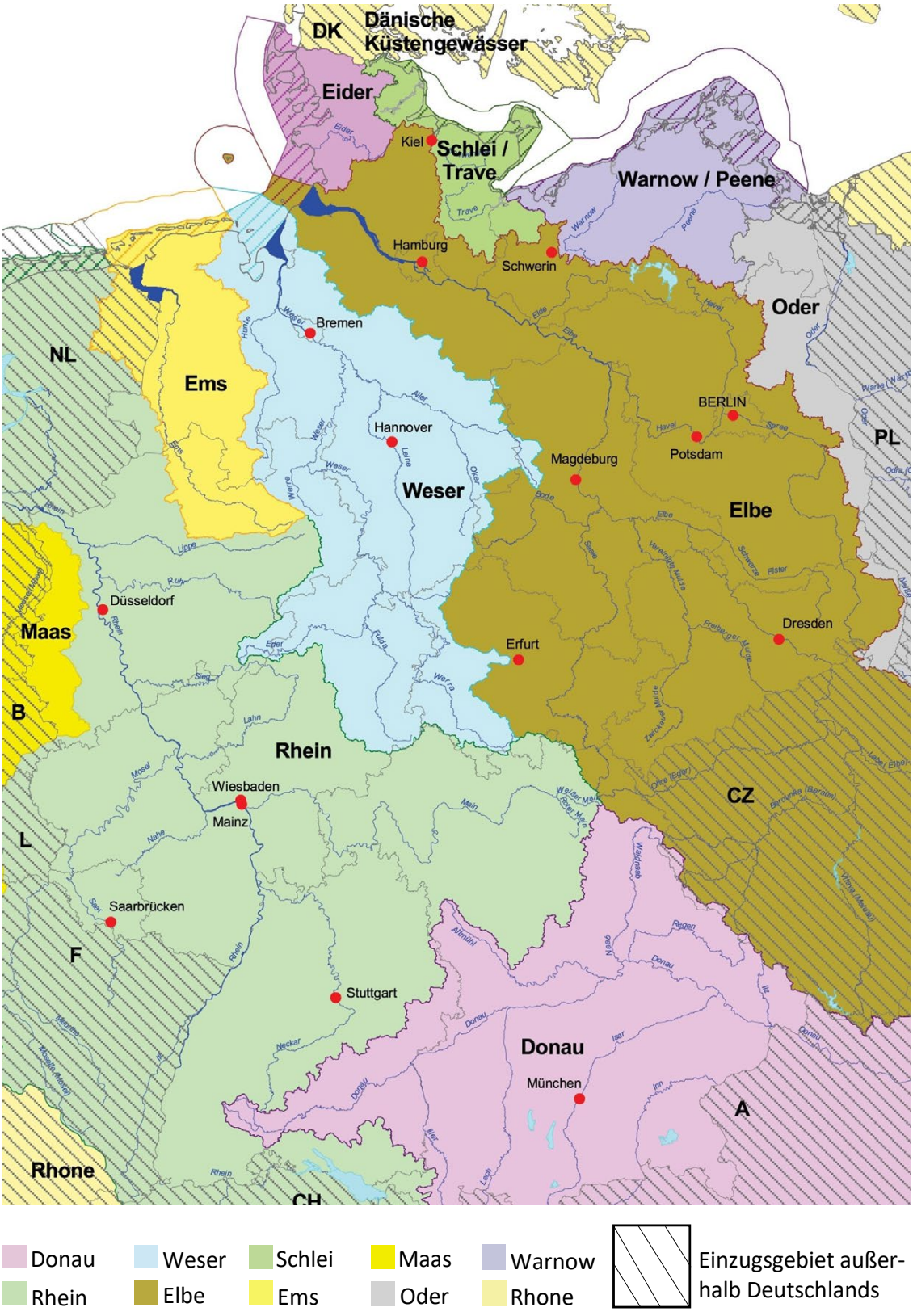


Abb. 8: Flusseinzugsgebiete in der Bundesrepublik Deutschland) (UMWELTBUNDESAMT 2016)

Abbildung 8 gibt die zehn Flusseinzugsgebiete der BRD wieder. Hierbei ist zu beachten, dass die Einzugsgebiete nicht an den Grenzen der BRD enden, sondern sich über diese hinaus erstrecken. Dies ist in Abbildung 8 durch die schrägen Linien angedeutet.
Hochwasserereignisse sind natürliche, sich wiederholende Ereignisse (GRAW 2003, S. 5), die durch Eingriffe des Menschen stark beeinflusst sein können (PLATE 1997, S. 1-3). Im Folgenden sollen zunächst die natürlichen Ursachen von Hochwasserereignissen dargelegt werden, um anschließend auf mögliche anthropogene Einflüsse einzugehen.

2.4.2.1.1 Natürliche Ursachen

Hochwasser können auf zweierlei Weise entstehen. Zum einem, wenn die Speicherkapazität eines Bodens erschöpft ist und dieser keinen Niederschlag mehr aufnehmen kann (Dunnescher Oberflächenabfluss) und zum anderen, wenn es einen großen Unterschied zwischen der Infiltrationskapazität des Bodens und der Niederschlagsintensität gibt (Hortonscher Oberflächenabfluss) (DISSE 2013, S. 18). Während beim Dunneschen Oberflächenabfluss in den meisten Fällen lang anhaltende Niederschläge auf große Gebiete treffen, sind beim Hortonschen Oberflächenabfluss oftmals Starkregenereignisse auf kleinen Flächen entscheidend (DISSE 2013, S. 18). ‚Hochwasser' kann daher in erster Linie durch die Faktoren ‚Niederschlag' und ‚Einzugsgebiet' definiert werden (GRAW 2003, S. 16).
Unter Niederschlag wird „jede flüssige oder feste, aus kondensiertem Wasser gebildete und herabfallende Ausscheidung aus Wolken und Nebel" verstanden (HÄCKEL 2016, S. 124). Er kann die Formen Regen, Hagel, Graupel Schnee, Nebel und Tau annehmen. Als wissenschaftliche Kenngröße wird die Niederschlagsmenge in Liter pro Quadratmeter (l/m^2) und die Niederschlagsintensität in Millimeter pro Stunde (mm/h) angegeben (DISSE 2013, S. 18). Niederschläge können dabei in Dauer, Intensität und räumlicher Ausdehnung sehr unterschiedlich ausfallen (KRUSE 2010, S. 32). In Deutschland fallen im Jahr durchschnittlich 770 Liter Wasser pro Quadratmeter Bodenfläche (GRAW 2003, S. 16). Die Niederschläge verteilen sich dabei jedoch sehr unregelmäßig. So fallen im Norddeutschen Tiefland im Durchschnitt nur ca. 500 Liter pro Quadratmeter, während am Alpennordrand der Durschnitt bei 2000 Liter pro Quadratmeter liegt (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 386). Da die Niederschläge räumlich und zeitlich nicht gleichmäßig verteilt fallen, besitzt der Boden in bestimmten Regionen nicht genügend Kapazitäten, um das Wasser aufzunehmen (GRAW 2003, S. 16). Auf die Entstehung von Niederschlag soll hier nicht explizit eingegangen werden (siehe hierzu z. B. SCHÖNWIESE 2013, S. 84-86; HÄCKEL 2016, S. 124-146; MANIAK 2010, S. 17-21). Festzuhalten ist, dass für Hochwasserereignisse zwischen räumlich begrenztem Starkregen und räumlich

ausgedehntem und langanhaltendem Dauerregen unterschieden wird (vgl. GRÜNEWALD, SÜNDERMANN 2001, S. 161).
Der Dauerregen entsteht bei Wetterfronten, wenn warme Luft auf kältere Luftmassen trifft und sich letztere infolge dessen anhebt. So kommt es zu leichten Niederschlägen auf großflächigen Gebieten, die lange anhalten (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 17f.). Dauerregen führt dazu, dass der Boden gesättigt ist und kein weiteres Wasser mehr aufnehmen kann. Aufgrund des Niederschlags auf große Flächen führt dies vor allem bei Flüssen mit einem großen Einzugsgebiet zu Problemen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 18).
Starkregen ist Niederschlag, welcher im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Intensität aufweist (KUNZ et al. 2017, S. 58). Es liegen jedoch unterschiedliche Definitionen vor, was als Starkniederschlag bezeichnet werden kann. So werden sowohl das Überschreiten einer bestimmten Niederschlagshöhe (Schwellenwert) als auch die Wahrscheinlichkeit des Wiederkehrwerts einer bestimmten Niederschlagshöhe oder auch ein bestimmter Teil einer Datenmenge (Perzentile der Verteilungsfunktion) als Datengrundlage verwendet (KUNZ et al. 2017, S. 58). Im Folgenden soll die Niederschlagshöhe (Schwellenwert) als Grundlage für Starkregen benutzt werden. Starkregenereignisse sind meist von kurzer Dauer und hoher Intensität, können jedoch auch über mehrere Stunden oder sogar Tage andauern und große Niederschlagshöhen aufweisen. Für Deutschland sind Starkniederschlagshöhen von 10 mm in 15 Minuten oder 35 mm in 24 Stunden typisch (RAUTHE et al. 2014, S. 25). Bei Starkregenereignissen steigt warme und sehr feuchte Luft aufgrund von starker Thermik sehr schnell auf, so dass Gewitter- oder Schauerzellen entstehen. Diese sind räumlich begrenzt und treten meist nur in wenige Quadratkilometer großen Gebieten auf, wo sie als Starkregen niedergehen. Eine weitere Entstehungsmöglichkeit von Starkregen besteht darin, dass kalte Luft zuströmt und sich unter warme Luft schiebt, so dass diese gezwungen ist, steil und schnell aufzusteigen. Da Starkregenereignisse oftmals auf kleinen Gebieten vorkommen, haben sie vor allem Auswirkungen auf begrenzte Einzugsgebiete und Flüsse. Sie können zudem zu den bereits in Kapitel 2.4.2 angesprochenen Sturzfluten führen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 18). In Mitteleuropa treten Starkregenereignisse meistens zwischen April und Oktober als Gewitter auf. Ein Beispiel hierfür ist das Gewitter im Juli 2008 in Dortmund und Umgebung. Hier fielen auf einer Fläche von ca. 30 Quadratkilometern innerhalb von drei Stunden 100 Liter Niederschlag pro Quadratmeter (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 387). Für Mitteleuropa ist die feuchte Luft der Meere ein entscheidender Faktor, da die Luft über dem Festland aufgrund der geringen Verdunstung sehr trocken ist. Erst durch Strömungen kommen feuchte Luftmassen vom Atlantik, vom Mittelmeer oder von der Nord- und Ostsee nach Mitteleuropa. In Mitteleuropa herrschen vor allem westliche und nordwestliche Winde vor, welche, wenn sie in Tiefausläufer

gehoben werden, zu Regen führen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 18f.).
Eine besondere Wetterlage, die oftmals für Hochwasser in Mitteleuropa verantwortlich ist, wird Vb-Wetterlage genannt.

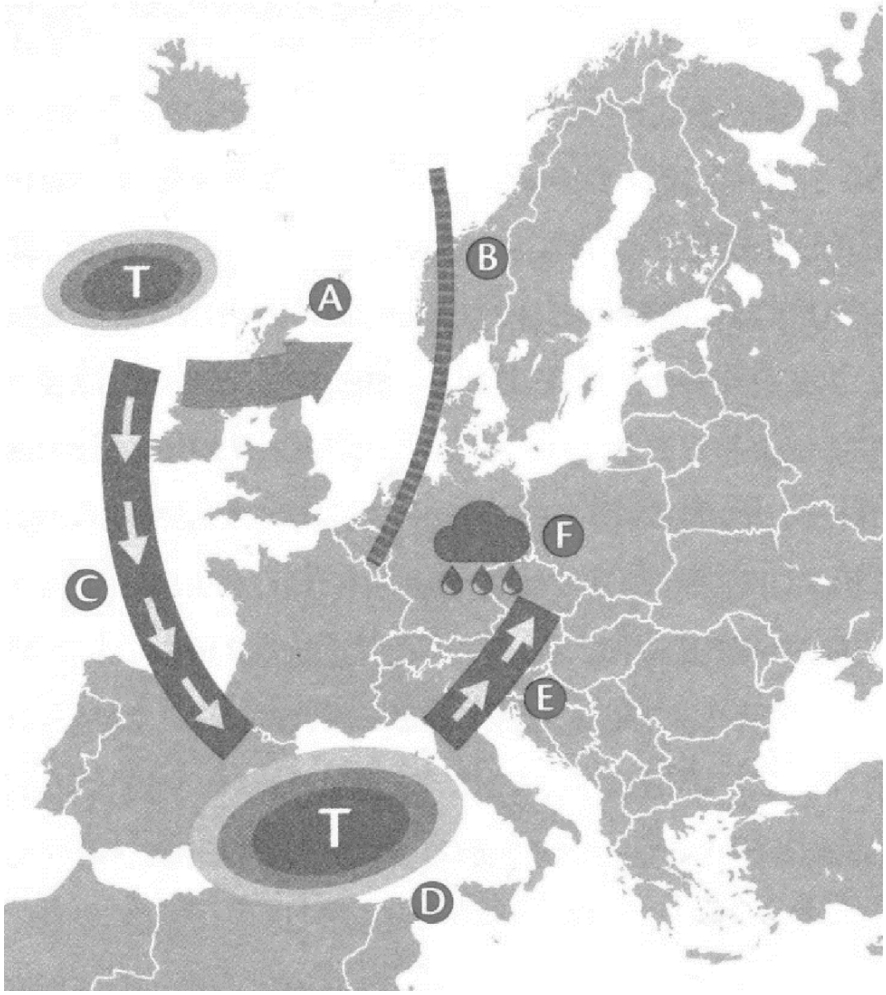


Abb. 9: Typischer Verlauf einer Vb-Wetterlage (ENGELHARD, OTTO 2015, S. 343)

Die Vb-Wetterlage entsteht, wenn ein Atlantiktief, welches üblicherweise vom Atlantik her vom Westen nach Osten zieht (A), durch eine Kaltfront aus dem Norden (B) in den Südosten abgelenkt wird (C). Das Atlantiktief zieht über Südfrankreich und Spanien zum Mittelmeer, wo es sich aufgrund des warmen Wassers mit Feuchtigkeit auflädt (D). Auf dem Weg in den Nordosten, über Italien nach Tschechien, Polen und Osteuropa, müssen die mit Feuchtigkeit aufgeladenen Luftmassen östlich der Alpen ziehen (E). Treffen die mit Wasser aufgeladenen Wolken auf die nach Süden ausgerichtete Kaltfront, kommt es zu sehr starken Niederschlägen (F) (vgl. GEOFORSCHUNGSZENTRUM o. J., S. 3).
Die Vb-Wetterlage ist bedeutsam, da sie für zahlreiche Hochwasserereignisse in

Mitteleuropa (Oderhochwasser 1997, Elbhochwasser 2002, Alpenhochwasser 2005) verantwortlich war (GEOFORSCHUNGSZENTRUM o. J., S. 3).
Neben den Starkregenereignissen und der Vb-Wetterlage haben noch weitere Niederschlagsphänomene Auswirkungen auf Hochwasserereignisse in Mitteleuropa. Hier sind vor allem die Phänomene Schnee und Eis zu nennen, denen eine enorme Bedeutung zugesprochen werden kann. Durch Schnee, welcher liegen bleibt, wird zunächst einmal Wasser auf dem Boden gespeichert. Welchen Einfluss der Schnee auf ein Hochwasser besitzt, ist je nach Ausmaß der Schneedecke sehr unterschiedlich. So können z. B. hohe Schneedecken Tauwasser in den Poren gut speichern. Das Schmelzwasser wird dadurch verzögert abgegeben, so dass große Schneehöhen zunächst hochwasserbremsend wirken. Problematisch wird dies erst, wenn durch starke Regenfälle im Hochgebirge die umfangreiche Schneedecke stark erwärmt wird, so dass es zu einem schnellen Schmelzprozess kommt. Dünne Schneedecken hingegen schmelzen sehr schnell, so dass das Tauwasser und der Niederschlag zumeist zusammen abfließen und sich die Wassermengen summieren. Im Winter und im Frühling kommt es häufig vor, dass der Schmelzprozess durch warme Niederschläge beschleunigt wird. Kommen zu dem Schmelzwasser noch weitere Niederschläge hinzu, können die Flüsse die Niederschläge meist nicht schnell genug abtransportieren. Unter Schneedecken kann zudem durch Bodenfrost die Möglichkeit der Versickerung stark eingeschränkt sein, so dass dieser Faktor verstärkend wirkt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 20f.). Hier können als Beispiele die Jahrhunderthochwasser am Rhein 1993 und 1995 sowie das Frühjahrshochwasser 2006 an der Elbe herangeführt werden (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 387f.). Eis hingegen kann zu Hochwasser führen, wenn sich Eisschollen in Flüssen an Engstellen verkannten und es zu einem Eisstau kommt. Das Wasser wird in seinem Abfluss behindert und tritt über die Ufer. Durchbricht das Wasser schließlich, durch den immer größer werdenden Druck, den Eisstau, kommt es zu einem so genannten Eisstoß (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 21). Durch diese Problematik kam es in der Vergangenheit vor allem an der Weichsel, der Elbe und der Donau zu Hochwasser (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 388). Global spielen weitere Wetterphänomene, wie z. B. der Monsun (siehe hierzu SCHÖNWIESE 2013, S. 170-172; HÄCKEL 2016, S. 308), El Niño und La Niña (siehe hierzu HUPFER, KUTTLER 2006, S. 263; SCHÖNWIESE 2013, S. 196-201), eine bedeutsame Rolle, auf die an dieser Stelle aber nicht näher eingegangen werden soll. Einen weiteren Einfluss auf die Hochwasserentstehung durch Niederschlagsereignisse wird dem Klimawandel zugeschrieben (siehe Kapitel 2.4.2.1.3).
Für die Abflussbildung und damit für das Hochwasser insgesamt ist entscheidend, wie groß der Gebietsrückhalt des Einzugsgebietes ist. Der Gebietsrückhalt bezeichnet den Niederschlagsanteil, welcher nicht zum Hochwasserabfluss beiträgt, da das Wasser entweder verdunstet oder erst mit sehr starker Verzögerung als Grundwasserabfluss das Fließgewässer erreicht. Der Direktabfluss hingegen ist der

nicht zum Gebietsrückhalt zählende Abfluss. Er setzt sich zusammen aus dem Oberflächenabfluss, welcher über der Bodenoberfläche entsteht und dem Zwischenabfluss, welcher durch oberflächennahe Schichten direkt zufliesst (DISSE 2013, S. 29f.). Unterirdische Abflüsse tragen meist verzögert zum Hochwasser bei, da das Wasser zunächst in Poren versickert und somit eine dämpfende Funktion erfüllt. Dies ist vor allem bei langanhaltenden Niederschlagsereignissen von Bedeutung (REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 45).
Der Gebietsrückhalt wird von der Topographie, der Struktur und der Beschaffenheit des Bodens, der Art und Dichte der Vegetation, den Grundwasserverhältnissen, dem Gewässerzustand und der Struktur des Gewässernetzes bestimmt (KRUSE 2010, S. 33). Fällt Niederschlag auf die Erde, so versickert ein Teil davon in den Boden und wird dort entweder zwischengespeichert oder er trägt zur Entstehung von Grundwasser bei. Ein weiterer Teil des Wassers verdunstet sofort oder fließt als Oberflächenabfluss in Fließgewässer (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 13).
Bevor der Niederschlag aber auf den Boden trifft, fällt er mehrheitlich auf Vegetation. Die Vegetation nimmt bei der Hochwasserentstehung gleich mehrere Funktionen ein. So halten Pflanzen und Bäume einen Großteil des Niederschlages vom Boden fern, da sie das Wasser auf ihrer Oberfläche binden. Dieser Prozess (Interzeption) kann sehr unterschiedlich ausfallen. So können auf einer Wiese 2 l/m² und in einem Wald bis zu 5 l/m² gehalten und nach dem Niederschlagsereignis zur Verdunstung wieder freigegeben werden. Zusätzlich benötigt die Vegetation Wasser, welches dem Boden entzogen wird, so dass dieser wieder neues Wasser aufnehmen kann. Die Vegetation verbessert zudem die Infiltrationsrate der Böden, so dass Wasser schneller und tiefer versickern kann. Hier ist die Art der Vegetation entscheidend. Während alte Waldböden innerhalb einer Stunde 60 bis 70 l/m² versickern lassen können, sind es bei einer Weidefläche im gleichen Zeitraum nur 20 l/m². Bei Getreide oder Futterpflanzen kann die Infiltrationsrate noch geringer sein (siehe Kapitel 2.4.2.1.2) (vgl. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 23).
Trifft der Niederschlag auf Boden, so nimmt dieser ihn auf. Ausnahmen stellen hier gefrorener Boden, gesättigter Boden oder versiegelter Boden (siehe hierzu Kapitel 2.4.2.1.2) dar (GRAW 2003, S. 17). Neben dem anthropogen versiegelten Boden gibt es aber auch die natürlich versiegelte Bodenoberfläche. So kann z. B. in Felsbereichen oder auf natürlichen Steinen kein Wasser versickern (ENGEL 1997, S. 11). Das Wasser, welches auf den Boden fällt, wird aufgesogen und dringt in Poren und Hohlräume ein. Wieviel Wasser aufgenommen werden kann, ist abhängig vom Humusgehalt, der Bodenart, der Mächtigkeit und der Bodendichte. So kann z. B. lockerer Waldboden mehr Wasser aufnehmen als dichter Lehmboden. Die Entstehung von Hochwasser wird gefördert, wenn der Boden gesättigt ist und kein weiteres Wasser mehr aufnehmen kann oder wenn die Regenfälle so stark sind, dass

die Infiltrationsrate überschritten wird. Ist dies der Fall, kann es auch zu Hochwasser kommen, wenn die Speicherkapazität des Bodens eigentlich noch nicht vollkommen ausgeschöpft ist (vgl. GRAW 2003, S. 17) (siehe zur Bedeutung des Bodens für Hochwasser auch RICHWIEN 2013, S. 210-238).
Neben der Vegetation und der Bodenbeschaffenheit spielt das Gelände und die Form des Einzugsgebietes eine entscheidende Rolle. Im Gelände kann Wasser z. B. in Mulden oder Furchen zurückgehalten werden. Dieser Rückhalt wird auch Muldenrückhalt genannt und kann zwischen 1 und 5 l/m² betragen. Der Muldenrückhalt ist dabei im flachen Gelände höher als in steilem oder geneigtem Gelände. Insgesamt ist der Effekt des Muldenrückhalts jedoch nicht sehr groß, da die Mulden meist schnell gefüllt sind und sie kein weiteres Wasser mehr aufnehmen können (vgl. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 23). Die Neigung des Einzugsgebietes ist zudem für die Entstehung der Hochwasserwelle wichtig. Je steiler ein Einzugsgebiet strukturiert ist, desto schneller gelangt der Niederschlag zum Abfluss und kann sich dort sammeln (DRACOS 1980, S. 113), der Niederschlag besitzt daher eine kurze Konzentrationszeit (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 25). Unter Konzentrationszeit wird dabei die Zeit verstanden, die das Wasser vom entferntesten Punkt des Einzugsgebietes bis zur Messstelle des Wasserstandes (Pegel) benötigt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 60). Der Niederschlag der ufernahen Flächen fließt dabei schneller in das Gewässer als der Niederschlag vom Rand des Einzugsgebietes. Bei ausgedehnten Einzugsgebieten ist es daher nur bei großflächigem Dauerregen möglich, dass das gesamte Einzugsgebiet gleichzeitig entwässert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 25).

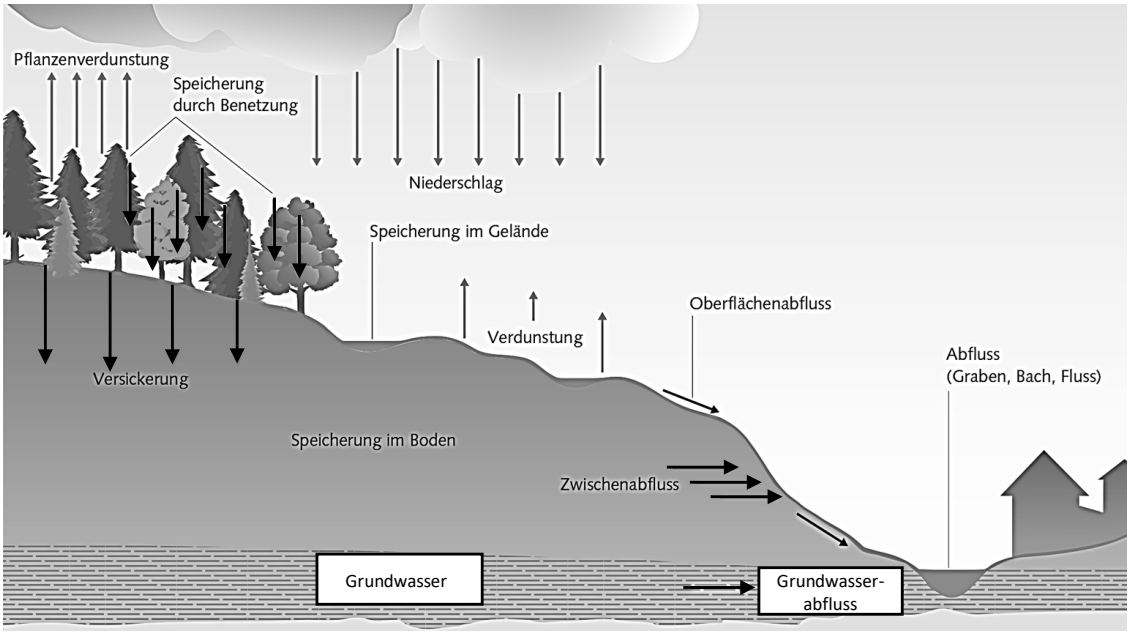


Abb. 10: Natürliche Einflüsse auf den Abfluss (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 23)

Insgesamt nimmt der maximal spezifische Abfluss mit wachsender Größe des Einzugsgebietes ab. Dies kann, bei großen Einzugsgebieten, auf den unregelmäßigen Niederschlag und auf die unterschiedliche Konzentrationszeit vom Niederschlag bis zum Abfluss zurückgeführt werden (Dracos 1980, S. 112). Ebenso entscheidend für die Abflusswelle ist die Form des Einzugsgebietes. Besitzt das Einzugsgebiet eine runde Form, so läuft das Wasser zeitlich schnell zusammen, so dass sich die Hochwasserwellen kumulierend überlagern und es zu einer kurzen aber sehr steilen Hochwasserwelle kommt (siehe Abbildung 11). Bei eher lang gestreckten Einzugsgebieten fließt das Wasser zeitlich verzögert zusammen, so dass sich eine flache, dafür langanhaltende Hochwasserwelle entwickelt (vgl. Umweltbundesamt 2012, S. 14).

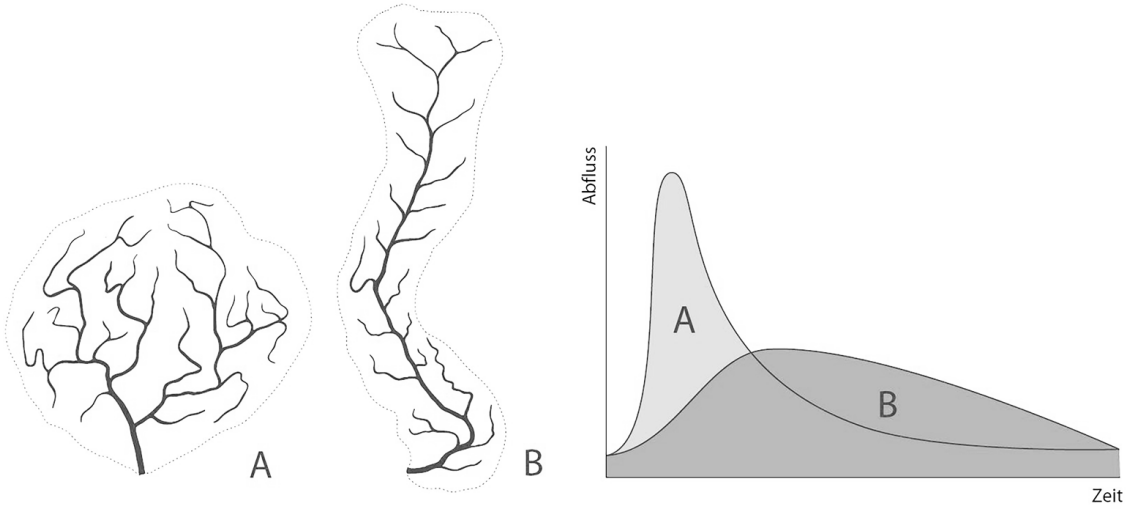


Abb. 11: Hochwasserganglinie bei unterschiedlichen Formen des Einzugsgebietes (GRAW 2003, S. 16)

Kommt zum normalen Trockenwetterabfluss noch der Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss im Fließgewässer hinzu, entsteht eine Hochwasserwelle. Die Hochwasserwelle wird unterteilt in den Bereich des Hochwasseranstiegs, den Hochwasserscheitel als Höchststand des Hochwassers und den Hochwasserabfall. Zeitlich verzögert nimmt auch der Basisabfluss Einfluss auf die Hochwasserwelle.

In Abbildung 12 werden vier mögliche Abflussganglinien dargestellt. Die Trockenwetterganglinie, die Trockenwetterganglinie mit Basisabfluss, die Trockenwetterganglinie mit Basisabfluss und Zwischenabfluss und schließlich die Hochwasserganglinie (Trockenwetterabfluss + Basisabfluss + Zwischenabfluss + Oberflächenabfluss).

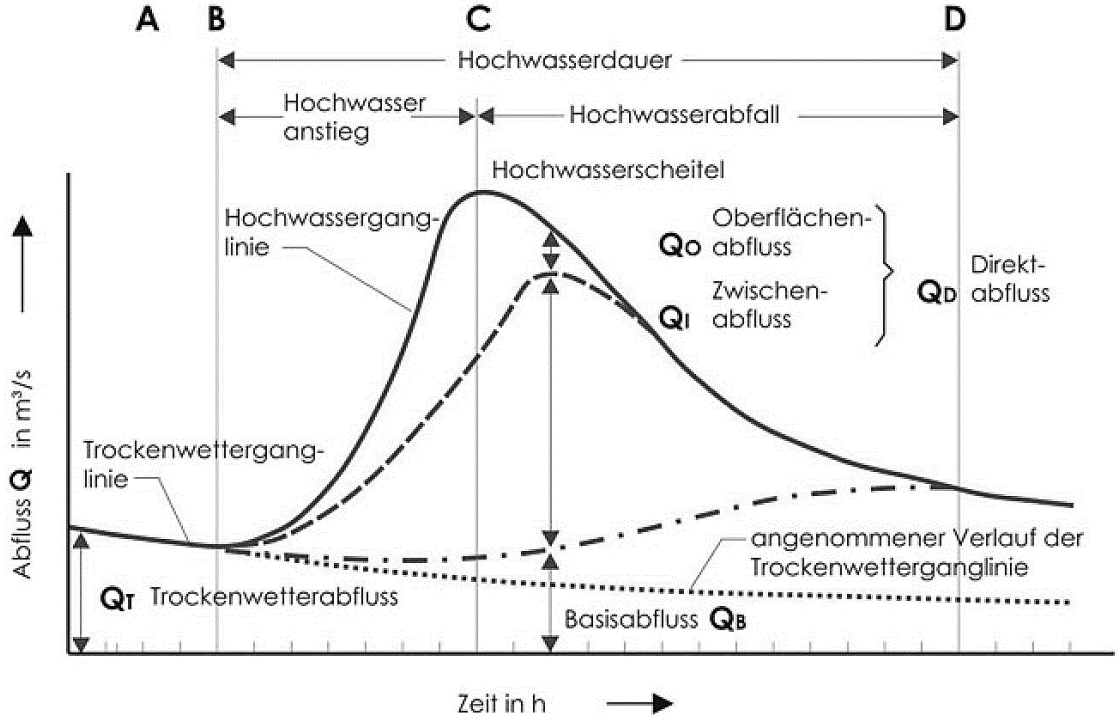


Abb. 12: Abflussganglinie (DISSE 2013, S. 44)

Für die Höhe des Hochwasserscheitels ist oftmals entscheidend, inwiefern es zu Überlagerungen von sich verstärkenden Faktoren kommt. Hier kann z. B. das Auftauen von Schneedecken durch Niederschlagsereignisse auf gefrorenem Boden genannt werden. Solche Überlagerungen verschiedener Einflussfaktoren machen deutlich, dass die Entstehung von Hochwasser das natürliche Ergebnis eines komplexen Systems von meteorologischen Ereignissen und hydrologischen Gebietszuständen darstellt (GRÜNEWALD, SUNDERMANN 2001, S. 161f.).
Eine besondere Funktion bei Hochwasserereignissen nimmt die Landschaftsform der Flussaue ein (siehe Abbildung 13). Als Flussaue „bezeichnen wir im allgemeinen die durch Überflutungen und Trockenfallen geprägten flussparallel verlaufenden Niederungen, deren Ökosystem durch mehr oder weniger regelmäßige Überflutungen gekennzeichnet ist“ (HENTSCHEL, ROTH 1997, S. 39). Ökologisch gesehen ist das Hochwasser in Auenlandschaften für Flora und Fauna der alles bestimmende Faktor (HENTSCHEL, ROTH 1997, S. 39). Da in Auenlandschaften sehr unterschiedliche und extreme Lebensbedingungen aufeinanderprallen, gibt es zahlreiche ökologische Nischen, so dass diese zu den artenreichsten Ökosystemen Mitteleuropas gehören (GRAW 2003, S. 7).

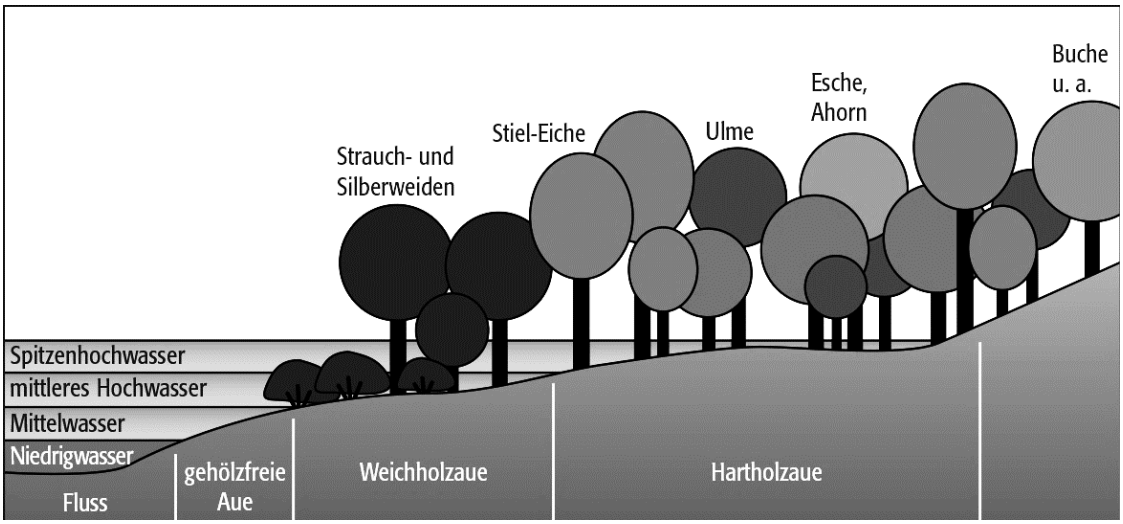


Abb. 13: Gliederung einer Auenlandschaft (ALLIANZ UMWELTSTIFTUNG 2014, S. 6)

Auen erfüllen bei Hochwasserereignissen verschiedene Funktionen. So stellen sie bei Hochwasser einen natürlichen Retentionsraum dar, in welchem sich das Wasser verteilen kann. Dabei finden natürliche Sedimentations- und Selbstreinigungsvorgänge statt. Auen schaffen somit einen natürlichen Hochwasserschutz (GRAW 2003, S. 7). Der Fluss und die Aue bilden eine Einheit, die gemeinsam betrachtet werden muss (CYFFKA et al. 2018, S. 18).

2.4.2.1.2 Anthropogene Verstärkung

Wie bereits dargelegt, ist die Entstehung von Hochwasser ein natürlicher aber auch komplexer Prozess. Darüber hinaus nimmt der Mensch durch Eingriffe in die Natur teilweise erheblichen Einfluss auf die Entstehung von Hochwasserereignissen (GRÜNEWALD, SÜNDERMANN 2001, S. 162). Dies geschieht vor allem dann, wenn der Mensch in natürliche Prozesse eingreift, welche die Entstehung von Hochwasser abmildern oder sogar verhindern können (PODBREGAR 2015, S. 199f.).
In Kapitel 2.4.2.1.1 wurde aufgezeigt, welche immense Bedeutung der Boden als Puffer für Hochwasserereignisse einnimmt (GRAW 2003, S. 17). Durch die Veränderungen des Bodens werden die Speichereigenschaften verschlechtert oder verbessert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 32). Die wohl bekannteste und offensichtlichste Einflussnahme entsteht durch Versiegelung des Bodens für Siedlungen und Verkehr. Durch versiegelte Flächen kann kein Wasser hindurch versickern, so dass es zu einem schnelleren und stärkeren Oberflächenabfluss kommt. Dieses Problem führt vor allem bei kleinen Einzugsgebieten zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen. Jedoch spielt die Versiegelung auch bei großen Einzugsgebieten eine wichtige Rolle. So betrug in Deutschland der Anteil an Siedlungs- und Verkehrsflächen im Jahr 2018 insgesamt 14,3 %. Im Vergleich dazu

nehmen die Gewässer in Deutschland nur 2,3 % an Fläche ein (STATISTISCHES BUNDESAMT 2019, S. 7). Wird bedacht, dass etwa die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsflächen versiegelt sind (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 21), so macht dies für Deutschland ca. 7 % anthropogen versiegelten Bodens aus, wobei dieser Prozess keinesfalls abgeschlossen ist. So nahmen zwischen 2017 und 2018 die Siedlungs- und Verkehrsflächen um 0,9 % zu (STATISTISCHES BUNDESAMT 2019, S. 8). Neben den versiegelten Flächen besitzen vor allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen Einfluss auf die Hochwasserentstehung. So wurden zahlreiche Wälder abgeholzt oder Flächen entwässert, um den Boden landwirtschaftlich nutzen zu können. Die Vegetation nimmt in Deutschland im Jahr 2018 einen Flächenanteil von 83,4 % ein. 50,8 % der Gesamtfläche sind allein landwirtschaftlich genutzt. Der Wald hingegen folgt erst mit 29,8 % (STATISTISCHES BUNDESAMT 2019, S. 193). Insgesamt wird in Deutschland im Jahr 2018 also über die Hälfte der Landesfläche von der Landwirtschaft genutzt.

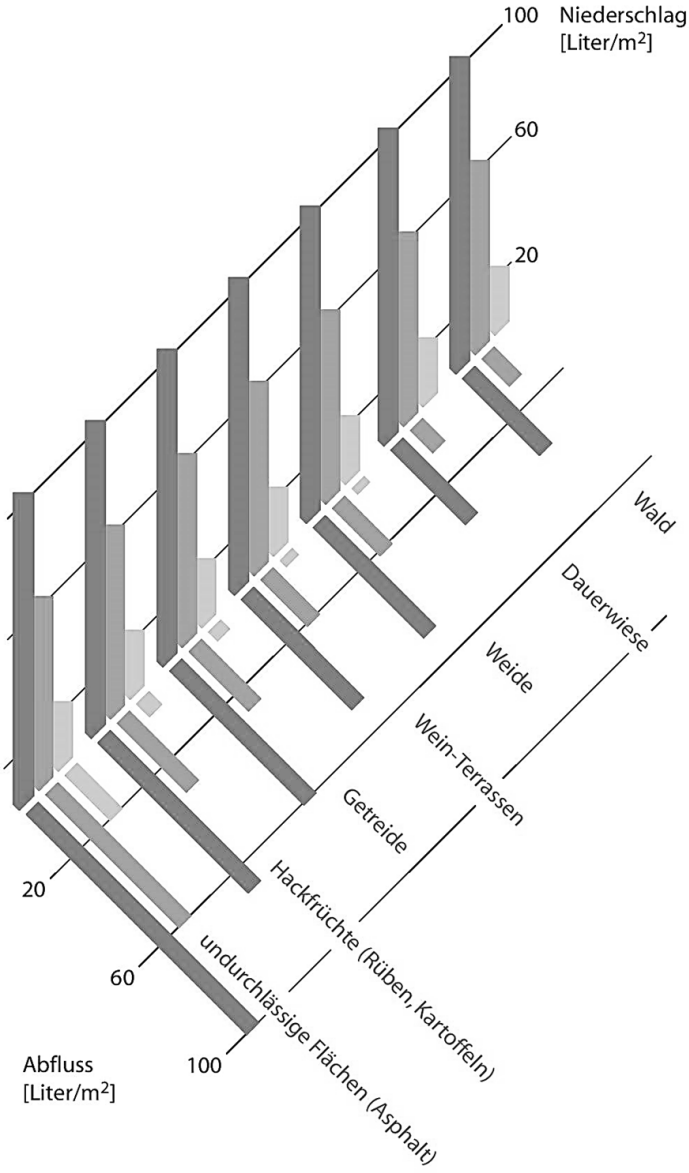


Abb. 14: Oberflächenabfluss bei unterschiedlichen Nutzungsarten (GRAW 2003, S. 18)

Schaut man sich den Oberflächenabfluss bei unterschiedlichen Nutzungsarten an, so wird deutlich, welch großen Einfluss die landwirtschaftliche Fläche auf die Entstehung von Hochwasser besitzt. Der landwirtschaftlich genutzte Boden wird zudem durch den Einsatz von schweren Landmaschinen weiter verdichtet, so dass das Wasser noch schlechter versickern kann (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 21). Einhergehend mit der Veränderung des Bodens erfolgte die Veränderung der Vegetation. Sie besitzt durch die Interzeption und die Transpiration eine große Bedeutung als Puffer und nimmt zudem durch die Wurzeln einen starken Einfluss auf die Infiltrationsraten des Bodens, so dass ein Waldboden (60-75 l/m² in einer

Stunde) eine wesentlich bessere Wasserspeicherungsfähigkeit als eine Weidefläche (20 l/m² in einer Stunde) besitzt (GRAW 2003, S. 18). Zudem verfügen Ackerflächen, im Gegensatz zu Waldflächen, nicht im gesamten Jahresverlauf über eine Vegetation, so dass die oben genannten Effekte noch verstärkend wirken (WEILER 2016, S. 185).
Einen weiteren entscheidenden Aspekt stellt der Eingriff des Menschen in die Gewässerstruktur dar. Durch den Gewässerausbau und die Begradigung von Flüssen kommt es zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit (GRAW 2003, S. 23). Die höhere Fließgeschwindigkeit führt oftmals zu Überlagerungen von Hochwasserwellen der Haupt- und Nebenflüsse, so dass es zu einer steileren und höheren Hochwasserwelle kommt (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 14). Dadurch ergibt sich im Flussunterlauf eine extrem verschärfte Hochwassergefahr (GRAW 2003, S. 23). Dem Ober- und Niederrhein wurden durch Flussbegradigungen beispielsweise 105 Kilometer an Länge genommen (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 14). Die für die Schifffahrt verkürzten Transportwege führen zwangsweise zu einer höheren Fließgeschwindigkeit. Eine Hochwasserwelle, die sich in Basel sammelt, braucht heute nur noch 25 Stunden bis nach Karlsruhe und somit 40 Stunden weniger als noch vor 50 Jahren (PODBREGAR 2015, S. 200). Die Flussbegradigung ist oftmals mit dem Verlust flussnaher Retentionsräume verbunden (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 22). Durch Eindeichungen und Begradigungen wurde das Land für den Menschen nutzbar gemacht (PODBREGAR 2015, S. 199). Die heute vor allem für die Landwirtschaft oder als Siedlungsraum genutzten Landflächen können nicht mehr als natürliche Retentionsräume dienen, so dass weniger Flächen vorhanden sind, auf denen sich das Wasser ausbreiten kann (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 22). Dies trifft vor allem auf die Auen zu. So wurden diese in Deutschland insgesamt bereits um zwei Drittel ihrer natürlichen Flächen gebracht und nur noch 10 % der Flussauen sind insgesamt sehr gering verändert (CYFFKA et al. 2018, S. 18).
In dem Kapitel konnte deutlich gemacht werden, dass die Entstehung von Hochwasser ein natürlicher Prozess ist, welcher jedoch, je nach Region und Entstehungssituation, stark durch die Veränderung der Landschaft und des Gewässernetzsystems durch den Menschen beeinflusst sein kann. Der Mensch nimmt zudem über den anthropogen beeinflussten Klimawandel indirekt Einfluss auf Hochwasserereignisse. Auf diesen Aspekt soll im folgenden Kapitel eingegangen werden.

2.4.2.1.3 Die Auswirkungen des (anthropogenen) Klimawandels auf Hochwasserereignisse

In diesem Kapitel sollen die Auswirkungen des Klimawandels auf Niederschlagsereignisse deutlich gemacht werden. Dafür werden zunächst kurz die zentralen Komponenten des Klimasystems beschrieben, um darauf aufbauend den Einfluss des

Klimawandels auf den Wasserkreislauf auf globaler Maßstabsebene zu beschreiben. Der Klimawandel besitzt zudem Auswirkungen auf andere für Hochwasserereignisse relevante Aspekte, wie das Abschmelzen von Inlandgletschern oder der Anstieg des Meeresspiegels, wobei der letztere vor allem zu Sturmfluten und Hochwasserereignissen in Küstenbereichen führen kann. Diese Aspekte sollen hier allerdings nicht näher betrachtet werden (zu den Auswirkungen den Klimawandels auf den Meeresspiegelanstieg siehe z. B. IPCC 2013/2014, S. WGI-9; IPCC 2014A, S. 42; IPCC 2014B, S. 25-27; zu den Auswirkungen des Klimas auf das Abschmelzen von Gletschern siehe z. B. ESCHER-VETTER 2011; UMWELTBUNDESAMT 2013, S. 59-64).
Soll der Klimawandel verstanden werden, so ist es unabdingbar, die zentralen Bestandteile des Klimasystems zu betrachten. So nehmen sowohl die Atmosphäre, die Ozeane mit dem Meereis und ihren Biosphären, die Landoberfläche mit ihren Biosphären und Wasserflüssen sowie die Eisschilde mit dem Schelfeis Einfluss auf das Klimasystem. Als wichtigster Motor des Klimas kann die Sonnenstrahlung angesehen werden. Die kurzwellige Strahlung trifft auf die Erdoberfläche bzw. die Wolken und wird von diesen teilweise direkt wieder in den Weltraum zurückgestrahlt. Der Großteil der Energie wird hingegen vom Land, den Ozeanen, den Wolken und Spurenstoffen aufgenommen und führt so zu deren Erwärmung. Die aufgenommene Energie wird vom Boden und von strahlungsaktiven Substanzen als langwellige Wärmestrahlung in den Weltraum gesendet. Teilweise wird die langwellige Strahlung jedoch von Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Ozon und anderen Gasen absorbiert und in alle Richtungen wieder abgegeben. Die an die Erde zurückgeschickte Energie ist für den natürlichen Treibhauseffekt verantwortlich, welcher dafür sorgt, dass auf der Erde Leben möglich ist (vgl. SCHMIDT et al. 2017, S. 9f.). Der Eingriff des Menschen findet auf mehrfache Weise statt. So sorgt der Mensch durch Freisetzung von Kohlendioxid dafür, dass sich der Anteil des Kohlendioxids in der Luft stark erhöht, so dass der natürliche Treibhauseffekt künstlich verstärkt wird. Zudem wird durch Veränderungen der Landoberfläche dafür gesorgt, dass sich der Albedoeffekt, der für die Rückstreuung der Sonneneinstrahlung entscheidend ist, verändert. Zusätzlich kommen noch natürliche Effekte wie die Eruptionen von Vulkanen, natürliche Schwankungen der Sonneneinstrahlung und Waldbrände hinzu (vgl. SCHMIDT et al. 2017, S. 9f.) (siehe zum Klimawandel auch RAHMSTORF 2012; IPCC 2014A; IPCC 2014B; INROPERA 2016).

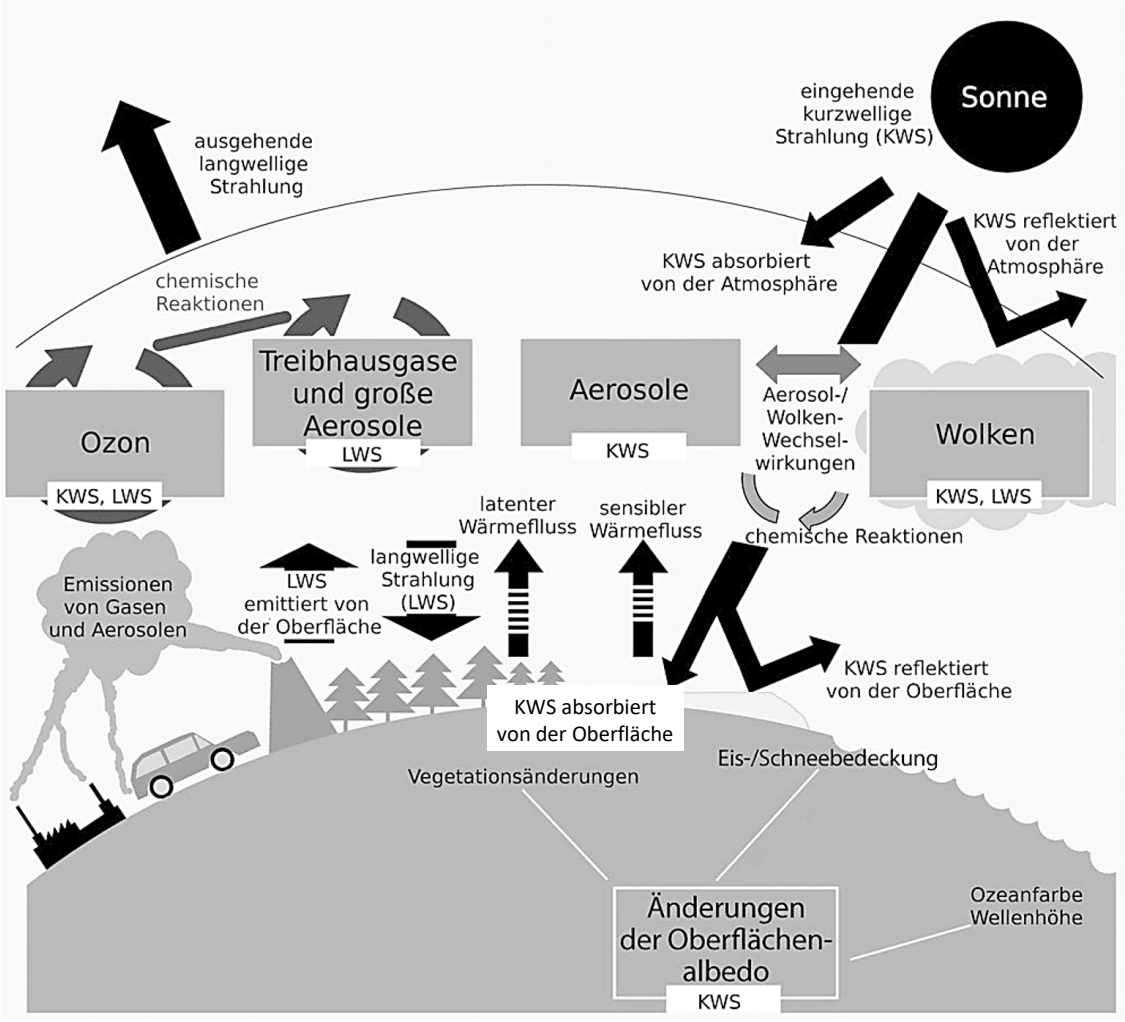


Abb. 15: Natürliche und anthropogene Antriebe des Klimasystems (SCHMIDT et al. 2017, S. 9)

Durch den anthropogen beeinflussten Treibhauseffekt kam es im Zeitraum von 1880–2012, berechnet als linearer Trend, zu einem Anstieg der global gemittelten Land- und Ozeanoberflächentemperatur von 0,85 °C (IPCC 2014A, S. 40). Durch den Temperaturanstieg kommt es zu einer verstärkten Verdunstung des Wassers über den Ozeanen, so dass der Wasserkreislauf beschleunigt wird (GRAW 2003, S. 49). Ein Temperaturanstieg in der Troposphäre hat jedoch auch Auswirkungen auf den Wasserdampfgehalt, da erwärmte Luft mehr Wasser aufnehmen kann. Dieser Anstieg des Wasserdampfes wiederum führt dazu, dass der Treibhauseffekt zusätzlich verstärkt wird, so dass ein positiver Rückkopplungseffekt entsteht (SCHMIDT et al. 2017, S. 10).
Da das Klimasystem vom Menschen beeinflusst ist und dies zu einem Temperaturanstieg geführt hat, lassen sich bereits verschiedene Auswirkungen in der Vergangenheit nachweisen. So konnte über die letzten 60 Jahre (1951–2010) auf globaler Ebene eine Veränderung des jährlichen Niederschlags festgestellt werden.

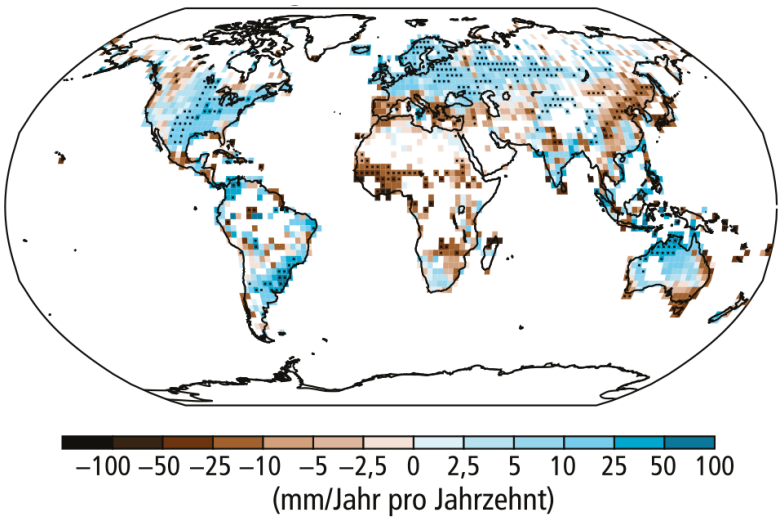


Abb. 16: Gemessene Veränderung des jährlichen Niederschlags über Land 1951–2010 (IPCC 2014A, S. 41)

Dabei wird deutlich, dass sich Niederschläge in der Vergangenheit regional sehr unterschiedlich entwickelt haben. So gibt es in Westafrika, Südaustralien, Südeuropa, Mittelamerika und Ostchina sowie Japan eine Abnahme der jährlichen Niederschläge. Im Gegensatz dazu findet in den meisten anderen Teilen der Erdoberfläche ein Anstieg der jährlichen Niederschläge statt.
Für die Zukunft wird beim mittleren Niederschlag global insgesamt von einem Anstieg ausgegangen. Das Szenario wird dabei mit ‚wahrscheinlich' eingestuft (zur Einstufung verschiedener Szenarien siehe IPCC 2014A, S. Fußnote 1). In den trockenen Regionen der mittleren Breiten und in den Subtropen wird der mittlere Niederschlag ‚wahrscheinlich' abnehmen, während er in vielen feuchten Regionen der mittleren Breiten ‚wahrscheinlich' zunehmen wird. Die extremen Niederschlagsereignisse werden hingegen über den mittleren Breiten und feuchten Tropen ‚sehr wahrscheinlich' zunehmen, wenn die mittlere globale Temperatur weiter ansteigt (IPCC 2014A, S. 62f.).

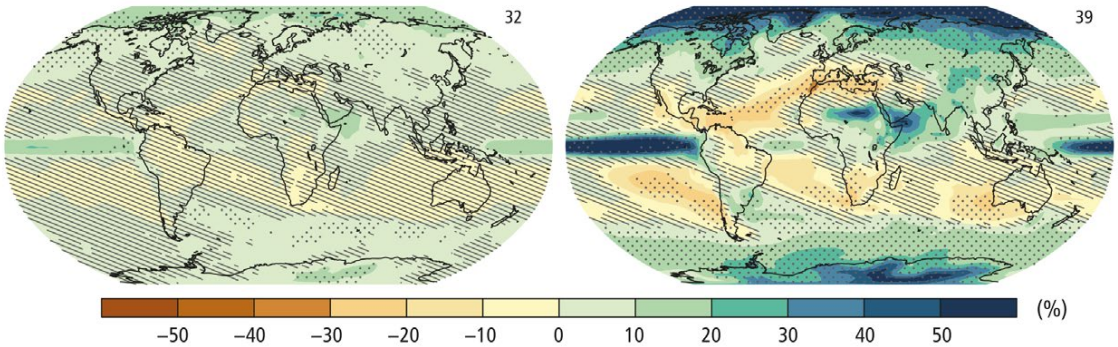


Abb. 17: Veränderung des mittleren Niederschlags von 2081–2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1986–2005 (IPCC 2014A, S. 63)

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass durch die globale Klimaerwärmung bereits ein Anstieg des jährlichen Niederschlages stattgefunden hat, während Modellierungen zeigen, dass in der Zukunft mit weiteren Anstiegen des mittleren Niederschlages auf globaler Maßstabsebene zu rechnen sein wird. Die Veränderungen sind jedoch von Region zu Region sehr unterschiedlich ausgefallen und werden für die Zukunft für die Regionen auch unterschiedlich prognostiziert. Daher erscheint es sinnvoll, die Auswirkungen des Klimawandels auf Niederschlagsereignisse für die Region Deutschland gesondert zu betrachten.

Die Datenlage hinsichtlich des Klimawandels ist für Deutschland insgesamt als gut einzuschätzen, so dass sich die Veränderungen im vergangenen Jahrhundert dementsprechend beschreiben lassen. Das aktuelle Messnetz von ca. 1900 Messstationen wird dabei vom Deutschen Wetterdienst betrieben. Mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes und dessen Vorgängerorganisationen lassen sich Entwicklungen bis ca. 1881 zurückverfolgen (KASPAR, MÄCHEL 2017, S. 18-20). Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Niederschläge von 1881–2014 im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1961–1999 um 10,2 % zugenommen haben und sich sowohl zwischen den Jahreszeiten als auch zwischen den Regionen Unterschiede ausmachen lassen. So stieg die Niederschlagsmenge im Winter um 26 %, während sie im Sommer um 0,6 % sank. Im Westen Deutschlands nahmen die Niederschläge dabei stärker zu als im Osten (KASPAR, MÄCHEL 2017, S. 21).

Wie beim Niederschlag allgemein zeigt sich auch bei den Starkniederschlägen eine Zunahme, die regional und jahreszeitlich differenziert betrachtet werden muss (siehe Abbildung 18).

So konnte in dem Zeitraum von 1950–2004 bei den sommerlichen Starkniederschlägen, die aufgrund ihres konvektiven Verhaltens eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität aufweisen, eine generelle Abnahme von 8 % pro Jahrzehnt festgestellt werden. Besonders bei den sommerlichen Starkniederschlägen zeigt sich dabei regional ein sehr uneinheitliches Bild.

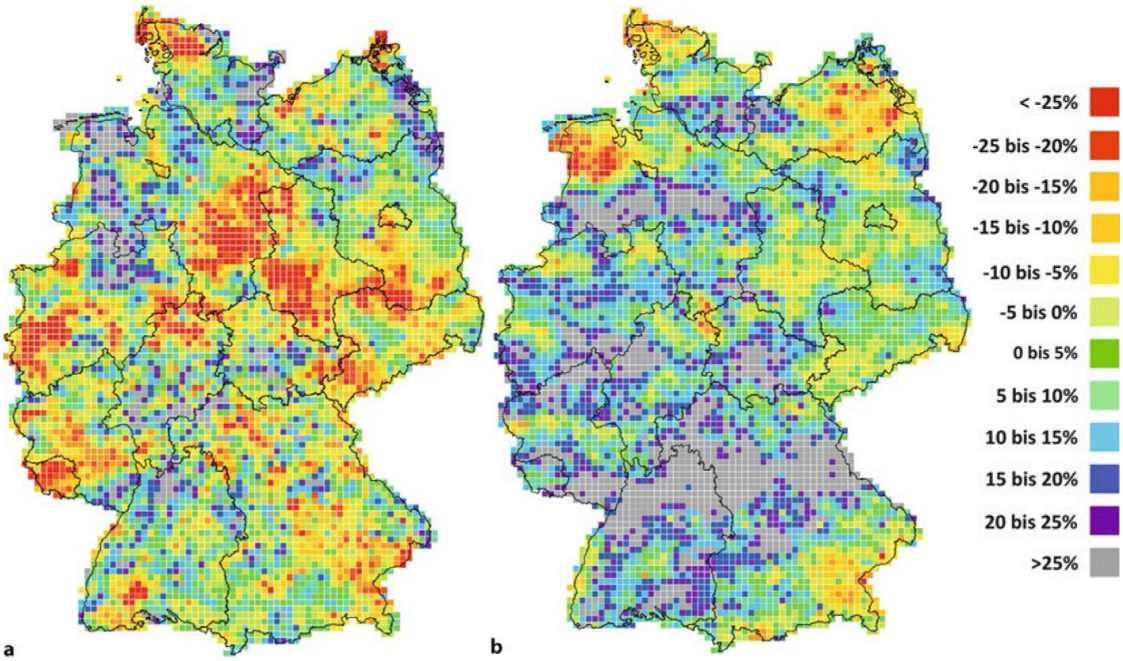


Abb. 18: Prozentuale Abweichungen der Starkniederschlagshöhen für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren für den Zeitraum von 1971–2000 im Vergleich zu 1951–1980, für den Sommer (a) und Winter (b) (KUNZ et al. 2017, S. 59)

Die sommerlichen Starkniederschläge traten dabei vor allem im Norden Schleswig-Holsteins, in der Mitte Deutschlands und im äußersten Westen seltener auf. Dem gegenüber zeigt sich für die Starkniederschläge im Winter ein einheitlicheres Bild. So konnten mit Ausnahme des Nordens von Niedersachsen, des Nordens von Schleswig-Holstein, von großen Teilen Mecklenburg-Vorpommerns sowie des Südens von Bayern größtenteils eine Zunahme von winterlichen Starkniederschlägen verzeichnet werden (KUNZ et al. 2017, S. 58f.).
Neben der Zunahme der Starkniederschlagstage konnte in einigen Studien zudem nachgewiesen werden, dass sich an Starkniederschlagstagen auch die Niederschlagssumme erhöht hat und dass, abgesehen vom Osten, die Anzahl der Tage mit Summen von ≥ 20 mm im Zeitraum von 1951–2006 stärker zugenommen hat als die Anzahl der Tage mit geringeren Summen von < 20 mm (KUNZ et al. 2017, S. 59).
Die Vorhersage mithilfe von Modellen aufgrund der Forschungsergebnisse zu Starkniederschlägen kann jedoch, je nach betrachtetem Zeitraum, der verwendeten statistischen Methode, dem gewählten Modell sowie dem angenommenen Emissionsszenario, sehr unterschiedlich ausfallen. Quantitative Aussagen müssen daher mit äußerster Vorsicht betrachtet werden (KUNZ et al. 2017, S. 61). Dies erklärt auch, dass zu dieser Thematik zahlreiche Studien existieren, die je nach Auswahl der oben genannten Faktoren zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen

(für eine Übersicht siehe KUNZ et al. 2017). Im Folgenden sollen daher nur exemplarisch ausgewählte Ergebnisse dargestellt werden.
Die Häufigkeit als auch die Intensität von Starkniederschlägen in Deutschland wird nach den Vorhersagen regionaler Klimamodelle zunehmen (KUNZ et al. 2017, S. 60). Als Hauptursache hierfür wird der mit der Temperatur korrelierende Anstieg des Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre gesehen (IPCC 2013/2014, S. WGI-21; IPCC 2014B, S. 40f.). So gehen etwa WAGNER et al. (2013) in ihrer Studie davon aus, dass Starkniederschläge insgesamt zunehmen werden, wobei die verschiedenen Modellierungen erhebliche Unterschiede aufweisen (WAGNER et al. 2013, S. 425). Die Studie deckt sich mit den Ergebnissen von FELDMANN et al. (2010), welche für Südwestdeutschland von einer Zunahme der Starkniederschlagsintensität im Zeitraum von 2011–2040 (im Vergleich zu 1971–2010) ausgehen. Auch hier wird mit einer stärkeren Zunahme von Starkniederschlägen im Winter gerechnet (vgl. FELDMANN et al. 2010, S. 55-58; 63f.).
Für die Entstehung von Hochwasser in Süd- und Ostdeutschland ist vor allem die Vb-Wetterlage entscheidend. Zur zukünftigen Entwicklung von Vb-Wetterlagen sind nicht viele Studien vorhanden, jedoch konnte die Studie WETRAX in Modellierungen aufzeigen, dass bis zum Jahr 2050 mit einer schwachen Zunahme von Starkniederschlagsmengen aus Vb-Wetterlagen zu rechnen ist. Für den Zeitraum von 2061–2100 werden hingegen starke Anstiege von +10 % bis +20 % prognostiziert. Während für die Sommermonate bis 2050 zunächst von uneinheitlichen und schwach ausgeprägten Veränderungen ausgegangen wird, nehmen diese Veränderungen für den Sommer im Zeitraum von 2061–2100 zu. In den Wintermonaten hingegen wird generell eine deutliche Zunahme von Starkniederschlägen aus Vb-Wetterlagen prognostiziert. Hier wird bei bestimmten Modellen für den Zeitraum bis 2050 von einer Zunahme von 30 % ausgegangen (vgl. HOFSTÄTTER et al. 2015, S. 182f.).
Wie bereits im vorherigen Kapitel deutlich gemacht wurde, besitzt bei der Entstehung von Hochwasser der Schnee als Niederschlagsform eine besondere Bedeutung. In der Vergangenheit konnte dabei festgestellt werden, dass die Schneedeckendauer (Anzahl der ununterbrochenen Schneedeckentage) in Bayern und Baden-Württemberg abgenommen hat. Für Lagen bis 300 Meter ü. NN konnte seit 1950 eine Abnahme von 30–40 % und in Lagen zwischen 300–800 ü. NN Metern eine Abnahme von 10–20 % festgestellt werden. Für Lagen über 800 Meter ü. NN hingegen konnten kaum Veränderungen beobachtet werden, wobei die Veränderungen, aufgrund der starken jährlichen Schwankungen, nur selten signifikant sind (KUNZ et al. 2017, S. 64). Für die Zukunft wird aufgrund der steigenden Temperaturen mit einem generellen Rückgang der Schneemenge gerechnet. Dabei werden Winterniederschläge vermehrt in Form von Regen fallen. So sollen zur Mitte des 21. Jahrhunderts noch ein Drittel und zum Ende des Jahrhunderts lediglich noch ein Sechstel der Niederschlagsmenge als Schnee fallen (KUNZ et al. 2017, S. 64).

Dementsprechend nimmt auch die Schneemenge in tiefen bis mittleren Lagen um bis zu 15 % pro Grad Celsius Temperaturanstieg ab (VRIES et al. 2014, S. 4297). Die Abnahme der Schneedeckendauer und die Umwandlung von Schnee in Regen ist entscheidend, da Schnee als Wasserspeicher eine wesentliche Dämmfunktion bei der Hochwasserentstehung einnimmt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004, S. 20f.).
Neben den Vorhersagen der klimawandelbedingten Veränderungen von Starkregenereignissen, Schneeniederschlägen und Großwetterlagen in Deutschland gibt es zudem Versuche, mögliche Veränderungen der Auftretenswahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen aufgrund des Klimawandels vorherzusagen.
Vorhersagen von Hochwasserereignissen sind jedoch äußerst problematisch, da Hochwasserereignisse komplexe, von Wechselwirkungen und Zufällen geprägte, Entstehungsursachen haben (BRONSTERT et al. 2017, S. 88). In den Untersuchungen wurde dabei zwischen Sturzfluten und Hochwasserereignissen in großen Flussgebieten unterschieden. Hochwasserereignisse in großen Flussgebieten wurden dabei mit einer zeitlichen Auflösung von Tagen betrachtet. Dafür wurden insgesamt Hochwassertrends von 145 Abflusspegeln für Einzugsgebiete von über 500 km² untersucht, die über ganz Deutschland verteilt waren. Gemessen wurden jährliche und saisonale Höchstabflüsse, sowie Hochwasserscheitelabflüsse im Winter- und Sommerhalbjahr, die einen bestimmten Schwellenwert überschritten hatten. Betrachtet wurde dabei der Zeitraum von 1951–2002 (vgl. PETROW, MERZ 2009, S. 129-133). Die Ergebnisse zeigen, dass die jährlichen Maxima der Tagesabflussmittelwerte an 28 % der Pegel signifikant zunehmend waren und nur zwei Pegel insgesamt fallende Werte besaßen. Dabei zeigten 23 % der Pegel einen steigenden Trend der Wintermaxima. Im Vergleich dazu wurden bei den Sommermaxima jeweils 20 % steigende oder fallende Werte festgestellt. Insgesamt besaß die Mehrheit der Pegel jedoch keinen signifikanten Trend. Gab es jedoch signifikante Veränderungen, so zeigten diese fast durchgängig eine Zunahme der Pegelwerte (PETROW, MERZ 2009, S. 135f.). Interessant ist hierbei, dass es für die verschiedenen Flusseinzugsgebiete erhebliche Unterschiede gibt. So zeigten die Einzugsgebiete des Rheins und der Donau starke Veränderungen, während die der Einzugsgebiete der Elbe und der Weser deutlich geringer ausfielen. Die klare räumliche und saisonale Konsistenz des Trends lassen PETROW und MERZ (2009, S. 138) vermuten, dass die Veränderungen großräumige und saisonal unterschiedliche Ursachen besitzen. Daher nehmen PETROW und MERZ (2009, S. 137f.) Klimavariabilitäten und/oder den Klimawandel als Ursachen an.
In diesem Kapitel konnte aufgezeigt werden, dass in den vergangen Jahrzehnten im Durchschnitt eine Zunahme von Starkniederschlagstagen und der Starkniederschlagssumme in Deutschland stattgefunden hat. Bei den Starkniederschlagstagen muss jedoch sowohl räumlich als auch saisonal differenziert werden. So zeigten die Sommermonate ein eher uneinheitliches Bild, während die Wintermonate fast

einheitlich eine Zunahme von Starkniederschlägen aufweisen. Die Erkenntnisse decken sich mit den Prognosen, die besagen, dass in Deutschland in Zukunft vermehrt Starkniederschläge mit höheren Niederschlagssummen zu verzeichnen sein werden. Hier gibt es eine Übereinstimmung mit der WETRAX Studie, die in Zukunft mit häufigeren Vb-Wetterlagen und somit Starkregenereignissen vor allem in Wintermonaten rechnet.
Weitere Modellierungen zeigen zudem, dass mit dem Anstieg von Hochwasserabflüssen zu rechnen ist (BRONSTERT et al. 2017). Hier sollte jedoch mit Prognosen besonders vorsichtig umgegangen werden. Auch wenn diese Vermutung aufgrund der vorher aufgezeigten Erkenntnisse logisch erscheint, so ist sie aufgrund der komplexen Systematik von Hochwasserabflüssen nicht unbedingt zwingend (BRONSTERT et al. 2017, S. 99f.).

2.4.2.2 Mögliche Hochwasserschäden

Mit 250 Millionen betroffenen Menschen und einer Schadenssumme von ca. 40 Milliarden US Dollar im jährlichen Durchschnitt sind Hochwasserereignisse vermutlich das Naturereignis, welches das Leben der Menschen in Zukunft am stärksten beeinflusst (OECD 2016, S. 9). Im Folgenden sollen die Auswirkungen der Hochwasserereignisse auf das Leben von Menschen, mit Schwerpunkt auf deren Schadenswirkungen, beschrieben werden. Hochwasserereignisse können für die Natur und den Menschen jedoch auch positive Auswirkungen besitzen (zu der Bedeutung von Hochwasserereignissen z. B. in Bangladesch siehe WILMS 2006). Die Bestandsaufnahme möglicher Schäden ist wichtig, da sie die Grundlage für ein finanziell angemessenes Hochwasserrisikomanagement ist (GRÜNEWALD, SÜNDERMANN 2001, S. 164). Hochwasserschäden können dabei in direkte und indirekte Schäden eingeteilt werden (siehe Abbildung 19). Diese wiederum sind entweder tangibel oder intangibel. Unter direkte tangible Schäden zählen finanziell festlegbare Aspekte wie Vermögensschäden, während intangible Schäden nicht finanziell festzulegende Schäden sind (Menschenleben oder die Zerstörung von Kulturgütern). Zeitlich oder räumlich distanziert zum Hochwaser festzustellende Schäden werden zu den indirekten Schäden zusammengefasst (KRUSE 2010, S. 37). Auch diese werden in tangibel (z. B. reduzierte Kaufkraft) und intangibel (z. B. psychologische Auswirkungen) unterteilt (vgl. NIEKAMP, PIROTH 2013, S. 521-524).

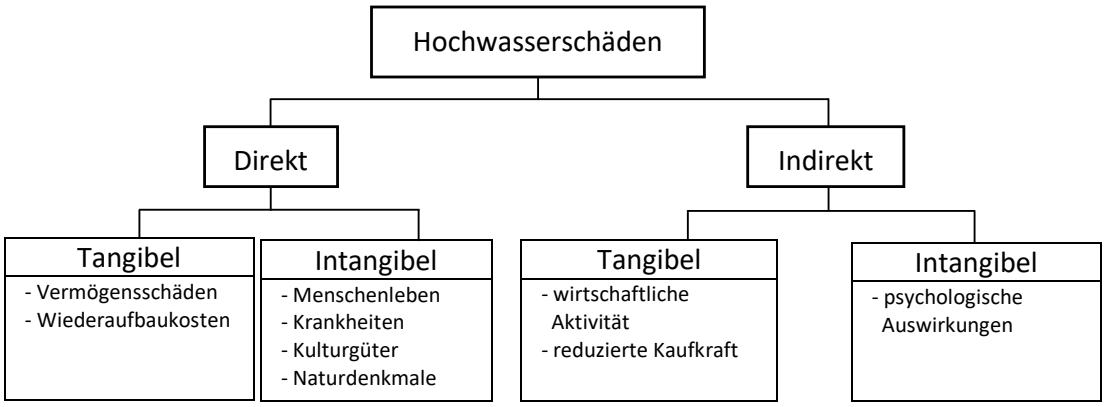


Abb. 19: Kategorisierung von Hochwasserschäden (NIEKAMP, PIROTH 2013, S. 524)

Da es sich beim Hochwasser um ein natürliches Ereignis handelt, kommt es erst zu Schäden, wenn der Mensch sich in Gebieten niederlässt, die von Hochwasserereignissen betroffen sind (EVERS 2018, S. 28). Dass dies verstärkt stattfindet, hat verschiedene Ursachen. So stellen Flächen, die nahe an Flüssen liegen, oftmals eine gute Grundlage für Landwirtschaft und Industrie dar (PODBREGAR 2015, S. 198). Zudem verändert sich bei der Bevölkerung die subjektive Wahrnehmung des potenziellen Schadens von Hochwasserereignissen, da durch technische Hochwasserschutzmaßnahmen der Eindruck erweckt wird, dass die Gebiete nicht mehr von Hochwasserereignissen betroffen sein können. Dies führt dazu, dass in Räumen Siedlungsgebiete entstehen, welche aufgrund des Hochwasserrisikos eigentlich nicht bebaut werden sollten (GRAW 2003, S. 44). In bestimmten Regionen, wie z. B. in Europa, wird das Bauen in Flussnähe durch billiges Bauland, gute Infrastruktur und Stadtnähe zusätzlich noch attraktiv gestaltet. Gemeinden mit mehr als 5000 Einwohnern liegen daher doppelt so häufig an Flüssen wie in nicht flussnahen Flächen Deutschlands (MERZ et al. 2014, S. 19). Durch die räumliche Nähe zu den Flüssen und den Anstieg des Besitzes in der Bevölkerung (GRAW 2003, S. 44) kam es in den letzten Jahrzehnten weltweit zu einem Anstieg der finanziellen Schäden durch Hochwasserereignisse (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018).
Werden die Schäden seit 1980 im Detail betrachtet, so fällt auf, dass ein Großteil der Schadenssumme von insgesamt ca. 1 Billion US $ in Asien (57,4 %) angefallen ist. Dies ist nicht überraschend, da sich in Indien, Bangladesch und China mehrere Megastädte in der Nähe von Hochwassergebieten befinden (PODBREGAR 2015, S. 198f.). Nach Asien ist, was die finanziellen Schäden angeht, als nächstes Europa zu nennen (19,1 %), gefolgt von Mittel- und Nordamerika (15,5 %). In Südamerika (4,8 %), Ozeanien (2,2 %) und Afrika (1,0 %) sind die finanziellen Schäden hingegen vergleichsweise geringer (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018). Während weltweit aufgrund der umfangreicheren Datenlage noch von einem generellen Anstieg ausgegangen werden kann, sind in Deutschland generell zu

wenige Hochwasserereignisse aufgelistet, um aus den Daten eine Tendenz zu erkennen.
Von den insgesamt auf 37 Milliarden US $ geschätzten Schäden seit 1980 stechen die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 (ca. 17 Milliarden) und 2013 (ca. 9 Milliarden) heraus (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018). Studien haben zudem gezeigt, dass in Europa ein Anstieg der Schäden durch Hochwasserereignisse festzustellen ist. Wird aus den Schäden jedoch die Inflation, der Wohlstandsanstieg und die Veränderung der Bevölkerungsdichte herausgerechnet, kann kein signifikanter Trend mehr konstatiert werden (MERZ et al. 2014, S. 19).
Als direkte tangible Schäden werden Vermögensschäden und Wiederaufbaukosten genannt (NIEKAMP, PIROTH 2013, S. 524). Die Vermögensschäden können bei einem Hochwasser durch unterschiedliche Kräfte verursacht werden. Vor allem kann hier die Kraft der Hochwasserwelle an sich und der später vom Wasser ausgelöste Druck genannt werden. Durch das Eindringen von Wasser in Wohnungen können zudem die Ausstattung und das Inventar beschädigt werden, wobei entscheidend ist, wie lange das Wasser Zeit hat, Schäden zu verursachen. So können durch den kapillaren Wasseraufstieg auch Bereiche betroffen sein, die zunächst nicht direkt mit dem Hochwasser in Kontakt standen. Ein weiteres Problem stellen, wenn vorhanden, Öltanks dar, die Auftrieb erhalten und dadurch Öl aus den Verbindungsleitungen freisetzen. Eine andere nicht direkt sichtbare Gefahr stellen die Auftriebskraft und der Wasserdruck dar. Diese steigen aufgrund des hohen Wasserstands im Vorfluter an und können dafür sorgen, dass es zu Aufschwimmtendenzen von ganzen Gebäuden kommt (vgl. HERGET 2008, S. 168). Neben den Schäden an und in Gebäuden ist jedoch auch die Zerstörung der Infrastruktur zu nennen. So wurde alleine der Schaden der Deutschen Bahn nach dem Hochwasser 2002 auf 1 Milliarde Euro beziffert (MÜLLER et al. 2015, S. 37). Die Schäden können dabei direkt und tangibel sein, wenn z. B., wie 2002, Bahnhöfe, Brücken und Strecken zerstört werden. Zudem kommen indirekt aus den Betriebsunterbrechungen und -einschränkungen entstandene Schäden hinzu. So wurden nach dem Hochwasser 2013 insgesamt 10.000 Personenzüge und 3.000 Güterzüge aufgrund von Sperrungen umgeleitet (MÜLLER et al. 2015, S. 38).
Neben den Privathaushalten, der Infrastruktur und der Industrie muss als letztes noch die Land- und Forstwirtschaft genannt werden (siehe Abbildung 20). Hier entstehen Verluste vor allem durch Ablagerungen von Sedimenten und Giftstofen etc., die vom Wasser mitgeführt werden und die dadurch zu Ernteausfällen bzw. -einbußen führen (HERGET 2008, S. 168).

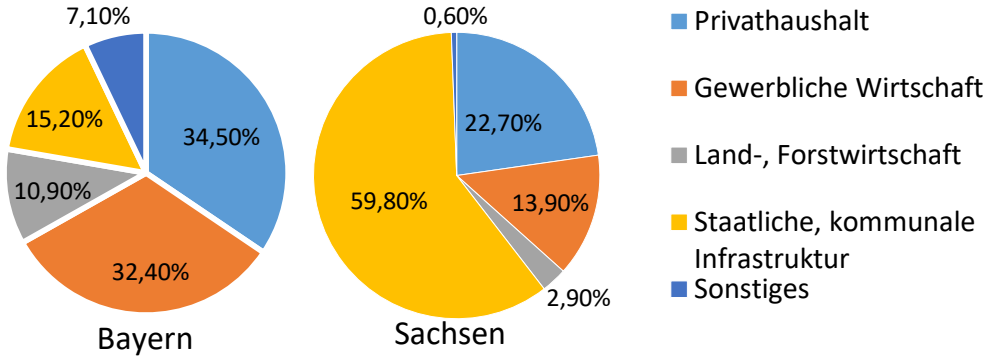


Abb. 20: Verteilung der direkten Gesamtschäden durch das Sommerhochwasser 2013 nach Sektoren, in den Bundesländern Bayern (1,2 Mrd. Euro Schäden) und Sachsen (1,9 Mrd. Euro Schäden) (MÜLLER et al. 2015, S. 34)

In Abbildung 20 werden die Schäden durch das Hochwasser 2013 in den verschiedenen Sektoren aufgezeigt. Dabei wird deutlich, dass sich die Verteilung der Schäden je nach örtlichen Gegebenheiten sehr unterschiedlich ausfallen kann. Jedoch sind in beiden Fällen die Privathaushalte, die staatliche und kommunale Infrastruktur sowie die gewerbliche Wirtschaft die am stärksten betroffenen Bereiche.
Schaut man sich im Vergleich zu den finanziellen Schäden die Todeszahlen weltweit an, so werden schnell Unterschiede deutlich. Insgesamt kamen seit 1980 weltweit 220.477 Menschen aufgrund von hydrologischen Ereignissen zu Tode. Auch hier ist wie bei den finanziellen Schäden Asien mit 74,2 %, gefolgt von Afrika mit 14,3 %, Südamerika mit 5,9 % und Nord- Mittelamerika mit 3,6 %, der mit Abstand am stärksten betroffene Kontinent. Dagegen hat Europa, welche bei den finanziellen Schäden noch mit knapp 20 % auf Platz zwei rangierte, bei den Todesopfern lediglich einen Anteil von 1,8 %. Die aufgezeigte Diskrepanz lässt sich vermutlich durch die unterschiedliche Verteilung von Besitz in den verschiedenen Kontinenten erklären. Dieser ist entscheidend für finanzielle Schäden, hat jedoch keinen Einfluss auf die Anzahl der Todesopfer. Zudem besitzt z. B. Deutschland, im Vergleich zu anderen Ländern, ein sehr ausgereiftes Hochwassermeldesystem, welches zu einer geringeren Opferzahl beiträgt (GRAW 2003, S. 47). Eine weitere indirekte intangible Folge ist verschmutztes Wasser aus Hochwasserereignissen, welches zu Krankheiten, wie z. B. Cholera oder die Ruhr, führt und die Todeszahlen weiter ansteigen lässt. Hier spielt vor allem das Gesundheitssystem der betroffenen Länder eine zentrale Rolle, um die Opferzahlen möglichst gering zu halten (BLAIKIE et al. 1994, S. 127).
Neben den bereits genannten direkten Schäden müssen zudem noch die intagiblen Schäden bei Kulturgütern und Naturdenkmälern genannt werden. Auch wenn Hochwasser ein natürliches Ereignis darstellt, kann durch menschliches Zutun auch die Natur Schaden nehmen. Ausgetretenes Heizöl bei Hochwasserereignissen führt beispielsweise zu Belastungen in Wasser und Boden und konnte u. a.

auch in Fischen festgestellt werden (MÜLLER 2010, S. 44).
Bei den indirekten Schäden sind oftmals wirtschaftliche Betriebe betroffen. So zeigte eine Umfrage nach dem Hochwasser 2013, dass die betroffenen Betriebe neben den direkten Schäden auch zahlreiche Verluste durch indirekte Schäden, wie z. B. Verkaufseinschränkungen, Produktionseinschränkungen und Lieferschwierigkeiten, erlitten hatten (MÜLLER et al. 2015, S. 35).

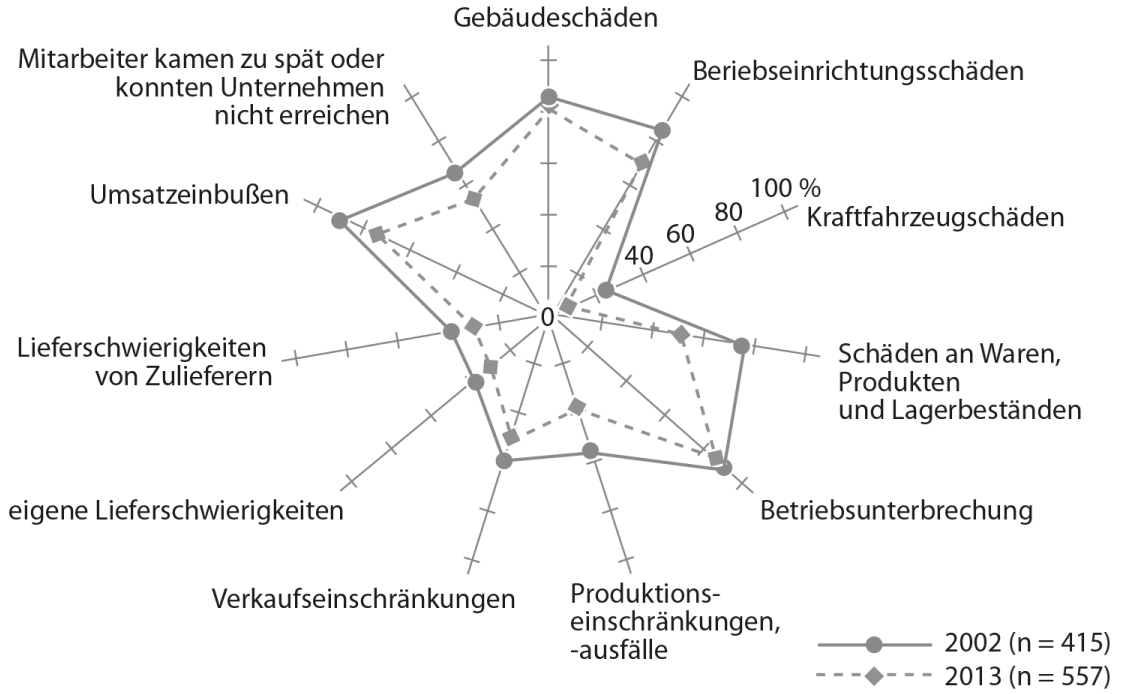


Abb. 21: Anteil der verschiedenen Auswirkungen bei Unternehmen, die nach den Hochwasserereignissen 2002 und 2013 in Deutschland berichteten (MÜLLER et al. 2015, S. 35)

Zu den indirekten intangiblen Schäden werden vor allem psychische Belastungen gerechnet. Hier sind an erster Stelle Sorgen und Ängste um die Familie, die Zukunft und die eigene Existenz zu nennen. Dies kann sich z. B. in Schlafstörungen bemerkbar machen. So gaben in Befragungen, neun Monate nach dem Sommerhochwasser 2013 in Deutschland, 35 % der betroffenen Personen an, einmal oder mehrmals am Tag an das Ereignis denken zu müssen (MÜLLER et al. 2015, S. 43).
Insgesamt konnte in dem Kapitel aufgezeigt werden, dass sich Hochwasserschäden aus unterschiedlichen Faktoren zusammensetzen, die über die direkt wahrnehmbaren Schäden deutlich hinausgehen. Dabei konnte herausgestellt werden, dass eine der Hauptursachen für die zunehmenden Schäden in der Besiedlung von hochwassergefährdeten Gebieten liegt. Zudem konnten Unterschiede in der globalen Betroffenheit deutlich gemacht werden. Wie das Hochwasserrisikomanagement versucht, die aufgezeigten Schäden zu verhindern, soll im folgenden Kapitel dargestellt werden.

2.4.2.3 Hochwasserrisikomanagement

Im Folgenden soll ausgehend vom Begriff ‚Hochwasserrisikomanagement' veranschaulicht werden, wie in der BRD mit Hochwasserereignissen umgegangen wird. Da es sich beim Hochwasserrisikomanagement um ein sehr komplexes Thema handelt, können die verschiedene Bereiche teilweise nur kurz diskutiert werden (für eine tiefergehende Betrachtung siehe MÜLLER 2010; BROMBACH et al. 2013).

In den letzten zwei Jahrzehnten hat in der BRD eine Entwicklung weg vom Hochwasserschutz hin zum Hochwasserrisikomanagement stattgefunden (EVERS 2018, S. 28). Die Erfahrungen mit Hochwasserereignissen in den letzten beiden Jahrzehnten machen deutlich, dass die komplette Verhinderung von Risiken nicht möglich ist und stattdessen ein offener Umgang mit dem Problem angestrebt werden muss (BROMBACH et al. 2013, S. 316). Als Reaktion entwarf die EU im Jahr 2007 mit der RICHTLINIE 2007/60/EG die Grundlage für das spätere Hochwasserrisikomanagement in Deutschland (EU 2007). Die Richtlinie 2007/60/EG verpflichtet alle Länder der Europäischen Union, für ihre Einzugsgebiete Risikoanalysen durchzuführen. Ist ein Einzugsgebiet nach der Risikoanalyse hochwassergefährdet, so werden Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten entworfen (MÜLLER 2010, S. 49).
Diese Karten stellen die Grundlage für später zu entwickelnde Hochwasserrisikomanagementpläne dar (MULNV NRW 2013, S. 6). In den Karten werden dabei die von Hochwasserereignissen gefährdeten Landflächen hervorgehoben, wobei Karten für drei Szenarien erarbeitet werden. Das Szenario ‚$HQ_{häufig}$' stellt Hochwasserereignisse dar, die im Mittel alle 10–20 Jahre auftreten. ‚HQ_{100}' hingegen zeigt auf, welche Gebiete von einem im Mittel alle 100 Jahre auftretenden Hochwasser betroffen sind, während die ‚HQ_{extrem}' Jahrhunderthochwasser darstellt, die seltener als alle 100 Jahre stattfinden (MULNV NRW o. J., S. 2). Um das Hochwasserrisikomanagement verstehen zu können, ist es essenziell, den Begriff Risikomanagement zu erläutern. Unter Risiko wird dabei der Überschneidungsbereich von Gefährdung und Vulnerabilität verstanden (siehe Abbildung 22).

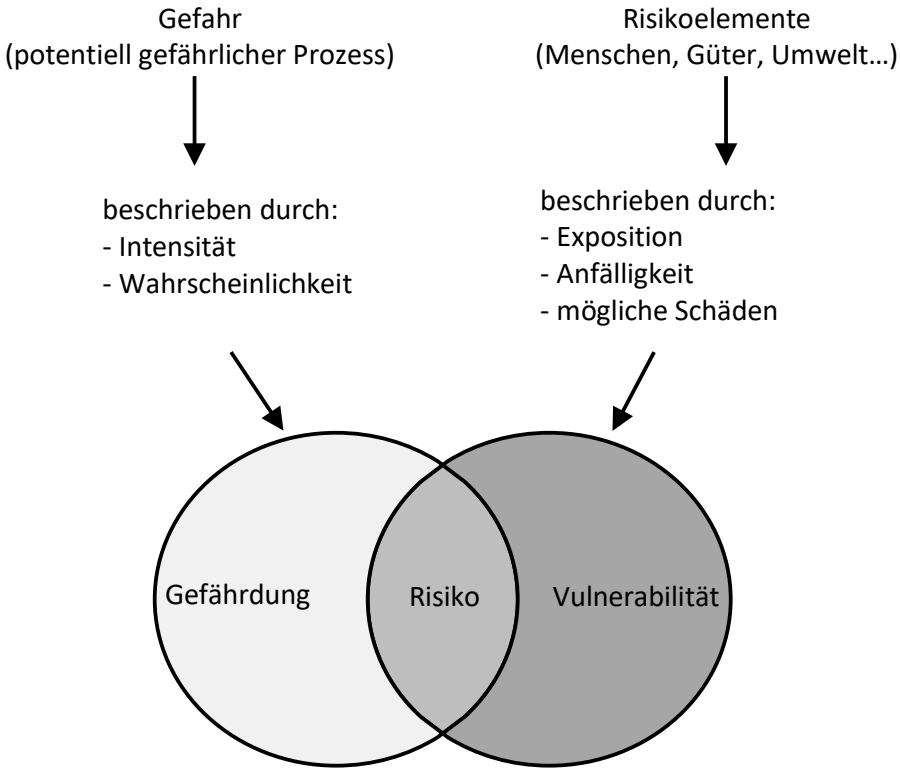


Abb. 22: Graphische Darstellung von ‚Risiko' (BROMBACH et al. 2013, S. 317)

Wenn also ein potenziell gefährlicher Prozess stattfinden kann, der Auswirkungen auf Menschen, Güter oder die Umwelt besitzt, kann man von einem Risiko sprechen. Wie hoch dieses Risiko eingeschätzt wird, hängt dabei einerseits von der Wahrscheinlichkeit und der möglichen Intensität des potentiell gefährlichen Prozesses und andererseits von der Vulnerabilität der Risikoelemente ab. Im Hochwasserrisikomanagement wird daher in einem ständigen Prozess das Risiko in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt und es wird versucht, dieses zu managen (EVERS 2018, S. 28). Auch wenn das Auftreten von Hochwasserereignissen nie ganz verhindert werden kann, wird durch verschiedene Prozesse sowohl auf die mögliche Gefährdung als auch auf die Risikoelemente Einfluss genommen.

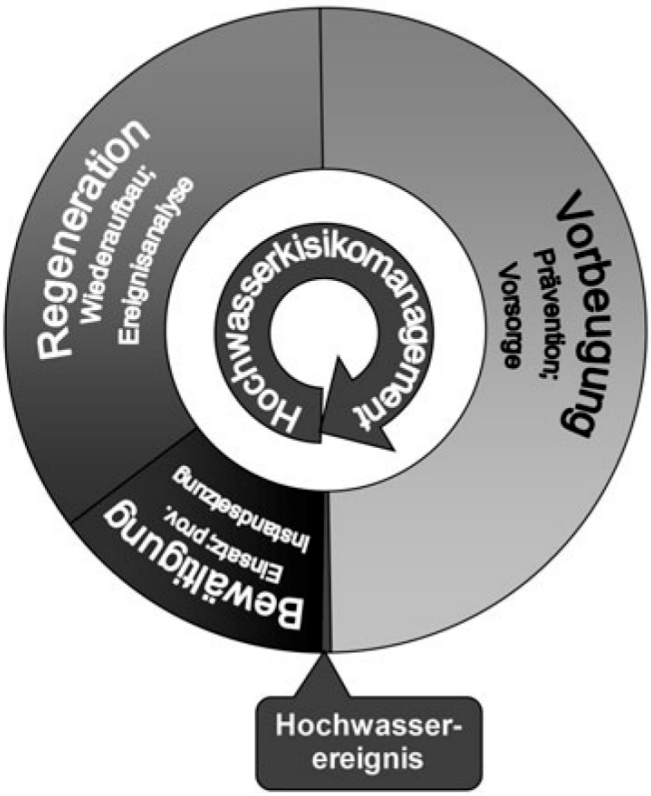


Abb. 23: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements (MÜLLER 2010, S. 9)

In dem ständigen Prozess des Hochwasserrisikomanagements stellt das Hochwasserereignis an sich lediglich einen kleinen Bereich dar. Den Phasen der Bewältigung, Regeneration und Vorbeugung, auf welche der Mensch teilweise Einfluss nehmen kann, wird hingegen mehr Aufmerksamkeit gewidmet. In der Phase der direkt nach dem Ereignis stattfindenden Bewältigung, geht es um die Alarmierung und Rettung der Bevölkerung sowie die Schadensabwehr durch Sofortmaßnahmen und die provisorische Instandsetzung. Ein weiterer wichtiger Aspekt in dieser Phase stellt die Dokumentation des Hochwasserereignisses und der Sofortmaßnahmen dar. Dies ist wichtig, um in den darauf folgenden Prozessen eine Grundlage zu haben, mit welcher weiter gearbeitet werden kann. So soll in der anschließenden Regenerationsphase eine Ereignisanalyse sowie ein nachhaltiger Wiederaufbau durchgeführt werden. Schließlich findet in der Vorbeugungsphase die Prävention und Vorsorge für das nächste Ereignis statt. Hierunter fallen verschiedene Aspekte wie Verhaltensvorsorge, technischer Hochwasserschutz, natürlicher Hochwasserschutz, raumplanerische Maßnahmen und die Verstärkung einer angepassten Nutzung (vgl. MÜLLER 2010, S. 10f.).
In der Fachwissenschaft sind verschiedene graphische Darstellungen des Hochwassermanagements zu finden, die unterschiedliche Schwerpunkte setzen (siehe hierzu z. B. BROMBACH et al. 2013, S. 320; LAWA 2013, S. 9). Für die hier genutzte

graphische Darstellung sei angemerkt, dass eine Veranschaulichung als Spirale insgesamt zutreffender wäre, da das Hochwasserrisikomanagement sich in einem ständigen Lernprozess befindet und das Hochwasserschutzniveau sich somit permanent verändert (MÜLLER 2010, S. 9).
Beim Hochwasserrisikomanagement handelt es sich um einen integrativen Ansatz, in welchem unterschiedliche Akteure eingebunden werden. So besitzen u. a. die Wasserwirtschaft, Raumplanung, Bauleitplanung, der Denkmalschutz und der Katastrophenschutz eine zentrale Bedeutung (MULNV NRW 2010, S. 7).
Neben der Berücksichtigung dieser Akteure geht es aber auch darum, die individuellen Interessen betroffener Anwohner und anderer Interessenträger einzubringen (ZEHETMAIR 2013). Durch den frühzeitigen Einbezug betroffener Akteure können dabei nicht nur mögliche Verzögerungen verhindert werden, sondern in optimaler Weise auch Synergieeffekte entstehen (ZEHETMAIR 2013).
Im Folgenden werden die Phasen Bewältigung, Regeneration und Vorbeugung eingehender betrachtet. Die Phase ‚Hochwasserereignis' soll nicht dargelegt werden, da die hierfür entscheidenden Prozesse und Auswirkungen bereits erörtert wurden (siehe Kapitel 2.4.2.1).
Im Prozess der Hochwasserbewältigung geht es um die Begrenzung der Schäden und die Dauer eines Hochwasserereignisses. Zentrale Rollen spielen hierbei die frühzeitige Warnung der Bürger sowie eine strukturierte Schadensabwehr durch die Einsatzkräfte. Entscheidend ist der Zeitraum zwischen Beginn des Hochwassers und dem Eintritt kritischer Hochwasserstände (LAWA 2004, S. 25). Damit die Bevölkerung rechtzeitig informiert wird, ist es wichtig, auf gute Frühwarnsysteme zurückgreifen zu können (NIEDEK, FRATER 2003, S. 88). Erreicht die Hochwasserwarnung die gefährdeten Bürger rechtzeitig, dann können sie gegebenenfalls reagieren (PECH et al. 2015, S. 138). Die Vorhersage eines Hochwasserereignisses in Deutschland kann heute relativ genau vorgenommen werden. Für eine gute Hochwasservorhersage sind die aktuellen Pegelstände, eine genaue Wettervorhersage sowie gute Kenntnisse über das Fließgewässernetz entscheidend. Die verschiedenen Messdaten werden anschließend an Hochwasserschutzzentralen weitergeleitet, dort verarbeitet und an die regionalen Katastrophendienste gesendet (PODBREGAR 2015, S. 205f.). Die Kommunen geben anschließend über Funk, Fernsehen und Presse Hochwasserwarnungen heraus (GRAW 2003, S. 59). Während die Vorhersage in Deutschland aufgrund neuester Technik relativ gut gelingt, können sich vor allem die oftmals betroffenen sogenannten Entwicklungsländer die teuren Frühwarnsysteme nicht leisten und verfügen somit über geringere Vorwarnzeiten (PODBREGAR 2015, S. 205f.).
Eine wachsende Bedeutung bei der Frühwarnung nehmen digitale und soziale Medien ein (LINDSAY 2011, S. 1). Da die frühzeitige und schnelle Übermittlung von Informationen eine zentrale Rolle spielt (HOUSTON et al. 2014, S. 1), eignen sich digitale Medien gut, um gezielte Warnungen herauszugeben. Zudem können die

Informationen genutzt werden, um das Katastrophenmanagement besser zu organisieren (LINDSAY 2011, S. 1)[3]. An dieser Stelle sei kurz auf die für Deutschland wichtige Notfall-Informations- und Nachrichten-App des Bundes (NINA) verwiesen, mit deren Hilfe die Bevölkerung auf Gefahrenlagen aufmerksam gemacht werden soll (BBK 2019).
Wurden die betroffenen Bevölkerungsteile rechtzeitig gewarnt, ist es entscheidend, dass diesen Maßnahmen zur Schadensminderung bekannt sind. Hier ist beispielsweise die Sicherung von Dokumenten und Wertsachen, das Hochstellen beweglicher Gegenstände und das Entfernen von Fahrzeugen aus der Gefahrenzone zu nennen (PECH et al. 2015, S. 138f.).
Ein weiteres wesentliches Element in der Hochwasserbewältigung stellen Einsatzkräfte dar. Hier sind neben staatlichen Einsatzorganisationen (Bundeswehr, Bundespolizei, Technisches Hilfswerk) auch öffentlich-rechtliche Einsatzorganisationen (Feuerwehren und Regieeinheiten) und private Hilfsorganisationen (u. a. Deutsches Rotes Kreuz, Arbeiter-Samariter-Bund) zu nennen (PISI 2015, S. 150-152). Ihre Aufgabe ist es unter anderem, die Durchführung von Polderflutungen, die Verstärkung und Erhöhung der Deiche, die Organisation des Lufttransportes, Absperrmaßnahmen seitens der Polizei sowie die Evakuierung der Bevölkerung durchzuführen (PISI 2015, S. 152). Ein besonderes Augenmerk liegt zudem auf der Instandsetzung von zentralen Einrichtungen und Infrastrukturen, wie Krankenhäuser, Wasserwerke, Rettungswege, Kommunikationswege und Ver- und Entsorgungsleitungen (MÜLLER 2010, S. 10).
Ebenfalls bedeutsam in dieser Phase sind die Medien und die Öffentlichkeitsarbeit. So haben Betroffene, die Öffentlichkeit, aber auch die Einsatzkräfte vor Ort, ein großes Interesse an aktuellen Entwicklungen. Die Behörden müssen gut informiert sein und die Informationen zeitlich vor der Bevölkerung besitzen, so dass sie Fehlentwicklungen entgegenwirken können (PISI 2015, S. 161). Betroffene und Einsatzkräfte sollten zudem eine bestmögliche psycho-soziale Unterstützung bekommen, da sie starken Belastungen ausgesetzt sind (PISI 2015, S. 161).
Nach der Hochwasserbewältigung geht es in der Phase der Regeneration darum, den Wiederaufbau und die Ereignisanalyse durchzuführen (MÜLLER 2010, S. 185). Beim Wiederaufbau geht es u. a. um die Fließgewässerinstandsetzung. Bei der Fließgewässerinstandsetzung ist es das Ziel, dem Fluss seinen natürlichen Raum zurückzugeben. Dies soll erreicht werden, indem natürlicher Retentionsraum geschaffen wird, Deiche geschlossen und, wenn möglich, rückverlagert werden und die Gewässer in den natürlichen Räumen belassen werden (MÜLLER 2010, S. 193f.).

[3] Für eine ausführliche Darlegung der Thematik soziale Medien und Naturrisiken, siehe vor allem HOUSTON et al. (2014).

Neben der Instandsetzung der Flüsse und Deiche müssen zudem die zentralen Einrichtungen, die Infrastruktur, Gebäude sowie Gewerbe- und Industrieobjekte im Sinne der Nachhaltigkeit wiederaufgebaut werden (MÜLLER 2010, S. 10).
Die Ereignisanalyse stellt die Grundlage dafür dar, dass das Hochwasserrisikomanagement nachhaltig gestaltet ist und durch einen Lernprozess Verbesserungen im Sinn einer Lernspirale erreicht werden. Dafür müssen im ersten Teil der Ereignisanalyse die Ursachen des Hochwasserereignisses sowie die Hochwasserschutzmaßnahmen und ihr Erfolg untersucht werden. Im zweiten Teil der Ereignisanalyse werden Schlussfolgerungen für die Zukunft gezogen. Dabei werden Überlegungen angestellt, wie das Gefahren- und Schadenspotenzial in Zukunft verringert werden kann (MÜLLER 2010, S. 203-205).
Die letzte Phase des Hochwasserrisikomanagements bildet die Hochwasservorbeugung. Während die beiden Phasen zuvor stark mit dem vorher aufgetretenen Hochwasserereignis verbunden sind, entfernt sich die Hochwasservorbeugung hiervon und versucht nachhaltige Aktionen zum Schutz vor zukünftigen Hochwasserereignissen durchzuführen (MÜLLER 2010, S. 207). Diese werden im Folgenden in die Aspekte Prävention und Vorsorge unterteilt. Unter Prävention fallen dabei Maßnahmen der Raumplanung, des natürlichen Hochwasserschutzes, des technischen Hochwasserschutzes und der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten (MÜLLER 2010, S. 11). Da die Thematik der Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten bereits dargelegt wurde, soll nun auf die anderen Aspekte der Prävention eingegangen werden.
Unter technischem Hochwasserschutz werden u. a. der Bau bzw. die Verstärkung von Stauanlagen, Deichen, Dämmen, Hochwasserschutzmauern, Sperrwerken und mobilen Hochwasserschutzanlagen sowie Maßnahmen zur Vergrößerung des Hochwasserabflussprofils gefasst (BROMBACH et al. 2013, S. 333). Vor allem bei großen Hochwasserereignissen spielen technische Maßnahmen und Retentionsräume eine wichtige Rolle. Der Bau von technischen Maßnahmen orientiert sich an einem Schutzziel, dem so genannten Bemessungshochwasser (SCHRÖTER et al. 2015, S. 76). Hier muss beachtet werden, dass auch durch technischen Hochwasserschutz kein Restrisiko ausgeschlossen werden kann (PODBREGAR 2015, S. 202). Dies zeigt sich bspw. durch Deichbrüche oder der Überspülung von Schutzsystemen (SCHRÖTER et al. 2015, S. 76). Einen zentralen Punkt im technischen Hochwasserschutz stellen Hochwasserrückhaltemaßnahmen dar. Hierzu können z. B. die 500 Talsperren und Rückhaltebecken in Deutschland mit einem Volumen von ca. 1 Milliarde m³ Wasser gerechnet werden. Sie haben die Funktion, das ankommende Wasser zu stauen und anschließend gezielt abzulassen (GRAW 2003, S. 54), so dass der Hochwasserscheitel gesenkt werden kann und sich die Gefahr für darunter liegende Flussabschnitte verringert (SCHRÖTER et al. 2015, S. 77). Bei den künstlichen Rückhaltebecken (Retentionsräumen) hingegen werden bestimmte Gebiete, um die Hochwasserspitze zu kappen, gezielt überflutet, um so wiederum

eine geringere Gefahr für die Unterlieger am Fluss zu erreichen (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 58). Dämme, Deiche und mobile Hochwasserschutzwände hingegen sind Beispiele für Schutzmaßnahmen für räumlich nahegelegene Gemeinden (GRAW 2003, S. 55). Sie sind errichtet worden, um vor allem gefährdete, niedrig liegende Gemeinden und ihr Hinterland zu schützen (PODBREGAR 2015, S. 202). Die Höhe der Deiche und Schutzmauern orientiert sich an einem Schutzziel und stellt keine absolute Sicherheit dar. Zudem können lang anhaltende Einwirkungen von Wasser zu Schäden und schließlich zum Bruch des Deiches oder der Schutzwand führen. Deichunterhaltungsmaßnahmen stellen daher eine unverzichtbare Daueraufgabe im Hochwasserschutz dar (SCHRÖTER et al. 2015, S. 80f.). Deiche, Dämme und Schutzmauern, welche die vor Ort liegenden Gemeinden schützen, haben den Nachteil, dass Sie durch die Abtrennung von natürlichen Retentionsräumen die Hochwassergefahr flussabwärts stark erhöhen (GRAW 2003, S. 55).

Bei mobilen Hochwasserschutzwänden muss zwischen planmäßigen mobilen Hochwasserschutzsystemen und operativ mobilen Hochwasserschutzsystemen unterschieden werden. Planmäßige mobile Hochwasserschutzsysteme werden eingesetzt, wenn statische Systeme nicht dauerhaft aufgebaut werden können. Ursachen hierfür können fehlender Platz oder statische Probleme sein. Zudem werden diese oft benutzt, um Deichdurchgänge, die z. B. für Straßen benötigt werden, mit mobilen Hochwasserschutzsystemen aufzufüllen. Operative mobile Hochwasserschutzsysteme hingegen dienen als Hochwasserabwehr und benötigen im Gegensatz zu planmäßigen mobilen Hochwasserschutzsystemen keine bautechnischen Voraussetzungen. Sie dienen oft als Sandsackersatz und verhindern als Barriere das Eindringen von Wasser in bestimmte Gebiete (vgl. MÜLLER 2010, S. 280-283). Der Bau und die Instandhaltung von technischen Hochwasserschutzsystemen verursachen immense Kosten. Der Bau eines Retentionsbeckens, welches den Hochwasserscheitel um 6 cm absenken soll, kostet beispielsweise zwischen 500 und 2.500 Millionen Euro (GRAW 2003, S. 55).

Als Ergänzung zum technischen Hochwasserschutz rückt in der Hochwasserprävention vermehrt der natürliche Hochwasserschutz in den Blickpunkt. Hier steht der natürliche Wasserrückhalt im Vordergrund. Bei dem bereits dargelegten technischen Hochwasserschutz werden den Flüssen oftmals Auenflächen abgeschnitten, die normalerweise als natürliche Retentionsflächen dienen (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 39). Im natürlichen Hochwasserschutz gibt es daher die Tendenz, Deichrückverlegungen durchzuführen, um ursprünglichen Retentionsraum wieder herzustellen (NIEDEK, FRATER 2003, S. 88). Eine besondere Bedeutung wird in diesem Bereich der Renaturierung den Auengebieten zugesprochen. Die Retentionswirkung von renaturierten Flussgebieten ist vor allem bei kleinen und mittleren Hochwasserereignissen groß. Je mehr die Abflussmenge jedoch zunimmt, desto geringer ist der Effekt der Rückhaltung (KOENZEN 1997, S. 160f.).

Neben dem natürlichen Hochwasserschutz sollen in Zukunft in der Nähe von Flüssen Überschwemmungsflächen ausgewiesen werden, die nicht bebaut werden dürfen. Dadurch können natürliche Retentionsräume entstehen und zusätzlich das Schadenspotenzial verringert werden (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 39). Dies geht sogar so weit, dass in bestimmten Gebieten Gebäude zurückgebaut werden, um das Schadenspotenzial weiter zu reduzieren (STIEGHORST 2011, S. 164f.).
Neben der Prävention spielt die Vorsorge in der Phase der Hochwasservorbeugung eine entscheidende Rolle. Hierunter können Aspekte wie Risikovorsorge (Versicherungen, Eigenvorsorge), Verhaltensvorsorge (Hochwasserschutzübungen) und die Hochwasserrisikomanagementpläne zusammengefasst werden (MÜLLER 2010, S. 11).
Kommt es zu Schäden, ist es hilfreich, eine Risikovorsorge betrieben zu haben. Diese kann durch das Ansparen von Eigenkapital oder durch eine Elementarschadensversicherung geschehen. Während in der Wohngebäude- oder Hausratsversicherung normalerweise Schäden durch Naturereignisse wie Sturm, Hagel oder Feuer abgedeckt sind, muss für Hochwasserschäden eine Zusatzversicherung abgeschlossen werden. Erst dann sind Schäden durch Naturereignisse wie Starkregen, Überschwemmungen, Erdbeben etc. abgedeckt (THIEKEN, PECH 2015, S. 170). Während in Deutschland der Abschluss einer Hochwasserschutzversicherung freiwillig ist, ist dieser z. B. in vielen Kantonen der Schweiz verpflichtend (MÜLLER 2010, S. 311).
Schaut man sich in Abbildung 24 die weltweite Verteilung der Versicherungsdichte von Naturereignissen an, so ist Deutschland der Gruppe mit der höchsten Versicherungsdichte zuzuordnen (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018).

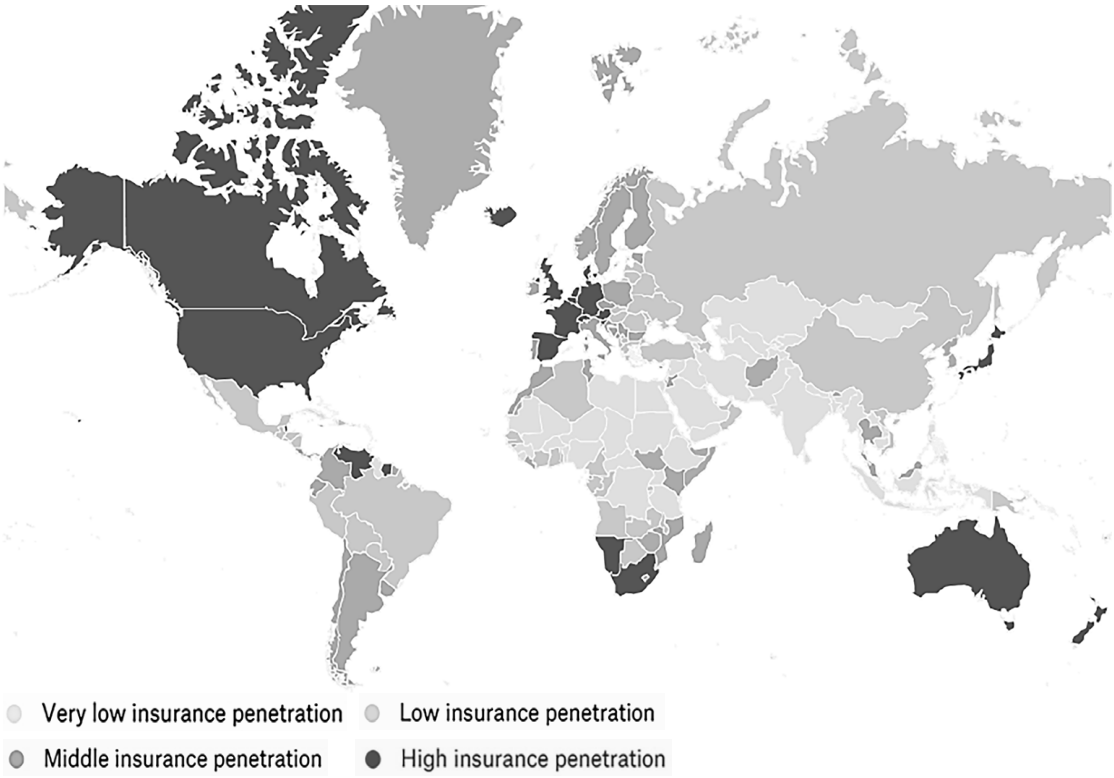


Abb. 24: Vermögens- und Lebensversicherungsdichte von Naturereignissen weltweit im Zeitraum 2012–2017 (MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG: NATCATSERVICE 2018)

Insgesamt konnten in Deutschland für die von den Hochwassern 2002 und 2013 betroffenen Gebiete ein deutlicher Zuwachs der Elementarschadenzusatzversicherung nachgewiesen werden (THIEKEN, PECH 2015, S. 173). Neben den Versicherungen stellen Hochwasserschutzübungen einen weiteren Bereich der Vorsorge dar. Hier ist vor allem die häufige praktische Anwendung unter realistischen Bedingungen entscheidend, da nur so die möglichen Schwachstellen aufgezeigt werden. Die Überprüfung und Optimierung der Zusammenarbeit von Einsatzkräften und Bevölkerung ist entscheidend und sorgt dafür, dass Hochwasserschutzeinrichtungen bei Bedarf zeitgerecht eingesetzt werden können.
Ein weiterer Aspekt der Vorsorge stellt die Information und Beteiligung der Öffentlichkeit dar (EVERS 2018, S. 31). Hier ist vor allem das Hochwasserrisikobewusstsein in der Bevölkerung entscheidend, welches für die Akzeptanz erforderlicher fachlicher Hochwasserschutzmaßnamen sorgt (MÜLLER 2010, S. 321). Dass der Einbezug der Bevölkerung notwendig ist, zeigt sich auch in zahlreichen internationalen (u. a. IPCC 2012, S. 15; DUK 2014, S. 11f.) und nationalen (u. a. BBK 2010, S. 73; UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 9) Forderungen nach besserer Bildung und Information der Bevölkerung. Die Bildung wird hierbei als entscheidender Schlüssel angesehen, um Grundlagen des risikoreduzierenden Handelns zu legen (HUFSCHMIDT, DIKAU 2013, S. 275). Die Entwicklung eines grundlegenden Verständnisses für Gefahren,

Risiken und Schadenspotenziale soll zudem eine Stärkung der Selbsthilfefähigkeit und somit der Resilienz (zum Konzept der Resilienz und Vulnerabilität siehe u. a. ALEXANDER 2013; MALLICK 2014; LAUTERJUNG 2016) fördern. Eine zentrale Bedeutung in der Bildung der Katastrophenvorsorge nehmen dabei die Schulen ein (vgl. HUFSCHMIDT, DIKAU 2013, S. 281; BBK 2010, S. 73). Hier können frühzeitig Verhaltensregeln eingeübt, Hochwasserschutzmaßnahmen inhaltlich erarbeitet und kritisch betrachtet werden (vgl. HUFSCHMIDT, DIKAU 2013, S. 277-280). Einer festen Verankerung der Risikothematik in verschiedenen Unterrichtsfächern, und hier besonders in der Geographie, kommt dabei eine entscheidende Rolle zu (HUFSCHMIDT, DIKAU 2013, S. 281).
In der Geographie lässt sich dabei in den Bildungsstandards (DGFG 2020, S. 12; 24), den Kernlehrplänen (u. a. MSW 2014, S. 22f.), Schulbüchern (BETTE et al. 2017; BÖNING et al. 2014; BRODENGEIER et al. 2014) und auch Zeitschriften mit unterrichtspraktischen Artikeln (u. a. FRAEDRICH 2011; SCHULER 2014; OBERACKER 2015; FUCHSGRUBER, RIEMBAUER 2016) eine grundlegende Berücksichtigung der Thematik Hochwasser im Unterricht feststellen[4]. HUFSCHMIDT und DIKAU (2013, S. 283) betonen dabei, dass für die Katastrophenvorsorge in der Bildung eine „ganzheitliche, vernetzte Sichtweise“ notwendig ist. Auch OTTO und MÖNTER (2013, S. 47) fordern „eine stärker integrative, systemische Betrachtung“ im Bereich der Katastrophenvorsorge. Wie eine solche systemische Betrachtung der Hochwasserthematik in der schulischen Bildung aussehen kann, soll im Folgenden eingehender untersucht werden.

[4] Aufgrund des Schwerpunktes dieser Studie werden bei den Schulbüchern und Kernlehrplänen exemplarisch Veröffentlichungen und curriculare Vorgaben von Gymnasien und Gesamtschulen aus dem Bundesland NRW dargestellt.

3 Forschungsfragen

Eine Möglichkeit, komplexe Systeme Schülern näher zu bringen, bilden Modelle (KÖCK 1995, S. 256). Auch aufgrund des Bezugs zu komplexen Systemen haben in den letzten Jahren Modelle wieder an Aktualität und Attraktivität gewonnen (MEISERT 2008; UPMEIER ZU BELZEN, KRÜGER 2010; WIKTORIN 2013). Für die Geographiedidaktik sind vor allem graphische Modelle und konkrete Modelle von Interesse (siehe Kapitel 2.2.3; WIKTORIN 2013, S. 4). Weil es bisher keine geographiedidaktischen Untersuchungen über die Förderung des systemischen Denkens durch graphische und konkrete Modelle gibt, möchte die vorliegende Arbeit dazu beitragen, die diesbezüglichen Lücken zu schließen. In der vorliegenden Arbeit soll daher untersucht werden, inwiefern graphische und konkrete Modelle einen Beitrag zur Förderung der Systemorganisation und Systemverhalten als Teil der Systemkompetenz leisten können.

Fragestellung 1: Ist in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nach der modellzentrierten Intervention ein statistisch signifikant stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorgansisation und Systemverhalten' im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisbar?

Hypothese 1: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) ist nach der modellzentrierten Intervention ein statistisch signifikant stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisbar.

Abgesehen von einer Studie von BROCKMÜLLER (2019) existieren in der Geographiedidaktik keine empirischen Studien, die den didaktischen Mehrwert von Modellen bei der Vermittlung von Systemen untersuchen. Verschiedene Veröffentlichungen in der Geographiedidaktik gehen jedoch direkt oder indirekt davon aus, dass Modelle einen Mehrwert bei der Vermittlung von Systemen schaffen (KÖCK 1995, S. 270; WIKTORIN 2013, S. 4; BROCKMÜLLER et al. 2016, S. 159f.). WIKTORIN (2013, S. 4) stellt heraus, dass gerade graphische Modelle bei komplexen Systemen einen grundlegenden Vorteil bieten, da sie eine bildhafte Vereinfachung der Komplexität vornehmen und damit gerade jungen Schülern eine Möglichkeit gegeben wird, einen Zugang zum systemischen Denken zu ermöglichen.
BROCKMÜLLER et al. (2016, S. 160) stellen tabellarisch differenziert dar, welche Vorteile Modelle bei der Vermittlung von komplexen Systemen besitzen können. Dabei wird besonders herausgehoben, dass Modelle gut geeignet sind, geographische Prozesse und Beziehungen zu verdeutlichen. Zudem wird herausgestellt, dass

durch Modelle Eingriffe in Systeme simuliert und die Auswirkungen dieser Eingriffe in Systeme illustriert werden können.
BIRKENHAUER (1995, S. 277) spricht ‚Systeme' zwar nicht direkt an, erläutert jedoch zumindest indirekt die Funktion von Modellen, Inhalte auf die wesentlichen Sach- und Erklärungszusammenhänge zu reduzieren, um somit das Erkennen von Strukturen zu ermöglichen. Da die Systemkompetenz zudem sehr stark mit dem Fachwissen korreliert (MEHREN et al. 2015B, S. 29) und die Schüler in der Kontrollgruppe keine inhaltsbezogene Intervention bekommen, muss im Vergleich dazu bei der Experimental- und Vergleichsgruppe von einem signifikanten Anstieg der Systemorganisation und des Systemverhaltens ausgegangen werden.
Empirische Befunde zum erfolgreichen Lernen in komplexen Zusammenhängen mit Modellen konnten, abgesehen von BROCKMÜLLER 2019, bis jetzt nur in anderen Fachbereichen gewonnen werden. So zeigten MOHAMED-SALAH, ALAIN (2016, S. 864) in einer Studie in Chemie auf, dass das Arbeiten mit konkreten Modellen in der Molekularchemie dazu führt, dass räumliche Beziehungen besser verstanden werden können. Auch NEWMAN et al. (2018, S. 436) konnten in der Biologie empirisch belegen, dass das aktive Arbeiten mit konkreten Modellen höhere Lerneffekte zeigt als andere aktive Lernformen.
Für die vorliegende Studie wird daher in der ersten Hypothese, als fundamentale Grundlage für die weiteren Hypothesen, davon ausgegangen, dass die modellzentrierte Intervention dafür sorgt, dass die Systemorganisation und das Systemverhalten bei der Experimentalgruppe und der Vergleichsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe einen signifikanten Anstieg zeigt.

Fragestellung 2: Ist in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) vom Pre- zum Posttest ein stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar?

Hypothese 2: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) ist vom Pre- zum Posttest ein stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar.

Auch wenn in der geographiedidaktischen Literatur die Unterteilung nach der Repräsentationsform bei Modellen allgegenwärtig ist (SCHULTZE 1994; SCHUBERT 2013; WIKTORIN 2013; KRAUTTER 2015), gibt es kaum empirische Untersuchungen, welche die Auswirkungen der Repräsentationsform auf den Kompetenzzuwachs untersuchen. BROCKMÜLLER et al. (2016, S. 160) gehen davon aus, dass vor allem konkrete manipulierbare Modelle gut geeignet sind, Systemdenken zu fördern. Es wird dargelegt, dass bei konkreten Modellen nicht nur die Strukturen und Funktionen

abgebildet werden, sondern auch dynamische Prozesse innerhalb eines Systems aufgezeigt werden können, die vor allem für ein höheres Kompetenzlevel der Systemorganisation notwendig sind. In der entsprechenden Studie werden jedoch konkrete Modelle mit Computermodellen verglichen, so dass hier eine andere Schwerpunktsetzung vorliegt (BROCKMÜLLER et al. 2016, S. 165). Eine weitere Studie aus der Geographie von CARBONELL-CARRERA und HESS-MEDLER (2019, S. 12) konnte nachweisen, dass Studierende, die mit visuellen 3D-Karten arbeiten, in einem anschließenden Test zum räumlichen Denken signifikant besser abschnitten als Studierende, die mit 2D-Karten arbeiteten. Da in der Geographie keine weiteren empirischen Befunde zum Arbeiten mit graphischen und konkreten Modellen vorliegen, muss auf andere Fachdisziplinen, hier vor allem der Chemie, Biologie und Medizin Bezug genommen werden.
Ähnlich wie bereits von BROCKMÜLLER et al. (2016) dargelegt, berichten KRISTEN et al. (2016, S. 377), dass konkrete Modelle, aufgrund der Visualisierung von sonst nicht sichtbaren Vorgängen, besonders gut geeignet sind, ein tieferes Verständnis komplexer Konzepte herbeizuführen. Unterstützt wird diese Annahme durch Befunde von MOHAMED-SALAH und ALAIN (2016, S. 864), die aufzeigen konnten, dass Oberstufenschüler, die mit graphischen Modellen arbeiteten, große Probleme damit hatten, sich ihr graphisches Modell dreidimensional vorzustellen. Konkreten Modellen in der Chemie wird hingegen ein großes Potenzial zugesprochen, da Gegenstände aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden können (MOHAMED-SALAH, ALAIN 2016, S. 874). Dies wird durch eine medizinische Studie gestützt, bei welcher Studierende mit konkreten Anatomiemodellen signifikant besser abschnitten als Studierende, welche die gleiche Arbeit mit einem Anatomieatlas erledigten (KONG et al. 2016, S. 267).
Neben den bereits dargelegten, visuellen Vorteilen wird in zahlreichen Studien ein tieferes Verständnis und bessere Ergebnisse der Lerninhalte durch die handelnde Tätigkeit bzw. durch das Manipulieren von konkreten Modellen nachgewiesen (DORI, BARAK 2001, S. 72f.; SCHÖNBORN et al. 2011, S. 2104; STULL, HEGARTY 2015, S. 3; STULL et al. 2016, S. 994f.). SPRINGER (2014, S. 1162) konnte sogar besser Lernerfolge durch das bloße Beobachten von Manipulationen bei Modellen belegen. COHEN (1989, S. 58f.), der sich auf PIAGET (1964) beruft, stützt die Annahme, dass kognitive Entwicklungen an Handlungen geknüpft sind, bezieht diese jedoch vor allem auf das frühkindliche Alter. Diese Annahme wird von FERK et al. (2003, S. 1235) bestätigt, welche die Bedeutung des haptischen Handelns vor allem für die Schülerinen und Schüler der Grundschule nachweisen konnten. Bei der Studie von FERK et al. (2003) muss jedoch angemerkt werden, dass in dieser nach Alter differenzierenden Untersuchung auch nachgewiesen werden konnte, dass Schüler zwar während der Grundschule bessere Ergebnisse bei der Verwendung konkreter Modelle erzielten, in der Oberstufe und der Universität jedoch die dreidimensionalen bildlichen Darstellungen bessere Ergebnisse erbrachten (FERK et al. 2003, S. 1235).

Den zahlreichen Studien, welche den konkreten Modellen einen Vorteil beim Erlernen von komplexen Thematiken bescheinigen, stehen einige diesen Ergebnissen widersprechende Studien entgegen. So zeigen die Studien von COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 300) und ABRAHAM et al. (2010, S. 1427f.) bei Oberstufenschülern und Studenten bei der Arbeit mit konkreten und graphischen Modellen keine signifikanten Unterschiede.
Die dargelegten geographiedidaktischen Überlegungen und zahlreichen Studien aus anderen Fachdisziplinen führen zu der Hypothese, dass die Experimentalgruppe mit den konkreten Modellen einen stärkeren Anstieg der Systemorganisation und des Systemverhaltens als die Vergleichsgruppe mit den graphischen Modellen verzeichnen wird. Da die vorliegende Studie aufgrund der curricularen Bestimmungen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen mit Oberstufenschülern durchgeführt wird, soll in der Diskussion (Kapitel 6.2 und 6.6) die Thematik des Alters erneut aufgegriffen werden.

Fragestellung 3: Ist in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) sechs Wochen nach dem Posttest ein geringerer Rückgang der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar?

Hypothese 3: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) ist sechs Wochen nach dem Posttest ein geringerer Rückgang der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar.

KÖCK (1995, S. 271) legte bereits früh dar, warum Modelle langfristiges Abspeichern von Gelerntem fördern, und führte dies auf die durch Modelle vermittelte und die für die Einbindung neuen Wissens verantwortliche Grundstruktur zurück. Modelle sorgen im Sinne des systemischen Lernens dafür, dass Einzelheiten mit Kontexten vernetzt werden und fördern daher das langfristige Abrufen von Informationen. Basierend auf den Darlegungen bezüglich Hypothese 2 wird davon ausgegangen, dass die Experimentalgruppe einen höheren Kompetenzzuwachs in der Systemorganisation und des Systemverhaltens verzeichnet, was sich durch die stärkere Vernetzung ebenfalls auf den langfristigen Kompetenzzuwachs auswirken müsste.
Da in der geographiedidaktischen Forschung keine Studien vorhanden sind, welche die Auswirkungen von Modellen auf den langfristigen Kompetenzzuwachs untersuchen, müssen auch an dieser Stelle Untersuchungen aus anderen Fachdisziplinen hinzugezogen werden. Hierbei sind die in den verschiedenen Studien stark variierenden Zeiträume des langfristigen Kompetenzzuwachses zu beachten. So

konnten KONG et al. (2016, S. 267) in der Medizindidaktik nachweisen, dass lediglich bei den graphischen Modellen nach 5 Tagen eine stark signifikante Abnahme des Kompetenzzuwachses stattfand, während bei den konkreten Modellen eine nicht signifikante Abnahme festgestellt wurde. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen STULL und HEGARTY (2015, S. 10f.), bei denen ebenfalls nach 7–10 Tagen lediglich bei den graphischen Modellen eine signifikante Abnahme des Lernerfolges konstituiert werden konnte. COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 300) konnten hingegen keinen signifikant stärkeren Rückgang bei graphischen Modellen im langfristigen Kompetenzzuwachs (40 Tage) feststellen.
Basierend auf den dargelegten theoretischen Überlegungen und Studien wird davon ausgegangen, dass die Experimentalgruppe langfristig einen geringeren Rückgang der Systemorganisation und des Systemverhaltens verzeichnet. Aufgrund der großen Diversität der Erhebungszeiträume in den dargelegten Studien empfiehlt sich eine tiefergehende Betrachtung der Ergebnisse unter dem Schwerpunkt des Erhebungszeitraumes in Kapitel 6.3.

Fragestellung 4: Sind zwischen der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) statistisch signfikante Unterschiede bei den motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation messbar?

Hypothese 4: Zwischen der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) sind statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation messbar.

Da keine Studien zum Einflussverhalten von Modellen auf die tätigkeitszentrierte Motivation vorhanden sind, müssen als Grundlage für die Hypothese theoretische Überlegungen, praktische Erfahrungswerte sowie Studien aus angrenzenden Forschungsfeldern herangezogen werden.
Bereits BIRKENHAUER (1997B, S. 44) stellte fest, dass zu konkreten Modellen im Geographieunterricht zwar keine empirischen Untersuchungen vorhanden sind, lernpraktische Erfahrungen jedoch zeigten, dass man mit ihnen bei Schülern immer Erfolg habe und diese von den Schülern positiv angenommen werden. Auch HARRISON und TREAGUST (2000, S. 1012) weisen hierauf hin: „Teachers know that students enjoy playing with them [models].“ Um die Hypothese 4 zu begründen, erscheint es sinnvoll, die zentralen Unterschiede zwischen graphischen und konkreten Modellen aufzuzeigen.
Bei den konkreten Modellen nimmt vermutlich, im Gegensatz zu den graphischen Modellen, die aktiv handelnde Tätigkeit einen starken Einfluss auf die tätigkeitszentrierte Motivation der Schüler. Zum Aspekt der aktiv handelnden Tätigkeit

macht DEIMANN (2002, S. 66) deutlich, dass das Modifizieren und das Selbergestalten im Unterricht einen Einfluss auf die Motivation der Schüler ausüben. Ebenfalls wird hervorgehoben, dass es verstärkende Einflüsse auf die Motivation gibt, wenn die Lerngegenstände dynamisch und adaptiv auf die jeweilige Aktion der Schüler reagieren. Da das Modifizieren und Gestalten sowie die dynamische Reaktion nur von den konkreten Modellen, nicht aber von den graphischen Modellen, geleistet werden kann, muss von unterschiedlichen situationsbedingten Anreizen auf die aktuelle Motivation ausgegangen werden.

Wie bereits in Kapitel 2.3 dargelegt wurde, wird in der Motivationspsychologie das ‚Interesse' als ein personenbezogenes Motiv für eine Handlung angesehen. In der Interessensstudie von HEMMER und HEMMER (2010A, S. 233) konnte aufgezeigt werden, dass konkrete Modelle eine der vier Arbeitsweisen darstellen, welche bei Schülern im Fach Geographie das stärkste Interesse auslösen.

Während konkrete Modelle eher selten im Geographieunterricht verwendet werden, wird das Schulbuch, in welchem graphische Modelle oft verwendet werden, häufig eingesetzt (HEMMER, HEMMER 2010B, S. 132). Aus dieser Diskrepanz kann ein Neuheitseffekt bei den Schülern entstehen (WEIDENMANN 2006, S. 433). Dieser kann möglicherweise einen Einfluss auf die aktuelle Motivation der Schüler in der Experimentalgruppe besitzen.

Aufgrund der theoretischen Überlegungen bezüglich der Unterschiede bei graphischen und konkreten Modellen und deren Auswirkungen auf die motivationalen Faktoren wird davon ausgegangen, dass sich bei den motivationalen Faktoren aufgrund der tätigkeitszentrierten Motivation signifikante Unterschiede zwischen der Experimental- und Vergleichsgruppe zeigen.

4 Forschungsdesign und Methodik

Um die in Kapitel 3 aufgeworfenen Fragestellungen (1–4) zu beantworten, wird eine quantitative Interventionsstudie durchgeführt (zum quantitativen Forschungsprozess siehe DÖRING, BORTZ 2016A). Durch die Intervention soll der Mehrgewinn für die Komptenzdimension Systemorganisation und Systemverhalten beim Einsatz von konkreten und graphischen Modellen herausgearbeitet werden. Zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens werden ein selbst entwickelter Fragebogen (siehe Kapitel 4.4.2) und eine Concept Map (siehe Kapitel 4.4.3) eingesetzt. Um den Einflussfaktor der Modelle auf die motivationalen Faktoren (Fragestellung 4) näher herauszuarbeiten, wurde zudem der Fragebogen zur aktuellen Motivation (siehe Kapitel 4.4.4) genutzt.

4.1 Forschungsdesign

Bei empirischen Studien lässt sich, je nach Erkenntnisinteresse, eine Einteilung in explorative, deskriptive oder explanative Studien vornehmen. Da in der vorliegenden Studie hypothesen- und theorieprüfend vorgegangen wird, kann von einer explanativen Studie gesprochen werden. Findet in der Studie eine Randomisierung statt, handelt es sich um eine experimentelle Studie (‚experimental study') oder auch randomisierte, kontrollierte Studie (DÖRING, BORTZ 2016B, S. 192f.). Bei einer experimentellen Untersuchung wird von einem statistischen Fehlerausgleich ausgegangen, der dafür sorgt, dass eine höhere interne Validität als bei einem quasiexperimentellen Design gegeben ist (BORTZ, SCHUSTER 2010, S. 8). Dabei wird der Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (hier: graphische Modelle, konkrete Modelle und keine Intervention) auf unterschiedliche Ausprägungen von einer oder mehrerer abhängiger Variablen (hier: Systemorganisation bzw. Systemverhalten und tätigkeitszentrierte Motivation) deutlich. Die experimentelle Studie, wie hier durchgeführt, gilt aufgrund ihrer Randomisierung als „Königsweg der Erkenntnis" für die Überprüfung von Kausalhypothesen (DÖRING, BORTZ 2016B, S. 194).
Um die Fragestellungen aus Kapitel 3 beantworten zu können, sollen drei unabhängige Variablen miteinander verglichen werden. Zusätzlich zu der Experimentalgruppe, die mit einem konkreten Modell arbeitet, und der Vergleichsgruppe, die mit einem graphischen Modell arbeitet, wird eine Kontrollgruppe einbezogen (siehe Abbildung 25).
Während die Experimentalgruppe und die Vergleichsgruppe die identischen Inhalte an unterschiedlichen Modellen erarbeiteten, führt die Kontrollgruppe keine zur Thematik bezogene Intervention durch. Die Kontrollgruppe gilt als unabdingbar für langfristige Erhebungen, um Reifungseffekte oder historische Ereignisse, z. B. durch ein Hochwasserereignis im Erhebungszeitraum, von den gewünschten Treatmenteffekten abgrenzen zu können (DÖRING, BORTZ 2016B, S. 210). Da mit den

aufgestellten Forschungsfragen eine Veränderung der Systemorganisation und des Systemverhaltens überprüft werden soll, werden eine Messung vor der Intervention und eine Messwiederholung direkt nach der Intervention vorgenommen. Um die Fragestellung 3, den langfristigen Zugewinn der Systemorganisation und des Systemverhaltens, beantworten zu können, wird zusätzlich zum Pretest (t_1) und Posttest (t_2) ein Follow-up-Test (t_3) sechs Wochen nach t_2 durchgeführt (siehe Abbildung 25).

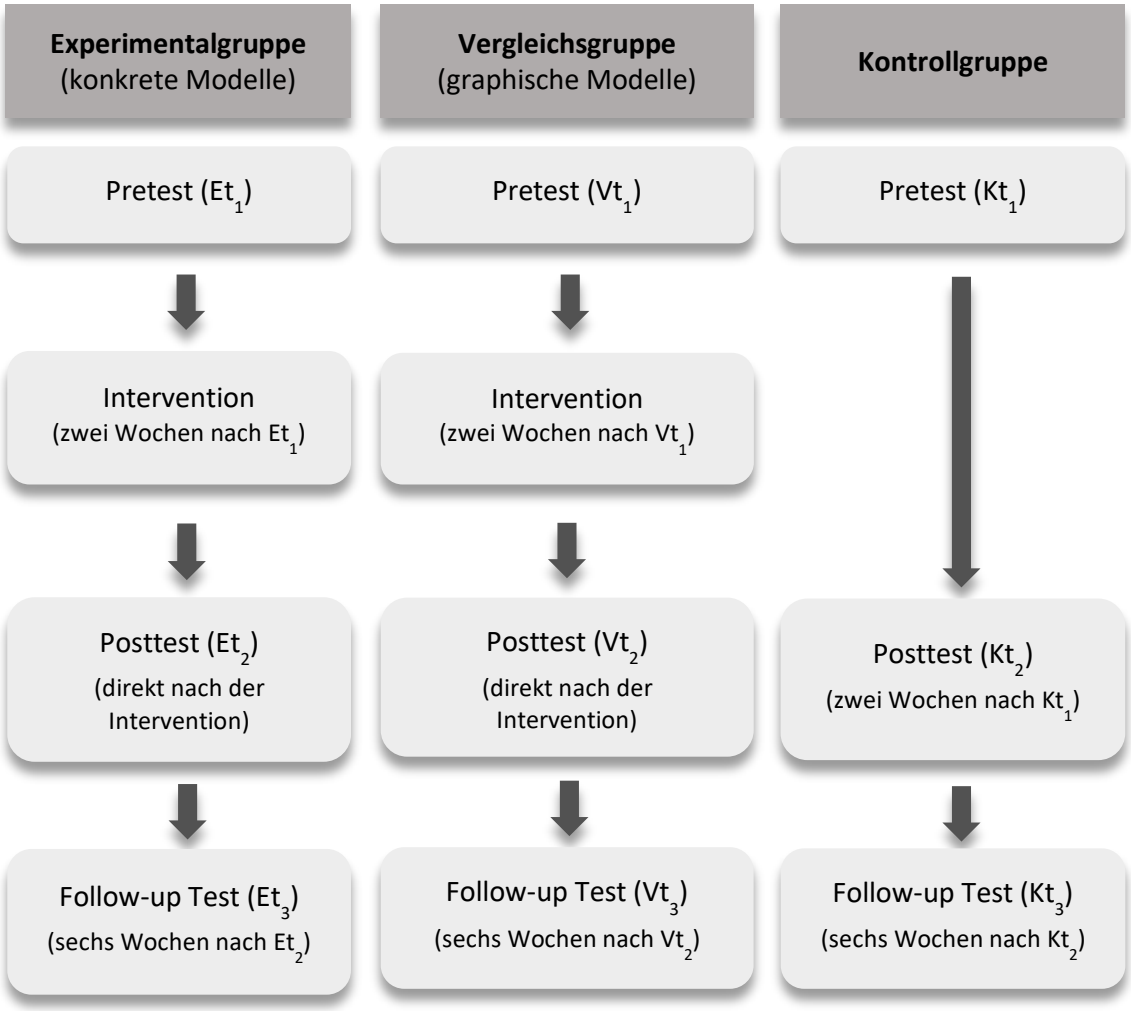


Abb. 25: Forschungsdesign der Interventionsstudie (eigene Darstellung)

Der zeitliche Abstand von Follow-up-Tests wird in der Forschung unterschiedlich gehandhabt. Generell kann als Richtlinie festgehalten werden, dass er mehrere Wochen nach dem Posttest stattfindet und sich an der Länge und Intensität der Intervention orientieren soll (THEYßEN 2014, S. 69). In der vorliegenden Intervention wurde daher für die Untersuchung des langfristigen Lernerfolgs ein Zeitabstand von 6 Wochen festgelegt. Aufgrund der Messwiederholungen muss zudem

der Aspekt der Testübung oder Testmüdigkeit beachtet werden (DÖRING, BORTZ 2016B, S. 210).
Die Interventionsstudie wurde an der Ruhr-Universität Bochum als Laborstudie durchgeführt, da bei Interventionsstudien mit Schulklassen die Durchführung von Laborstudien gegenüber Feldstudien zu bevorzugen ist (THEYßEN 2014, S. 69). Die Laborstudie sorgt dafür, dass bei allen Klassen möglichst ähnliche Bedingungen vorherrschen, da die umgebungsbezogenen Störvariablen kontrolliert werden können, so dass die interne Validität steigt. Da Laborstudien nicht immer auf das natürliche Lernumfeld, die Schule, übertragbar sind, wurde versucht, eine klassenraumähnliche Atmosphäre herzustellen, so dass die externe Validität nicht zu sehr eingeschränkt wurde (DÖRING, BORTZ 2016B, S. 206). Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, bei jeder randomisierten Gruppe die gleichen Räume zu verwenden, daher wurde darauf geachtet, dass die verschiedenen Laborräume keine gestalterischen oder atmosphärischen Unterschiede aufwiesen.
Eine weitere, für alle Interventionsstudien relevante Störvariable ist die Variable der durchführenden Person oder auch Lehrervariable. Da die Lehrkräfte der Schule bereits eine persönliche Bindung zu den jeweiligen Schülern und persönliche Einstellungen zu den zu untersuchenden Unterrichtsmedien besitzen, wurde die Intervention von zwei den Lernenden unbekannten Lehrkräften durchgeführt. Die Durchführung der Studie mit zwei Lehrkräften war einerseits aus organisatorischen Gründen notwendig, andererseits haben Metaanalysen von Medienvergleichsstudien deutlich gemacht, dass kleinere Lerneffekte nachgewiesen wurden, wenn die Experimental- und Vergleichsgruppe von derselben Lehrkraft unterrichtet wurden (URHAHNE et al. 2000, S. 161; BAYRAKTAR 2001, S. 181f.). Dementsprechend wurden die Lehrkräfte abwechselnd den Treatmengruppen zugeordnet (siehe Tabelle 10). Bei der Auswahl der Lehrkräfte wurde darauf geachtet, dass diese eine identische Ausbildung und schulische Vorerfahrung besitzen. Zudem bekamen beide Lehrkräfte ein Manual zur Durchführung, um die Vergleichbarkeit der Treatmentgruppen weiter zu erhöhen (siehe Anhang 9.1.5).

4.2 Stichprobe

Bei der Auswahl der Stichprobe mussten verschiedene methodische und organisatorische Aspekte berücksichtigt werden. Aufgrund der hohen Komplexität der Thematik ‚Hochwasser' (siehe Kapitel 2.4.2.1) und zahlreicher Studien, welche die Förderung des systemischen Denkens durch Interventionsstudien in der Oberstufe belegen (u. a. SCHECKER et al. 1999; OSSIMITZ 2000; MAIERHOFER 2001), wurde die vorliegende Stichprobe bewusst auf die Jahrgangsstufe EF eingegrenzt. Die Jahrgangsstufe EF (Einführungsphase), in welcher die Jahrgangsstufen 10 und 11 zusammengelegt wurden, entstand in NRW an Gymnasien im Rahmen der Reduzierung auf

12 Jahrgangsstufen (G8). Innerhalb dieser Jahrgangsstufe ist der Besuch eines Erdkundekurses obligatorisch.
Zudem mussten die curricularen Vorgaben des Landes Nordrhein-Westfalen berücksichtigt werden, da diese maßgeblich die zu erreichende Stichprobengröße beeinflussen. So ist die Thematik ‚Hochwasser' im Kernlehrplan lediglich in der Einführungsphase (EF) im Inhaltsfeld 1 „Lebensräume und deren naturbedingte sowie anthropogen bedingte Gefährdung" fest verankert (MSW 2014, S. 22f.). Durch die verpflichtende curriculare Verankerung konnte mit einer wesentlich höheren Stichprobenanzahl gerechnet werden. Aufgrund der unterschiedlichen curricularen Vorgaben zwischen den Bundesländern wurden zudem nur Gymnasien aus dem Bundesland Nordrhein-Westfalen ausgewählt. Aus forschungsökonomischen und organisatorischen Gründen wurden vor allem Gymnasien aus dem Ruhrgebiet einbezogen. Die Stichprobe setzt sich daher aus Schülern der EF an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen zusammen. In der Studie wurden bewusst Schüler der Gesamtschule nicht berücksichtigt, da im Bundesland NRW bei Durchführung der Studie an Gesamtschulen das Abitur nach 13 Jahren vorgesehen war. Im Gegensatz dazu absolvieren die gymnasialen Probanden das Abitur nach 12 Jahren. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass es zu einer größeren Heterogenität der Probandengruppe geführt hätte, wenn auch Gesamtschulen an der Interventionsstudie teilgenommen hätten.
Aufgrund des Schulhalbjahreswechsels und der drei Testzeitpunkte kam es zu einem Rückgang der Probanden die alle drei Fragebogen ausfüllte von n = 141 zu n = 112 (siehe Tabelle 10). Bei dem Rückgang handelte es sich allerdings um unsystematische Ausfälle, so dass keine Stichprobenverzerrung vorhanden ist (DÖRING, BORTZ 2016C, S. 296). Die Gesamtstichprobe besaß dabei einen Alterdurchschnitt von 15.53 (Standardabweichung = .697) Jahren (Experimentalgruppe = 15.46 (.638); Vergleichsgruppe = 15.62 (.739); Kontrollgruppe = 15.47 (.624)). Das Geschlecht verteilt sich mit 40,2 % auf weibliche und 59,8 % auf männliche Probanden. Inwiefern dabei signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf das Geschlecht oder Alter vorhanden sind, wird in Kapitel 5.1 untersucht.

Tab. 10: Übersicht über den Ablauf der Interventionsstudie (eigene Darstellung)

Pretest (Stunde)	Intervention + Posttest	Follow-up-Test (Stunde)	Lehrpersonen-einteilung	Räume (Lehrpersonen)	Anzahl SuS Pretest/ Posttest/ Follow-up-Test
03.12.18 (8:00–8:30 Uhr)	11.12.18 (9:00–14:00 Uhr)	24.01.19 (8:00–8:30 Uhr)	A: Graphische Modelle; B: Konkrete Modelle	IAFO 03/466 (B) + IAFO 03/470 (A)	22/17/16
20.12.18 (13:10–13:40 Uhr)	07.01.19 (9:00–14:00 Uhr)	22.02.19 (13:10–13:40 Uhr)	B: Graphische Modelle; A: Konkrete Modelle	IA 5/92-154 (B) + IAFO 03/466 (A)	17/15/12
08.01.19 (12:00–12:30 Uhr)	16.01.19 (9:00–14:00 Uhr)	26.02.19 (12:00–12:30 Uhr)	A: Graphische Modelle; B: Konkrete Modelle	IA 02/105 (B) + IA 1/131 (A)	13/12/10
14.01.19 (9:30–10:00 Uhr)	21.01.19 (9:00–14:00 Uhr)	04.03.19 (9:30–10:00 Uhr)	B: Graphische Modelle; A: Konkrete Modelle	IA 5/92-154 (B) + IAFO 03/466 (A)	17/14/13
08.01.19 (7:45–8:15 + 13:25–13:55 Uhr)	22.01.19 (9:00–14:00 Uhr)	05.03.19 (7:45–8:15 Uhr) + 08.03.19 (13:25–13:55 Uhr)	A: Graphische Modelle; B: Konkrete Modelle	IAFO 03/466 (A)+ IAFO 03/470 (B)	37/37/29
30.01.19 (11:35–12:05 Uhr)	06.02.19 (9:00–14:00 Uhr)	13.03.19 (11:35–12:05 Uhr)	B: Graphische Modelle; A: Konkrete Modelle	IA 5/92-154 (B) + IAFO 03/466 (A)	18/18/15
10.01.19 (7:50–8:20 Uhr)	10.01.19 (7:50–8:20 Uhr)	20.03.19 (7:50–8:20 Uhr)	-	-	17/17/17
					141/130/112

4.3 Darstellung der Unterrichtseinheit

Im folgenden Kapitel soll zunächst ein Überblick über die Unterrichtseinheiten gegeben werden, bevor in den Kapiteln 4.3.1 und 4.3.2 detaillierter auf die Unterschiede zwischen den Treatmentgruppen eingegangen wird.
Die Konzeption der Treatmentgruppen basiert auf den in Kapitel 2.4 bereits angesprochenen fachlichen Grundlagen. Um einen reibungslosen Ablauf der Unterrichtsreihe während der Intervention zu gewährleisten, wurde diese in einer vorgeschalteten Pilotierung mit einer Klasse der EF getestet und anschießend entsprechend der Erkenntnisse, z. B. bezüglich inhaltlicher Kürzungen, angepasst. Neben den fachlichen und didaktischen Aspekten war aus forschungskonzeptioneller Perspektive für die Intervention vor allem entscheidend, dass den Modellen ein zentraler Stellenwert in der Unterrichtseinheit eingeräumt wurde. Da die graphischen und konkreten Modelle die identischen Inhalte vermitteln, konnte in der Experimental- und Vergleichsgruppe ein stark ähnlicher Unterrichtsverlauf durchgeführt werden. Die Unterrichtsreihe „Hochwasser – natürliches Ereignis oder menschengemachtes Problem? Natürliche und anthropogene Einflüsse auf Hochwasserereignisse an Flüssen, die Folgen für den Menschen sowie unterschiedliche Maßnahmen und Perspektiven des Hochwasserschutzes mit ihren Auswirkungen auf zukünftige Hochwasserereignisse“ umfasste sechs Zeitstunden und wurde für die EF (Einführungsphase der Oberstufe) an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen konstruiert. Die Gestaltung der Unterrichtsreihe orientierte sich, neben der fachlichen, didaktischen und forschungskonzeptionellen Perspektive, am Kernlehrplan der Sek. II für das Fach Geographie in Nordrhein-Westfalen (MSW 2014). In der Unterrichtsreihe sollten dabei aus dem Inhaltsfeld 1 die Sachkompetenz „Die Schülerinnen und Schüler stellen Hochwasserereignisse als einen natürlichen Prozess im Rahmen des Wasserkreislaufes dar, der durch unterschiedliche menschliche Eingriffe in seinen Auswirkungen verstärkt wird“ und die Urteilskompetenz „Die Schülerinnen und Schüler beurteilen Maßnahmen der Hochwasservorsorge aus der Perspektive unterschiedlich Betroffener“ (MSW 2014, S. 22f.) gefördert werden.
Insgesamt kann die Unterrichtsreihe in zwei große Sequenzen unterteilt werden, von denen die erste Sequenz (drei Zeitstunden) vor der Pause und die zweite Sequenz (zwei Zeitstunden) nach der Pause durchgeführt wurde. Die Sequenzen orientieren sich an der fachlichen Klärung und sind nach dem Ursache-Folgen-Reaktionen-Schema aufgebaut (siehe Tabelle 11; vgl. ENGELHARD, OTTO 2015, S. 331).

Tab. 11: Konzeptionelle Übersicht über die Unterrichtsreihe (eigene Darstellung)

Stunden	Thema	Kompetenzschwerpunkt oder Kernanliegen	Inhalte (durch Modell dargestellt)
1–3	Natürliches Ereignis oder menschengemachtes Problem? – Erarbeitung von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf die Entstehung von Hochwasserereignissen in Deutschland anhand eines Stationenlernens	Die Schüler erklären, welchen Einfluss verschiedene natürliche und anthropogen beeinflusste Faktoren auf die Entstehung von Hochwasser besitzen und dass diese in einem komplexen Zusammenhang stehen.	Ursachen für Hochwasser: Flussbegradigungen, Einzugsgebiete, Starkregen, Dauerregen, Bodenbeschaffenheiten (Waldfläche, versiegelte Flächen), Klimawandel
4–5	„Alle Jahre wieder?“ Erarbeitung der Folgen von Hochwasserereignissen auf das Leben der Menschen und mögliche Hochwasserschutzmaßnahmen und der Perspektiven beteiligter Gruppen am Beispiel der Städte Köln und Grimma.	Die Schüler erläutern, dass Hochwasserereignisse verschiedene Auswirkungen auf das Leben des Menschen haben können und beurteilen an den Beispielen Köln und Grimma, welche unterschiedlichen Perspektiven und Möglichkeiten es gibt, mit Hochwasserereignissen umzugehen.	Folgen von Hochwasser: finanzielle Schäden, zerstörte Infrastruktur, Stromausfall; Maßnahmen gegen Hochwasser: Hochwasserschutzkonzept, Deiche/Schutzmauern, Regenrückhaltebecken, Beteiligung verschiedener Gruppen, Interessensausgleiche

Den Modellen kommt sowohl in der ersten Sequenz als auch in der zweiten Sequenz eine bestimmende Rolle zu. Aufgrund der inhaltlichen Schwerpunktlegung der Modelle auf den Aspekt der Ursachen für die Hochwasserentstehung wurden dieser Thematik in der ersten Sequenz drei Zeitstunden eingeräumt. Die Folgen und Maßnahmen wurden in den anschließenden zwei Zeitstunden thematisiert (siehe Tabelle 11).
Beide Sequenzen verlaufen nach dem problemorientierten analytischen Weg der Erkenntnisgewinnung (ENGELHARD, OTTO 2015, S. 349). In der ersten Sequenz (für den Verlaufsplan der Sequenz siehe Anhang 9.1.1) wird durch zwei Bilder und zwei Zitate (siehe Anhang 9.1.2) ein kognitiver Konflikt hergestellt, der die Frage aufwirft, ob ein Hochwasser ein natürliches oder ein vom Menschen gemachtes Problem darstellt. Nachdem die Schüler Hypothesen aufgestellt haben, wird in Form eines Stationenlernens die Fragestellung erarbeitet. Das Stationenlernen (zum Stationenlernen siehe HEGELE 2008 bzw. MATTES 2011) wurde als Methode ausgewählt, da aus organisatorischen Gründen nicht alle Schüler gleichzeitig aktiv am Modell arbeiten können. Da die aktive Arbeit mit den Modellen aber aufgrund der Studienkonzeption unerlässlich ist, wurde durch das Stationenlernen eine Methode gewählt, die es allen Schülern erlaubt, sich aktiv an der Erarbeitung der Fragestellung zu beteiligen. Das Stationenlernen bietet sich zudem aufgrund der studienkonzeptionellen Planung an, da nicht stark instruktionell von der Lehrkraft in den Lernprozess eingegriffen werden muss (MATTES 2011, S. 168), so dass die Störvariable ‚Lehrkraft' kleingehalten und dadurch die interne Validität des Untersuchungsdesigns gestärkt werden konnte (DÖRING, BORTZ 2016D, S. 94). In der ersten Station (siehe Anhang 9.1.2, Station 1) wurde die Bedeutung des Einzugsgebietes und des Flussverlaufes für die Entstehung von Hochwasserereignissen thematisiert. Während die zweite Station (siehe Anhang 9.1.2, Station 2) sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederschlag beschäftigte, wurden in Station 3 die Modelle eingesetzt (siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2). Für jede Station wurden 30 Minuten eingeplant. Da die Station 3 aufgrund der Benutzung der Modelle länger als 30 Minuten benötigte, wurde für den reibungslosen Ablauf der Gruppen eine zweite Station 3 als Ausweichstation aufgebaut. Die Reihenfolge der zu durchlaufenden Stationen könnte einen Einfluss auf den Lernerfolg der Schüler besitzen und soll daher als möglicher Einflussfaktor in Kapitel 5.1 überprüft werden. In der anschließenden Sicherungsphase präsentierten und korrigierten die Schüler die im Stationenlernen erarbeiteten Sachzusammenhänge und gingen abschließend auf die eingangs aufgestellte Fragestellung und die formulierten Hypothesen ein.
Die zweite Unterrichtssequenz griff die in der ersten Unterrichtssequenz erarbeiteten Inhalte der Ursachen für Hochwasserereignisse auf und startete erneut mit einem kognitiven Konflikt. Hier wurde mit Bildern und dazu passenden Zitaten (siehe Anhang 9.1.2) an den Raumbeispielen Grimma und Köln die Frage

aufgeworfen, welche Folgen ein Hochwasser haben kann und welche Hochwasserschutzmaßnahmen notwendig sind. Die zweite Unterrichtssequenz fand in Gruppenarbeit statt und war in zwei Teile unterteilt, die jeweils 40 Minuten dauerten. In einem der zwei Teile wurde mit den Modellen gearbeitet, während zeitgleich im anderen Teil die Raumbeispiele mit den jeweiligen Hochwasserschutzmaßnahmen näher beleuchtet wurden. Da erneut die aktive Arbeit mit den Modellen notwendig war und die Arbeit in Kleingruppen (max. 6 Schüler) stattfinden musste, wurden beide Teile der zweiten Unterrichtssequenz in zweifacher Ausfertigung angeboten. Dadurch wurde die aktive Arbeit aller Schüler an den Modellen und der reibungslose Durchlauf beider Arbeitsphasen gewährleistet. Da nicht alle Schüler beide Raumbeispiele durchliefen, wird die zufällige Zuteilung der Raumbeispiele auf die Probanden als mögliche Störvariable in Kapitel 5.1 untersucht. In einer anschließenden Sicherungsphase wurden die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen miteinander verglichen bzw. korrigiert und die Hypothesen sowie die Fragestellung mit einbezogen.

4.3.1 Experimentalgruppe

In der Experimentalgruppe spielte die Arbeit mit einem konkreten Modell eine bedeutsame Rolle. Als konkretes Modell wurde das ‚Stormwater Floodplain Simulation System' genutzt. Das von WARD`S entwickelte ‚Stormwater Floodplain Simulation System' ist ein 119 cm x 42 cm x 23 cm großer Acrylglascontainer, in dem mit Hilfe von Kunstharz eine Flusslandschaft dargestellt wird (REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 47).

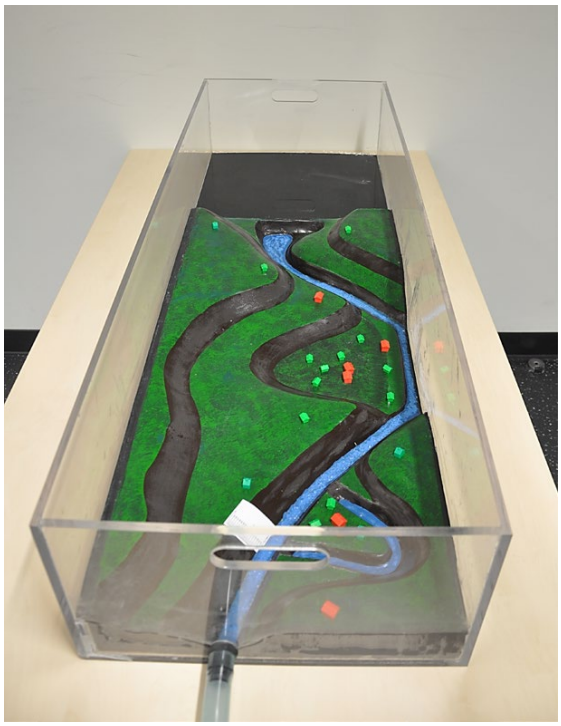


Abb. 26: ‚Stormwater Floodplain Simulation System' von WARD`S (eigene Aufnahme)

In der Flusslandschaft werden die Flussniederung, die Nieder- und Mittelterasse sowie die dazugehörigen Hochufer visualisiert (siehe Abbildung 26; REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 47). In das Modell können oberhalb der Flusslandschaft verschiedene Einsätze eingefügt werden (siehe Abbildung 27), welche bei Überflutung unterschiedliche Auswirkungen auf das Einzugsgebiet besitzen.

Abb. 27: Einsätze des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' (eigene Aufnahme)

Durch die Einsätze können Starkregen- und Dauerregenereignisse simuliert sowie Waldflächen, Parkplatzflächen und Regenrückhaltebecken dargestellt werden.

Durch die verschiedenen Einsätze verändert sich der Abfluss des Flusses, welcher am Plexiglas abgelesen werden kann. Durch das Notieren des Abflusses kann dementsprechend eine Hochwasserganglinie aufgestellt werden. Die Hochwasserganglinie, die das Abflussverhalten des Flusses darstellt, verändert sich dabei entsprechend der eingesetzten Landschaft und des Niederschlagsereignisses.

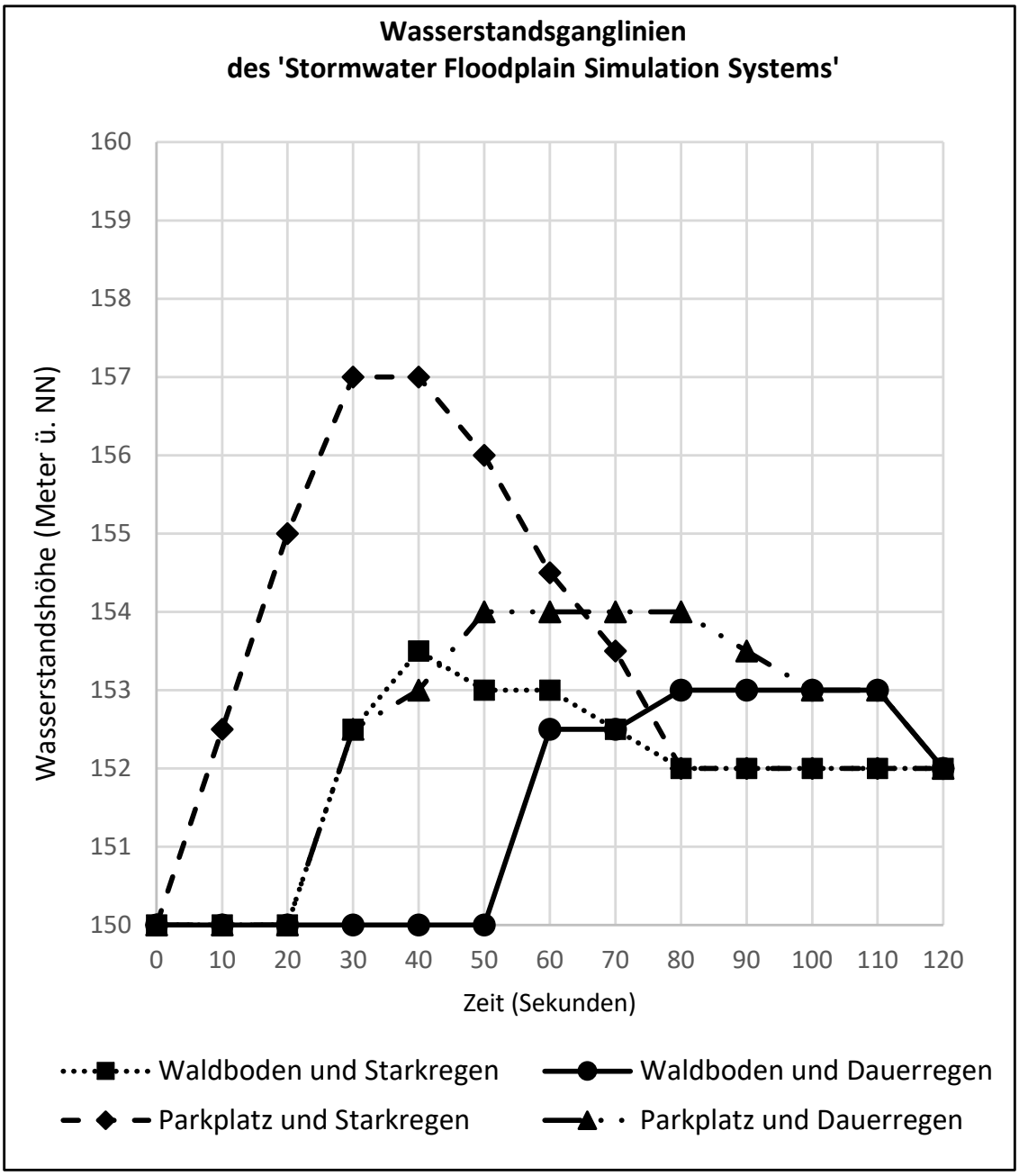


Abb. 28: Eigene Berechnung der typischen Wasserstandsganglinien des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' bei verschieden Einsätzen

Zur Berechnung der typischen Wasserstandsganglinien des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' wurden für jede Einsatzvariante mehrere Durchgänge durchgeführt und aus diesen ein Mittelwert berechnet (siehe Anhang 9.1.4). Dabei zeigte sich, dass sich die Ergebnisse der Einsätze beim Waldboden und Parkplatz bei unterschiedlich starken Niederschlägen gut mit wissenschaftlichen Erkenntnissen über verschiedene Nutzungsarten (siehe u. a. Abb. 14) übereinstimmen. Beim erneuten Einsatz des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' wurde zusätzlich der Einsatz ‚Retentionsbecken' verwendet, welcher unter den Parkplatz bzw. die Waldfläche gestellt wird und eine verzögerte Abflusszeit bewirkt. Zudem konnte durch Knete ein Deich gebaut werden, welcher die anliegenden Häuser schützte, beim Bau im Flussoberlauf aber die Hochwasserganglinie im Unterlauf beeinflusste (zur Beschreibung des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' siehe auch REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 47f.).
Das ‚Stormwater Floodplain Simulation System' wurde als Modell für die Studie ausgesucht, da durch den Einsatz der verschiedenen Einflussfaktoren zahlreiche Verknüpfungen zwischen den für Hochwasser relevanten Elementen aufgezeigt werden können.
Bei der Arbeit mit der Methode ‚Stationenlernen' (Sequenz 1) bekamen die Schüler die Aufgabe, Messungen des Wasserstandes bei verschiedenen Ausgangssituationen vorzunehmen und daraus folgernd Wasserstandsganglinien zu entwerfen. Für die Arbeit mit dem Modell wurden verschiedene Rollen verteilt, die bei jedem Szenario zwischen den Schülern gewechselt wurden. Dadurch wurde gewährleistet, dass alle Schüler aktiv am Modell arbeiten und jeder Lernende die identischen Aufgaben durchgeführt hat. Um dies in jeder Gruppe zu gewährleisten, wurden an die Schüler mit dem Material klare schriftliche Instruktionen ausgeteilt (siehe Anhang 9.1.2, Station 3 und Text „Vorgehen bei Station 3"; 9.1.3, Station 3 und Text „Vorgehen bei Station 3"). Die Ergebnisse wurden inhaltlich in der abschließenden Besprechung von einer Gruppe vorgestellt und mit der gesamten Experimentalgruppe besprochen und reflektiert. In der Sequenz 2 fand in der Experimentalgruppe ein identischer Ablauf mit der Thematik ‚Hochwasserschutzmaßnahmen' statt. Erneut wurden Messungen unter Annahme verschiedener Szenarien durchgeführt und anhand der Ergebnisse Wasserstandsganglinien erstellt, die im Plenum abschließend besprochen und reflektiert wurden.

4.3.2 Vergleichsgruppe

Da die Modelle in der Experimentalgruppe und der Vergleichsgruppe keine inhaltlichen Unterschiede aufweisen dürfen, sondern sich lediglich in der Darstellungsart unterscheiden sollen, wurden für die Vergleichsgruppe, basierend auf dem ‚Stormwater Floodplain Simulation System', mehrere graphische Modelle entworfen (siehe Abbildung 29 und Anhang 9.1.3).

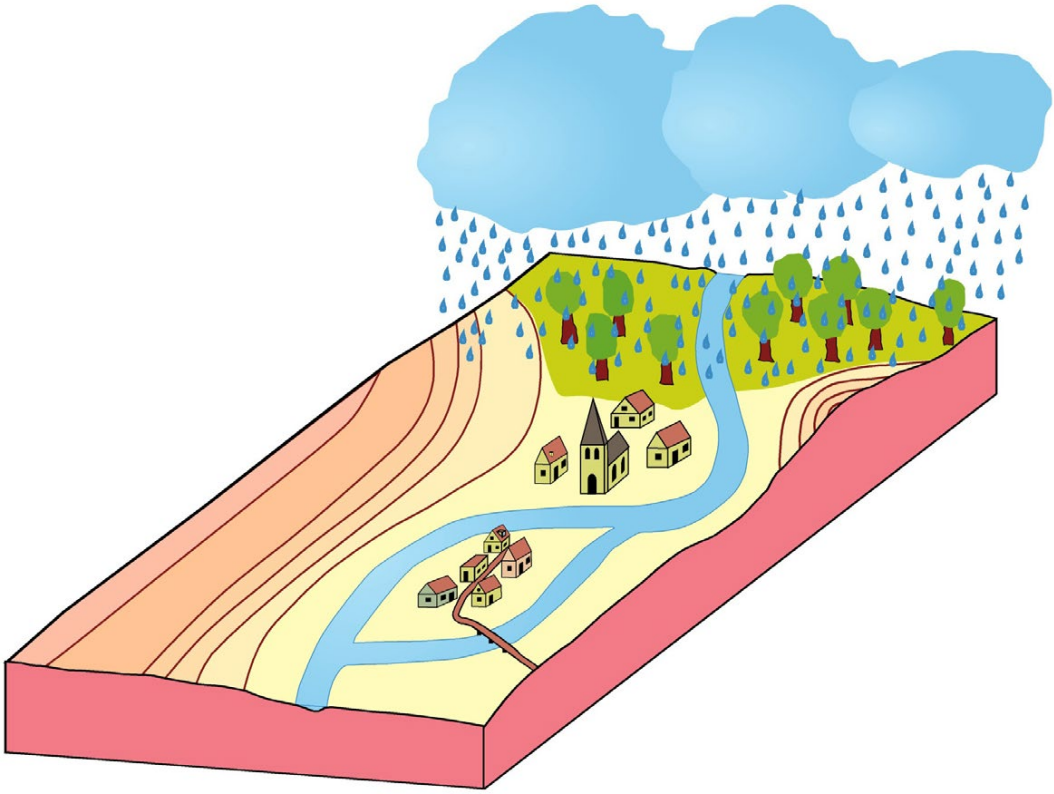


Abb. 29: Beispiel für ein graphisches Modell des ‚Stormwater Floodplain Simulation Systems' (Entwurf Schmalor, graphische Umsetzung Wieland)

Ziel des Entwurfs war es, in den graphischen Modellen die identischen Inhalte wie im ‚Stormwater Floodplain Simulation System' wiederzugeben. Um eine möglichst identische Darstellung der Prozesse zu gewährleisten, wurde vor dem Entwurf der graphischen Modelle jede mögliche Kombination der Einsätze in jeweils drei Durchgängen durchgeführt und das arithmetische Mittel des Wasserstandes ausgerechnet (siehe Anhang 9.1.4). Zudem musste darauf geachtet werden, dass auch die graphischen Modelle die im konkreten Modell dargestellten Prozesse visualisieren können. Dafür wurde als Methode eine Szenariosituation entworfen, in welcher verschiedene Zeitpunkte der Prozesse durch graphische Modelle eingefangen wurden. Durch die Situationsbeschreibung und die Fixierung verschiedener Situationen in den graphischen Modellen können daher nicht nur die gleichen Inhalte, sondern auch die gleichen Prozesse wie im ‚Stormwater Floodplain Simulation System' dargestellt werden. Bei der Umsetzung des konkreten Modells in graphische Modelle wurde darauf geachtet, die dargestellten Inhalte möglichst identisch zu halten. So sind z. B. das Höhenprofil und der Flussverlauf der graphischen Modelle eng an das konkrete Modell angelehnt. Um die Einsätze des Starkregens und Dauerregens darzustellen, wurden verschiedene Wolkentypen mit unterschiedlicher Niederschlagsintensität eingezeichnet. Der jeweilige Wolkentyp wird zudem in der dazugehörigen Szenariobeschreibung dargelegt, so dass sich die Niederschläge für

die Schülerinnen und Schüler, wie im konkreten Modell, deutlich unterscheiden. Kritisch muss angemerkt werden, dass nicht alle Aspekte des konkreten Modelles identisch in den graphischen Modellen umgesetzt werden konnten. So ließ sich das Regenrückhaltebecken, welches im konkreten Modell als unterirdisches Regenrückhaltebecken fungiert, im graphischen Modell nicht unter der Landschaftsoberfläche einzeichnen. Stattdessen wurde ein Regenrückhaltebecken an der Erdoberfläche skizziert. Ebenso kann die Waldfläche nicht identisch übertragen werden. Im konkreten Modell wird die Waldfläche mit Hilfe von Bäumen auf Schwämmen dargestellt. Die Schwämme, die den Waldboden darstellen, sind dabei in der Lage, viel Wasser aufzunehmen, so dass ihnen eine hohe Bedeutung zukommt. Im graphischen Modell wird der Wald ebenfalls durch Bäume abgebildet. Hier lässt sich jedoch der Boden nicht eindeutig als Waldboden kennzeichnen. Die Bedeutung des Waldbodens als Wasserspeicher wird zwar durch die Szenariobeschreibung vorgenommen, kann jedoch nur durch das graphische Modell alleine nicht eindeutig erkannt werden. Die Platzierung der Häuser konnte im konkreten Modell durch die Schülerinnen und Schüler frei vorgenommen werden. Da dies im graphischen Modell nicht umsetzbar ist, mussten die Häuser an bestimmten, von Schülerinnen und Schülern häufig gewählten Plätzen, eingezeichnet und damit fest vorgegeben werden.

Bezüglich des Entstehungsprozesses der graphischen Modelle lässt sich abschließend festhalten, dass versucht wurde, das konkrete Modell möglichst identisch in eine zweidimensionale Form zu übertragen. Konnten inhaltliche Aspekte nicht transferiert werden, so wurde versucht, dies durch die bei den graphischen Modellen immer hinzugefügte Szenariobeschreibung aufzufangen.

Wie in der Experimentalgruppe fand auch in der Vergleichsgruppe in der ersten Sequenz die Arbeit mit den graphischen Modellen in Gruppenarbeit im Stationenlernen statt. Die Prozesse der Szenarien im ‚Stormwater Floodplain Simulation System' sollten von dieser Gruppe mit Hilfe der graphischen Modelle in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden. Zudem musste aus vorgegebenen Daten eine Wasserstandsganglinie gezeichnet und in Verbindung zu den verschiedenen Szenarien gesetzt werden. In der zweiten Unterrichtssequenz wurde in Gruppenarbeit ein identischer Ablauf mit der Thematik ‚Hochwasserschutzmaßnahmen' durchgeführt. Erneut beschäftigten sich die Schüler mit graphischen Modellen und den dazu passenden Szenarienbeschreibungen und erstellten aus vorgegebenen Daten Wasserstandsganglinien. Wie in der Experimentalgruppe wurden die Ergebnisse abschließend von einer Gruppe vorgestellt und mit der gesamten Vergleichsgruppe besprochen und reflektiert.

Gerade durch den Aufbau der Aufgabe und die Verknüpfung der Szenariobeschreibung und der graphischen Modelle konnte daher gewährleistet werden, dass eine intensive Auseinandersetzung mit den graphischen Modellen stattfindet, ohne

dass, im Vergleich zur Experimentalgruppe, Unterschiede bei den Sozialformen oder den Sachinhalten bestanden.

4.4 Messinstrumente

Zur Beantwortung der in Kapitel 3 aufgestellten Fragestellungen werden im Studienverlauf insgesamt drei Messinstrumente eingesetzt. Die Entwicklung der Messinstrumente wird in Kapitel 4.4.1 thematisiert während in Kapitel 4.4.2 (Fragebogen), 4.4.3 (Concept Map) und 4.4.4 (Fragebogen zur aktuellen Motivation) die einzelnen Messinstrumente eingehender beschrieben werden. In Kapitel 4.4.5 findet abschließend eine Bewertung der Messinstrumente nach den Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität statt.

4.4.1 Entwicklung der Messinstrumente

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben werden, basierend auf den Fragestellungen und Hypothesen (Kapitel 3), mit dem Fragebogen, dem Einsatz einer Concept Map und dem Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (FAM) drei Messinstrumente eingesetzt. Während der FAM lediglich minimal modifiziert werden musste (siehe Kapitel 4.4.4), war es nach der Pilotierung notwendig, Verbesserungen am Fragebogen und der Concept Map vorzunehmen.
Bei der Entwicklung des Fragebogens wurden verschiedene Verfahren der Testanalyse angewandt. Die Entwicklung des Fragebogens fand in enger Abstimmung mit verschiedenen Experten statt (siehe Tabelle 12).

Tab. 12: Eingesetzte Verfahren zur Analyse des Fragebogens und der Concept Map (eigene Darstellung)

Testanalyseverfahren	Probanden
Expertengespräche	Hochschullehrer wissenschaftliche Mitarbeiter Schulleitung Lehrer
kognitive Laborverfahren (Comprehension Probing)	Schüler der Jahrgangsstufe EF und Studierende im B.A.
Standard-Pretest	Schüler der Jahrgangsstufe 9 an Gymnasien (n = 134)

Die Befragung von Experten stellt ein übliches Verfahren der Testentwicklung dar (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 39). Sie dient der Bewertung des Gesamtentwurfes und verschiedener eingesetzter Items. Bei der Entwicklung des Fragebogens wurden

vor allem Experten aus verschiedenen Bereichen der Hochschule (hier vor allem aus der Geographiedidaktik und den Bildungswissenschaften) einbezogen. In einer anschließenden Evaluation wurden auch Bedienstete des Schulwesens hinzugezogen. Hier wurde vor allem der praktische Einsatz und die Adressatengerechtigkeit der Messinstrumente thematisiert.
Nach der Begutachtung durch verschiedene Experten wurde die vorläufige Testversion einem Comprehension Probing Verfahren unterzogen (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 39). Das Comprehension Probing Verfahren kann den kognitiven Laborverfahren zugerechnet werden (MOHLER, PORST 1996, S. 11f.). Die Durchführung fand als Follow-up-Verfahren statt, da die Klärung von Begrifflichkeiten und Problematiken sofort nach Auftreten der Antwort besprochen wurde (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 39).
Nach dem Comprehension Probing Verfahren wurde anschließend eine Pilotierung des Fragebogens durchgeführt. „If you do not have the resources to pilot-test your questionnaire, don't do the study" (BRADBURN et al. 2014, S. 317). Mit diesem Zitat machen BRADBURN et al. (2014, S. 317) deutlich, dass für eine Fragebogenstudie eine Pilotierung des Tests unerlässlich ist. Die Pilotierung wird auch als ‚Standard-Pretest' bezeichnet und dient dazu, Probleme, Auffälligkeiten und die Testdauer des Fragebogens herauszufinden (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 5) sowie die Itemschwierigkeit, die Itemvarianzen und die Itemtrennschärfe auszurechnen, um daraus resultierend ggf. Modifizierungen vorzunehmen (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 76).
Der Standard-Pretest wurde an verschiedenen Gymnasien in NRW durchgeführt. Für die Stichprobengröße in Standard-Pretests werden in der Literatur zahlreiche Vorschläge, von n = 10 bis n = 200, gemacht (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 5). Die vorliegende Stichprobengröße n = 134 entspricht somit den Anforderungen der Empfehlungen in der Literatur (vgl. WELLENREUTHER 1982, S. 176; SCHNELL et al. 2018, S. 319; WEICHBOLD 2019, S. 352). Für die Durchführung des Standard-Pretests wurde die Jahrgangsstufe 9 ausgewählt, da der Erhebungszeitraum Ende Juni/Anfang Juli vor den Sommerferien stattfand und die Jahrgangsstufe EF, welche an der Hauptstudie teilnimmt, bereits die im Fragebogen zu behandelnde Thematik im Unterricht erarbeitet hatte. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Stichprobe der Pilotierung die höchst mögliche Übereinstimmung mit der Stichprobe der Hauptstudie besitzt. JONKISZ et al. (2012, S. 70) betonen zu Recht, dass die Bedingungen der Pilotierung möglichst realistisch sein sollen. Es wurde daher auch bei weiteren Bedingungen versucht, die Pilotierung möglichst realistisch den Bedingungen der Hauptstudie anzupassen. So wurde bspw. den Schülern nicht mitgeteilt, dass es sich bei der Durchführung des Fragebogens um eine Pilotierung handelt. Dieses auch als undeclared Pretest (PRÜFER, REXROTH 1996, S. 6) bezeichnete Vorgehen soll die Konzentration bei den Schülern erhöhen, um eine höhere Vergleichbarkeit zur Hauptstudie zu erreichen.

Durch den Standard-Pretest konnten Erkenntnisse auf verschiedenen Ebenen gewonnen werden. So konnte die Bearbeitungszeit des Tests von ursprünglich vorgesehenen 45 Minuten auf 30 Minuten verkürzt werden. Von den insgesamt 134 Schülern brauchten lediglich 4 Schüler mehr als 30 Minuten, so dass die Kürzung der Bearbeitungszeit für die Hauptstudie auf 30 Minuten vorgenommen werden konnte, ohne dass dies gravierende Auswirkungen auf die Ergebnisse der Schüler besitzt. Weiterhin wurden seitens der Schüler mehrmals die Fachbegriffe ‚Retentionsbecken' und ‚Vb-Wetterlage' nachgefragt. Während der Begriff ‚Retentionsbecken' in Rücksprache mit den Lehrkräften zu ‚Regenrückhaltebecken' verändert wurde, wurde der Begriff ‚Vb-Wetterlage' aufgrund einer zu hohen Eigenkomplexität inhaltlich ganz gestrichen. Zusätzlich wurde nach Evaluierung der Ergebnisse im Fragebogen ein Item zur Erfragung der Jahrgangsstufe komplett entfernt.
Neben diesen grundlegenden Erkenntnissen wurde, basierend auf den Daten des Standard-Pretests, eine deskriptivstatistische Analyse, auch Itemanalyse genannt, durchgeführt. Die gewonnen Erkenntnisse geben einen Überblick über die Qualität des Messinstruments und können ggf. zur Modifizierung desselben genutzt werden (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 76). Bei der Itemanalyse wurden nur Items des Fragebogens zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens untersucht. Die Itemschwierigkeit, auch Schwierigkeitsindex genannt, kann als zentrales Maß der Itemanalyse angesehen werden. Sie gibt an, inwiefern die einzelnen Items für die Probanden zu schwer oder zu leicht gestaltet sind (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 76). Die Berechnung erfolgt über die Formel $Pi = \frac{\sum_{v=1}^{n} Xvi}{n \times \max(xi)} \times 100$ (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 77) und ergibt Werte zwischen 0 und 100. Dabei werden Werte unter 20 als zu schwer und über 80 als zu leicht angesehen (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 149). Aufgrund der Ergebnisse (siehe Tabelle 13) wurden, nach Rücksprache mit Experten, die Deskriptoren der Items 17.1, 17.3, 27.1 und 27.3 überarbeitet. Die restlichen Werte der Itemschwierigkeit können als brauchbar angesehen werden. Neben der Itemschwierigkeit wird in Tabelle 13 auch die Itemvarianz angegeben, welche die Streuung der jeweiligen Deskriptoren angibt (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 81).

Tab. 13: Itemanalyse des Standard-Pretest (Grau hervorgehoben sind die anschließend modifizierten Items) (eigene Darstellung)

Item	n-Wert	Itemschwierigkeit (P_i)	Itemschwierigkeit (Rechnung)	Itemvarianz	Itemtrennschärfe (r`)
17	134	72,2	(387/536)*100	1,16	0,362
17.1	131	82,57	(109/132)*100	0,14	-
17.2	132	76,69	(102/133)*100	0,18	-
17.3	131	82,57	(109/132)*100	0,14	-
17.4	132	51,51	(68/132)*100	0,25	-
18	134	61,58	(303/492)*100	1,92	0,086
18.1	123	60,16	(74/123)*100	0,24	-
18.2	123	65,85	(81/123)*100	0,22	-
18.3	122	62,29	(76/122)*100	0,23	-
18.4	121	60,33	(73/121)*100	0,24	-
19	134	62,68	(336/536)*100	3,77	-0,025
20	134	29,83	(148/496)*100	2,53	0,312
21	134	52,23	(280/536)*100	4,02	0,253
22	134	78,35	(420/536)*100	2,73	-0,290
23	134	35,33	(188/532)*100	3,68	0,037
24	134	35,12	(170/484)*100	2,93	0,270
25	134	71,28	(345/484)*100	1,69	0,075
25.1	131	74,80	(98/131)*100	0,19	-
25.2	131	69,46	(91/131)*100	0,21	-
25.3	131	58,46	(76/130)*100	0,24	-
25.4	130	66,15	(86/130)*100	0,22	-
26	134	52,23	(280/536)*100	4,02	-0,040
27	134	70,48	(375/532)*100	1,24	0,371
27.1	129	80,00	(104/130)*100	0,16	-
27.2	130	65,64	(86/131)*100	0,22	-
27.3	130	87,78	(115/131)*100	0,10	-
27.4	127	54,68	(70/128)*100	0,25	-
28	113	20,35	(92/432)*100	2,03	0,335

Neben der Itemschwierigkeit wurde zudem noch die Itemtrennschärfe (r`) berechnet (siehe Tabelle 13). Die Trennschärfe gibt den korrelativen Zusammenhang zwischen den einzelnen Itemwerten der Probanden und ihrem Gesamtergebnis an. Als Maß des Zusammenhangs können Werte zwischen –1 und 1 erreicht werden (KELAVA, MOOSBRUGGER 2012, S. 81). Auch wenn keine festen Grenzen bezüglich der

Berücksichtigung gesetzt werden, geben bspw. MÖLTNER et al. (2006, S. 5) Richtwerte an. So werden Werte von r` über 0,3 als gut, während Werte zwischen 0,1 und 0,2 als marginal angesehen werden. Werte unter 0,1 gelten als schlecht und bei negativen Werten schneiden schlechte Schüler in dieser Aufgabe besser ab als durchschnittlich gute Schüler. Bei dem vorliegenden Messinstrument wurden daher alle negativen Werte überarbeitet (siehe Tabelle 13). Da die Trennschärfe eines Items von der Itemschwierigkeit abhängig ist und schwierige Aufgaben eine geringere Trennschärfe aufweisen, wurden bei einigen Aufgaben auch Werte unter 0,3 angenommen, da so die gesamte Leistungsbreite der Schüler erfasst werden kann (DÖRING, BORTZ 2016E, S. 478f.).
Abschließend lässt sich festhalten, dass durch den Standard-Pretest aufgrund verschiedener deskriptivstatistischer Erkenntnisse neben der Bearbeitungszeit und Veränderung einiger Fachbegriffe auch einzelne Items modifiziert werden mussten.

4.4.2 Fragebogen

Der Fragebogen (siehe Anhang 9.2.1) wurde entworfen, um die Systemorganisation und das Systemverhalten der Schüler zu erfassen. Der Fragebogen kann insgesamt in vier Abschnitte unterteilt werden und umfasst acht Seiten. Zusätzlich wurden zwei weitere Seiten zur Darstellung der Concept Map angehängt. Den vier Abschnitten wurde eine Instruktion vorangestellt, welche die Anonymität der Probanden gewährleistet, in der um ehrliche Antworten bei der Beantwortung der Fragen gebeten wurde und in der sich die Studienleitung für die Teilnahme bedankte (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 137). Der erste Abschnitt des Fragebogens diente der Eintragung eines mehrstelligen Codes, der aus forschungsmethodischen Gründen benötigt wurde, um anschließend in anonymisierter Form die verschiedenen Messinstrumente und Testergebnisse der Probanden untereinander zuordnen zu können (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 138). Im zweiten Abschnitt wurden persönliche Daten bezüglich des soziodemographischen Hintergrunds erfasst. Trotz der Notwendigkeit der Erhebung wichtiger Daten wurde dabei die Bewahrung der Anonymität gewährleistet (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 138).
Im dritten Abschnitt wurden sechs Items mit einer fünfstufigen Likert-Skala eingesetzt, um das ‚Interesse' der Probanden bezüglich des Faches ‚Erdkunde', der Thematik ‚Naturrisiken' und im speziellen zur Thematik ‚Hochwasser' festzustellen. Zusätzlich wurde in den Items der Einsatz von konkreten und graphischen Modellen im Erdkundeunterricht sowie die Behandlung der Thematik ‚Hochwasser' in der Schule erörtert. In der Forschung wird intensiv diskutiert, ob bei Rating-Skalen eine gerade oder ungerade Stufenzahl angeboten werden soll (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 138). In der vorliegenden Studie fiel die Entscheidung bewusst auf eine ungerade Stufenanzahl, um den Probanden eine neutrale Antwortmöglichkeit zu

geben und damit ein Ausweichen auf andere Kategorien und eine damit verbundene systematische Verzerrung der Daten zu vermeiden (MENOLD, BOGNER 2015, S. 6). Das dispositionale Interesse der Schüler wurde zusätzlich erhoben, da dieses eine engere Korrelation zum Lernerfolg aufweist als andere Motivationsfaktoren (WILD et al. 2006, S. 217). So wurde in einer Metaanalyse über mehrere Schularten, Jahrgänge und Schulfächer hinweg von SCHIEFELE et al. (1993, S. 120) eine mittlere Korrelation von r = .30 zwischen dem Interesse und der Schulleistung ermittelt.
Auch die bisherigen Erfahrungen beim Umgang mit Modellen können Einfluss auf die Ergebnisse besitzen. So sind Lernende an für sie unbekannten Medien generell stärker interessiert als an bereits bekannten Medien. Dies wird als Neuheitseffekt bezeichnet und stellt die kurzfristige Überlegenheit von für die Probanden unbekannten Medien dar (WEIDENMANN 2006, S. 433). Durch die Erhebung der Werte kann eine mögliche Korrelation der Faktoren zu den Ergebnissen überprüft werden.
Der eigentliche Hauptteil des Fragebogens bestand aus insgesamt 12 Items. Da die Systemorganisation und das Systemverhalten der Schüler erhoben werden soll, kann von einem unidimensionalen Test gesprochen werden (JONKISZ et al. 2012, S. 34). Der Fragebogen wurde als ‚paper-pencil-Test' in einer Gruppentestung ausgeteilt. Zwar wäre theoretisch auch ein computerunterstützter Fragebogen möglich gewesen, diese Möglichkeit schied jedoch aus organisatorischen Gründen aus. Insgesamt wurden neun Aufgabentypen mit gebundenem Antwortformat und drei Aufgabentypen mit freiem Antwortformat eingesetzt (siehe Abbildung 30).

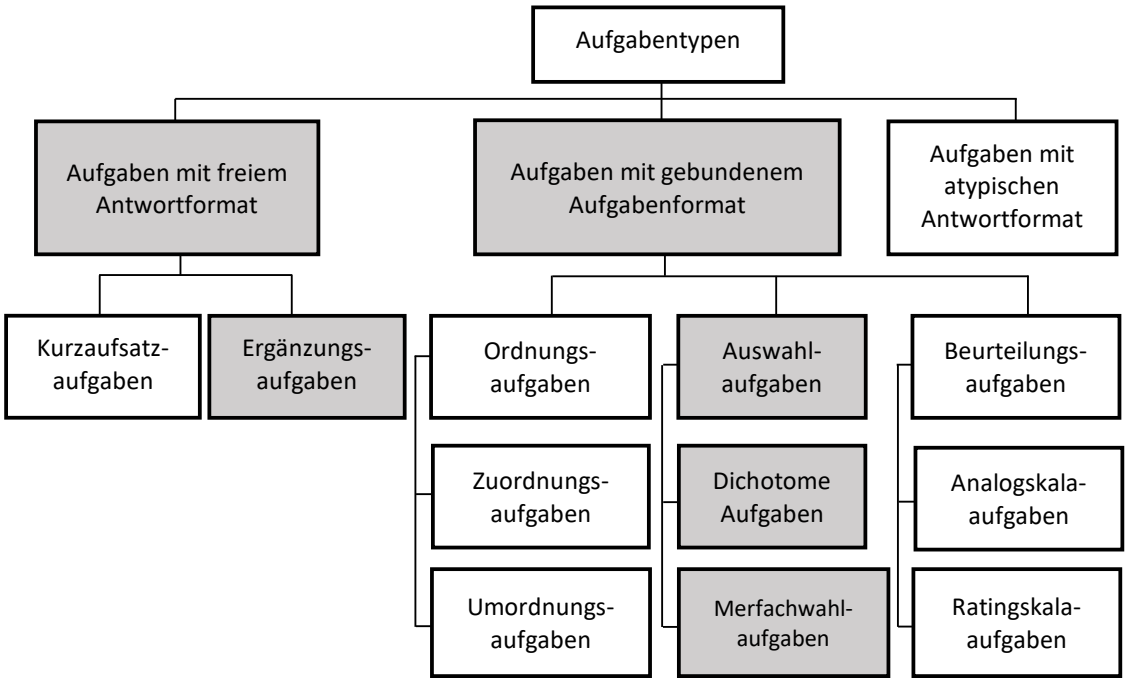


Abb. 30: Verschiedene Antwortformate, die im Fragebogen zum Einsatz kamen (grau hervorgehoben) (eigene Darstellung nach JONKISZ et al. 2012, S. 39)

Bei den gebundenen Antwortformaten kamen Multiple Choice-Aufgaben (Mehrfachwahlaufgaben) und dichotome Aufgaben zum Einsatz. Bei den freien Antwortformaten hingegen wurden Ergänzungsaufgaben eingesetzt (für eine eingehendere Beschreibung der Aufgabentypen mit ihren Vor- und Nachteilen siehe JONKISZ et al. 2012, S. 39-57). Basierend auf den Ergebnissen der Pilotierung (siehe Tabelle 13) wurde die Reihenfolge der Items so gelegt, dass insgesamt eine aufsteigende Schwierigkeit erzielt wurde, ohne dass dabei zwischen verschiedenen inhaltlichen Thematiken gewechselt werden musste (JONKISZ et al. 2012, S. 68).
Bei der Entwicklung der Testitems fand die Orientierung im Wesentlichen an den Aufgabentypen von REMPFLER (2015A), REMPFLER (2015B), MEHREN et al. (2015A) und MEHREN et al. (2016) statt. MEHREN et al. (2016, S. 156) entwickelten sieben Aufgabentypen, welche die Systemorganisation und das Systemverhalten erfassen. Die verschiedenen Aufgabenitems bauen nicht aufeinander auf und können daher unabhängig voneinander eingesetzt werden. Die eingesetzten Items wurden so konzipiert, dass in den Aufgaben verschiedene Relationen zwischen zwei oder mehreren Elementen beschrieben oder dargestellt werden sollten. Für den vorliegenden Fragebogen wurden die Itemkonstruktionen auf den inhaltlichen Aspekt der Hochwasserthematik übertragen. Hierbei wurden systemische Thematiken verwendet, welche auch in den verschiedenen Modelltypen vorkommen. Zudem fragen die zwölf Items eine große Bandbreite der in den Treatmentgruppen dargestellten Informationen zur Hochwasserthematik ab. Bei der Formulierung der Items fanden die klassischen Kriterien zur Itemkonstruktion (inhaltliche Korrektheit, Vermeidung mehrdeutiger Begriffe, zu kompliziert konzipierte Aussagen, angemessene Fachbegriffe) Beachtung (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 144f.).

4.4.3 Concept Map

Unter anderem machen SCHECKER und KLIEME (2000, S. 47) deutlich, dass durch Concept Maps Effekte von Unterrichtsmaßnahmen aufgezeigt werden, welche durch andere Testverfahren nicht erfasst werden können. Ebenso machen MEHREN et al. (2018, S. 700) deutlich, dass Concept Maps neben den im Fragebogen eingesetzten Items bei der Diagnose von Systemkompetenz in der Geographie einen deutlichen Mehrwert bieten. Um neben dem Fragebogen (Kapitel 4.3.2) einen weiteren Indikator für die Systemorganisation und das Systemverhalten der Schüler zu erhalten, wurde ihnen gemäß der Triangulation (zur Triangulation siehe FLICK 2011) im Pre-, Post- und Follow-up-Test die Aufgabe gegeben, eine Concept Map zu erstellen. Im Folgenden werden zunächst theoretische Grundlagen zur Methode der Concept Maps dargelegt, um darauf aufbauend das eigene Vorgehen beim Einsatz dieses Erhebungsinstruments zu erläutern.
Unter ‚Concept Maps', ‚Begriffs-Landkarten' (BEHRENDT, REISKA 2001, S. 9) oder auch ‚Begriffsnetzen' (REMPFLER 2010, S. 14) werden zweidimensionale Darstellungen

von Strukturen verstanden, welche aus Elementen und ihren Relationen bestehen (siehe Abbildung 31) (RUIZ-PRIMO, SHAVELSON 1996, S. 569; BEHRENDT, REISKA 2001, S. 9; FÜRSTENAU 2011, S. 46; TILLMANN 2014, S. 76; JAHN et al. 2015, S. 344).
Concept Maps wurden 1972 erstmals von Novak als Erhebungsinstrument für Interventionsstudien eingesetzt (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 1). Dabei beziehen sich NOVAK und GOWIN (1983, S. 625) vor allem auf AUSUBEL (1978) und seine kognitive Lerntheorie.

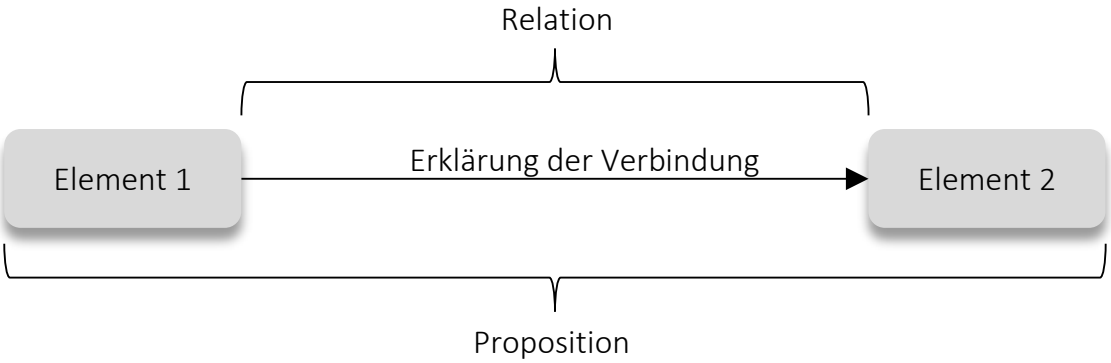


Abb. 31: Graphische Darstellung von Propositionen und ihren Teilelementen (eigene Darstellung nach JAHN et al. 2015, S. 344)

Basierend auf der Theorie von AUSUBEL (1978) stellen Concept Maps Strukturen dar, die aus Propositionen bestehen. Propositionen wiederum setzen sich aus zwei Elementen zusammen, die durch eine Relation verbunden werden. Hier sei angemerkt, dass für den Begriff ‚Element' (SOMMER 2005, S. 147f.; REMPFLER 2010, S. 14f.; TILLMANN 2014, S. 77; MEHREN et al. 2015B, S. 30) in der Literatur auch zahlreiche andere Bezeichnungen wie ‚Knoten' (CLAUSEN, CHRISTIAN 2012, S. 20; GRAF 2014, S. 326), ‚Konzepte' (FÜRSTENAU 2011, S. 46) oder ‚Begriffe' (SCHRAMKE 1999, S. 18; FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 9; BEHRENDT, REISKA 2001, S. 9; JAHN et al. 2015, S. 344) verwendet werden. In der englischsprachigen Literatur sind hingegen die Bezeichnungen ‚nodes' und ‚concept' geläufig (RUIZ-PRIMO et al. 2001A, S. 260; BRANDSTÄDTER et al. 2012, S. 2150). Im Folgenden soll der Begriff ‚Element(e)' verwendet werden. Die Elemente werden schließlich mit Relationen, die graphisch aus einem gerichteten Pfeil und einer Beschriftung bestehen, in Beziehung gesetzt. Diese Relationen können unterschiedlicher Art sein, es haben sich allerdings klassische Verbindungbeschreibungen bewährt, die auch als Relationstypen (CLAUSEN, CHRISTIAN 2012, S. 21) bezeichnet werden.
Die Ähnlichkeit von Concept Maps und Mind Maps führt in Publikationen oft zu Verwechslungen. Mind Maps sind jedoch lediglich eine Darstellungsform von Ideen und assoziativen Verbindungen, die von einem zentralen Begriff ausgehend durch Linien (Relationen) verknüpft werden. Die Relationen in Mind Maps, die im Zusammenhang mit dem zentralen Begriff stehen, sind zudem im Gegensatz zu den Relationen der Concept Maps nicht beschriftet (GRAF 2014, S. 329).

Generell werden Concept Maps in der Wissensdiagnostik und im instruktionalen Lernen eingesetzt (FÜRSTENAU 2011, S. 46f.). Da das instruktionale Lernen für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung ist, soll im Folgenden nur auf die Wissensdiagnostik durch Concept Maps eingegangen werden (zum instruktionalen Lernen siehe z. B. NESBIT, ADESOPE 2006; FÜRSTENAU 2011). Concept Maps wurden ursprünglich von NOVAK (1996) entwickelt, um Wissensstände vor und nach einer Instruktion zu ermitteln. Hierbei wird angenommen, dass das Wissen im Gedächtnis gespeichert ist und mit Concept Maps ausschnittsweise repräsentiert werden kann (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 1f.). Sie werden daher als eine Möglichkeit angesehen, komplexes systemisches Wissen zu erheben (GUASTELLO et al. 2000, S. 357; VAN ZELE et al. 2004, S. 1043f.; NOVAK, CAÑAS 2008, S. 3; ALLEN 2011, S. 31). Insgesamt werden Concept Maps in verschiedensten Varianten und Formen eingesetzt (JAHN et al. 2015, S. 346f.). Bei den Formen wird zumeist zwischen hierarchischen Concept Maps und netzwerkartigen Concept Maps unterschieden. Da NOVAK und GOWIN (1984, S. 7) sich bei der Entwicklung der Concept Maps auf AUSUBEL (1978) bezogen, übernahmen sie von diesem auch die in seiner Kognitionstheorie implementierte hierarchische Struktur (AUSUBEL 1978, S. 67f.) (siehe Abbildung 32).

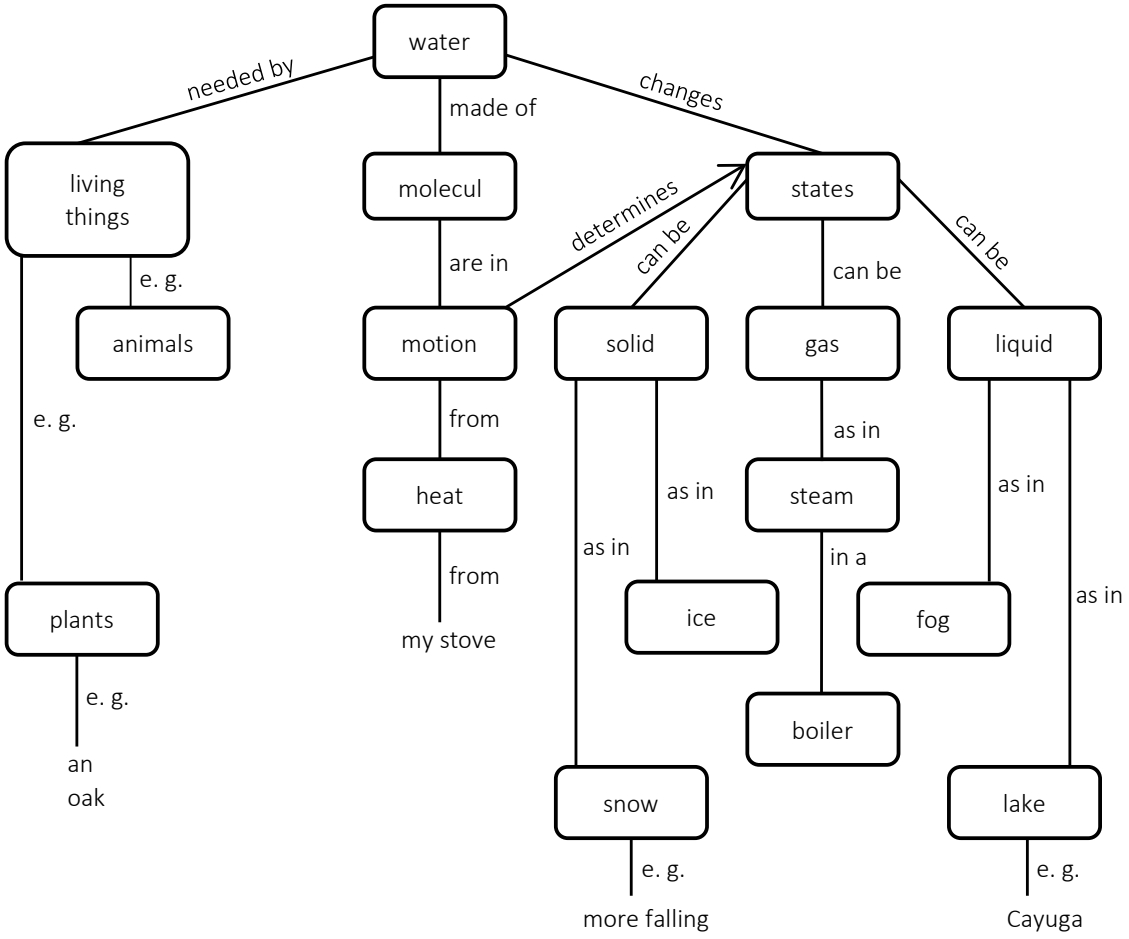


Abb. 32: Beispiel für eine hierarchische Concept Map (NOVAK, GOWIN 1984, S. 16)

Der von AUSUBEL (1978, S. 84) aufgestellte Gedanke der Subsumtion neuer propositionaler Bedeutungen wird, basierend auf empirischen Ergebnissen in lernpsychologischen Modellen, stark kritisiert (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 6). Stattdessen haben sich immer mehr die vernetzten Concept Maps durchgesetzt, in denen das propositionale Wissen in Form von semantischen Netzwerken dargestellt wird (siehe Abbildung 33; CLAUSEN, CHRISTIAN 2012, S. 21).

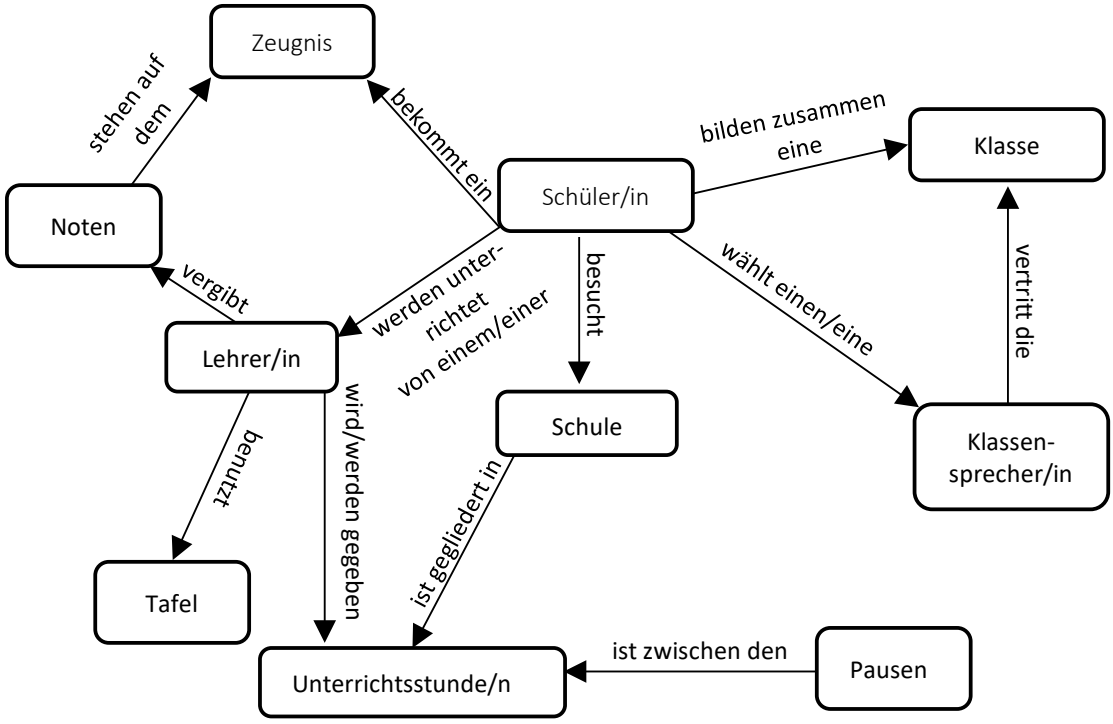


Abb. 33: Beispiel für eine netzartige Concept Map (eigene Darstellung)

CLAUSEN und CHRISTIAN (2012, S. 12) merken jedoch zu Recht an, dass zwischen hierarchischen und netzwerkartigen Concept Maps ein fließender Übergang besteht, da auch in netzwerkartigen Concept Maps durch Relationen zwischen Propositionen ein hierarchischer Charakter entstehen kann. BRÜHNE und HARNISCHMACHER (2019, S. 11-13) unterteilen zusätzlich in ‚schneckenförmige', ‚kreisförmige' und ‚sternförmige' Concept Maps und listen dazu die jeweiligen Vor- und Nachteile der Darstellungsform auf.
Da es in der Wissensdiagnostik keine festen Regeln zum Einsatz von Concept Maps gibt, ist eine Anpassung der Aufgabenformen und Auswertungsverfahren individuell an das jeweilige Forschungsprojekt möglich. Dieser Vorteil kann jedoch auch als Defizit in der theoretischen Begründung ausgelegt werden (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 2). Umso wichtiger ist es, für das jeweilige Forschungsprojekt feste Regeln des Auswertungsverfahrens aufzustellen (zu den Regeln in dieser Arbeit siehe Anhang 9.3.2).

Um die zahlreichen Möglichkeiten trotzdem zu strukturieren, teilen RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 573) das diagnostische Vorgehen bei Concept Maps in die Bereiche Aufgabenstellung, Antwortformat und Bewertungssystem ein. Da die Einteilung zur strukturierten Darlegung auch von anderen Autoren (vgl. FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 8f.) benutzt wird, soll diese auch im Folgenden übernommen werden.

Wie die Aufgabenstellung, das Antwortformat und das Bewertungssystem schlussendlich aussehen, hängt direkt von der Zielsetzung der jeweiligen Studie ab. Generell wird bei der Aufgabenstellung von Concept Maps zwischen offenen Aufgabenformaten (kaum Vorgaben) und geschlossenen Aufgabenformaten (Vorgabe von Konzepten, Beriffen und Strukturen möglich) unterschieden. So kann beispielsweise eine Concept Map gänzlich eigenständig gestaltet oder aber eine vorgegebene Concept Map vervollständigt werden. Auch die begründete Auswahl einer passenden Concept Map aus vorgegebenen Concept Maps kann eine mögliche Aufgabenform darstellen (JAHN et al. 2015, S. 346f.).

Bei der Entscheidung, ob Elemente vorgegeben werden oder nicht, sind verschiedene Aspekte zu beachten. Da durch die Concept Map die Wissensstrukturen der Probanden erfasst werden sollen, sollte eine Vorgabe von Elementen eigentlich vermieden werden. So können vorgegebene Elemente die Probanden in ihrer Darstellung einschränken und Formulierungen vorweggenommen werden, die die Probanden selbst so nicht wählen würden. Durch die Vorgabe der Elemente wird also in die Darlegung der Wissensstruktur eingegriffen. Gleichzeitig ist eine Vorgabe von Elementen bei z. B. vergleichenden Untersuchungen oder Untersuchungen, die die Entwicklung von Wissensstrukturen bei Probanden erheben, unvermeidlich, da nur so eine Vergleichbarkeit der Concept Maps erreicht werden kann (vgl. FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 9f.). Auch das Vorgeben von Relationen ist mit ähnlichen Vor- und Nachteilen verbunden. So beeinflusst die Vorgabe von Relationen die Darlegung der Wissensstrukturen. Zudem kann sich für den Probanden die gesamte Aufgabenstellung verändern, da nun der Schwerpunkt auf der korrekten Beschriftung eines Wissensnetzes, das evtl. gar nicht mit dem eigenen übereinstimmt, liegt. Jedoch muss auch beachtet werden, dass ohne vorgegebene Relationen ein Vergleich zwischen verschiedenen Concept Maps nur schwer durchführbar ist (vgl. FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 11f.). Aufgrund der Vergleichbarkeit geben bspw. BEHRENDT et al. (2000, S. 119) 51 Elemente und 10 Relationen vor.

RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 578) nennen weitere Beispiele wie Concept Maps in der Aufgabenstellung variiert werden können. So kann z. B. die Vorgabe gemacht werden, dass die Concept Map hierarchisch aufgebaut sein soll.

Beim Antwortformat wird vor allem zwischen papierbasierter und computerbasierter Antwortmöglichkeit unterschieden. Der Vorteil eines computerbasierten Antwortformats ist die Auswertung durch spezielle Programme wie CmapTool

oder HIMATT. Demgegenüber stehen jedoch organisatorische und mögliche technische Probleme. Auch der mögliche Einfluss durch Kompetenzen seitens der Probanden im EDV-Bereich muss als Nachteil angesehen werden (zu den Unterschieden einer computerbasierten und papierbasierten Concept Map und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse, siehe BRANDSTÄDTER et al. 2012; JAHN et al. 2015, S. 347). RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 579f.) nennen als weiteres Antwortformat die mündliche Darlegung in Interviews. Hier besteht die Möglichkeit, dass die Concept Maps nicht von den Probanden selber erstellt, sondern diese aus Interviews, Essays etc. von extra geschultem Personal entworfen werden.
Ebenfalls vom Ziel der Studie abhängig und in sehr vielen Varianten vorzufinden, ist das anschließende Bewertungssystem der Concept Map. Die Auswertung kann sowohl qualitativ als auch quantitativ erfolgen (YIN et al. 2005, S. 168). Während bei der qualitativen Auswertung wenige Concept Maps auf die Qualität der Propositionen und die Darstellung der Wissensstruktur hin untersucht werden, können bei der quantitativen Auswertung verschiedenste Indikatoren, wie die Anzahl der wertbaren Propositionen und die Anzahl der verwendeten Elemente, erhoben werden (KINCHIN et al. 2000; JAHN et al. 2015, S. 348). Unter ‚wertbaren' Propositionen werden im Folgenden alle Propositionen gezählt, die eine eindeutige Pfeilrichtung angeben, in denen der Pfeil beschriftet und wo diese Beschriftung sachlich korrekt ist (REMPFLER 2010, S. 15).
Findet, wie in dieser Studie, eine quantitative Analyse statt, so schlagen RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 581f.) drei Möglichkeiten für das Bewertungssystem vor: 1. Bewertung einzelner Komponenten der Concept Map; 2. Vergleich mit einer Expertenmap; 3. Kombination aus 1 und 2.
Expertenmaps sind Concept Maps, die von Fachexperten angefertigt werden und die zentralen Gedanken und Konzepte eines Systems darstellen (FISCHER, MANDL 2000, S. 40). RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 593) stellen heraus, dass Gruppenunterschiede zwischen Novizen und Experten bei der Gestaltung von Concept Maps nachgewiesen sind. ACTON et al. (1994, S. 310) konnten jedoch nachweisen, dass es auch zwischen den Concept Maps von Experten beträchtliche Unterschiede gibt. Der Vergleich von Concept Maps mit einer Expertenmap wird daher von RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996, S. 593) als problematisch beschrieben. Der Vergleich einer Concept Map mit einer oder mehreren Expertenmaps wird in der Literatur trotzdem empfohlen, da so eine qualitative Aussage bezüglich einer Concept Map getroffen werden kann (FÜRSTENAU 2011, S. 47).
Bei quantitativen Untersuchungen von Concept Maps stellt zudem die Bewertung einzelner Komponenten ein diagnostisches Instrument dar. Dabei sollte für die Auswahl der betrachteten Komponenten, die Fragestellung der Studie das entscheidende Kriterium sein (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 13).
Die wohl am häufigsten in Studien betrachtete Messgröße ist die Anzahl der mit einer Expertenmap übereinstimmenden Propositionen (wertbaren Propositionen)

(FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 13). Dies ist nicht verwunderlich, da Propositionen die kleinste zu untersuchende Einheit einer Concept Map darstellen und in ihnen selbst bereits eine Vernetzung besteht, so dass Sinneinheiten bzw. Zusammenhänge abgefragt werden. Neben der Anzahl der wertbaren Propositionen können zahlreiche weitere Messgrößen wie die Anzahl der verwendeten Elemente und Relationen aber auch bspw. die längste wertbare Verbindung in der Concept Map (Durchmesser) erhoben werden (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 12; FÜRSTENAU 2011, S. 47). In der deutschen Forschung haben sich in den letzten Jahren verschiedene Messgrößen etabliert, um die Komplexität von Concept Maps zu bestimmen.

Tab. 14: Verschiedene Messgrößen zur Erfassung der Komplexität in Concept Maps (eigene Darstellung, nach REMPFLER 2010, S. 14)

Messgrößen	Berechnung
Umfang (SOMMER 2005, S. 151)	Anzahl wertbarer Elemente + Anzahl wertbarer Relationen
Vernetzungsindex (OSSIMITZ 2000, S. 210)	$2 \text{ x } (\text{Anzahl wertbarer} \frac{\text{Relationen}}{\text{Elemente}})$
Komplexitätsindex (SOMMER 2005, S. 150f.)	$\frac{\text{Punktzahl Struktur} + \text{Punktzahl Vernetzung} + \text{Punktzahl Umfang}}{3}$
Strukturindex (BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008, S. 106)	$\frac{\text{Summe aller wertbaren Pfeilketten} + \text{Verzweigungen} + \text{Kreisläufe}}{\text{Anzahl wertbarer Elemente}}$

Für die Berechnung des Umfangs bei SOMMER (2005, S. 151) besitzen lediglich die Elemente und Relationen eine Bedeutung. Im Vernetzungsindex hingegen wird eine Aussage darüber getroffen, inwiefern die Probanden die jeweiligen Elemente durch Relationen verknüpfen können. Durch den Faktor 2 (für die hin- bzw. wegführenden Elemente) wird dargestellt, wie viele Pfeile im Durchschnitt zu jedem Element hin- bzw. wegführen (REMPFLER 2010, S. 15). Der Komplexitäts- und der Strukturindex beziehen weitere Faktoren wie Ketten, Kreisläufe und Verzweigungen mit ein. Hierdurch soll die strukturelle Komplexität der Concept Map besser dargestellt werden (REMPFLER 2010, S. 15). Während beim Komplexitätsindex (ausführliche Darstellung der Berechnung in SOMMER 2005, S. 150f.) zusätzlich noch die

Vernetzung und der Umfang eingerechnet werden, entfallen diese beim Strukturindex (ausführliche Darstellung der Berechnung des Strukturindexes bei MEHREN et al. 2015B, S. 33). Die Bewertung durch den Strukturindex erhält vor allem in der deutschen Geographiedidaktik eine große Resonanz (u. a. BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008; REMPFLER 2010; REMPFLER, UPHUES 2011C; MEHREN et al. 2015A; MEHREN et al. 2015B; FÖGELE et al. 2020).
Kritik an der quantitativen Auswertung von Concept Maps wird vor allem dahingehend geäußert, dass eine größere Anzahl nicht mit einer höheren Qualität gleichgesetzt werden kann (FÜRSTENAU 2011, S. 47). Diese Kritik, aber auch die Anmerkung von JAHN et al. (2015, S. 348), dass bei der Auswertung verschiedener Messgrößen zwischen diesen oft statistische Zusammenhänge bestehen, soll im weiteren Verlauf aufgegriffen werden.
Tabelle 15 verdeutlicht anhand einiger für diese Studie zentralen Forschungsvorhaben wie Concept Maps in der quantitativen Forschung eingesetzt werden und wie sie sich in Erhebungs- und Auswertungsverfahren unterscheiden.

Tab. 15: Beispiele für unterschiedliche Aufgabenstellungen, Antwortformate und Bewertungssysteme bei der Diagnostik mit Concept Maps (eigene Darstellung, nach RUIZ-PRIMO, SHAVELSON 1996, S. 574-577)

Autor und Forschungsvorhaben	Aufgaben-stellung	Antwort-format	Bewertungs-system
ACTON et al. (1994) Vergleich von verschiedenen Expertenmaps (von einzelnen Experten, mehreren Experten, Studierenden und Forschenden).	Bewertung der Beziehung von 24 Paaren zur Thematik Programmierung auf einer 7er Skala.	Antwort am Computer, an dem die Schüler in einem Programm 60 Minuten lang Bewertungen abgeben müssen.	Überprüfung der Übereinstimmung mit verschiedenen Expertenmaps.
BOLLMANN-ZUBERBÜHLER (2008) Untersuchung der Wirksamkeit einer Intervention zum systemischen Denken in der Sekundarstufe I.	Erstellung von Wirkungsdiagrammen aus Informationen von Texten, so dass das Wichtigste auf einen Blick zu erkennen ist.	Erhebung auf Papier mittels Fragebogen.	Auswertung mit Hilfe des Strukturindexes und anschließende Zuordnung zu Kategorien (A: Nichtsystemische Darstellungen; B: Systemische Wirkungsdiagramme).

Mc Clure und Bell (1990) Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Lerneinheiten in der Universität und den kognitiven Strukturen von Studierenden.	Erstellung einer Concept Map mit 36 vorgegebenen Begriffen.	Darstellung auf Papier. Begriffe und ein Beispiel sind vorgegeben.	Anzahl der richtigen Propositionen wird berechnet.
Novak et al. (1983) Untersuchung, inwiefern Schüler der 7. und 8. Klasse Concept Maps gestalten können und ob sich daraus resultierend ihre Problemlösestrategien verändern.	Freie Gestaltung einer Concept Map zu einer vorgegebenen Thematik. Zusätzlich wird der SAT-Test gestellt.	Erhebung auf Papier mittels Fragebogen.	Scoringsystem in welches ‚richtige Propositionen', ‚Hierarchieebenen', ‚Verbindungen zwischen Hierarchieebenen', ‚Verzweigungen' und ‚vom allgemeinen zum spezifischen' einbezogen werden. Die Summe der Ergebnisse wird anschließend durch das Scoringergebnis einer Referenzmap geteilt. Zusätzlich wurden qualitative Interviews durchgeführt, in welchen Schüler Stellung zur Gestaltung ihrer Concept Map nehmen sollen.
Ossimitz (2000) Untersuchung der Denk- und Darstellungswerkzeuge von Schülern der Sek. II und Überprüfung der	Die Schüler sollen einen Text in einer Skizze so darstellen, dass	Analoger Aufbau der Vor- und Nachtests.	Nachdem die Darstellungselemente (Pfeile, Elemente, Verzweigungen, Wirkungskreisläufe, Pfeilketten)

Messwerkzeuge zum systemischen Denken.	zentrale Aspekte direkt zu erkennen sind.		herausgearbeitet wurden, wurde ein Vernetzungs- und Komplexitätsindex berechnet.
SCHECKER und KLIEME (2000) Entwicklung systemischen Denkens in der Physik durch computergestützte Lerneinheiten.	1. Freie Gestaltung einer Concept Map nach Vorgabe von 9 Elementen aus der Physik. 2. Gestaltung einer Concept Map, die auf ein Experiment bezogen ist. Erneut 9 Begriffe aus der Physik vorgegeben.	Darstellung auf Papier. Begriffe sind bereits auf verschiebbaren Karten vorgegeben.	Überprüfung der Übereinstimmung mit einer Expertenmap. Anschließend werden identische Relationen gezählt. Zudem werden essentielle Relationen gewertet, welche für das Verständnis des Systems wichtig sind. Eine besondere Stellung bekam zudem der zentrale Mechanismus der Kraft-Beschleunigungs-Kopplung.
SOMMER (2005) Untersuchung der Systemkompetenz und möglicher Einflussvariablen bei Grundschülern.	Zeichnung einer Begriffslandkarte zum Thema Schule. Vervollständigung mit Begriffen und Verbindungen.	Darstellung auf Papier. Ein Beispiel ist gegeben.	Kein Vergleich mit Expertenmap. Es wird die Anzahl der wertbaren Elemente und wertbaren Verbindungen gezählt. Anschließend wird der Umfang, Vernetzungsindex und Komplexitätsindex ausgerechnet.

Aufbauend auf Tabelle 15 soll im Folgenden dargelegt werden, wie in der vorliegenden Studie die Aufgabenstellung, das Antwortformat und das Bewertungssystem konzipiert wurden.

Da in der vorliegenden Studie die Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens in der Experimental- und der Vergleichsgruppe untersucht werden soll, ist es notwendig, die Concept Map auf die Treatmentgruppen abzustimmen. So sollen mit der Concept Map die kognitiven Strukturen erhoben werden, die in den Treatmengruppen entwickelt bzw. verändert werden. Daher fiel die Entscheidung, die Elemente vorzugeben, die durch die Modelle den Schülern näher gebracht werden. FISCHLER und PEUCKERT (2000, S. 9f.) erläutern, dass nur durch die Vorgabe der Elemente gewährleistet ist, Auskunft darüber zu bekommen, in welcher Stärke die Instruktionsziele erreicht wurden. Zudem kann nur durch die Vorgabe der Elemente und der daraus resultierenden Vereinheitlichung eine Vergleichbarkeit zwischen Pre-, Post- und Follow-up-Ergebnissen erreicht werden (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 10). Bei der Auswahl der insgesamt 14 Elemente wurde daher darauf geachtet, dass die zentralen Aspekte der Modelle abgedeckt sind und deren systemischen Zusammenhänge auch in den Concept Maps dargestellt werden konnten. Von den insgesamt 14 Elementen lassen sich insgesamt 8 Elemente in den graphischen und konkreten Modellen wiederfinden. Diese sollten sich, aufgrund der verschiedenen Modelltypen in der Experimental- und Vergleichsgruppe, in den Darstellungen der Concept Maps unterscheiden (Hypothese 2 und 3). Neben den Elementen wurde, als weitere Orientierungshilfe, den Schülern eine Startstruktur gegeben, in welcher von den 14 Elementen 4 Elemente bereits verbunden wurden. Die Verbindungen fanden allerdings ohne eine Beschriftung statt, so dass diese nachträglich von den Schülern angefertigt werden mussten.
Concept Maps können sich in ihrer Aufgabenstellung von sehr offen bis zu sehr geschlossen unterscheiden (s. o.). Abbildung 34 setzt die vorliegende Aufgabenstellung, was den Grad der Offenheit angeht, ins Verhältnis zu anderen typischen Aufgabenformaten.

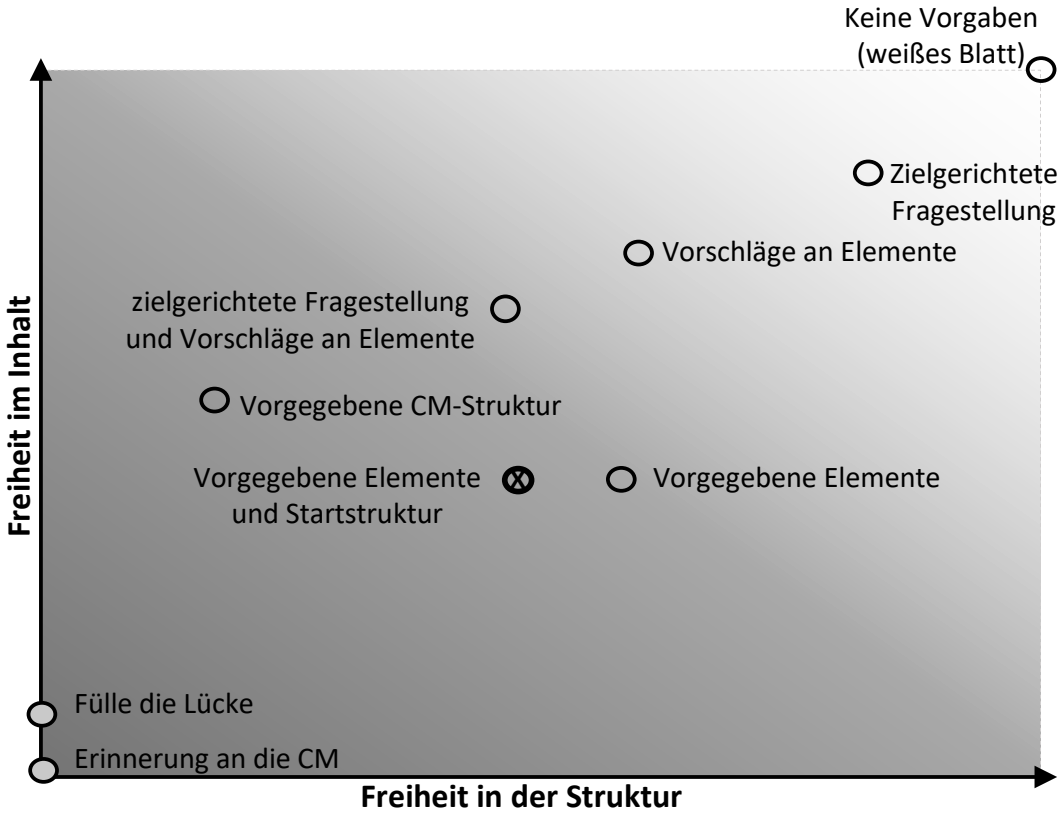


Abb. 34: Einordnung der eigenen Aufgabenstellung (Kreis mit X) in offene und geschlossene Aufgabenformate (eigene Darstellung nach CAÑAS, NOVAK 2012)

Wie in Abbildung 34 ersichtlich, besitzt die Aufgabenstellung in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der Struktur einen mittleren Grad der Offenheit. Im Bereich der Freiheit der Formulierungen muss die Aufgabenstellung jedoch leicht unterhalb der anderen Aufgabenformate eingeordnet werden. Insgesamt sollte durch die Aufgabenstellung einerseits die Zielsetzung der Studie erreicht werden und andererseits die Offenheit des Aufgabenformates so groß sein, dass die Schüler ihre eigenen kognitiven Wissensstrukturen darlegen können. Der hier benutzte Grad der Offenheit des Aufgabenformates wird durch Erkenntnisse von MEHREN et al. (2016, S. 156) unterstützt, die das Ergänzen von in Teilen vorgegebenen Concept Maps als sinnvolles Aufgabenformat für die Erfassung der ‚Systemorganisation' und des ‚Systemverhaltens' beschreiben.
Aufgrund der Zielsetzung der Studie wurden die Schüler in der Aufgabenstellung bewusst darauf aufmerksam gemacht, möglichst viele sinnvolle Relationen zu ziehen. KINCHIN (2014, S. 44) merkt an, dass eine große Anzahl von Relationen nicht zwingend mit einer höheren Vernetzung des Wissens gleichgesetzt werden kann, da Experten oftmals Schlüsselelemente und Propositionen auswählen, um ihre Darstellung insgesamt ökonomischer zu gestalten (KINCHIN 2014, S. 44). Da für die Zielsetzung der Studie und das Bewertungssystem aber entscheidend ist, dass

möglichst viele Relationen zwischen den Elementen dargelegt werden, wurde dies explizit in der Aufgabenstellung angemerkt. Ebenfalls in der Aufgabenstellung wurde angegeben, dass die Beschriftung der Verbindungen verpflichtend ist, da eine Proposition nur als richtig angesehen werden kann, wenn von den Schülern verdeutlicht wird, wie die inhaltliche Relation zwischen den Elementen genau gesehen wird.
Neben der Aufgabenstellung wurde im Fragebogen zudem beschrieben, was unter einer Concept Map verstanden wird. Diese Beschreibung wurde anhand eines Beispiels einer Concept Map über die Thematik ‚Schule' verdeutlicht (siehe Anhang 9.2.1, Aufgabe 12).
Aus organisatorischen und methodischen Gründen fiel die Entscheidung hinsichtlich des Antwortformats auf einen papierbasierten Fragebogen. Auch wenn die computerbasierten Antwortformate vor allem in der anschließenden Auswertung Vorteile bieten, muss vor allem ein möglicher Einfluss von Kompetenzen im EDV-Bereich auf die Studienergebnisse angenommen werden (JAHN et al. 2015, S. 347).
Um zu gewährleisten, dass nur inhaltlich korrekte Propositionen der Concept Maps gewertet werden, fand ein Abgleich mit einer Referenzmap statt. Da Studien große Unterschiede zwischen Expertenmaps aufgezeigt haben (ACTON et al. 1994, S. 303), wurde die Erstellung der Referenzmap auf verschiedene Experten verteilt (BENNINGHAUS et al. 2019A, S. 12). Dies hat zudem den Vorteil, dass durch die größere Anzahl der Experten eine Gewichtung der Verbindungen im späteren Bewertungsverfahren vorgenommen werden kann. So merkt z. B. KINCHIN (2014, S. 43) an, dass einige Verbindungen für das jeweilige System eine höhere Bedeutung besitzen als andere.
Für die Expertenmaps wurden daher insgesamt fünf Experten angeschrieben. Neben Fachwissenschaftlern wurden bewusst auch Fachlehrer ausgewählt, da diese durch ihre fachwissenschaftliche Ausbildung im Studium und ihren praktischen Bezug durch die Arbeit vermutlich eine bessere Einschätzung des Antwortformats der Schüler geben können. Als Bindeglied zwischen der fachlichen Komponente (zwei Fachwissenschaftler) und der fachlich praktischen Komponente (zwei Fachlehrer) erstellte zusätzlich ein Geographiedidaktiker eine Concept Map. Aus den insgesamt fünf Expertenmaps (siehe Anhang 9.3.3) wurde anschließend eine Referenzmap erstellt. Dabei wurden, in Anlehnung an BENNINGHAUS et al. (2019A, S. 9), Propositionen, die von einer Mehrheit der Experten (also mind. 3 Experten) genannt wurden, in die Referenzmap aufgenommen (siehe Abbildung 35). Insgesamt zeigten sich, wie auch in anderen Studien (ACTON et al. 1994, S. 303), teilweise erhebliche Unterschiede in der Darstellung durch die Experten (siehe Tabelle 24).

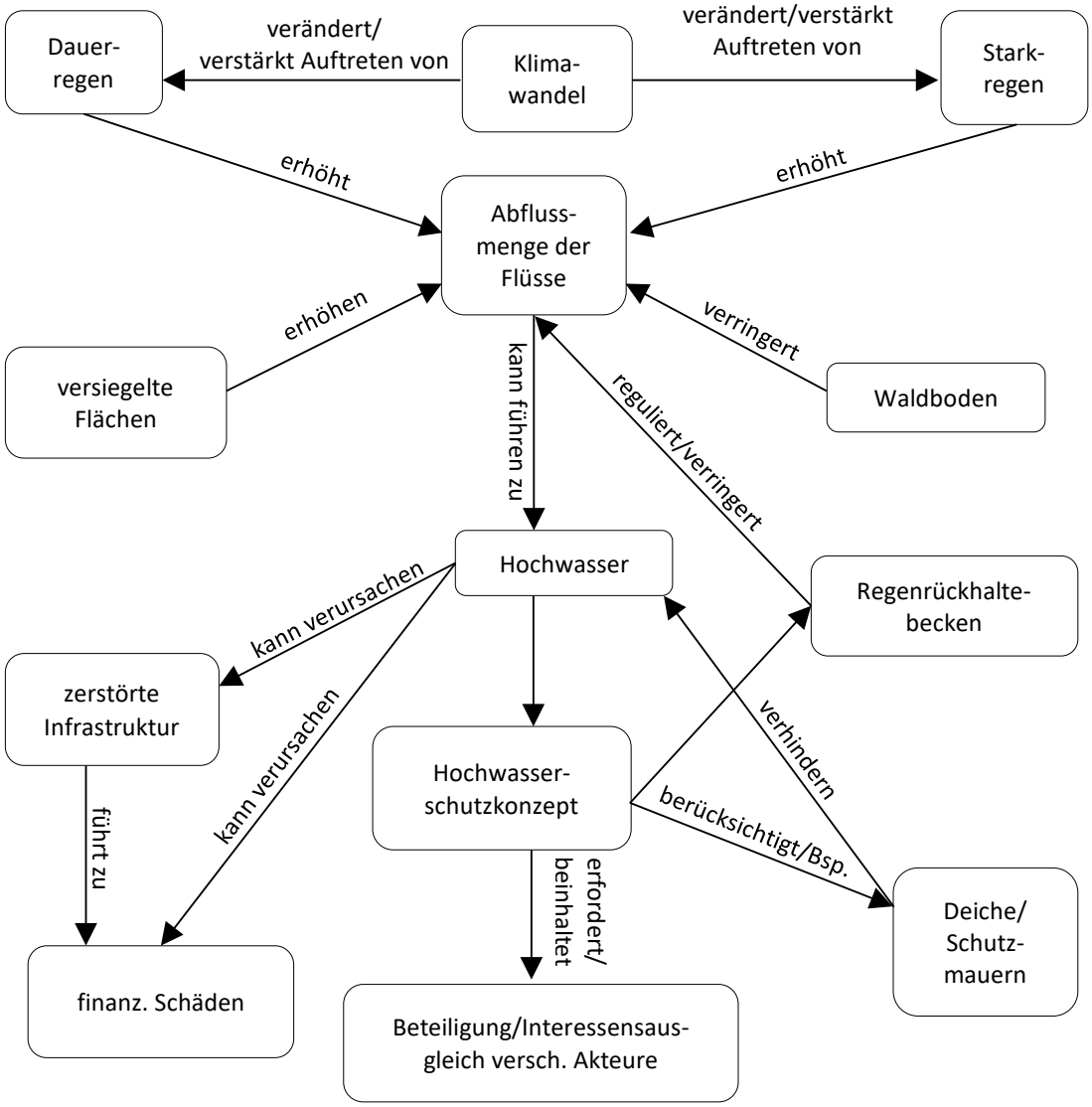


Abb. 35: Aus fünf Expertenmaps entwickelte Referenzmap (eigene Darstellung)

Insgesamt konnten 16 Propositionen gefunden werden, welche in mindestens 3 von 5 Expertenmaps vorhanden waren. Neben diesen 16 in die Referenzmap aufgenommenen Propositionen zogen die Experten weitere 45 Propositionen, die zwar inhaltlich korrekt waren, jedoch nicht von der Mehrheit der Experten unterstützt wurden.

Als Bewertungssystem wurde für diese Arbeit ein ‚Scoringsystem' verwendet, welches die Anzahl der richtigen Propositionen bewertet und identisch oder ähnlich von NOVAK und GOWIN (1984), MC CLURE und BELL (1990) sowie von SCHECKER und KLIEME (2000) verwendet wird. So wie bei SCHECKER und KLIEME (2000, S. 35) werden die wertbaren Propositionen aufgrund ihrer Bedeutung für das System gewichtet in das Scoringsystem aufgenommen. Die mehrheitlich genannten Propositionen werden mit 2 Punkten einbezogen, während Propositionen nur eines Experten mit

einem Punkt gewertet werden. Damit orientiert sich das verwendete Scoringsystem an einer Auswertungsmethode, die von BENNINGHAUS et al. (2019B) als eine von drei vielversprechenden Methoden herausgearbeitet wurde (BENNINGHAUS et al. 2019B, S. 11). In einigen Arbeiten wird bei der Bewertung von Concept Maps zudem mit Minuspunkten für falsche Antworten gearbeitet (vgl. BENNINGHAUS et al. 2019B). Die vorliegende Studie verzichtet jedoch aufgrund der in der Pilotierung festgestellten niedrigen Punktzahl und der vorgegebenen Begriffsanzahl darauf, Minuspunkte zu berechnen.
Der Scoringwert wird benutzt, da er wirksam auf die Hypothesen ausgerichtet ist und aufzeigt, wie stark die Systemorganisation ausgeprägt ist. Durch den Vergleich mit mehreren Expertenmaps werden zudem nur sinnvolle Propositionen gewertet. Durch die unterschiedlich starke Wertung der Propositionen wird auch der Kritik begegnet, dass bei der reinen Auswertung von Propositionen nur eine stark quantitative, die qualitative Dimension unberücksichtigt lassende Auswertung durchgeführt wird.
Der Strukturindex als Bewertungssystem wurde in der vorliegenden Arbeit bewusst nicht berücksichtigt, da er der Anzahl der benutzten Elemente eine große Bedeutung zuspricht, diese sich jedoch durch deren Vorgabe nur selten verändert. Dieses Vorgehen bestätigte sich bei der Auswertung, in der Concept Maps mit einer geringen Anzahl von wertbaren Propositionen (Abbildung 36) teilweise einen höheren Strukturindex aufwiesen als Concept Maps mit wesentlich mehr wertbaren Propositionen (siehe Abbildung 37).

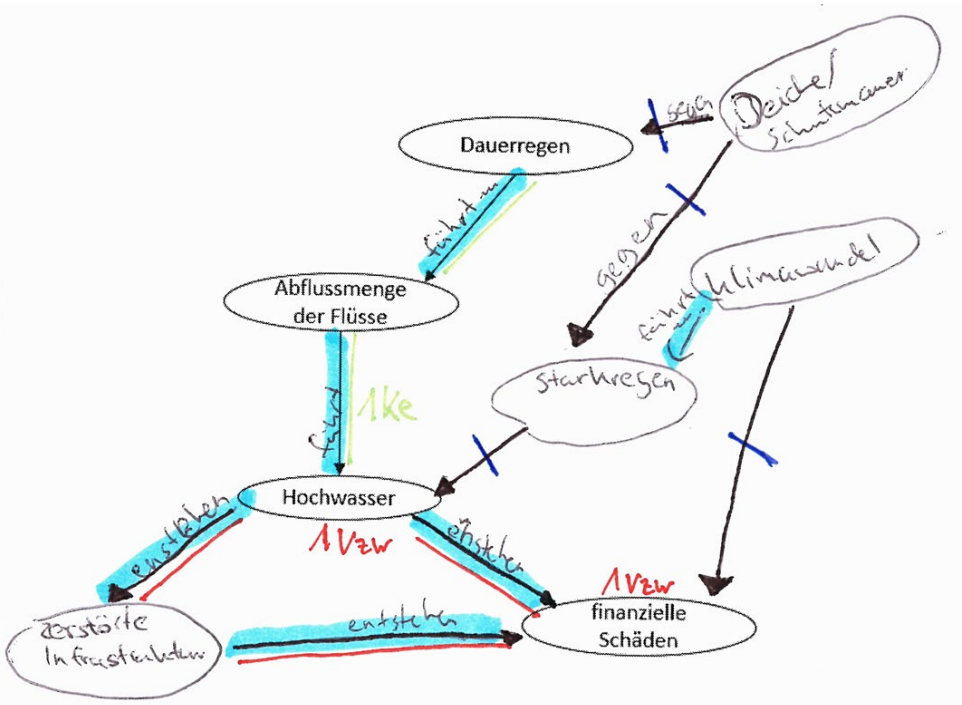


Abb. 36: Nr. 13.1 als Beispiel für eine Concept Map mit wenig wertbaren Propositionen

Während die Concept Map Nr. 13.1 (siehe Abbildung 36) lediglich 6 Propositionen besitzt, welche auch in der Referenzmap vorkommen (blau markiert), besitzt Concept Map Nr. 89.2 (siehe Abbildung 37) insgesamt 10 Propositionen.

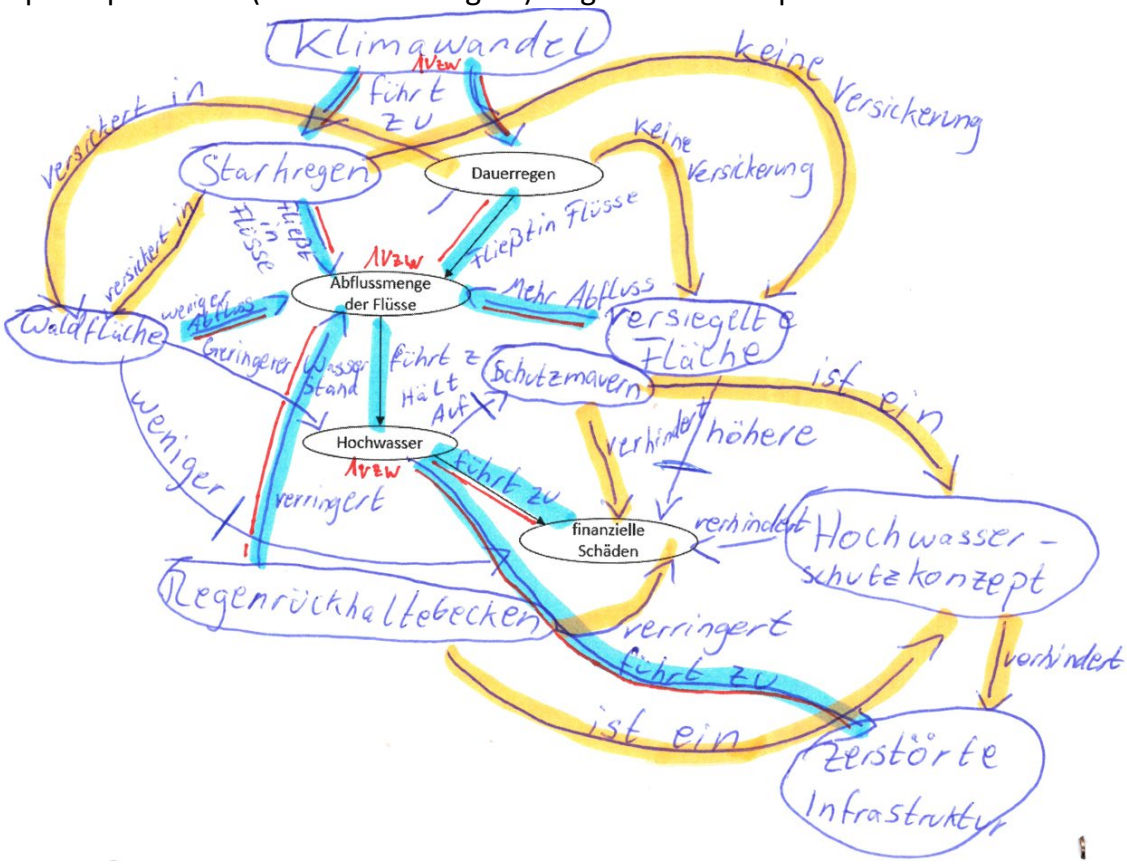


Abb. 37: Nr. 89.2 als Beispiel für eine Concept Map mit vielen wertbaren Propositionen

Die Concept Map Nr. 89.2 besitzt jedoch laut Strukturindex mit 0,25 einen geringeren Grad an Vernetzung als die Concept Map Nr. 13.1 mit 0,375.
Die Berücksichtigung von Propositionen, die nur von einem Experten gesehen wurden (Abbildung 37 orange markiert) wird in diesem Beispiel ebenfalls bestätigt. So zieht Proband Nr. 89.2 insgesamt 10 inhaltlich korrekte Verbindungen, die im Scoringwert berücksichtigt werden.

4.4.4 Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM)

Basierend auf den theoretischen Überlegungen in Kapitel 2.3 wurde in der Studie der ‚Fragbogen zur aktuellen Motivation' (FAM) von RHEINBERG et al. (2001) eingesetzt. Der FAM besteht aus insgesamt 18 Items (siehe Anhang 9.2.3), die vier Faktoren der aktuellen Motivation (Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung) zugeordnet werden können (RHEINBERG et al. 2001, S. 2). Da im Mittelpunkt der Erhebung die Auswirkung der Modelltypen auf die spezifische Lernsituation und nicht die Interessen und Motive der Probanden

im Allgemeinen stand, wurde der FAM favorisiert (vgl. VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 282f.).
Die verschiedenen Items wurden einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen, aus denen sich die vier Faktoren (Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung) ergaben (RHEINBERG et al. 2001, S. 5). Hier war entscheidend, dass die dazugehörigen Items an den spezifischen Gegenstand angepasst wurden (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 286). Für die vorliegende Studie musste jedoch nur Item 1 leicht modifiziert werden.
Der FAM wurde während der Intervention sowohl bei der Experimental- als auch bei der Vergleichsgruppe jeweils zwei Mal vor dem Einsatz der Modelle eingesetzt.[5] Beim Einsatz des FAM wurde darauf geachtet, dass die Schüler jeweils vorher den Arbeitsauftrag mit den entsprechenden Materialien kannten, so dass die potenziellen Anreize der graphischen und konkreten Modelle auf die Motive der Person wirken konnten. Durch den zweimaligen Einsatz können Veränderungen in der aktuellen Motivation und mögliche Effekte, z. B. der Neuheitseffekt (vgl. WEIDENMANN 2006, S. 433), überprüft werden.
Da die Möglichkeit bestand, dass die Reihenfolge des Stationenlernens (Kapitel 4.3) Auswirkungen auf die Ergebnisse besitzt, mussten die Schüler ihre Startstation angeben. Die jeweiligen FAM wurden zudem von den Schülern mit einem Code versehen, um eine spätere Zuordnung des FAM zu den Fragebögen und Concept Maps zu ermöglichen.

4.4.5 Bewertung der Erhebungsinstrumente nach den Gütekriterien

Die Messinstrumente sollten bezüglich ihrer Qualität den Testgütekriterien entsprechen. Üblicherweise werden dabei die Bereiche Objektivität, Reliabilität und Validität überprüft (BÜHNER 2011, S. 58; MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 8).

4.4.5.1 Objektivität

„Unter Objektivität versteht man den Grad, in dem die Ergebnisse eines Tests unabhängig vom Untersucher sind“ (BÜHNER 2011, S. 58). Objektivität herzustellen, bedeutet demnach die standardisierte Durchführung, Auswertung und Interpretation des Tests, so dass unabhängig vom Auswerter die gleichen Testleistungen ermittelt werden. Die Objektivität wird durch die Unterteilung in Durchführungsobjektivität, Auswertungsobjektivität und Interpretationsobjektivität spezifiziert (vgl. BÜHNER 2011, S. 58f.).

[5] Wenn im Folgenden beim Vergleich der Motivationsfaktoren von t_1 und t_2 gesprochen wird, ist daher nicht der Pretest und Posttest im Studiendesign gemeint, sondern der Einsatz des FAM zum ersten und zweiten Testzeitpunkt während der Arbeit mit den Modellen.

Die Durchführungsobjektivität wurde durch klare Instruktionen bei der individuellen Durchführung des Fragebogens und des FAM gewährleistet (siehe Anhang 9.1.5). Hier wurde u. a. ein klares Zeitlimit von 30 Minuten gegeben und festgelegt, Fragen während der Durchführung nicht zu beantworten.
Bei der Auswertungsobjektivität geht es darum, gleiche Testergebnisse auch bei unterschiedlichen Auswertern zu erhalten. Da sowohl im Fragebogen als auch im FAM größtenteils mit Multiple-Choice-Aufgaben gearbeitet wurde, kann generell von einer hohen Auswertungsobjektivität ausgegangen werden (MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 6f.). Da im Fragebogen allerdings auch offenere Antwortformate benutzt wurden und auch die Concept Map den offenen Antwortformaten zugerechnet werden kann (siehe Abbildung 30), wurden ‚Auswertungsblätter' (siehe Anhang 9.3.1) angefertigt, die gerade bei offeneren Antwortformaten als Orientierung dienten und dadurch die Auswertungsobjektivität weiter erhöhten (BÜHNER 2011, S. 59). Zudem wurde mit Hilfe des Intraklassenkorrelationskoeffizienten die Interrater-Realiabilität überprüft und dadurch untersucht, inwiefern verschiedene Auswerter die Testleistungen gleich bewerten (BÜHNER 2011, S. 59).
Die Ergebnisse des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (Anzahl der Auswerter: n = 2; Modell: Two Way Mixed; Typ: Absolute Übereinstimmung; 95 %-Konfidenzintervall) erreichten überwiegend Werte von über .90. Nach KOO und LI (2016, S. 155) können Werte unter .50 als schwach, Werte zwischen .50 und .75 als mittel, Werte zwischen .75 und .90 als gut und Werte über .90 als sehr gut angesehen werden. Beim Fragebogen wurden somit größtenteils Werte im sehr guten Bereich erreicht (siehe Tabelle 16).

Tab. 16: Ergebnisse des Intraklassenkorrelationskoeffizienten für die verschiedenen Messinstrumente (eigene Darstellung)

Messinstrument	Item	Intraklassenkorrelationskoeffizienten	95 %-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Fragebogen	Item 19	1	-	-
	Item 20	1	-	-
	Item 21	1	-	-
	Item 22	.73	–.16	.93
	Item 23	.96	.84	.99
	Item 24	1	-	-
	Item 25	1	-	-
	Item 26	.95	.78	.99
	Item 27	.94	.79	.99
	Item 28	.94	.79	.99
	Item 29	.98	.94	.99
	Item 30	.86	.42	.96
Concept Map (Scoringsystem)	Item 32.12	.99	.99	.99
FAM	Item 62	1	-	-

Lediglich Item 22 und Item 30 erreichten Werte im mittleren und guten Bereich. Dies verwundert nicht, da es sich bei den beiden Items um offene Antwortformate handelt. Sowohl bei der Concept Map und der Berechnung des Scoringsystems als auch bei dem FAM konnte ein Wert im sehr guten Bereich ermittelt werden. Der Intraklassenkorrelationskoeffizient der Concept Map deckt sich mit anderen Ergebnissen, die in der Auswertung ebenfalls Werte über .70 erreichten (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 18). Insgesamt kann daher bei allen drei Messinstrumenten von einer guten oder sehr guten Auswertungsobjektivität ausgegangen werden.
Die Interpretationsobjektivität verlangt eine gleiche Interpretation und Beurteilung der Ergebnisse durch die Auswerter. Eine Möglichkeit der Erhöhung der Interpretationsobjektivität stellt die Überprüfung der Gütekriterien, wie sie hier erfolgt, dar (BÜHNER 2011, S. 60). Da in der vorliegenden Arbeit zudem mit rein statistischen Auswertungsverfahren gearbeitet wird, kann von einer hohen Interpretationsobjektivität ausgegangen werden.

4.4.5.2 Reliabilität

Die Reliabilität oder auch Zuverlässigkeit der Messung gibt an, inwiefern ein Messinstrument bei der wiederholten Messung eines unveränderten Objektes die gleichen Ergebnisse liefert (SCHNELL et al. 2018, S. 132). Die Reliabilität eines Messinstrumentes wird daher angegeben als „Quadrat der Korrelation zwischen den beobachteten Werten und den wahren Werten“ (SCHNELL et al. 2018, S. 133). Um die Reliabilität eines Messinstrumentes zu schätzen, gibt es verschiedene Verfahren. Die ‚Retest-Korrelation‘ und ‚Paralleltestkorrelation‘ werden aus organisatorischen Gründen ausgeschlossen (vgl. BÜHNER 2011, S. 61). Stattdessen wird der Cronbachs Alpha-Koeffizient herangezogen, der die interne Konsistenz überprüft und die am häufigsten genutzte Methode zur Bestimmung der Reliabilität darstellt (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 153). Dabei wird überprüft, inwiefern die einzelnen Items das gleiche Konstrukt messen. Der Cronbachs Alpha-Wert (α) ergibt sich aus der Korrelation aller Items einer Skala untereinander (SCHNELL et al. 2018, S. 134). Dafür wird das Messinstrument des Fragebogens in die zwei Skalen ‚Interesse‘ und ‚Systemorganisation‘ unterteilt. Beim FAM werden die von RHEINBERG (2001, S. 5) vorgeschlagenen Skalen ‚Misserfolgsbefürchtung‘, ‚Erfolgswahrscheinlichkeit‘, ‚Interesse‘ und ‚Herausforderung‘ benutzt. Insgesamt wird ein Wert von > .50 als angemessen angesehen (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 152).

Tab. 17: Cronbachs Alpha-Werte der einzelnen Skalen (eigene Darstellung)

Messinstrument	Skala	Cronbachs Alpha
Fragebogen	Interesse	.69
	Systemorganisation bzw. Systemverhalten	.41
FAM	Misserfolgsbefürchtung	.75
	Erfolgswahrscheinlichkeit	.73
	Interesse	.74
	Herausforderung	.58

Der FAM erreicht in der vorliegenden Untersuchung mit Werten über .58 Cronbachs Alpha befriedigende Reliabilitätswerte (siehe Tabelle 17). Bei der Berechnung mussten bei der Skala Erfolgswahrscheinlichkeit zwei Items invertiert werden, da diese im Gegensatz zu den anderen Items in der Skala negativ gepolt waren.
Die Skala des Fragebogens zum Interesse der Schüler erhält ebenfalls einen guten Reliabilitätswert von .69 Cronbachs-Alpha. Lediglich die Skala zur Systemorganisation bzw. Systemverhalten liegt mit .41 Cronbachs Alpha leicht unter dem Wert von .50 Cronbachs Alpha. Dies lässt sich jedoch durch die große inhaltliche Spannbreite und die unterschiedlichen Antwortformate erklären. So berichten bspw.

RIEß und MISCHO (2008, S. 227) bei der Entwicklung des Fragebogens zur Erfassung systemischen Denkens, dass aufgrund der stark unterschiedlichen Erhebungsmodalitäten von einem nicht homogenen Konstrukt ausgegangen wird, so dass sich ein geringer Cronbachs Alpha-Wert entwickeln kann. Da ein enger Zusammenhang zwischen der Anzahl der Items und dem Cronbachs Alpha besteht (NEUHAUS, BRAUN 2001, S. 153), kann durch das Weglassen bestimmter Items der Cronbachs Alpha-Wert erhöht werden. So steigt der Wert der Systemorganisation und des Systemverhaltens auf einen befriedigenden Cronbachs Alpha-Wert von .51 an, wenn die Items 10 und 3 weggelassen werden. Da jedoch durch die Items unterschiedliche inhaltliche Aspekte der Systemorganisation und des Systemverhaltens abgedeckt werden und die Items daher eine hohe inhaltliche Bedeutung besitzen, wird aufgrund inhaltlicher Überlegungen von einer Reduktion der Itemanzahl abgesehen. ROST (2013, S. 178) merkt dazu an, dass eine Optimierung der internen Konsistenz einer Skala nicht immer erstrebenswert ist, da nicht relevant ist, ob die Items untereinander korrelieren, sondern inwiefern diese mit dem Kriterium stark korrelieren.
Bei der Concept Map wird der Cronbachs Alpha-Wert nicht benutzt, da hier nur mit dem Scoringsystem gearbeitet wird, so dass eine Korrelation verschiedener Items nicht vorgenommen werden kann. Dies merken auch FISCHLER und PEUCKERT (2000, S. 18) hinsichtlich der internen Konsistenz an und weisen darauf hin, dass eine hohe Übereinstimmung der Maße bei manchen Auswertungsverfahren gegeben ist, da diese logisch miteinander gekoppelt sind. Sie legen für die Messung der inhaltlichen Güte jedoch einen Vergleich mit einer Expertenmap, wie in der vorliegenden Arbeit geschehen, nahe, da diese bei Nacherhebungen oftmals ein hohes Maß an Übereinstimmung aufweisen (vgl. FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 17).

4.4.5.3 Validität

„Ein Test gilt dann als valide (»gültig«), wenn er das Merkmal, das er messen soll, auch wirklich misst und nicht irgendein anderes“ (MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 13). Für die Testpraxis wird die Validität daher als das wichtigste Gütekriterium angesehen. Die Objektivität und Reliabilität, welche für eine hohe Messgenauigkeit verantwortlich sind, liefern lediglich günstige Bedingungen, um eine hohe Validität zu erreichen. Erst wenn diese vorhanden ist, kann die in der Studie gewonnene Erkenntnis auf Situationen außerhalb der Untersuchung übertragen werden (MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 13). In der Literatur werden verschiedene Unterkategorien von Validität angegeben (vgl. MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 15; DÖRING, BORTZ 2016D, S. 93; NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 155). Hier soll in Anlehnung an SCHNELL et al. (2018, S. 136) die weit verbreitete Unterteilung in Inhaltsvalidität, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität benutzt werden. Im Folgenden sollen der

Fragebogen und die Concept Map auf ihre Validität hin untersucht werden (zur näheren Betrachtung der Validität des FAM siehe RHEINBERG 2001).
Die Inhaltsvalidität gibt an, ob der Test wirklich das zu messende Konstrukt erfasst (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 155). Dies kann üblicherweise nicht anhand eines statistischen Kennwertes erfasst werden, sondern ergibt sich aus logischen und fachlichen Überlegungen. Positiv auf die Inhaltsvalidität des Fragebogens in der vorliegenden Studie wirkt sich dabei aus, dass sich die vorliegende Studie an dem Kompetenzstruktur- und Kompetenzstufenmodell nach MEHREN et al. (2016, S. 159) orientiert und auch der Aufbau der Items des Fragebogens stark an die speziell für das Modell entwickelten Items zur Messung der Systemorganisation und des Systemverhaltens (vgl. REMPFLER 2015A; REMPFLER 2015B) angelehnt sind. Positiv muss zudem hervorgehoben werden, dass durch die Konzentration auf die erste Dimension ‚Systemorgansiation und Systemverhalten', mit insgesamt zwölf Testitems und vier verschiedenen Itemformaten zuzüglich der Concept Map, diese durch sehr viele und unterschiedliche Items erfasst werden kann, was eine zusätzliche Steigerung der Validitität begünstigt. Eine zentrale Rolle spielt zudem die Hinzunahme von Experten bei der Entwicklung von Messinstrumenten (vgl. MOOSBRUGGER, KELAVA 2012, S. 15). Wie bereits in Kapitel 4.4.1 dargelegt, wurden der Fragebogen und die Concept Map mit Unterstützung von Experten aus verschiedenen Arbeitsbereichen entwickelt, so dass beim Fragebogen und der Concept Map generell von einer hohen Inhaltsvalidität ausgegangen werden kann.
Bei der Kriteriumsvalidität wird untersucht, inwiefern zwischen dem Ergebnis des Messinstruments und einem anderen, extern gemessenen Kriterium, ein Zusammenhang besteht. Da ein theoretischer Zusammenhang zwischen dem gemessenen und dem externen Kriterium vorhanden sein muss, wird in der Schulforschung oft die Schulnote als externes Kriterium herangezogen. Eine Korrelation der Schulnoten (Erdkunde, Mathematik, Deutsch und Biologie) mit der Gesamtpunktzahl des Fragebogens konnte in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der vorhandenen Ordinalskalierung der Variablen mit Hilfe der Spearman-Korrelation berechnet werden (für die Voraussetzung der Spearman-Korrelation siehe Kapitel 4.5.2). Die Gesamtpunktzahl der Schüler im Fragebogen in der Pilotierung korreliert nach der Spearman-Korrelation signifikant[6] mit der Erdkundenote, $r = –0.32$; $p < .001$; $n = 132$. Nach COHEN (1988, S. 79f.) handelt es sich dabei um einen mittleren Effekt. Auch bei der Deutschnote ($r = –0.27$; $p < .001$; $n = 134$) und der Biologienote ($r = –0.291$, $p < .001$, $n = 134$) kann eine signifikante Korrelation zur Gesamtpunkzahl nachgewiesen werden.

[6] Wenn nicht anders berichtet, ist in der vorliegenden Arbeit das Signifikanzniveau bei 5 % festgelegt. Zudem sollen zweiseitige Signifikanztests eingesetzt und auf einseitige Signifikanztests, wenn nicht anders beschrieben, verzichtet werden (FIELD 2018, S. 80f.).

Lediglich bei der Mathematiknote ($r = –0.15$; $p = .070$; $n = 133$) zeigt sich keine signifikante Korrelation. Das negative Vorzeichen beim Korrelationswert lässt sich sachlogisch erklären, da eine sinkende (und damit besser werdende) Schulnote mit einer steigenden Gesamtpunktzahl im Fragebogen korreliert. Für den Fragebogen kann daher von einer zufriedenstellenden Kriteriumsvalidität ausgegangen werden.
Bezüglich der Kriteriumsvalidität von Concept Maps zeigt sich in der Forschung ein stark uneinheitliches Bild (vgl. LIU, HINCHEY 1996, S. 921; FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 19; RUIZ-PRIMO et al. 2001B, S. 134). Dies ist nicht verwunderlich, da Concept Maps und ihre Bewertungssysteme sich stark unterscheiden und oftmals differente Merkmale erfasst werden. Mehrere Untersuchungen zeigen jedoch, dass signifikante Korrelationen zwischen Concept Map-Bewertungen und anderen Wissensuntersuchungen gefunden werden können (FISCHLER, PEUCKERT 2000, S. 19). Der Scoringwert der Schüler im Pretest der Studie korreliert nach der Spearman-Korrelation signifikant mit der Erdkundenote $r = –0.2$; $p = .035$; $n = 109$. Nach COHEN (1988, S. 79f.) handelt es sich dabei um einen schwachen Effekt. Auch für die Concept Map kann daher von einer zufriedenstellenden Kriteriumsvalidität ausgegangen werden.
Die Konstruktvalidität schließlich untersucht, inwiefern die Zusammenhänge der aus dem Konstrukt überprüfbaren empirischen Aussagen mit anderen empirisch belegten Konstrukten verglichen werden können (SCHNELL et al. 2018, S. 138). Das vorliegende Konstrukt und die Zusammenhänge werden über eine Faktorenanalyse mit anderen Konstrukten auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten verglichen (NEUHAUS, BRAUN 2007, S. 156). Da in der geographiedidaktischen Forschung bisher keine Konstruktzusammenhänge in den vorliegenden Thematiken (siehe Hypothesen Kapitel 3) untersucht worden sind, ist eine vergleichende Betrachtung zur Erhebung der Konstruktvalidität nicht möglich.
BORTZ, SCHUSTER (2010, S. 9) stellen zudem fest, dass experimentelle Untersuchungen, wie in der vorliegenden Arbeit, generell eine höhere interne Validität besitzen als quasi-experimentelle Untersuchungen. Aufgrund der dargelegten Ergebnisse kann daher insgesamt von einer ausreichenden Validität ausgegangen werden.

4.5 Statistische Auswertungsverfahren

Bei der statistischen Auswertung der Hypothesen sollen zunächst die Ergebnisse deskriptiv dargestellt werden, um darauf aufbauend mit Hilfe von inferenzstatistischen Verfahren Unterschiede verschiedener Faktoren (z. B. der Vergleichsgruppen) auf ihre Signifikanz hin zu überprüfen. Als inferenzstatistische Verfahren werden dabei Varianzanalysen (ANOVAs) mit Kontrasten und t-Tests eingesetzt.

4.5.1 Statistische Verfahren

Zur Überprüfung der ersten drei Hypothesen wird eine Kontrastanalsye als Sonderform der Varianzanalyse (ANOVA) für abhängige Stichproben eingesetzt.[7] In der Kontrastanalyse wird die Nullhypothese untersucht. Diese besagt, dass es keinen Effekt der experimentellen Bedingung in der Population gibt und Abweichungen nur zufällig vorhanden sind. Die Alternativhypothese nimmt dementsprechend an, „dass es zwischen mindestens zwei der Populationsmittelwerte einen Unterschied gibt“ (EID et al. 2010, S. 458).
Für die vorliegende Studie wird die Kontrastanalyse als Sonderform der einfaktoriellen Varianzanalyse mit abhängigen Stichproben herangezogen, da die Erhebung der abhängigen Variablen bei denselben Personen zu verschiedenen Zeitpunkten bei unterschiedlichen Bedingungen stattfindet (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 484f.). Zusätzlich wird vor Fragestellung 1 einmal die einfaktorielle Varianzanalyse für unabhängige Stichproben herangezogen, um mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt des Pretestes zu untersuchen. Dies ist entscheidend, da nur bei nicht signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen mögliche Erfolge der Intervention auf die Treatmentgruppen zurückgeführt werden können.
Die Varianzanalyse kommt dann zum Einsatz, wenn mehr als zwei Gruppen miteinander verglichen werden. Bei dem Vergleich zweier Gruppen sollte hingegen der t-Test (siehe Hypothese 4) eingesetzt werden. Der Grund für den Einsatz der Varianzanalyse bei mehr als zwei Gruppen liegt im kumulierten α-Fehler (zum Fehler erster Art/α-Fehler oder Fehler zweiter Art/β-Fehler siehe SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 376). So würde sich, bei dem Einsatz mehrerer t-Tests, das gesamte α-Fehler-Niveau gegenüber den einzeln festgelegten α-Fehler-Niveaus (5 %), bei bspw. sechs durchgeführten t-Tests auf 26,5 %, erhöhen (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 428). Das tolerierte α-Fehler-Niveau wir für die vorliegende Arbeit auf 5 % ($p < .05$) festgelegt.
Ein weiterer Vorteil, welche die ANOVA gegenüber mehreren t-Tests bietet, ist die höhere Teststärke. So wird bei der ANOVA die gesamte Stichprobe einbezogen, während bei mehreren t-Tests immer nur Teile der gesamten Stichprobe einbezogen werden. Unter Teststärke wird die Wahrscheinlichkeit verstanden, ein signifikantes Testergebnis zu erhalten, wenn ein Effekt einer bestimmten Größe auf einer Populationsebene tatsächlich existiert. Die Teststärke ist dabei abhängig von der Effektstärke (auch effect size oder Effektgröße genannt) (DÖRING, BORTZ 2016F, S. 814). Diese „gibt an, um wie viele Streuungseinheiten sich zwei Gruppen

[7] Die Berechnung der deskriptivstatistischen und inferenzstatistischen Verfahren wird mit der Analyse- und Statistik-Software SPSS Statistics 25 durchgeführt.

unterscheiden, unabhängig von der zugrundeliegenden Populationsstreuung in einer bestimmten Untersuchung“ (RASCH et al. 2014A, S. 49). Dabei sind unterschiedliche Effektgrößenmaße vorhanden, die, je nach Klassifikation, in kleine, mittlere und große Effekte unterteilt werden können (DÖRING, BORTZ 2016F, S. 820). Um die Relevanz der Effektstärke einschätzen zu können, soll in der vorliegenden Studie, nach der Berechnung der Effektstärke, die Teststärke mit Hilfe des Programmes G*Power (Version 3.1) berechnet werden.
Effektstärke und Teststärke stellen zentrale Kennwerte der Interpretation von Hypothesen dar. So muss bei einem signifikanten Ergebnis anhand der Effektstärke diskutiert werden, ob der statistische Effekt in der Praxis eine Rolle spielt. Ist ein Signifikanztest nicht signifikant, kann die Alternativhypothese nicht bestätigt werden. Hier kann allerdings nicht automatisch die Nullhypothese angenommen werden. Um die Nullhypothese anzunehmen, muss zudem die Beta-Fehler-Wahrscheinlichkeit betrachtet werden, die davon ausgeht, die H0 fälschlicherweise anzunehmen, obwohl in der Population die H1 gilt. Um sich für eine Nullhypothese zu entscheiden, muss die Beta-Fehler-Wahrscheinlichkeit daher unter einem festgelegten β-Fehler-Niveau liegen. In der Forschung hat sich ein β-Fehler-Niveau von $\beta = 20\ \%$ etabliert, welches auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wird (vgl. DÖRING, BORTZ 2016G, S. 669f.). Zur Annahme der Nullhypothese ist dementsprechend eine ausreichende Teststärke notwendig ($1 - \beta > 80\ \%$), da ansonsten die Ergebnisse nicht interpretierbar sind. Durch die Festlegung des β-Fehler-Niveaus auf max. 20 % ist zudem die benötigte Teststärke definiert, da die Teststärke als $1 - \beta$ festgelegt ist (DÖRING, BORTZ 2016G, S. 670).
Da in der ANOVA mehrere Populationen miteinander verglichen werden, trifft die Alternativhypothese bereits zu, wenn ein Populationsmittelwert von einem anderen Populationsmittelwert abweicht (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 14). Um herauszustellen, zwischen welchen Gruppen genau ein signifikanter Unterschied besteht, wird daher in der vorliegenden Arbeit eine Kontrastanalyse eingesetzt. Neben der Kontrastanalyse stellt der Post-Hoc-Test eine Möglichkeit dar, Einzelvergleiche zwischen allen Gruppen durchzuführen, um so herauszufinden, welche Mittelwerte sich signifikant unterscheiden.
Post-Hoc-Tests werden eingesetzt, wenn durch die ANOVA ein signifikanter Unterschied herausgestellt wurde und nachträglich, durch paarweise Gruppenvergleiche, festgestellt werden soll, welche Treatmentgruppen sich signifikant unterscheiden. Durch eine Kontrastanalyse hingegen werden a-priori-Einzelvergleiche durchgeführt, da vor der Untersuchung gezielte Einzelvergleichshypothesen aufgestellt werden, die die Overall-Signifikanzprüfung überflüssig werden lassen (DÖRING, BORTZ 2016G, S. 709). WILKINSON und TASK FORCE IN STATISTICAL INFERENCE (1999, S. 595) empfehlen für die Richtlinie der American Psychological Association (APA) Kontraste einzusetzen, wenn Hypothesen in einem experimentellen Design überprüft werden müssen. FURR und ROSENTHAL (2003, S. 45) beschreiben zudem

Kontraste als die Möglichkeit, Hypothesen effektiv, direkt und informativ zu evaluieren.
Unter Kontrast wird eine Linearkombination der p-Mittelwerte des messwiederholten Faktors verstanden. Entscheidend ist hierbei, dass die Summe aller Kontrastkoeffizienten 0 ergeben muss. Dabei werden die Messzeitpunkte, in dieser Studie 3 Stufen, den Kontrastkoeffizienten so zugeordnet, dass sich die Summe 0 ergibt und die numerischen Unterschiede den realen zeitlichen Abständen entsprechen (vgl. EID et al. 2010, S. 468). So kann bspw. in der vorliegenden Studie bei drei Testzeitpunkten (Faktorstufen) der Kontrast „$K_1 = -1$, $K_2 = 1$, $K_3 = 0$“ gebildet werden, um einen Vergleich vom Pre- zum Posttest vorzunehmen und den Follow-up-Test (K3) nicht zu beachten. Dabei sind die Ergebnisse von der Metrik der Kontrastkoeffizienten vollkommen unabhängig (EID et al. 2010, S. 404) (zur genaueren Betrachtung der Kontrastanalyse siehe EID et al. 2010, S. 467-470). Zur Beantwortung der ersten drei Hypothesen wird eine Kontrastanalyse sowohl für die abhängige Variable des Fragebogens als auch für die abhängige Variable des Scoringsystems erhoben. Da in der Studie neben dem Scoringsystem auch andere Auswertungsmethoden der Concept Map, wie z. B. der Strukturindex, erhoben wurden, soll zusätzlich überprüft werden, welche der Auswertungsmethoden die höchste Korrelation zum Fragebogen aufweist. Zur Berechnung des statistischen Zusammenhanges zwischen der Erfassung der Systemorganisation bzw. des Systemverhaltens im Fragebogen mit den Auswertungsmethoden der Concept Map soll die Pearson Produkt-Moment-Korrelation (r) eingesetzt werden. Beim Korrelationskoeffizienten wird die ermittelte Kovarianz an der maximalen Kovarianz relativiert, so dass die Kovarianz von der Streuung der Merkmale bereinigt wird und der Korrelationskoeffizient r maßstabsunabhängig ist. Der Korrelationskoeffizient r kann dabei Werte zwischen +1 und –1 einnehmen, wobei –1 einen perfekten negativen Zusammenhang darstellt und +1 einen perfekten positiven Zusammenhang (RASCH et al. 2014B, S. 85). Nach COHEN (1988) lassen sich die Korrelationskoeffizienten zudem in folgende Gruppen der Effektstärke einteilen: r = .10 (kleiner Effekt); r = .30 (mittlerer Effekt); r = .50 (großer Effekt) (RASCH et al. 2014B, S. 90). Ebenso wie bei der ANOVA soll auch hier die Teststärke mit Hilfe von G*Power ausgerechnet werden.
Es sei zudem darauf hingewiesen, dass eine Korrelation keine Auskunft über Kausalitätsrelationen zwischen Merkmalen gibt, sondern lediglich einen statistischen Zusammenhang aufzeigt (zum Unterschied zwischen Korrelation und Kausalität siehe RASCH et al. 2014B, S. 86f.). Daher ist eine anschließende Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 6) unerlässlich.
Zum Vergleich der motivationalen Faktoren des FAM in Hypothese 4 soll der t-Test für unabhängige Variablen eingesetzt werden. Ebenso wie die ANOVA wird auch der t-Test zur empirischen Überprüfung der Unterschiede zwischen Mittelwerten von Gruppen eingesetzt. Der t-Test wird, im Gegensatz zur ANOVA, eingesetzt, um

signifikante Populationsmittelwertunterschiede zwischen zwei Gruppen zu untersuchen (RASCH et al. 2014A, S. 34). Dabei wird unterschieden zwischen t-Tests für unabhängige und für abhängige Stichproben. Da zur Beantwortung der Hypothese die Experimentalgruppe und Vergleichsgruppe in Beziehung zueinander gesetzt werden soll, findet zunächst ein t-Test für unabhängige Stichproben statt (Kapitel 5.6.1 und 5.6.2). Darauf aufbauend wird die Entwicklung der Motivationsfaktoren vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt mit Hilfe von t-Tests für abhängige Stichproben untersucht (Kapitel 5.6.3). Zur Bestimmung der Signifikanz wird das Signifikanzniveau, um einen α-Fehler auszuschließen, ebenso wie bei der ANOVA für die t-Tests auf 5 % festgelegt. Eine genaue Beschreibung des mathematischen Verfahrens des t-Tests soll hier nicht erfolgen (siehe dazu RASCH et al. 2014A). Zudem wird der β-Fehler, wie bei der ANOVA, orientiert an DÖRING und BORTZ (2016G, S. 670), für die t-Tests auf 20 % gesetzt.
Um einen möglichen Einfluss der motivationalen Faktoren des FAM auf die Intervention zu überprüfen, wird durch die Spearman-Korrelation in Kapitel 5.6.4 ergänzend untersucht, inwiefern zwischen den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' sowie den FAM-Faktoren ein Zusammenhang besteht. Die Spearman-Korrelation wurde ausgewählt, da beim Zusammenhang zwischen FAM-Faktoren und systemischem Denken nicht zwangsläufig von einer linearen Korrelation, welche Voraussetzung für die Pearson Korrelation ist, ausgegangen werden kann (siehe Kapitel 6.4). Die Spearman-Korrelation kann hingegen auch eingesetzt werden, wenn keine lineare Korrelation zwischen den Variablen vorhanden ist (vgl. FIELD 2018, S. 351f.). Ergänzend wird in der Auswertung, in Anlehnung an Kapitel 2.1.4, mit Hilfe von t-Tests für unabhängige Stichproben in einem kurzen Exkurs nach signifikanten Unterschieden zwischen den Ergebnissen bezüglich der Geschlechter gesucht. Auch ein Zusammenhang zwischen Schulnote und systemischen Denken wird, aufgrund der Zugehörigkeit der Schulnote zur Ordinalskala, durch den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman erhoben (vgl. RASCH et al. 2014B, S. 96f.). Die Ergebnisse werden anschließend in der Diskussion in den aktuellen forschungsdidaktischen Stand eingeordnet.

4.5.2 Voraussetzungen der Verfahren

Da die Kontrastanalyse als Sonderform der Varianzanalyse mit Messwiederholung zu den parametrischen Verfahren der Statistik gezählt wird, müssen verschiedene Grundvoraussetzungen für eine Durchführung erfüllt sein:
1. Intervallskaliertheit der Daten
2. Normale Verteilung des untersuchten Merkmals
3. Gleichheit der Varianzen der Populationen der untersuchten Gruppen
4. Homogenität aller Korrelationen zwischen den einzelnen Stufen des messwiederholten Faktors (RASCH et al. 2014C, S. 71).

In der vorliegenden Studie werden der Fragebogen sowie das Scoringsystem für die jeweils abhängige Variable untersucht. Beide Messinstrumente ermöglichen es, die Größe des Merkmalsunterschiedes numerisch genau zu quantifizieren (DÖRING, BORTZ 2016H, S. 233), so dass von einer Intervallskaliertheit der Daten ausgegangen werden kann.
Die Überpüfung der Normalverteilung (siehe hierzu RASCH et al. 2014D) kann mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests durchgeführt werden (RASCH et al. 2014A, S. 44). Hier wird bei der Prüfung in der Nullhypothese von einer Normalverteilung ausgegangen, so dass im Kolmogorov-Smirnov-Test für eine Normalverteilung Werte von $p > .05$ erreicht werden müssen. Verschiedene Autoren weisen zudem darauf hin, dass ab einer bestimmten Stichprobengröße der zentrale Grenzwertsatz bedeutsam wird. FIELD (2018, S. 235) diskutiert in seinem Standardwerk der Statistik, ab welcher Stichprobengröße der zentrale Grenzwertsatz Bedeutung gewinnt. Aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes gehen er und andere Autoren (vgl. RASCH et al. 2014A, S. 69; FIELD 2018, S. 235) davon aus, dass ab einer Stichprobengröße von $n > 30$ von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Selbst kleinere Stichprobengrößen von $n > 20$ können, bei einer geringen Anzahl von Ausreißern, als ausreichend angesehen werden (FIELD 2018, S. 235). In der vorliegenden Studie sollen daher alle Stichprobengrößen von $n < 30$ mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung überprüft werden.
Zur Betrachtung der Varianzen der Populationen der untersuchten Gruppen wird in der vorliegenden Arbeit der Levene-Test durchgeführt. Dieser überprüft die Nullhypothese, die besagt, dass die Varianzen in allen Gruppen gleich sind (LUHMANN 2010, S. 193). Es werden daher Werte von $p > .05$ angestrebt, da durch die nicht vorhandene Signifikanz die Nullhypothese angenommen werden kann und von einer Varianzgleichheit ausgegangen wird (vgl. RASCH et al. 2014A, S. 44).
Da die Homogenität aller Korrelationen zwischen den Faktorstufen als eine sehr strenge Voraussetzung angesehen wird und sich in Studien zeigte, dass auch valide Ergebnisse geliefert werden, wenn diese Annahme verletzt wird, etablierte sich als liberalere Annahme die Sphärizität. Diese „besagt, dass die Varianzen der Differenzen zwischen jeweils zwei Faktorstufen homogen sein müssen“ (RASCH et al. 2014C, S. 71). Zur Überpüfung der Annahme der Sphärizität soll der Mauchly-Test für Sphärizität eingesetzt werden (vgl. RASCH et al. 2014C, S. 72). Die Problematik des Mauchly-Tests und möglicher Korrekturverfahren soll hier nicht tiefergehend berücksichtigt werden, eine intensive Betrachtung kann bei RASCH et al. (2014C, S. 72) erfolgen.
Wie auch bei der ANOVA müssen für den t-Test für unabhängige Stichproben bei dessen Durchführung bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Intervallskaliertheit des untersuchten Merkmals
2. Normalverteilung in der Population des untersuchten Merkmals
3. Unabhängigkeit der Gruppen

4. Varianzhomogenität der beiden untersuchten Populationsvarianzen (RASCH et al. 2014A, S. 44).

Da beim FAM mit einer Likert-Skala gearbeitet wird, muss grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass keine Intervallskalierung, sondern eine Ordinalskalierung vorliegt, so dass keine parametrischen Testverfahren durchgeführt werden dürfen. Über die Frage, ob Likert-Skalen mit parametrischen Tests analysiert werden können oder nonparametrische Tests eingesetzt werden müssen, gib es in der Forschung viele Diskussionen und Einschätzungen (vgl. GREGOIRE, DRIVER 1987; RASMUSSEN 1989; NANNA, SAWILOWSKY 1998). So stellten bspw. CLASON und DORMODY (1994) für die Forschungspraxis heraus, dass eine Mehrheit von Forschern bei der Likert-Skala in Studien parametrische Testverfahren einsetzen. In der vorliegenden Studie findet eine Orientierung an der Studie von WINTER und DODOU (2010) statt, die in einer großangelegten Untersuchung mit 14 unterschiedlichen Likert-Skalen herausstellten, dass der Einsatz von t-Tests keinen Einfluss auf die Teststärke besitzt. Basierend auf diesen Ergebnissen kann im Folgenden der t-Test eingesetzt werden. Aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes kann zudem davon ausgegangen werden, dass die untersuchte Experimentalgruppe ($n > 40$) und die Vergleichsgruppe ($n > 40$) eine Normalverteilung aufweisen (FIELD 2018, S. 235). Da die Schüler den Gruppen randomisiert zugeteilt wurden und die Gruppen in keiner Interaktion stehen, kann von einer Unabhängigkeit der Gruppen ausgegangen werden. Zur Überprüfung der Varianzgleichheit der beiden Populationsvarianzen wird vor den t-Tests der Levene-Test angewendet (RASCH et al. 2014A, S. 44). Sollten sich die Varianzen signifikant unterscheiden, soll eine Freiheitsgradkorrektur durchgeführt werden. Dabei soll, wenn notwendig, die Greenhouse-Geisser Korrektur vorgenommen werden, die insgesamt als konservativste Korrektur des Freiheitsgrades angesehen wird (vgl. RASCH et al. 2014A, S. 44).

In Kapitel 5.6.4 wird die Spearman-Korrelation eingesetzt, welche lediglich die Ordinalskalierung als Voraussetzung aufweist. RASCH et al. (2014B, S. 96f.) machen deutlich, dass auch, wie hier vorhanden, eine ordinalskalierte mit einer intervallskalierten Variablen korreliert werden kann.

5 Ergebnisse

Zur Betrachtung der Ergebnisse soll zunächst überprüft werden, inwiefern die zu untersuchenden Gruppen (Experimental-, Vergleichs-, Kontrollgruppe) gleiche Ausgangsbedingungen besitzen. Anschließend werden die vier Hypothesen überprüft, indem zunächst deskriptivstatistisch die Ergebnisse dargestellt werden, um darauf aufbauend durch verschiedene Signifkanztests die Hypothesen zu verifizieren bzw. zu falsifizieren. Die Signifikanztests werden entsprechend ihren Voraussetzungen, die in Kapitel 4.5.2 dargelegt wurden, durchgeführt. Dabei kann im Folgenden, wenn nicht explizit anders erwähnt, davon ausgegangen werden, dass die Voraussetzungen erfüllt sind.
Wie bereits dargelegt wurde, wird das α-Fehler-Niveau für die vorliegende Arbeit auf 5 % ($p < .05$) festgelegt. Die Effektstärke soll durch das η_p^2 dargestellt werden, die nach COHEN (1988, S. 368) in die Effektgrößengruppen .01–.06 (kleiner Effekt), .06–.14 (mittlerer Effekt) und ≥ .14 (großer Effekt) eingeteilt werden kann.

5.1 Ausgangsbedingung der Gruppen

Um Entwicklungen in den Gruppen vergleichen zu können, ist es entscheidend, dass diese sich bezüglich ihrer Ausgangsbedingungen nicht unterscheiden. Wie in Kapitel 2.1.4 dargelegt wurde, sind verschiedene Faktoren vorhanden, die Einfluss auf das systemische Denken nehmen können. Es werden daher Signifikanztests eingesetzt, um mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Störvariablen herauszustellen. Zudem wird überprüft, ob die Gruppen bereits im Pretest statistisch signifikante Unterschiede in den später zu untersuchenden Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' aufweisen.
Mit Hilfe der einfaktoriellen ANOVA für unabhängige Stichproben wird überprüft, ob die Ergebnisse des Fragebogens (Variable ‚Fragebogen') oder der Concept Map (Variable ‚Scoringsystem') signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen im Pretest aufweisen. Bei der Überprüfung der Normalverteilung (vgl. SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 448f.) zeigte der Kolmogorov-Smirnov-Test für die Vergleichsgruppe ($p = .049$; $p = .015$) keine Normalverteilung an. Aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes und der Stichprobengröße der Vergleichsgruppe > n = 30, kann dennoch von einer Normalverteilung ausgegangen werden.
Die einfaktorielle ANOVA zeigt, dass bei der Variablen ‚Fragebogen' zwischen der Experimentalgruppe ($M = 16.77$, $SD = 5.37$), der Vergleichsgruppe ($M = 16.32$, $SD = 5.20$) und der Kontrollgruppe ($M = 16.94$, $SD = 5.12$) zum Zeitpunkt des Pretestes kein statistisch signifikanter Unterschied ($F(2,109) = .128$, $p = .880$) vorhanden war. Auch bei der Variablen ‚Scoringsystem' lag zwischen der Experimentalgruppe ($M = 5.75$, $SD = 3.52$), der Vergleichsgruppe ($M = 4.60$, $SD = 3.82$) und der Kontrollgruppe ($M = 6.59$, $SD = 3.32$) zum Zeitpunkt des Pretestes kein statistisch signifikanter Unterschied ($F(2,109) = 2.29$, $p = .106$) vor. Da auch keine statistisch

signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Systemorganisation und des Systemverhaltens aufgezeigt werden, können vergleichende Rückschlüsse aus den Post- und Follow-up-Tests gezogen werden.
Als mögliche Störvariablen hinsichtlich des systemischen Denkens wurden in Kapitel 2.1.4 die Schulnoten, das Alter, die Motivation und das Geschlecht herausgestellt. Als weitere mögliche Störvariable, die ausgeschlossen werden muss, kann die von den Schülern zu durchlaufende Reihenfolge der Stationen sowie das zugeordnete Raumbeispiel genannt werden (siehe Kapitel 4.3). Die möglichen Störvariablen sollen im Folgenden ebenfalls auf eine gleichmäßige Verteilung zwischen den drei Gruppen, zum Zeitpunkt des Pretests, untersucht werden.
Um festzustellen, ob eine unterschiedliche Verteilung der verhältnisskalierten Variablen ‚Alter' in den Gruppen vorhanden ist, kann eine einfaktorielle ANOVA für unabhängige Stichproben durchgeführt werden. Bei der Überprüfung der Voraussetzungen zeigte der Kolmogorov-Smirnov-Signifikanztest für die Variable ‚Alter' keine Normalverteilung an ($p < .001$). Dies ist nicht verwunderlich, da alle Schüler der Jahrgangststufe EF angehören und daher eine Normalverteilung des Alters nicht zu erwarten ist. Um die Voraussetzungen nicht zu verletzen, wurde daher der Kruskal-Wallis H-Test eingesetzt, der nicht auf die mathematischen Voraussetzungen angewiesen ist. Der Kruskal-Wallis H-Test stellt ein statistisches Verfahren zur Auswertung ordinalskalierter Daten von mehr als zwei unabhängigen Gruppen dar (RASCH et al. 2014E, S. 106). Dabei wurde die ‚exakte Signifikanz' ausgewertet, da die Kontrollgruppe $n < 30$ ist. Dem Kruskal-Wallis H-Test folgend unterscheidet sich die Variable ‚Alter' zwischen den Gruppen statistisch nicht signifikant (χ^2 (2) = 1.44, $p = .498$). Die Einflussnahme einer unregelmäßigen Verteilung der Störvariablen ‚Alter' auf die Intervention kann daher ausgeschlossen werden.
Bei der ANCOVA mit Messwiederholung wird der Einfluss einer Kovariate überprüft. Im Folgenden werden daher die Kovariaten ‚Startstation' und ‚Raumbeispiel' als Einflussfaktoren auf die Veränderung von t_1 zu t_2 der Variablen ‚Scoringsystem' und ‚Fragebogen' der graphischen und konkreten Modelle untersucht. Aufgrund der Stichprobengröße ($n > 46$) und des zentralen Grenzwertsatzes kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Die Überprüfung der Gleichheit der Kovarianzenmatrizen ergab für die Kovariate ‚Startstation' ($p = .794$) und die Kovariate ‚Raumbeispiel' ($p = .794$) bei der Variablen ‚Fragebogen' keine Verletzung der Voraussetzung. Nach der ANCOVA mit Messwiederholung besitzt die Kovariate ‚Startstation' keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Veränderung der Variablen ‚Fragebogen' von t_1 zu t_2, $F (1,92) = 0.01$, $p = .795$. Die Kovariate ‚Raumbeispiel' besitzt ebenfalls keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Variablen ‚Fragebogen von t_1 zu t_2, $F (1,92) = 0.06$, $p = .801$. Auch für die Variable ‚Scoringsystem' sind die Voraussetzungen der Normalverteilung und die Gleichheit der Kovarianzenmatrizen für die Kovariaten ‚Startstation' ($p = 759$) und ‚Raumbeispiel' ($p = .759$) gegeben. Die Kovariate ‚Startstation'

(F (1,91) = 0.88 p = .352) und die Kovariate ‚Raumbeispiel' (F (1,91) = 2.55 p = .114) besitzen auch auf die Veränderung der Variablen ‚Scoringsystem' von t_1 zu t_2 keinen statistisch signifikanten Einfluss. Es kann daher insgesamt davon ausgegangen werden, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied macht, mit welcher Station die Schüler beim Stationenlernen angefangen haben. Auch die Zuordnung der Schüler zu den Raumbeispielen wirkte sich nicht statistisch signifikant auf die Entwicklung der Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' aus.
Um eine unterschiedliche Verteilung der normalskalierten Variablen ‚Geschlecht' in den Gruppen zu überprüfen, wird der Chi-Quadrat-Test nach Pearson durchgeführt (vgl. RASCH et al. 2014F, S. 113). Der Chi-Quadrat-Test nach Pearson zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern in den drei Gruppen (χ^2 (2) = 1.12, p = .571) auf. Da das ‚Geschlecht' eine stetige Variable darstellt, kann davon ausgegangen werden, dass während der gesamten Interventionsstudie eine gleichmäßige Verteilung der Variablen ‚Geschlecht' auf die Gruppen vorhanden ist.
Während die ‚Schulnoten' mit dem ersten Pretest erhoben wurden, wird die Motivation der Schüler durch den Faktor ‚Interesse' wiedergegeben. So mussten diese Fragen zum Interesse am Fach Erdkunde und zur Thematik Hochwasser beantworten. Da die Daten der Variablen ‚Interesse' und ‚Schulnoten' der Ordinalskala zugeordnet werden müssen, werden Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen durch den Kruskal-Wallis H-Test berechnet. Wie bei der ANOVA wird in der Nullhypothese davon ausgegangen, dass die „zugrunde liegenden Verteilungen der untersuchten Gruppen identisch sind" (RASCH et al. 2014E, S. 106). Da die Kontrollgruppe mit n = 25 unter dem zentralen Grenzwertsatz von n > 30 liegt, wird im Folgenden die exakte Signifikanz statt der asymptotischen Signifikanz angegeben. Der Kruskal-Wallis H-Test zeigt, dass zwischen den Gruppen bezüglich der Deutschnote (χ^2 (2) = 1.87, p = .396), der Mathematiknote (χ^2 (2) = .61, p = .738), der Biologienote (χ^2 (2) = .26, p = .880) und der Erdkundenote (χ^2 (2) = 3.10, p = .213) keine statistisch signifikanten Unterschiede vorhanden sind. Auch das Interesse am Fach Erdkunde (χ^2 (2) = 3.83, p = .146) und das Interesse an der Thematik Hochwasser (χ^2 (2) = 5.00, p = .083) unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht. Da zwischen Schulnoten und Intelligenz ein enger Zusammenhang besteht (BRÜNKEN et al. 2019, S. 176f.), kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilung der Störvariablen ‚Schulnoten/Intelligenz' und ‚Interesse' im Pretest keinen Einfluss auf die Intervention besitzt und daher, was diese Störvariablen angeht, vergleichende Rückschlüsse aus dem Post- und Follow-up-Test gezogen werden können.
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bezüglich der Ausgangsbedinungen zwischen den Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden konnten, so dass vergleichbare Voraussetzungen für die Interventionsstudie vorhanden sind.

5.2 Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens von t_1 zu t_2

Die erste Fragestellung untersucht die Wirkung der modellzentrierten Intervention. In der ersten Hypothese wird, basierend auf verschiedenen Studien (siehe Kapitel 3), davon ausgegangen, dass zwischen der Kontrollgruppe, die keine Intervention erhalten hat, und den Interventionsgruppen (Experimentalgruppe und Vergleichsgruppe) ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Anstiegs der Systemorganisation und des Systemverhaltens besteht.
Zur Beantwortung der Fragestellung werden der Fragebogen sowie das Scoringsystem der Concept Map herangezogen. Im Fragebogen konnten maximal 32 Punkte erreicht werden. Wie der Tabelle 18 zu entnehmen ist, verzeichnen sowohl die Experimentalgruppe als auch die Vergleichs- und Kontrollgruppe dem Fragebogen nach einen Anstieg der Systemorganisation und des Systemverhaltens.

Tab. 18: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte im Fragebogen (max. 32 P.) im Pre-, Post- und Follow-up-Vergleich (eigene Darstellung)

	Experimental-gruppe (n = 47)	**Vergleichsgruppe** (n = 48)	**Kontroll-gruppe** (n = 17)
Pretest (t_1)	16.77 (5.37)	16.32 (5.20)	16.94 (5.12)
Posttest (t_2)	22.96 (4.47)	24.43 (5.01)	19.41 (4.06)
Follow-up-Test (t_3)	22.37 (4.50)	23.91 (5.68)	19.18 (5.63)

Um die Hypothese zu überprüfen, soll im Folgenden die Kontrastanalyse als Sonderform der ANOVA (siehe Kapitel 4.5) eingesetzt werden. Dabei wird die Entwicklung der Experimental- und Vergleichsgruppe von t_1 zu t_2 der Entwicklung der Kontrollgruppe, von t_1 zu t_2, gegenübergestellt.
Zur Berechnung der Kontrastanalyse werden die Kontraste wie folgt gewichtet: Experimentalgruppe –1, Vergleichsgruppe –1, Kontrollgruppe +2. Zudem werden Kontraste für die Testzeitpunkte wie folgend gesetzt: Pretest –1, Posttest +1 und Follow-up-Test 0. Damit wird festgelegt, dass die Entwicklung der beiden Interventionsgruppen mit der Entwicklung der Kontrollgruppe für den Zeitraum t_1–t_2 verglichen wird.

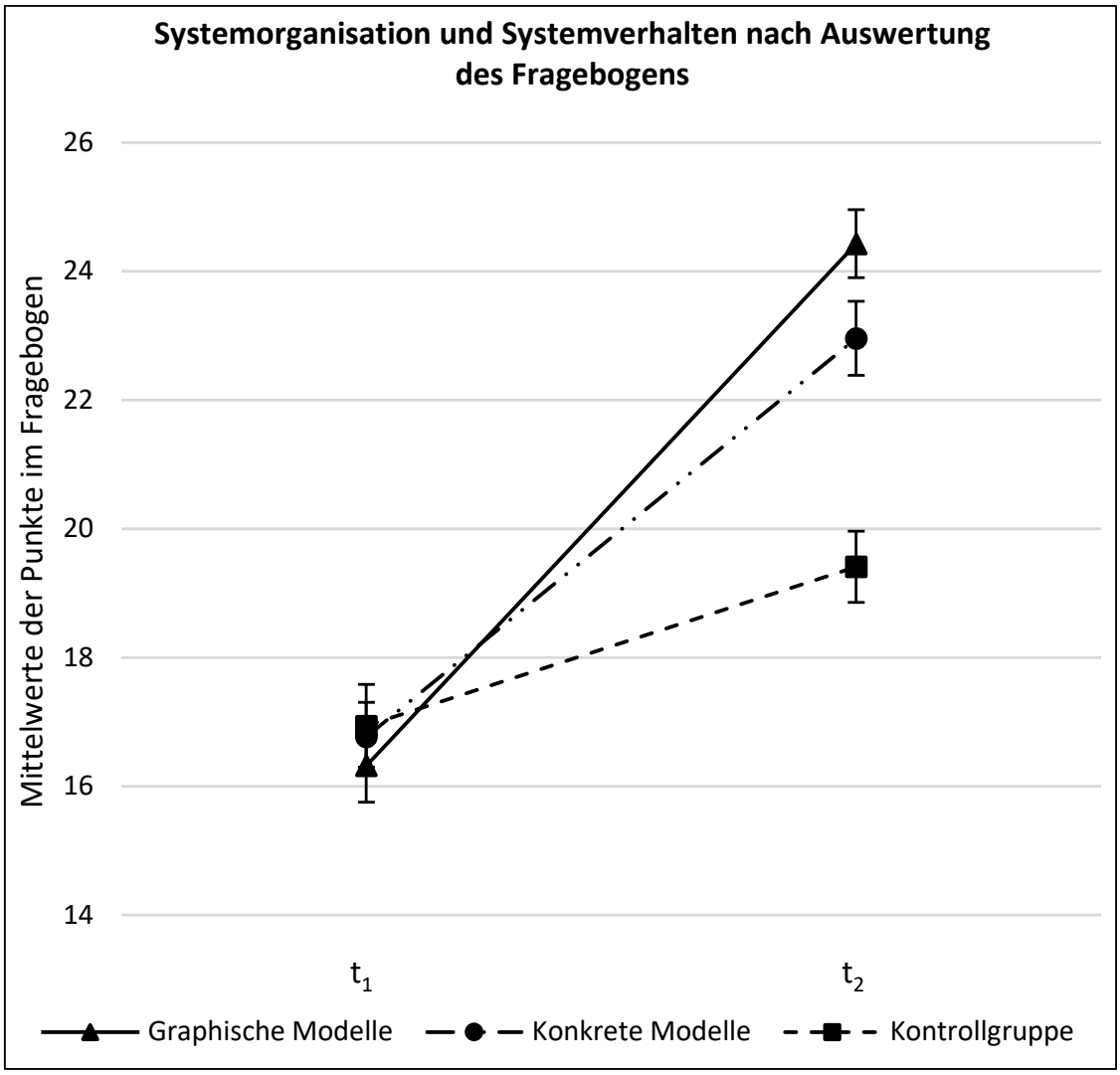


Abb. 38: Mittelwerte des Fragebogens zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests (eigene Darstellung)

Die Kontrastanalyse zeigt einen statistisch signifikanten Effekt F (1,109) = 12.34, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.10$ (mittlerer Effekt), so dass davon ausgegangen werden kann, dass die in Abbildung 38 dargestellte Entwicklung der Experimentalgruppe und der Vergleichsgruppe statistisch signifikant stärker ist, als die Entwicklung der Kontrollgruppe.
Um eine a posteriori-Poweranalyse durchzuführen, wird das η_p^2 in die Effektgröße f nach Cohen umgewandelt ($f = \sqrt{\eta^2/(1 - \eta^2)}$) (COHEN 1988, S. 284). Mit Hilfe von G*Power wird anschließend die Teststärke des gefundenen mittleren Effektes ermittelt. Bei einer Effektstärke von f = 0.34, n = 112 besteht eine Teststärke von .99. Demnach liefert der entwickelte Test mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % ein signifikantes Ergebnis für den gefundenen mittleren Effekt ($\eta_p^2 = 0.10$).

Im Sinne der Triangulation soll überprüft werden, inwiefern dieses Ergebnis auch mit Hilfe einer anderen Messmethode ermittelt werden kann. Die Auswertung der Concept Maps erfolgt mit Hilfe des Scoringsystems, in dem maximal 77 Punkte erreicht werden konnten (zur großen Differenz der Scoringwerte der Schüler und der möglichen Maximalpunktzahl siehe Kapitel 6.5).
Die Mittelwerte des Scoringsystems in Tabelle 19 machen deutlich, dass auch hier alle drei Gruppen einen Anstieg verzeichnen. Um zu überprüfen, ob dieser Anstieg statistisch signifikant ist, wird ebenfalls eine Kontrastanalyse durchgeführt.
Die Gewichtung der Kontraste erfolgt wie in der vorherigen Kontrastanalyse und auch in der Betrachtung des Zeitraums (t_1–t_2) findet keine Veränderung im Vergleich zur vorherigen Analyse statt.

Tab. 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte in der Concept Map im Pre-, Post- und Follow-up-Vergleich (eigene Darstellung)

	Experimentalgruppe (n = 47)	**Vergleichsgruppe** (n = 48)	**Kontrollgruppe** (n = 17)
Pretest (t_1)	5.75 (3.52)	4.60 (3.83)	6.59 (3.32)
Posttest (t_2)	8.94 (3.98)	8.25 (3.62)	7.94 (2.82)
Follow-up-Test (t_3)	7.85 (3.84)	7.66 (4.41)	7.00 (5.15)

Die Kontrastanalyse zeigt einen statistisch signifikanten Effekt F (1,109) = 4.39, p = .038, η_p^2 = 0.04 (kleiner Effekt) auf. Der Effekt macht deutlich, dass die in Abbildung 39 dargestellte Entwicklung sowohl der Experimentalgruppe als auch der Vergleichsgruppe statistisch signifikant stärker ist, als die Entwicklung der Kontrollgruppe.

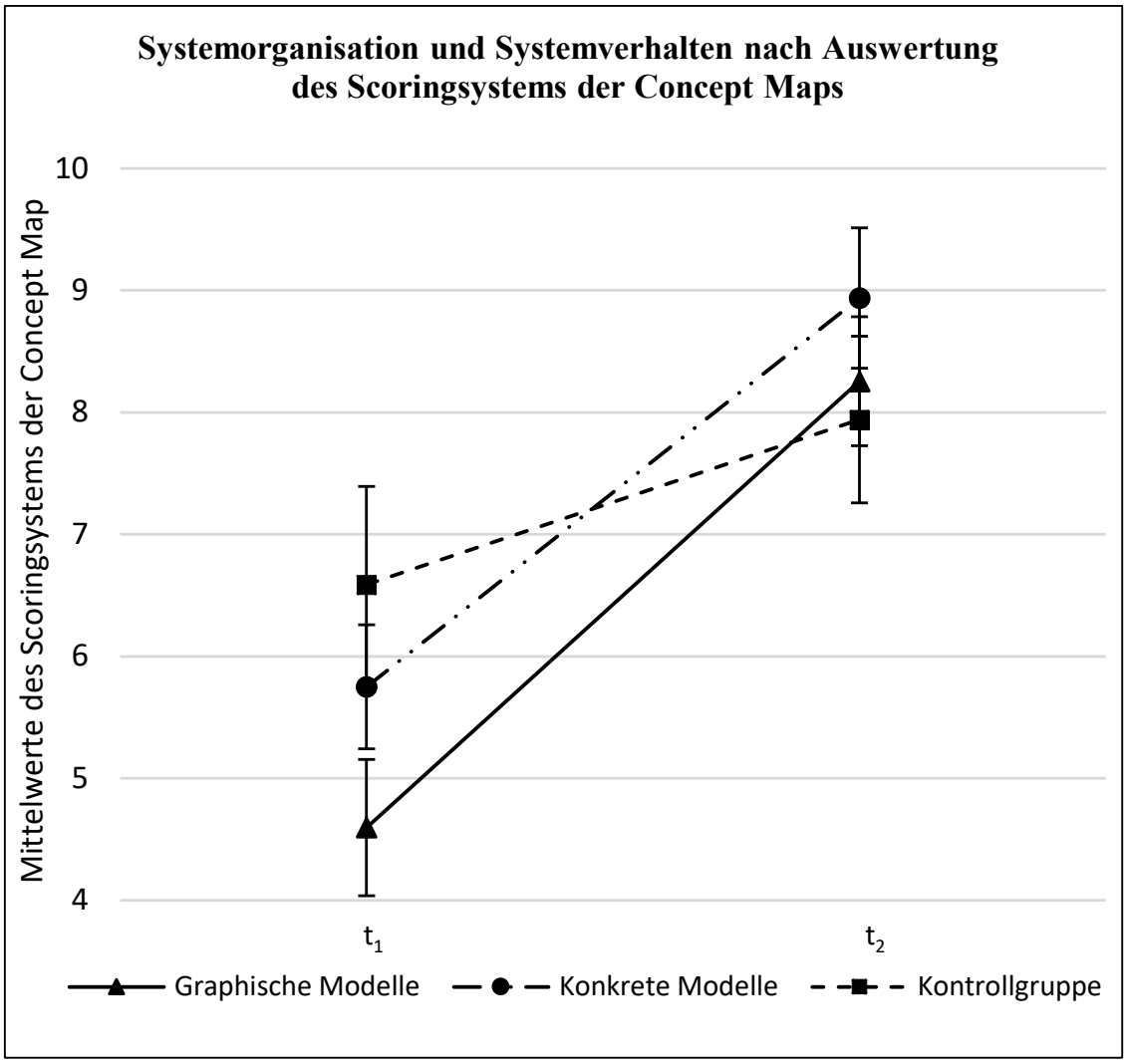


Abb. 39: Mittelwerte des Scoringsystems zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre- und Posttests (eigene Darstellung)

Nach Berechnung von Cohen's f ($f = \sqrt{\eta^2/(1-\eta^2)}$) (COHEN 1988, S. 284) zeigt die a posteriori durchgeführte Poweranalyse für den kleinen Effekt (f = 0.20, n = 112) eine Teststärke von .98 an. Der entwickelte Test gibt also mit einer Wahrscheinlichkeit von 98,79 % ein signifikantes Ergebnis für den gefundenen Effekt ($\eta_p^2 = 0.04$) an.

5.3 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen von t_1 zu t_2

Mit der zweiten Fragestellung wird untersucht, inwiefern zwischen den beiden Gruppen (Experimentalgruppe und Vergleichsgruppe) statistisch signifikante Unterschiede bestehen. Die zweite Hypothese geht davon aus, dass sich die Systemorganisation und das Systemverhalten bei der Experimentalgruppe statistisch

signifikant stärker entwickeln als bei der Vergleichsgruppe. Wie in Abbildung 38 deutlich wird, steigen für beide Interventionsgruppen die Mittelwerte beim Fragebogen vom Pre- zum Posttest an. Auch beim Scoringsystem (Abbildung 39) ist ein Anstieg für beide Interventionsgruppen von t_1 zu t_2 deutlich erkennbar. Um statistisch signifikante Unterschiede der beiden Interventionsgruppen zu untersuchen, wird eine Kontrastanalyse für die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' durchgeführt.

Da die gleichen Variablen zu den gleichen Testzeitpunkten in einer anderen Gewichtung der Kontraste durchgeführt werden, müssen diesmal nicht alle Voraussetzungen der Kontrastanalyse erneut überprüft werden. So kann von einer Intervallskalierung, einer Normalverteilung der Daten und Varianzgleichheit ausgegangen werden. Der Mauchly-Test (.108) zeigt zudem keine Verletzung der Sphärizität auf, so dass keine Voraussetzung der Kontrastanalyse verletzt wird.

Um statisisch signifkante Unterschiede von t_1 zu t_2 zwischen der Experimental- und Vergleichsgruppe aufzudecken, werden folgende Kontraste für die Variable ‚Fragebogen' festgelegt: Experimentalgruppe +1, Vergleichsgruppe –1, Kontrollgruppe 0. Da die gleichen Testzeitpunkte wie in der ersten Fragestellung untersucht werden, findet keine Veränderung dieser Kontraste statt: Pretest –1, Posttest +1 und Follow-up-Test 0.

In der Kontrastanalyse der Variablen ‚Fragebogen' wird kein statistisch signifikanter Effekt $F (1,109) = 3.42$, $p = .067$, $\eta_p^2 = .03$ zwischen der Entwicklung der Experimentalgruppe und der Vergleichsgruppe durch die Intervention festgestellt. In einer a posteriori durchgeführten Analyse wird mit Hilfe von G*Power berechnet, dass in den Interventionsgruppen ein Gesamtstichprobenwert von n = 218 notwendig gewesen wäre, um eine Signifikanz für den Effekt ($\eta_p^2 = .03$) zu erreichen.

Auch die zweite Hypothese soll zusätzlich mit der Kontrastanalyse der Variablen ‚Scoringsystem' überprüft werden. Hier kann ebenfalls von einer Intervallskalierung, Normalverteilung der Daten, Varianzgleichheit und Einhaltung der Sphärizität ausgegangen werden.

Die Kontraste werden identisch mit der vorherigen Kontrastanalyse angegeben: Experimentalgruppe +1, Vergleichsgruppe –1, Kontrollgruppe 0 sowie: Pretest –1, Posttest +1 und Follow-up-Test 0.

Auch die Kontrastanalyse der Variablen ‚Scoringsystem' zeigt im Zeitraum von t_1 zu t_2 keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Experimental- und der Vergleichsgruppe, $F (1,109) = 3.76$, $p = .541$, $\eta_p^2 = .003$. Die Analyse mit G*Power ergibt, dass in den Interventionsgruppen 676 Probanden notwendig gewesen wären, damit die Unterschiede ($\eta_p^2 = .003$) der Variablen ‚Scoringsysstem' eine Signifikanz erreicht hätten.

5.4 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen von t_2 zu t_3

Während in den ersten beiden Fragestellungen die Veränderung von t_1 zu t_2 betrachtet wurde, wird in der dritten Fragestellung untersucht, inwiefern der statistisch signifikante Zugewinn in der Systemkompetenzdimension Systemorganisation und Systemverhalten in den Interventionsgruppen auch langfristig wirksam ist. In der dritten Hypothese wird, basierend auf verschiedenen Studien (siehe Kapitel 3), davon ausgegangen, dass die Experimentalgruppe einen geringeren Rückgang der Systemorganisation und des Systemverhaltens als die Vergleichsgruppe verzeichnet. Tabelle 18 und Tabelle 19 machen deutlich, dass in der Experimentalgruppe und der Vergleichsgruppe sowohl der Mittelwert der Variablen ‚Fragebogen' als auch der Mittelwert der Variablen ‚Scoringsystem' von t_2 zu t_3 abnimmt.
Im Folgenden soll mit Hilfe von Kontrastanalysen die Fragestellung beantwortet werden, inwiefern die beiden Interventionsgruppen sich in der Entwicklung von t_2 zu t_3 statistisch signifikant unterscheiden. Zusätzlich soll überprüft werden, ob die Abnahme der Systemorganisation und des Systemverhaltens in den Interventionsgruppen von t_2 zu t_3 statistisch signifikant ist.
Bei der Überprüfung der Voraussetzungen der Kontrastanalyse kann wie in den vorherigen Kapiteln bei den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' von einer Intervallskalierung ausgegangen werden. Da die Überprüfung der Normalverteilung der Variablen für den Pre- und Posttest bereits in Kapitel 5.2 erfolgte, soll im Folgenden die Normalverteilung der Variablen zum Zeitpunkt des Follow-up-Test geprüft werden. Der Kolmogorov-Smirnov Test zeigt für die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' in der Experimentalgruppe ($p < .001$; $p = .019$) und in der Vergleichsgruppe ($p < .001$; $p = .021$) keine Normalverteilung an. Aufgrund der Stichprobengröße der beiden Gruppen ($n > 30$) kann aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes aber von einer Normalverteilung ausgegangen werden.
Da zur Beantwortung der dritten Hypothese die Veränderungen der Interventionsgruppen vom Post- zum Follow-up-Test verglichen werden sollen und in der Hypothese von einem geringeren Verlust in der Experimentalgruppe ausgegangen wird, werden die Kontraste folgendermaßen gewichtet: Experimentalgruppe +1, Vergleichsgruppe –1, Kontrollgruppe 0. Zudem werden Kontraste für die Testzeitpunkte Pretest 0, Posttest +1 und Follow-up-Test –1 gesetzt. Damit wird festgelegt, dass die Entwicklung der beiden Interventionsgruppen für den Zeitraum t_2 bis t_3 verglichen wird.

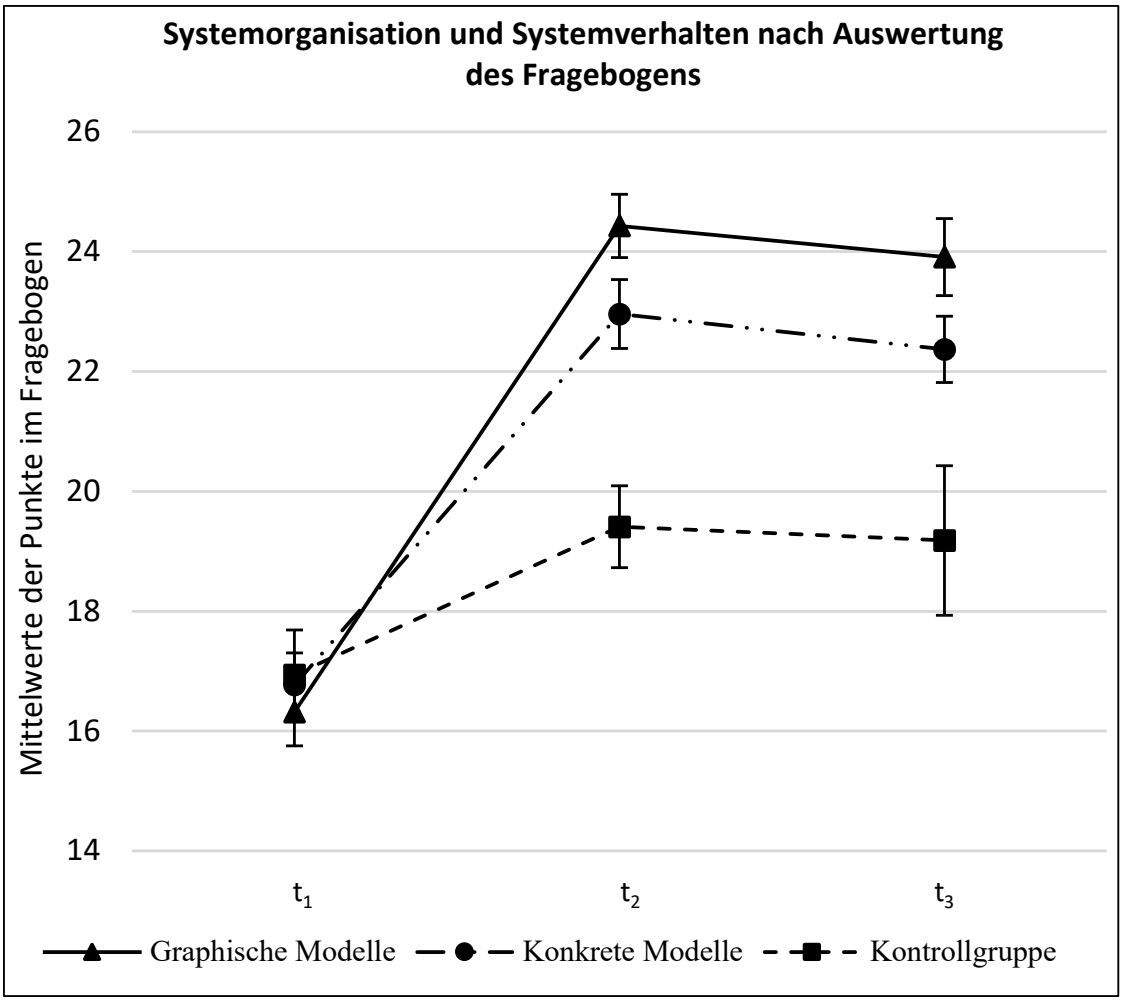


Abb. 40: Mittelwerte des Fragebogens zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre-, Post- und Follow-up-Tests (eigene Darstellung)

Die Kontrastanalyse zeigt keinen statistisch signifikanten Effekt $F(1,109) = 0.01$, $p = .940$, $\eta_p^2 < .001$. Die Variable ‚Fragebogen', die in Abbildung 40 von t_2 zu t_3 sowohl bei den graphischen Modellen als auch bei den konkreten Modellen erkennbar abnimmt, besitzt der Kontrastanalyse nach keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Abnahme der Systemorganisation und des Systemverhaltens zwischen den Interventionsgruppen. Nach Berechnung von Cohen's f (COHEN 1988, S. 284) zeigt die a posteriori durchgeführte Poweranalyse für den kleinen Cohen Effekt ($f = 0.01$, $n = 95$) eine Teststärke von .05 an. Der Test gibt also mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % ein signifikantes Ergebnis für den gefundenen Effekt ($\eta_p^2 < .001$) an. Da die Teststärke damit unter dem vorher festgelegten β-Fehler-Niveau von $\beta = 20$ % liegt, kann, entsprechend der Variablen ‚Fragebogen', die Hypothese 3 verworfen und stattdessen die Nullhypothese angenommen werden (RASCH et al. 2014A, S. 56).

Dieses Ergebnis soll mit einer Kontrastanalyse des ‚Scoringsystems' gegengeprüft werden. Auch hier zeigt sich in Abbildung 41 eine Abnahme sowohl der graphischen Modelle als auch der konkreten Modelle.

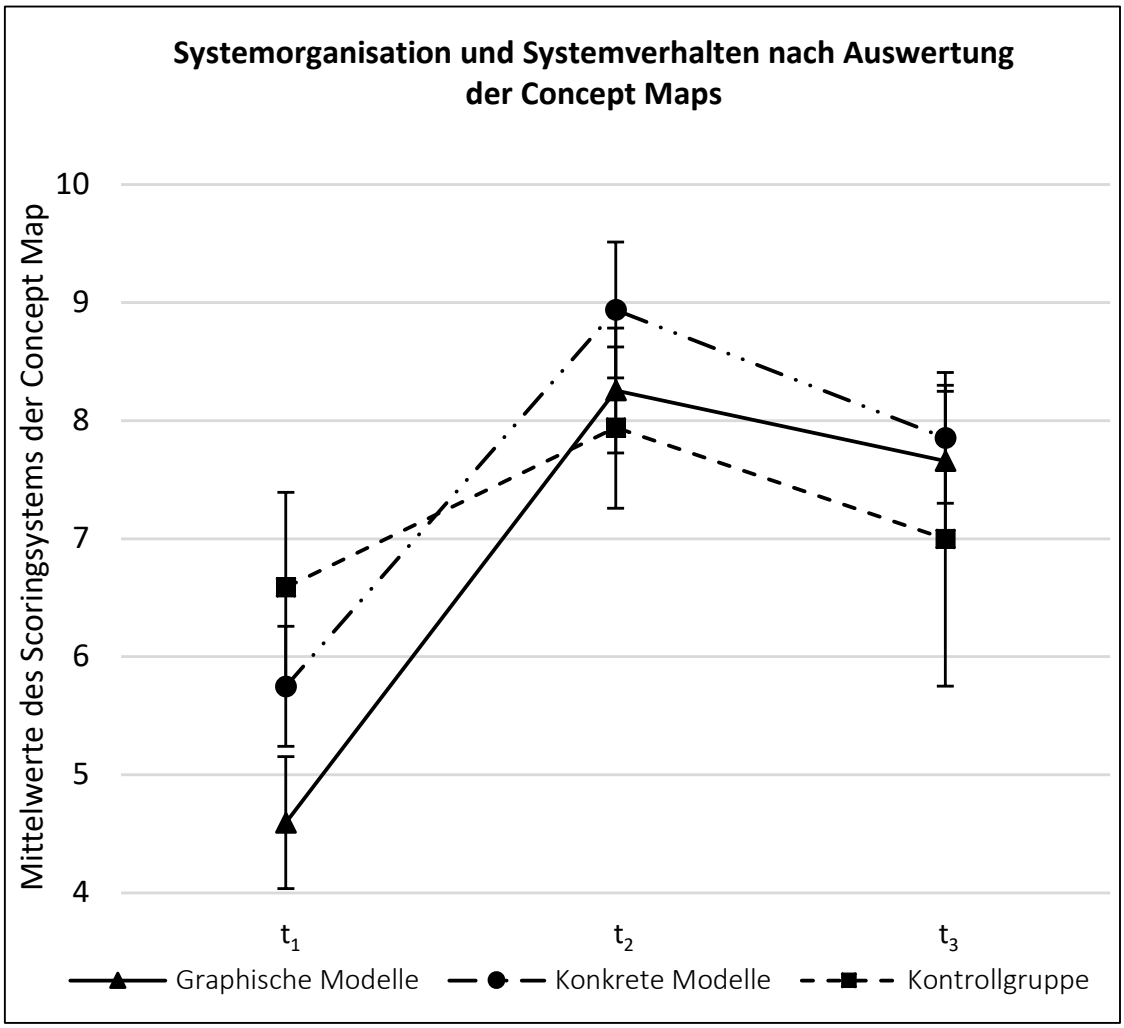


Abb. 41: Mittelwerte des Scoringsystems zur Erhebung der Systemorganisation und des Systemverhaltens mit Standardfehlern zum Zeitpunkt des Pre-, Post- und Follow-up-Tests (eigene Darstellung)

Wie in der vorherigen Kontrastanalyse sollen die Entwicklungen der Interventionsgruppen vom Post- zum Follow-up-Test verglichen werden. Dementsprechend werden die Kontraste für die Variable ‚Scoringsystem' folgendermaßen gewichtet: Experimentalgruppe +1, Vergleichsgruppe –1, Kontrollgruppe 0; Testzeitpunkte: Pretest 0, Posttest +1 und Follow-up-Test –1.
Die Kontrastanalyse der Variablen ‚Scoringsystem' zeigt für die Hypothese 3 keinen statistisch signifikanten Effekt $F(1,109) = 0.38$, $p = .538$, $\eta_p^2 = .003$. Wie bei der Variablen ‚Fragebogen' kann auch bei der Variablen ‚Scoringsystem' für den

Zeitraum t_2 bis t_3 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Interventionsgruppen festgestellt werden. Die a posteriori durchgeführte Poweranalyse (f = 0.05, n = 95) ergibt eine Teststärke von .05. Die Variable ‚Scoringsystem' gibt also mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % ein signifikantes Ergebnis für den gefundenen Effekt (η_p^2 = .003) an. Die Teststärke fällt damit unter das vorher festgelegte β-Fehler-Niveau, so dass, dem ‚Scoringsystem' folgend, für Hypothese 3 die Nullhypothese angenommen werden kann (RASCH et al. 2014A, S. 56).
Im Folgenden werden für die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' t-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt, um zu überprüfen, ob der Lernerfolg auch langfristig einen statistisch signifikanten Erfolg besitzt.
Da der t-Test für abhängige Stichproben als Voraussetzung lediglich Intervallskalierung und Normalverteilung verlangt (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 412) und diese bereits nachgewiesen wurden, kann davon ausgegangen werden, dass keine Voraussetzungen verletzt werden.
Der t-Test für abhängige Stichproben zeigt, dass bei den konkreten Modellen ein statistisch signifikanter Anstieg der Variablen ‚Fragebogen' von t_1 zu t_3 vorhanden ist, t (47) = –6.48, p < .001. Auch die Variable ‚Scoringsystem' kann für die Experimentalgruppe einen statistisch signifikanten Anstieg von t_1 zu t_3 nachweisen, t (47) = –3.61, p < .001.
Für die Effektstärke soll Cohen's d benutzt werden, welcher mit der Mittelwertsdifferenz und der Standardabweichung: $d = \frac{|m_A - m_B|}{\sigma}$ berechnet werden kann. COHEN (1988, S. 25f.) teilt die Effektstärke dabei in drei Gruppen ein: kleiner Effekt ≥ .20, mittlerer Effekt ≥ .50, großer Effekt ≥ .80. Demnach besitzt der t-Test bei der Experimentalgruppe für die Variable ‚Fragebogen' eine Effektstärke von d = 0.93 (großer Effekt) und für die Variable ‚Scoringsystem' eine Effektstärke von d = 0.52 (mittlerer Effekt). Dies ergibt nach G*Power eine Teststärke von .99 für die Variable ‚Fragebogen'. Der Test gibt daher mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % ein statistisch signifikantes Ergebnis für den gefundenen Effekt (d = 0.93) an. Die Berechnung der Teststärke für die Variable ‚Scoringsystem' ergibt einen Wert von .94. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 94,15 % zeigt die Variable ‚Scoringsystem' daher ein statistisch signifikantes Ergebnis für den gefundenen Effekt (d = 0.52) auf.
Ebenso kann für die graphischen Modelle ein statistisch signifikanter Effekt für den langfristigen Lernerfolg anhand der Variablen ‚Fragebogen' festgestellt werden, t (46) = –9.61, p < .001. Dies deckt sich mit dem Ergebnis des ‚Scoringsystems' für die graphischen Modelle, bei denen ebenfalls ein signifikanter Effekt festgestellt werden kann, t (46) = –5.34, p < .001. Die Variable ‚Fragebogen' besitzt demnach eine Effektstärke von d = 1.4 (großer Effekt), während der Variablen ‚Scoringsystem' eine Effektstärke von d = 0.78 (mittlerer Effekt) zugesprochen werden kann. Die Effektstärke der Variablen ‚Fragebogen' erreicht eine Teststärke von 1.00. Damit gibt der Fragebogen mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % ein statistisch

signifikantes Ergebnis für den berechneteten Effekt (d = 1.4) an. Die Variable ‚Scoringsystem' erreicht eine Teststärke von .99. Hier kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,94 % davon ausgegangen werden, dass mit dem statistisch signifikanten Ergebnis der berechnetete Effekt (d = 0.78) angegeben wird.
Im Gegensatz dazu kann in der Kontrollgruppe für die Variable ‚Fragebogen' kein statistisch signifikanter Effekt von t_1 zu t_3 festgestellt werden, t (16) = –2.10, p = .052. Auch bei der Variablen ‚Scoringsystem' zeigt sich kein statistisch signifikanter Anstieg für die Kontrollgruppe, t (16) = –0.39, p = .700.

5.5 Methodische Ergebnisse: Zusammenhang zwischen Scoringsystem und Fragebogen

Zur Berechnung der Systemorganisation und des Systemverhaltens wurden in der Studie die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' herangezogen. Die theoretische Begründung dieser Auswahl wurde bereits in Kapitel 4.4.2 und Kapitel 4.4.3 dargelegt. Im Folgenden soll untersucht werden, inwiefern zwischen den Variablen ein Zusammenhang besteht, so dass die theoretische Vermutung, dass die Variablen das gleiche Konstrukt (Systemoganisation und Systemverhalten) messen, statistisch empirisch überprüft wird. Dafür wird die Korrelation der beiden Variablen sowohl im Pretest, im Posttest als auch im Follow-up-Test überprüft. Zudem werden Korrelationen mit der Variablen ‚Strukturindex' berechnet, um einem möglichen Zusammenhang zum Fragebogen bzw. Scoringsystem nachzugehen. Vor der Darlegung der Ergebnisse sei darauf hingewiesen, dass in einer Korrelation zwischen zwei Variablen kein zwingender Beweis für eine Kausalitätsbeziehung gesehen werden soll (vgl. RASCH et al. 2014B, S. 86f.). So gibt ein Zusammenhang keine Auskunft über die inhaltliche Ursache-Wirkungs-Beziehung wieder. Eine inhaltliche Diskussion der Ergebnisse soll daher in Kapitel 6 erfolgen.
Zur Berechnung des Zusammenhangs wird die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson verwendet, in welcher der maßstabsunabhängige Korrelationskoeffizient r berechnet wird (siehe Kapitel 4.5.1 bzw. RASCH et al. 2014B, S. 85).
Vor der Durchführung der Korrelation werden verschiedene Voraussetzungen betrachtet, die für die Berechnung der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson bedeutsam sind. So wird neben der Überpüfung der Normalverteilung (vgl. FIELD 2018, S. 344) mit Hilfe eines Streudiagramms visuell kontrolliert, inwiefern es sich bei dem Zusammenhang der Variablen um einen linearen Zusammenhang handelt (vgl. SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 214). Aufgrund des sehr starken Einflusses von Ausreißerwerten auf die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 225) sollen starke Ausreißerwerte mit Hilfe von Box-Plots (FIELD 2018, S. 344) identifiziert und ggfs. ausgeschlossen werden.
Da in den Berechnungen die Variablen ‚Fragebogen', ‚Scoringsystem' und

‚Strukturindex' betrachtet werden, kann die Voraussetzung der Intervallskaliertheit (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 215) als gegeben angesehen werden. Zudem muss bei der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson nicht zwischen den Versuchsgruppen unterschieden werden, so dass aufgrund des großen n-Wertes (n > 30) von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Die Überprüfung hinsichtlich starker Ausreißer mit Hilfe von Box-Plots ergibt insgesamt 13 Werte, die derart gewertet werden können. Da diese jedoch ‚milde Ausreißer' darstellen und lediglich unter bzw. oberhalb des anderthalbfachen Interquartilsabstandes liegen, können sie in die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson einbezogen werden. Die Überprüfung des Verhältnisses der Variablen ist nach visueller Betrachtung der Streudiagramme mit LOESS-Glättung in etwa linear, so dass alle Voraussetzungen der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson erfüllt sind. Da davon ausgegangen werden kann, dass bei steigendem ‚Scoringwert' bzw. ‚Strukturindex' auch der Fragebogenwert ansteigt, wird ein einseitiger Signifikanztest durchgeführt. Das α-Fehler-Niveau wird dabei sowohl für den Signifikanztest als auch für die Teststärke jeweils auf 5 % festgelegt.

Für den Pretest zeigt die Pearson Produkt-Moment-Korrelation, dass die Variable ‚Fragebogen' und die Variable ‚Scoringsystem' statistisch signifikant miteinander korrelieren, $r = 0.17$, $p = .034$ (kleiner Effekt). Mit Hilfe von G*Power wird für den Effekt ($r = 0.17$) eine Teststärke von .05 errechnet. Der kleine Effekt $r = 0.17$ wird daher mit einer 58 %igen Wahrscheinlichkeit durch den Test wiedergegeben. Damit der gefundene Effekt mit mindestens 80 %iger Wahrscheinlichkeit gefunden wird, wäre laut G*Power eine Stichprobengröße von n = 202 notwendig. Die Korrelation der Variablen ‚Fragebogen' und ‚Strukturindex' ergibt hingegen keine statistisch signifikante Korrelation, $r = 0.15$, $p = .074$. Um ein signifikantes Ergebnis zu erhalten, müssten laut G*Power insgesamt 270 Probanden die Studie durchlaufen. Die Variablen ‚Scoringsystem' und ‚Strukturindex' korrelieren nach Pearson statistisch signifikant miteinander, $r = 0.48$, $p < .001$ (mittlerer Effekt). G*Power errechnet für den Effekt ($r = 0.48$) eine Teststärke von .99. Es kann daher mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % davon ausgegangen werden, dass das statistisch signifikante Ergebnis für den berechneteten Effekt ($r = 0.48$) angegeben wird.

Auch für den Zeitpunkt des Posttestes wird mit den Variablen die Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt. Die Korrelation ergibt für die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' ein statistisch signifikantes Ergebnis, $r = 0.37$, $p < .001$ (mittlerer Effekt). Dies ergibt eine Teststärke von .99, so dass der Test mit 99,58 %iger Wahrscheinlichkeit den gefundenen Effekt ($r = 0.37$) wiedergibt. Auch die Variablen ‚Strukturindex' und ‚Fragebogen' besitzen im Posttest eine statistisch signifikante Korrelation, $r = 0.31$, $p < .001$ (mittlerer Effekt). Die Teststärke (.96) gibt an, dass mit 96 %iger Wahrscheinlichkeit der Signifikanztest den gefundenen Effekt ($r = 0.31$) beschreibt. Zudem wird die Variable ‚Strukturindex' mit der Variablen ‚Scoringsystem' in Verbindung gesetzt. Die beiden Variablen korrelieren

statistisch signifikant miteinander, r = 0.63, p < .001 (großer Effekt), Teststärke .99. Die gefundene Korrelation (r = 0.63) zwischen ‚Strukturindex' und ‚Scoringsystem' wird dementsprechend mit 99,99 %iger Wahrscheinlichkeit durch den Signifikanztest beschrieben.
Abschließend wird auch für den Follow-up-Test die Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt. Hier zeigt sich für die Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' ein statistisch signifikanter Effekt von r = 0.35, p < .001 (mittlerer Effekt). Nach G*Power macht dies für den Effekt (r = 0.35) eine Teststärke von .98. Mit 98,99 %iger Wahrscheinlichkeit wird mit dem Signifikanztest daher der Effekt (r = 0.35) beschrieben. Bei den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Strukturindex' bestand nach Pearson ebenfalls eine statistisch signifikante Korrelation, r = 0.27, p = .002 (kleiner Effekt). Dem Effekt (r = 0.27) kann nach G*Power eine Teststärke von .90 zugesprochen werden. Demnach beschreibt der Signifkanztest mit einer Wahrscheinlichkeit von 90,39 % den gefundenen Effekt (r = 0.27). Abschließend wird beim Follow-up-Test eine statistisch signifikante Korrelation von r = 0.77, p <.001 (großer Effekt) festgestellt. Die Teststärke für den Effekt (r = 0.77) beträgt nach G*Power .99. Der Effekt (r = 0.77) wird daher mit 99 %iger Wahrscheinlichkeit von dem Test wiedergegeben.
Nachdem die Korrelation der Variablen für jeden Testzeitpunkt durchgeführt wurde, erscheint es sinnvoll, einen Mittelwert aus den drei Einzelergebnissen zu bilden. Da die Korrelationskoeffizienten jedoch nicht intervallskaliert sind, muss die Fisher Z-Transformation angewendet werden, die die Korrelation in annähernd intervallskalierte Werte überführt. Anschließend kann aus den Ergebnissen das arithmetische Mittel gebildet werden und dieses, mittels der Fisher Z-Werte, in eine Korrelation rücktransformiert werden (RASCH et al. 2014B, S. 87). Hierfür wird die Tabelle ‚Fishers Z-Werte' benutzt (RASCH et al. 2014, S. 150f.).
Die gemittelte Korrelation der Variablen ‚Scoringsystem' und ‚Fragebogen' (r = 0.17; r = 0.38; r = 0.35) beträgt nach der Fisher Z-Transformation $\bar{r}$ = 0.31 (mittlerer Effekt). Im Vergleich dazu beträgt die gemittelte Korrelation der Variablen ‚Strukturindex' und ‚Fragebogen' (r = 0.15, r = 0.31, r = 0.27) nach der Fisher Z-Transformation $\bar{r}$ = .24 (kleiner Effekt). Die Variablen ‚Strukturindex' und ‚Scoringsystem' (r = 0.48; r = 0.63; r = 0.77) besitzen nach der Fisher Z-Transformation eine gemittelte Korrelation von $\bar{r}$ = 0.64 (großer Effekt).

5.6 Unterschiede der Motivationsfaktoren zwischen den Interventionsgruppen

Die vierte Fragestellung untersucht, inwiefern sich der Einsatz von graphischen und konkreten Modellen auf die tätigkeitszentrierte Motivation auswirkt. Auf der Basis theoretischer Überlegungen (Kapitel 3) wurde die Hypothese aufgestellt,

dass die konkreten und graphischen Modelle sich unterschiedlich auf die motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation auswirken. Um die Fragestellung zu untersuchen, wurde am Anfang und am Ende der Intervention der FAM erhoben. Der FAM wurde zu Situationen eingesetzt, in denen die Arbeit mit den Modellen im Vordergrund stand (siehe Kapitel 4.4.4), so dass die Auswirkungen der spezifischen Lernsituation auf die aktuelle Motivation wiedergegeben wird. Im Folgenden soll in Kapitel 5.6.1 zunächst nach statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den motivationalen Faktoren der Experimental- und Vergleichsgruppe zum ersten Testzeitpunkt und in Kapitel 5.6.2 nach Unterschieden zum zweiten Testzeitpunkt gesucht werden. Darauf aufbauend wird in Kapitel 5.6.3 untersucht, inwiefern sich die motivationalen Faktoren vom ersten Testzeitpunkt hin zum zweiten Testzeitpunkt verändern. Zusätzlich soll in einer ergänzenden Analyse (Kapitel 5.6.4) untersucht werden, inwiefern durch die tätigkeitszentrierte Motivation ein signifikanter Einfluss auf die Systemorganisation und das Systemverhalten genommen wird.

5.6.1 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen bezüglich der Motivationsfaktoren beim ersten Einsatz der Modelle

Der FAM besteht aus 18 Fragen, die den vier motivationalen Faktoren zugeordnet und mit einer siebenstufigen Likertskala („trifft nicht zu" bis „trifft zu") beantwortet werden können. Wie in Tabelle 20 deutlich wird, besitzen die graphischen und konkreten Modelle zum ersten Testzeitpunkt unterschiedliche Auswirkungen auf die motivationalen Faktoren.

Tab. 20: Mittwerte mit Standardabweichungen der motivationalen Faktoren zum ersten Testzeitpunkt (eigene Darstellung)

	Experimentalgruppe (n = 48)	**Vergleichsgruppe** (n = 46)
Interesse	4.83 (0.95)	3.69 (1.01)
Herausforderung	3.95 (0.87)	3.69 (1.11)
Erfolgswahrscheinlichkeit	5.86 (0.96)	5.34 (1.12)
Misserfolgsbefürchtung	5.61 (0.96)	5.83 (1.12)

Um zu überprüfen, ob diese Unterschiede auch statistisch signifikant sind, werden die Ergebnisse mit Hilfe von t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht. Da in der Hypothese für die einzelnen motivationalen Faktoren keine konkrete Tendenz in der Richtung der statistisch signifikanten Unterschiede dargelegt wurde,

werden zweiseitige t-Tests mit einem tolerierten α-Fehler-Niveau von 5 % ($p < .05$) durchgeführt. Als Voraussetzung können die Unabhängigkeit der Stichproben, die Intervallskalierung, die Normalverteilung und die Gleichheit der Varianzen in den zu untersuchenden Populationen genannt werden (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 407). Die Normalverteilung kann wiederum aufgrund der Stichprobengröße $n > 30$ angenommen werden (vgl. RASCH et al. 2014A, S. 69; FIELD 2018, S. 235). Im Gegensatz dazu wird, zur Überprüfung der Varianzgleichheit zwischen den zu untersuchenden Populationen, vor jedem t-Test der Levene-Test eingesetzt (LUHMANN 2010, S. 193). Zusätzlich soll bei statistisch signifikanten Unterschieden auch die Effektstärke und die Teststärke berechnet werden. Für die Effektstärke soll Cohen's $d = \frac{|m_A - m_B|}{\sigma}$ ermittelt werden (COHEN 1988, S. 20). Seine Effektstärke wird eingeteilt in kleine Effekte (0.2–0.5), mittlere Effekte (0.5–0.8) und große Effekte ($d > 0.8$) (COHEN 1988, S. 25f.). Anschließend soll, mit Hilfe von G*Power, die zur Effektstärke zugehörige Teststärke berechnet werden.

Der durchgeführte t-Test für unabhängige Stichproben ergibt für den ersten Testzeitpunkt einen statistisch signifikanten Unterschied für das ‚Interesse' beim Umgang mit konkreten oder graphischen Modellen, $t (90) = –5.61$, $p < .001$ mit einem nach Cohen's $d = 1.17$ großen Effekt (siehe Abbildung 42). Die Berechnung der Teststärke mit Hilfe von G*Power ergibt für den Effekt ($d = 1.17$) eine Teststärke von .99. Es kann daher mit einer 99,98 % igen Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass es sich um den statististsch signifikanten Effekt ($d = 1.17$) handelt.

Im Gegensatz dazu besitzt die ‚Herausforderung' der Schüler bei der Anwendung von graphischen und konkreten Modellen dem t-Test nach keinen statistisch signifikanten Unterschied, $t (91) = –1.51$, $p = .135$ (siehe Abbildung 42).

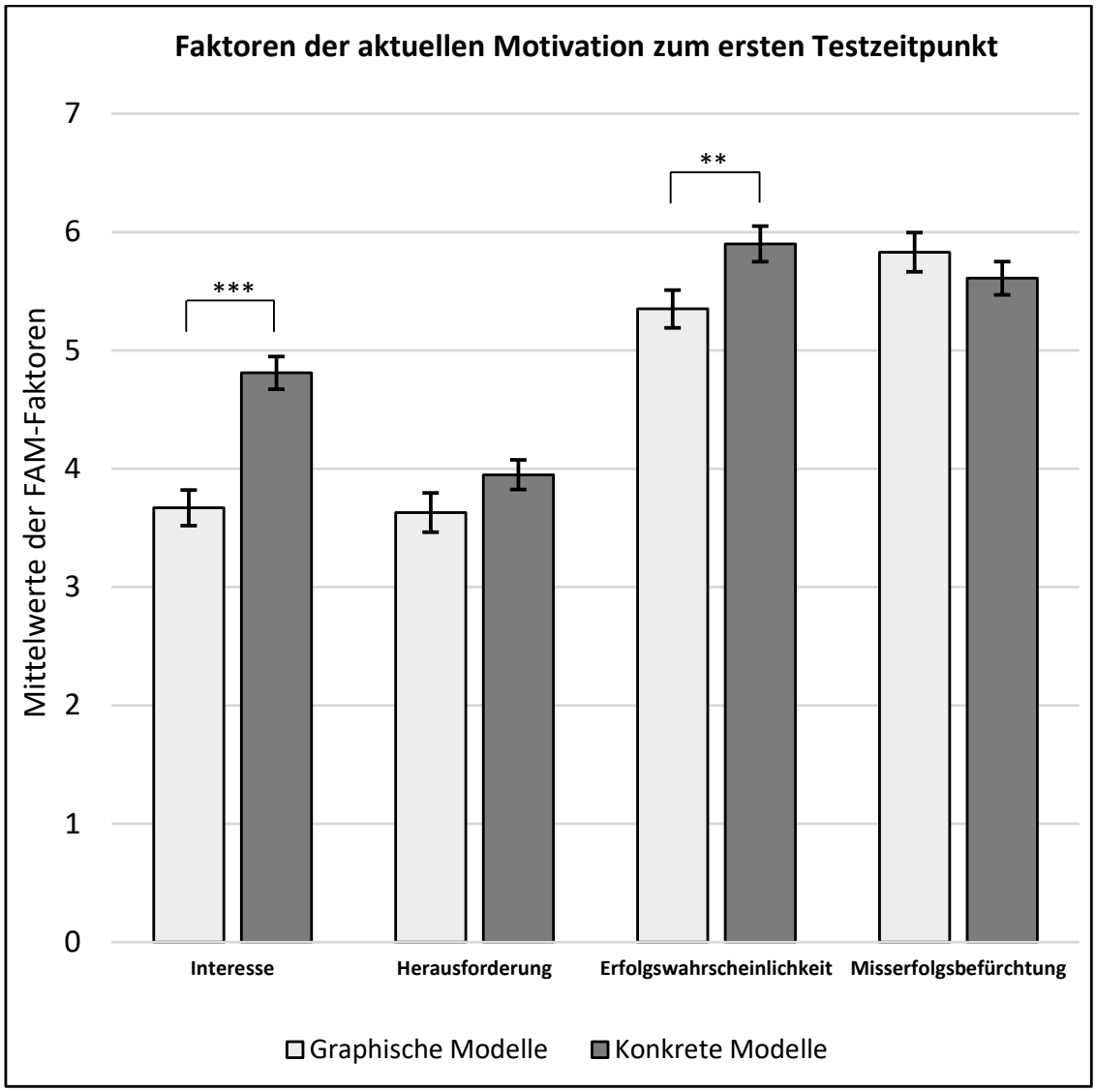


Abb. 42: Populationsmittelwertunterschiede zwischen den FAM-Faktoren bei der Verwendung von graphischen und konkreten Modellen zum ersten Testzeitpunkt mit Signifikanzunterschieden und Standardfehlern (eigene Darstellung)

Ein weiterer t-Test für die Variable ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' zeigt auf, dass sich die Einschätzung der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' in der Experimental- und Vergleichsgruppe statistisch signifikant unterscheidet, t (87) = –2.37, p = .020 (siehe Abbildung 42). Bei dem Effekt handelt es sich nach Cohen's d = 0.50 um einen mittleren Effekt. Nach G*Power beträgt die Teststärke .65, es kann daher mit einer Wahrscheinlichkeit von 65,03 % davon ausgegangen werden, dass es sich um den gefundenen Effekt (d = .50) handelt. Um eine Teststärke von mindestens 80 % zu erhalten, hätten nach G*Power pro Gruppe n = 64 Probanden an der Studie

teilnehmen müssen. Die Einschätzung der ‚Misserfolgsbefürchtung' in der Experimental- und Vergleichsgruppe ist dem t-Test für unabhängige Stichproben nach nicht statistisch signifikant, t (91) = –1.02, p = .309 (siehe Abbildung 42).

5.6.2 Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen bezüglich der Motivationsfaktoren beim zweiten Einsatz der Modelle

Zum zweiten Testzeitpunkt wurde abgefragt, wie sich die erneute Arbeit mit den graphischen bzw. konkreten Modellen auf die tätigkeitszentrierte Motivation auswirkt. Tabelle 21 macht deutlich, dass auch beim erneuten Einsatz der Modelle Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen vorhanden sind.

Tab. 21: Mittelwerte mit Standardabweichungen der motivationalen Faktoren zum zweiten Testzeitpunkt (eigene Darstellung)

	Experimentalgruppe (n = 47)	**Vergleichsgruppe** (n = 48)
Interesse	4.85 (1.02)	3.47 (1.48)
Herausforderung	3.70 (1.11)	3.16 (1.26)
Erfolgswahrscheinlichkeit	6.23 (0.79)	5.93 (0.91)
Misserfolgsbefürchtung	6.02 (1.18)	6.21 (0.93)

Um zu kontrollieren, ob es sich um statistisch signifikante Unterschiede handelt, werden erneut t-Tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Die Voraussetzungen zum Einsatz des t-Testes wurden bereits in Kapitel 5.6.1 dargelegt. Es kann auch hier, aufgrund der Stichprobengröße, davon ausgegangen werden, dass die Voraussetzung der Normalverteilung gegeben ist. Die Unabhängigkeit der Stichproben sowie die Diskussion zur Skalierung der Likert-Skala kann ebenfalls Kapitel 5.6.1 entnommen werden. Zur Überprüfung der Varianzgleichheit zwischen den untersuchten Populationen wird vor jedem t-Test der Levene-Test eingesetzt.
Für den zweiten Testzeitpunkt zeigt der Levene-Test der Varianzgleichheit für die Variable ‚Interesse' kein signifikantes Ergebnis an (p = .003). Es kann daher nicht mit einer Varianzhomogenität zwischen den Populationen gerechnet werden. Dementsprechend wird eine Freiheitsgradkorrektur vorgenommen (vgl. RASCH et al. 2014A, S. 44) und mit den Welch-Werten weitergerechnet (vgl. BORTZ, SCHUSTER 2010, S. 123f.). Die nach Welch korrigierten Daten zeigen für das ‚Interesse' beim zweiten Testzeitpunkt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den konkreten und graphischen Modellen auf, t (92) = –5.20, p < .001

(siehe Abbildung 43). Nach Cohen's d = 1.08 handelt es sich dabei um einen großen Effekt. Die Teststärke besitzt für den Effekt (d = 1.08) einen Wert von .99. Es kann daher mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,94 % davon ausgegangen werden, dass der Test den gefundenen Effekt wiedergibt.

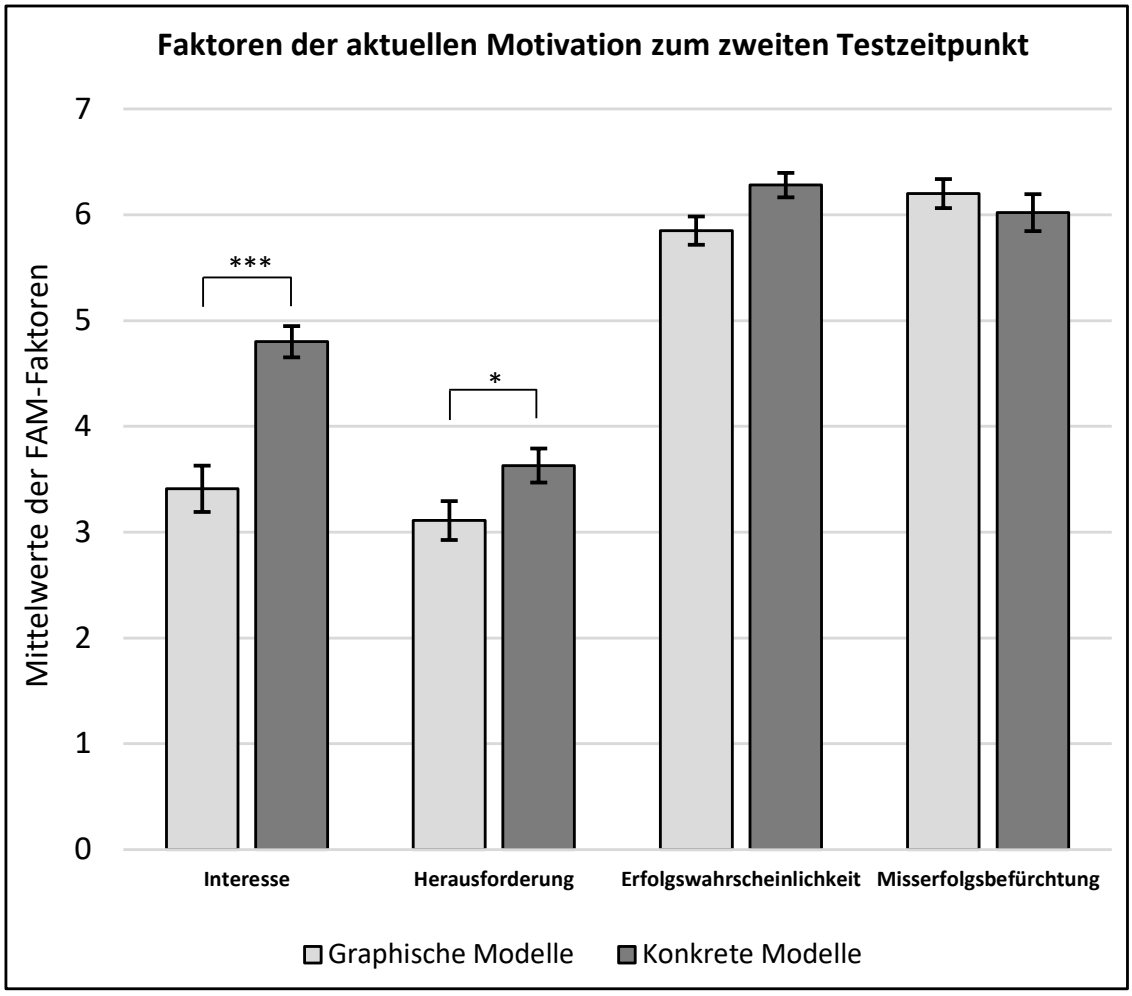


Abb. 43: Populationsmittelwertunterschiede zwischen den FAM-Faktoren bei der Verwendung von graphischen und konkreten Modellen zum zweiten Testzeitpunkt mit Signifikanzunterschieden und Standardfehlern (eigene Darstellung)

Bei der Variablen ‚Herausforderung' zeigt der t-Test für unabhängige Stichproben für den zweiten Testzeitpunkt einen statistisch signifikanten Unterschied an, t (93)= –2.19, p = .031 (siehe Abbildung 43). Die Berechnung von Cohen's d = 0.45 ergibt einen kleinen Effekt. Die Teststärke beträgt nach G*Power .57, so dass mit 57,95 %iger Wahrscheinlichkeit der gefundene Effekt (d = 0.45) durch den Test wiedergegeben wird. Für eine 80 %ige Wahrscheinlichkeit hätten an der Studie in jeder Interventionsgruppe n = 80 Probanden teilnehmen müssen.

Bei der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Experimental- und Vergleichsgruppe, t (91) = –1.67, p = .099 festgestellt werden (siehe Abbildung 43). Abschließend konnte auch bei der Variablen ‚Misserfolgsbefürchtung' kein statistisch signifikanter Unterschied, t (90)= 0.86, p = .391 (siehe Abbildung 43) nachgewiesen werden.

5.6.3 Ergänzende Ergebnisse: Veränderung der Motivationsfaktoren vom ersten zum zweiten Einsatz der Modelle

Um die Veränderung der Motivationsfaktoren innerhalb der Experimental- und Vergleichsgruppe aufzuzeigen, werden im Folgenden t-Tests für abhängige Stichproben eingesetzt. Die t-Tests setzen voraus, dass es sich um normalverteilte Daten handelt und zwischen den Messwertpaaren keine systematischen Abhängigkeiten vorhanden sind (EID et al. 2010, S. 350f.). Wie bei den vorherigen t-Tests für unabhängige Stichproben kann auch hier aufgrund der Stichprobengröße n > 30 von einer Normalverteilung ausgegangen werden (RASCH et al. 2014A, S. 69; FIELD 2018, S. 235). Da die Schüler randomisiert den Interventionsgruppen zugeteilt wurden, kann zudem angenommen werden, dass keine systematischen Abhängigkeiten zwischen den Schülern vorhanden sind.
Wie in Abbildung 44 deutlich wird, verändern sich von t_1 zu t_2 die Mittelwerte der Faktoren ‚Herausforderung' und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit'.

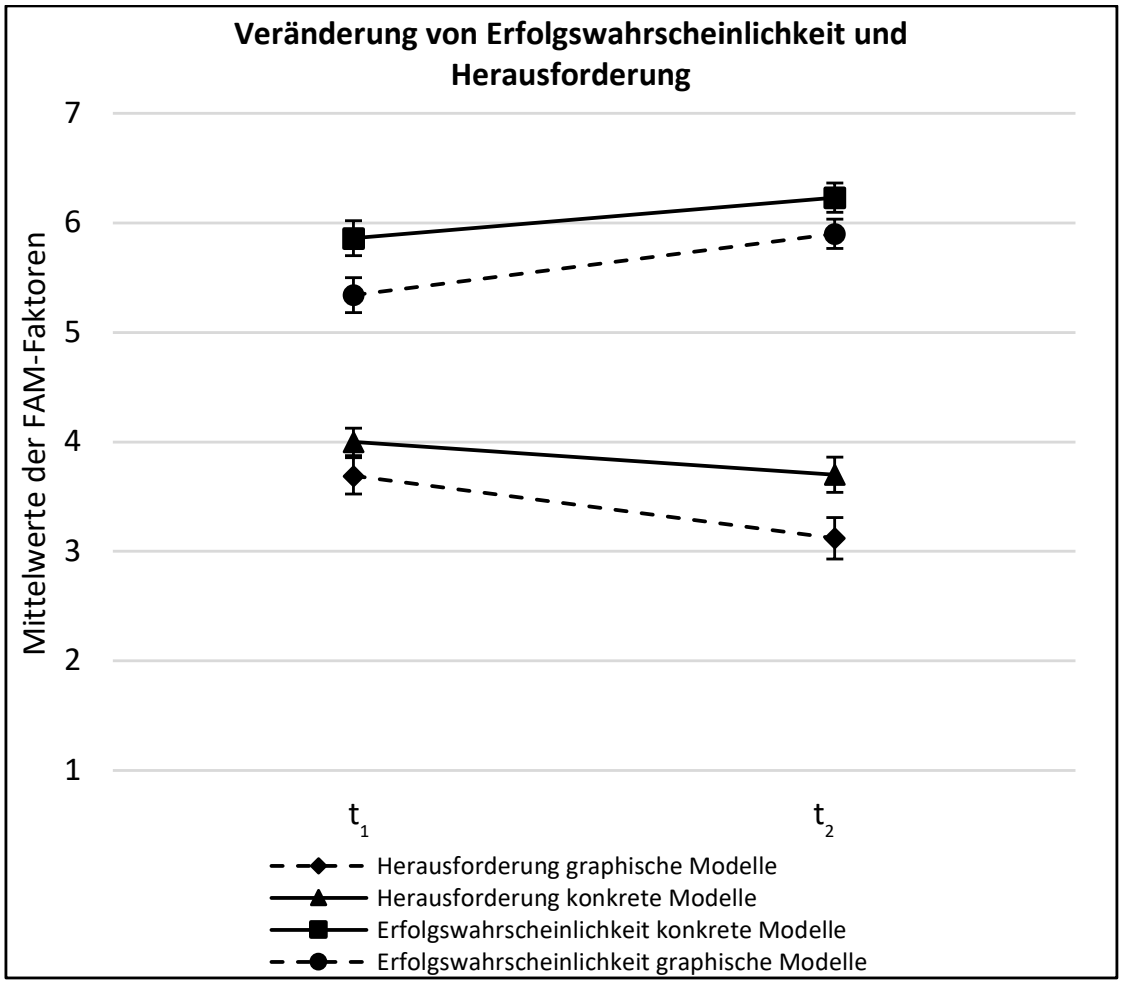


Abb. 44: Veränderung der Mittelwerte der FAM-Faktoren ‚Herausforderung' und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' beim ersten und zweiten Einsatz der graphischen und konkreten Modelle mit Standardfehler (eigene Darstellung)

Die Einschätzung des Faktors ‚Herausforderung' in der Experimentalgruppe besitzt dem t-Test für abhängige Stichproben zufolge eine statistisch signifikante Abnahme, t (47) = 2.16, p = .036. Die Berechnung von Cohen's d für abhängige Stichproben (d = $\frac{M}{SD}$) ergibt einen Wert von d = 0.31 (kleiner Effekt). Der gefundene Effekt (d = 0.31) besitzt nach G*Power eine Teststärke von .56. Damit gibt der Test mit 56,19 %iger Wahrscheinlichkeit den gefundenen Effekt (d = 0.31) wieder. Um eine 80 %ige Wahrscheinlichkeit zu erreichen, hätten in der Gruppe insgesamt 83 Probanden teilnehmen müssen.
Der Faktor ‚Herausforderung' sinkt in der Vergleichsgruppe, von t_1 zu t_2, ebenfalls statistisch signifikant, t (44) = 3.92, p < .001. Dabei handelt es sich nach Cohen's d = 0.59 um einen mittleren Effekt, der eine Teststärke von 0.97 besitzt. Es kann daher mit 97,19 %iger Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der Test den gefundenen Effekt (d = 0.59) wiedergibt.

Die Einschätzung der Schüler der Vergleichsgruppe zur ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' steigt von t_1 zu t_2 statistisch signifikant, $t(44) = -3.84$, $p < .001$. Die Effektstärke beträgt nach Cohen's $d = 0.58$ (mittlerer Effekt). Dieser mittlere Effekt besitzt eine Teststärke von 0.96. Mit 96,4 %iger Wahrscheinlichkeit beschreibt der Test daher den gefundenen Effekt ($d = 0.58$). Auch die Einschätzung der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' in der Experimentalgruppe steigt beim erneuten Einsatz der Modelle statistisch signifikant, $t(44) = -2.36$, $p = .023$. Hier handelt es sich jedoch nur um eine Effektstärke von Cohen's $d = 0.36$ (kleiner Effekt). Der Effekt besitzt dementsprechend eine geringere Teststärke von 0.65. Der Test gibt den Effekt daher mit einer 64,59 %igen Wahrscheinlichkeit wieder. Um die für diese Studie festgelegten 80 % zu erreichen, wäre eine Stichprobengröße von $n = 63$ in der Experimentalgruppe erforderlich gewesen. Abbildung 45 macht deutlich, dass sich auch die Einschätzung der Schüler zu den Variablen ‚Interesse' und ‚Misserfolgsbefürchtung' beim erneuten Einsatz der Modelle verändert.

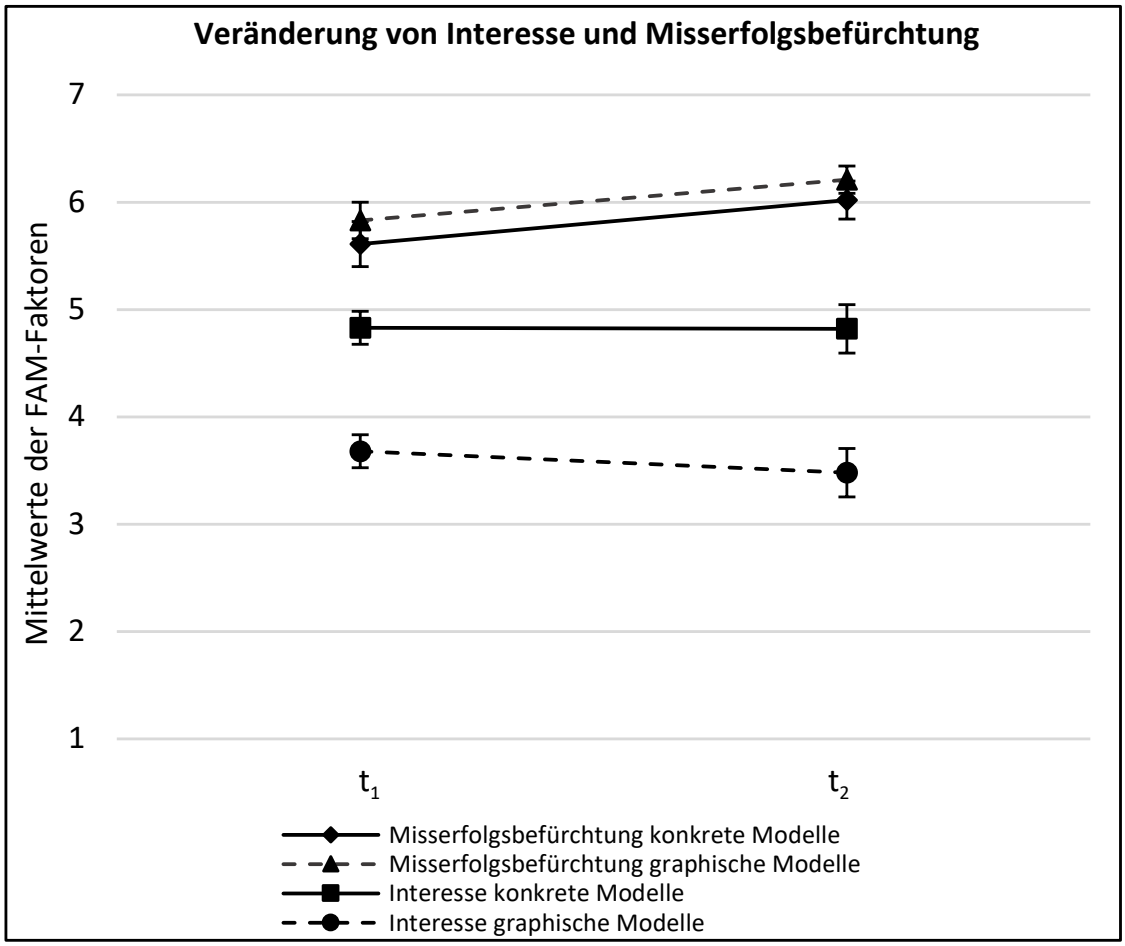


Abb. 45: Veränderung der Mittelwerte der FAM-Faktoren ‚Misserfolgsbefürchtung' und ‚Interesse' beim ersten und zweiten Einsatz der graphischen und konkreten Modelle mit Standardfehler (eigene Darstellung)

Für den Faktor ‚Misserfolgsbefürchtung' kann, für die Vergleichsgruppe, eine statistisch signifikante Zunahme nachgewiesen werden, t (45) = 3.26, p = .002. Die Effektstärke der Veränderung beträgt nach Cohen's d = 0.49 (kleiner Effekt). Die entsprechende Teststärke zum Effekt (d = 0.49) liegt bei 0.89, so dass mit einer 88,9 %igen Wahrscheinlichkeit durch den Test der entsprechende Effekt wiedergegeben wird. Bei den konkreten Modellen zeigte sich bei der Einschätzung der ‚Misserfolgsbefürchtung' seitens der Schüler eine statistisch signifikante Zunahme von t (45) = 2.63, p = .012. Nach Cohen's bedeutet dies, dass es sich um einen kleinen Effekt (d = 0.4) handelt. Der Effekt (d = 0.4) besitzt eine Teststärke von .73, so dass der Test mit einer Wahrscheinlichkeit von 72,53 % den gefundenen Effekt (d = 0.4) beschreibt. Für einen Wert von 80 % hätten in der Experimentallgruppe n = 52 Probanden teilnehmen müssen.
Während sich der Faktor ‚Misserfolgsbefürchtung' sowohl bei den graphischen als

auch bei den konkreten Modellen beim erneuten Einsatz der Modelle statistisch signifikant verändert, kann beim Faktor ‚Interesse' sowohl in der Vergleichsgruppe ($t(44) = 1.30$, $p = .175$) als auch in der Experimentalgruppe ($t(47) = –0.07$, $p = .947$) keine statistisch signifikante Veränderung festgestellt werden.

5.6.4 Ergänzende Ergebnisse: Zusammenhang zwischen den Motivationsfaktoren und Systemorganisation und Systemverhalten

Wie in Kapitel 4.5.1 dargelegt, soll im Folgenden untersucht werden, inwiefern die FAM-Faktoren mit den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' korrelieren. Dabei wird mit der Spearman-Korrelation ein Verfahren eingesetzt, welches sowohl bei ordinalskalierten Variablen als auch intervallskalierten Variablen eingesetzt werden kann (vgl. RASCH et al. 2014B, S. 96f.). Da die Spearman-Korrelation zudem keine lineare Korrelation verlangt (vgl. FIELD 2018, S. 351f.), kann das Verfahren ohne Verletztung der Voraussetzungen eingesetzt werden. Die Ergebnisse werden in Tabelle 22 zusammengefasst und signifikante Ergebnisse mit einem * gekennzeichnet.

Tab. 22: Punktbiseriale Korrelation nach Spearman zwischen motivationalen Faktoren und ‚Fragebogen' sowie ‚Scoringsystem' zum Pre-, Post- und Follow-up-Zeitpunkt (eigene Darstellung)

	Fragebogen Pretest	Scoringsystem Pretest	Fragebogen Posttest	Scoringsystem Posttest	Fragebogen Follow-up-Test	Scoringsystem Follow-up-Test

Interesse t_1	r = 0.10;
	p = .344;
	n = 92
		r = 0.11;
		p = .315;
		n = 92
			r = 0.07;
			p = .534;
			n = 92
				r = 0.19;
				p = .065;
				n = 92
					r = 0.05;
					p = .610;
					n = 92
						r = 0.03;
						p = .805;
						n = 92

Heraus-forderung t_1	r = 0.07;
	p = .493;
	n = 93
		r = 0.04;
		p = .727;
		n = 93
			r = 0.04;
			p = .672;
			n = 93
				r = 0.09;
				p = .412;
				n = 93
					r = 0.10;
					p = .325;
					n = 93
						r = 0.14;
						p = .189;
						n = 93

Erfolgswahr-scheinlichkeit t_1	r = 0.11;
	p = .305;
	n = 89
		r = 0.05;
		p = .616;
		n = 89
			r = 0.10;
			p = .339;
			n = 89
				r = 0.02;
				p = .836;
				n = 89
					r = 0.11;
					p = .314;
					n = 89
						r = –0.08;
						p = .474;
						n = 89

Misserfolgs-befürchtung t_1	r = 0.01;
	p = .915;
	n = 93
		r = –0.02;
		p = .860;
		n = 93
			r = –0.19;
			p = .067;
			n = 93
				r = 0.004;
				p = .968;
				n = 93
					r = –0.09;
					p = .381;
					n = 93
						r = 0.03;
						p = .750;
						n = 93

Interesse t_2	r = 0.18;
	p = .085;
	n = 94
		r = 0.05;
		p = .661;
		n = 94
			r = 0.10;
			p = .350;
			n = 94
				r = 0.19;
				p = .075;
				n = 94
					r = 0.04;
					p = .701;
					n = 94
						r = 0.07;
						p = .523;
						n = 94

Heraus-forderung t_2	r = 0.03;
	p = .770;
	n = 95
		r = 0.06;
		p = .587;
		n = 95
			r = –0.02;
			p = .852;
			n = 95
				r = 0.14;
				p = .179;
				n = 95
					r = –0.04;
					p = .706;
					n = 95
						r = 0.09;
						p = .377;
						n = 95

Erfolgswahr-scheinlichkeit t_2	r = 0.08;
	p = .459;
	n = 93
		r = –0.06;
		p = .545;
		n = 93
			r = 0.01;
			p = .934;
			n = 93
				r = –0.14;
				p = .182;
				n = 93
					r = –0.07;
					p = .494;
					n = 93
						r = –0.24*;
						p = .020;
						n = 93

Misserfolgs-befürchtung t_2	r = 0.01;
	p = .924;
	n = 92
		r = 0.13;
		p = .210;
		n = 92
			r = –0.12;
			p = .273;
			n = 92
				r = 0.15;
				p = .147;
				n = 92
					r = 0.003;
					p = .978;
					n = 92
						r = 0.11;
						p = .278;
						n = 92

Anhand der Tabelle 22 wird deutlich, dass lediglich die Erfolgswahrscheinlichkeit zum zweiten Testzeitpunkt mit dem Scoringsystem im Follow-up-Test negativ korreliert, r = –0.24; p = .020; n = 93 (schwache Korrelation nach COHEN 1988, S. 79f.). Um eine gemittelte Korrelation der Motivationsfaktoren zum systemischen Denken zu berechnen, wird hier die Fisher Z-Transformation, da diese auch für Rangkorrelationen herangezogen werden kann (RASCH et al. 2014B, S. 87), angewendet. Die gemittelte Korrelation der Motivationsfaktoren zum ‚Fragebogen' beträgt nach der Fisher Z-Transformation für das ‚Interesse t_1' $\bar{r}$ = 0.073, für die ‚Herausforderung t_1' $\bar{r}$ = 0.07, für die ‚Erfolgswahrscheinlichkeit t_1' $\bar{r}$ = 0.106 und für die ‚Misserfolgsbefürchtung t_1' $\bar{r}$ = –0.067. Hinsichtlich des ‚Scoringsystem' ergab sich für die Motivationsfaktoren nach der Fisher Z-Transformation ein Zusammenhang von $\bar{r}$ = 0.112 (Interesse t_1), $\bar{r}$ = 0.090 (Herausforderung t_1), $\bar{r}$ = 0.003 (Erfolgswahrscheinlichkeit t_1) und $\bar{r}$ = 0.005 (Misserfolgsbefürchtung t_1).
Für den zweiten Testzeitpunkt zeigte die gemittelte Korrelation nach der Fisher Z-Transformation eine Korrelation der Motivationsfaktoren zum ‚Fragebogen' von $\bar{r}$ = 0.107 (Interesse t_2), $\bar{r}$ = –0.01 (Herausforderung t_2), $\bar{r}$ = 0.006 (Erfolgswahrscheinlichkeit t_2) und $\bar{r}$ = –0.036 für die Misserfolgsbefürchtung (t_2) an. Zum ‚Scoringsystem' konnte nach der Fisher Z-Transformation ein gemittelter Zusammenhang der Motivationsfaktoren von $\bar{r}$ = 0.104 (Interesse t_2), $\bar{r}$ = 0.096 (Herausforderung t_2), $\bar{r}$ = –0.149 (Erfolgswahrscheinlichkeit t_2) und $\bar{r}$ = 0.131 (Misserfolgsbefürchtung t_2) nachgewiesen werden.

5.7 Ergänzende Ergebnisse: Zusammenhang zwischen Systemorganisation und Systemverhalten und anderen Variablen

In diesem Kapitel soll untersucht werden, welche weiteren Variablen Einfluss auf die Systemorganisiation bzw. das Systemverhalten besitzen, insbesondere, inwiefern signifikante Unterschiede im systemischen Denken in der unabhängigen Variablen ‚Geschlecht' vorzufinden sind. Zur Untersuchung soll ein t-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt werden, dessen Voraussetzung der Intervallskalierung, Unabhängigkeit der Stichproben und Normalverteilung, als gegeben angesehen werden können (SEDLMEIER, RENKEWITZ 2008, S. 407). Auch die Varianzgleichheit in den Populationen wurde mit Hilfe des Levene-Test für die Variable ‚Fragebogen' (p_{t1} = .087; p_{t2} = .490; p_{t3} = .568) und ‚Scoringsystem' (p_{t1} = .985; p_{t2} = .123; p_{t3} = .804) überprüft und kann aufgrund des nicht signifikanten Ergebnisses als gegeben angesehen werden. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigte für die Variable ‚Fragebogen' im Pretest (p = .525), Posttest (p = .377) und Follow-up-Test (p = .594) keine signifikanten Unterschiede. Auch bei der Variablen ‚Scoringsystem' konnten im Pretest (p = .727), Posttest (p = .182) und Follow-up-Test (p = .651) keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die Korrelation der Schulnoten mit den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' erfolgt über den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (vgl. RASCH et al. 2014B, S. 96f.). Dabei wird eine einseitige Korrelation durchgeführt, da davon ausgegangen werden kann, dass sich bessere Schulnoten positiv auf das systemische Denken auswirken. Die Ergebnisse werden zwecks Übersichtlichkeit in Tabelle 23 zusammengefasst und signifikante Ergebnisse mit einem * gekennzeichnet.

Tab. 23: Punktbiseriale Korrelation nach Spearman zwischen Schulnoten und ‚Fragebogen' sowie ‚Scoringsystem' zum Pre-, Post- und Follow-up-Zeitpunkt (eigene Darstellung)

	Fragebogen Pretest	**Scoringsystem Pretest**	**Fragebogen Posttest**	**Scoringsystem Posttest**	**Fragebogen Follow-up-Test**	**Scoringsystem Follow-up-Test**
Mathematiknote	r = 0.50; p = .301; n = 111	r = –0.13; p = .091; n = 111	r = –0.10; p = .144; n = 111	r = –0.20*; p = .016; n = 111	r = –0.03; p = .394; n = 111	r = –0.13; p = .091; n = 111
Deutschnote	r = –0.17*; p = .036; n = 110	r = –0.01; p = .460; n = 110	r = –0.02; p = .427; n = 110	r = –0.03; p = .372; n = 110	r = –0.01; p = .475; n = 110	r = –0.09; p = .177; n = 110
Biologienote	r = –0.10; p = .152; n = 110	r = 0.03; p = .382; n = 110	r = –0.08; p = .216; n = 110	r = –0.01; p = .465; n = 110	r = –0.05; p = .316; n = 110	r = 0.04; p = .329; n = 110
Erdkundenote	r = –0.15; p = .061; n = 109	r = –0.20*; p = .017; n = 109	r = –0.08; p = .217; n = 109	r = –0.13; p = .088; n = 109	r = –0.12; p = .118; n = 109	r = –0.08; p = .203; n = 109

Die Tabelle 23 macht deutlich, dass drei signifikante Korrelationen vorhanden sind. So korreliert nach Spearman die ‚Mathematiknote' mit dem ‚Scoringsystem' im Posttest, r = –0.20; p = .016; n = 111 (schwache Korrelation nach COHEN 1988, S. 79f.). Dies bedeutet eine Teststärke von .70, so dass mit 70,43 %iger Wahrscheinlichkeit der Signifikanztest den gefundenen Effekt (r = –0.20) darstellt. Um eine, wie in dieser Arbeit geforderte, Teststärke von 80 % zu erhalten, wäre eine Gesamtstichprobengröße von n = 144 notwendig gewesen. Die ‚Deutschnote' korreliert hingegen mit dem ‚Fragebogen' zum Zeitpunkt des Pretestes, r = –0.17; p = .036; n = 110 (schwache Korrelation). Dem Effekt (r = –0.17) kann eine Teststärke von .57 zugesprochen werden. Dementsprechend gibt der Signifikanztest mit einer Wahrscheinlichkeit von 57,69 % den Effekt (r = –0.17) wieder. Für eine ausreichende Teststärke von 80 % hätten nach G*Power insgesamt 202

Probanden die Intervention durchlaufen müssen. Zudem korreliert die ‚Erdkundenote' mit dem ‚Scoringsystem' im Pretest, r = –0.20; p = .017; n = 109 (schwache Korrelation). Hier kann eine Teststärk von .69 ermittelt werden. Der Signifikanztest, der eine Korrelation zwischen der Erdkundenote und der Variablen ‚Scoringsystem' ermittelt hat, gibt diesen Effekt (r = –0.20) mit einer Wahrscheinlichkeit von 69,65 % wieder. Die Stichprobengröße hätte einen Umfang von n = 147 haben müssen, damit der Effekt eine ausreichende Teststärke von 80 % besitzt.

6 Diskussion

In der folgenden Diskussion sollen die in Kapitel 5 dargestellten Ergebnisse in einen Forschungskontext gesetzt und diskutiert werden. Dabei findet in der Gliederung die Orientierung an den Fragestellungen und Hypothesen der Arbeit (Übersicht in Kapitel 3) statt. Anschließend an die Forschungsfragen soll eine Diskussion der Methodik und weiterer Ergebnisse der Arbeit erfolgen. Für die Diskussion soll zudem, wenn notwendig, auf die Gütekriterien der jeweiligen Messinstrumente zurückgegriffen werden. Im Folgenden kann, wenn nicht anders berichtet, von einer ausreichenden Teststärke ($1 - \beta > 80\ \%$) ausgegangen werden.

6.1 Förderung von Systemorganisation und Systemverhalten durch die Intervention

Mit Hilfe von objektiven, validen und reliablen Testinstrumenten (Fragebogen und Concept Map) wurde in der ersten Fragestellung untersucht, ob in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nach der modellzentrierten Intervention ein statistisch signifikant stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorgansisation und Systemverhalten' im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisbar ist.

Hypothese 1: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) ist nach der modellzentrierten Intervention ein statistisch signifikant stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisbar.

Basierend auf vergleichbaren Ausgangsbedingungen der verschiedenen Gruppen (Kapitel 5.1) konnte durch den Fragebogen in Kapitel 5.2 aufgezeigt werden, dass die Interventionsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe einen statistisch signifikanten Zugewinn ($p < .001$) in der Systemorganisation und dem Systemverhalten verzeichnen. Dabei handelt es sich um einen mittleren Effekt ($\eta_p^2 = 0.10$). Dieses Ergebnis wird durch die Concept Map bestätigt, dessen Scoringsystem den Interventionsgruppen, im Vergleich zur Kontrollgruppe, ebenfalls einen statistisch signifikanten Zugewinn ($p = .038$) mit einem kleinen Effekt ($\eta_p^2 = 0.04$) besitzt. Der im Vergleich zum Fragebogen kleinere Effekt des Scoringsystems kann auf den Anstieg der Mittelwerte des Scoringsystems in der Kontrollgruppe, von $M = 6.58$ auf $M = 7.94$, zurückgeführt werden, da dadurch die Kontrastanalyse, welche die Entwicklung der Experimental- und Vergleichsgruppe mit der Kontrollgruppe in Beziehung setzt, beeinträchtigt wird. Da der geringe Anstieg des Scorinsystems in der Kontrollgruppe nicht durch ein Treatment seitens der Interventionsstudie erklärt werden kann, wurde Rücksprache mit der zugehörigen Lehrkraft gehalten. Nach

Rückfrage seitens der Lehrkraft in der Schule zeigte sich, dass der geringe Anstieg vermutlich auf die Behandlung einer anderen Thematik im Unterrichtsfach Biologie während des Erhebungszeitraumes, in welcher ebenfalls mit Concept Maps gearbeitet wurde, zurückzuführen ist. In diesem Zusammenhang legen bspw. JAHN et al. (2015, S. 345) zu Recht dar, dass die Vertrautheit mit der Methode einen Einfluss auf das Ergebnis besitzt. Zudem weisen FANTA et al. (2019, S. 13), bei denen in der Kontrollgruppe ebenfalls ein leichter Anstieg verzeichnet wurde, ebenfalls daraufhin, dass von einem Lerneffekt beim Bearbeiten der Aufgabenitems ausgegangen werden kann. Dies würde auch den sehr geringen Anstieg der Kontrollgruppe beim Fragebogen, von M = 16.94 auf M = 19.41, erklären.

Ergebnis H1: Die erste Hypothese kann aufgrund der Kontrastanalyse sowohl durch den Fragebogen als auch durch die Concept Map bestätigt werden.

Durch die Ergebnisse werden verschiedene theoretische Annahmen in der Geographiedidaktik gestützt, die davon ausgehen, dass der Einsatz von Modellen einen Beitrag zur Förderung der Systemkompetenz leisten kann (KÖCK 1995, S. 270; WIKTORIN 2013, S. 4; BROCKMÜLLER et al. 2016, S. 52). Hier zeigte sich, dass die Auswahl des in der Studie eingesetzten ‚Stormwater Floodplain Simulation System' und der graphischen Modelle sinnvoll für die Intervention war, da verschiedenste in der Realität nicht einfach zu greifende Gesetzmäßigkeiten, wie z. B. die unterschiedliche Versickerungsrate bei verschiedenen Bodeneinsätzen, besser veranschaulicht werden können. Zudem können die Ergebnisse dieser Studie mehrere andere Studien empirisch stützen (KLIEME, MAICHLE 1994; OSSIMITZ 2000; BEN-ZVI-ASSARAF, ORION 2005; HLAWATSCH et al. 2005; BROCKMÜLLER 2019), die deutlich gemacht haben, dass systemisches Denken in der Sekundarstufe II gefördert werden kann. Als einzige empirische Arbeit, die die Förderung der Systemkompetenz durch Modelle untersucht, muss zudem die Studie von BROCKMÜLLER (2019) herangezogen werden. Dabei kann über alle Interventionsgruppen hinweg ein statistisch signifikanter Zugewinn ($\eta_p^2 = 0.13$) der Dimension 2 (Systemmodellierungsfähigkeit) erreicht werden (BROCKMÜLLER 2019, S. 118f.). Der gefundene Effekt ($\eta_p^2 = 0.13$) deckt sich stark mit dem durch den Fragebogen in dieser Studie gefundenen Effekt ($\eta_p^2 = 0.10$), ist jedoch größer als der vom Scoringsystem dargestellte Effekt ($\eta_p^2 = 0.04$), was eventuell durch die Thematik der Intervention, unterschiedlich große Lerngruppen, den angesprochenen leichten Anstieg der Kontrollgruppe oder die verschiedenen Testinstrumente zu erklären ist.
Einschränkend zu den Ergebnissen der Studie legen BOLLMANN-ZUBERBÜHLER und KUNZ (2008, S. 52) dar, dass die Förderung des systemischen Denkens „vom domänenspezifischen Wissen und der thematischen Situierung der Inhalte im Unterricht" abhängig ist. Daher sollte, auch wenn Hypothese 1 für die vorliegende Studie

bestätigt werden kann, ein Transfer auf andere Modelle und Inhalte nicht ohne Weiteres vorgenommen werden.

6.2 Unterschiede zwischen graphischen und konkreten Modellen bei der Förderung von Systemorganisation und Systemverhalten

Hypothese 2: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) ist vom Pre- zum Posttest ein stärkerer Anstieg der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar.

Die Kontrastanalyse ergab für den Fragebogen keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p = .067$, $\eta_p^2 = .03$) in der Entwicklung der Experimental- und Vergleichsgruppe von t_1 zu t_2. Auch das Scoringsystem zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p = .541$, $\eta_p^2 = .003$) auf und stützt damit das Ergebnis des Fragebogens. Die a posteriori durchgeführte Analyse mit G*Power macht zudem deutlich, dass für den Fragebogen ein Gesamtstichprobenwert von n = 218 notwendig gewesen wäre, um für den gefundenen Effekt ($\eta_p^2 = .03$) einen signifikanten Unterschied festzustellen. Die Veränderung der Mittelwerte von t_1 zu t_2 für die Experimentalgruppe (+ 6,19) und die Vergleichsgruppe (+8,11) zeigen jedoch deutlich, dass bei erhöhtem Gesamtstichprobenwert der signifikante Effekt einen stärkeren Anstieg der Systemorganisation und des Systemverhaltens bei den graphischen Modellen angezeigt hätte.

Ergebnis H2: Aufgrund des nicht signifikanten Effektes kann Hypothese 2, dass der Zugewinn der Systemorganisation und des Systemverhaltens bei der Experimentalgruppe stärker als bei der Vergleichsgruppe ansteigt, nicht bestätigt werden.

Mögliche Gründe für die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert. Als zentrale Argumente für eine stärkere Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens bei der Verwendung von konkreten Modellen wurden Studien zu deren besseren Manipulation (DORI, BARAK 2001; SCHÖNBORN et al. 2011; STULL und HEGARTY 2015; STULL et al. 2016), der Visualisierung von nicht sichtbaren Vorgängen (KRISTEN et al. 2016) und der kognitiven Erleichterung durch eine dreidimensionale Betrachtung (MOHAMED-SALAH, ALAIN 2016; KONG et al. 2016) dargelegt. Dem stehen mit COPOLO und HOUNSHELL (1995) und ABRAHAM et al. (2010) zwei Studien aus der Chemie gegenüber, die keine signifikanten Unterschiede zwischen graphischen und konkreten Modellen feststellen konnten.
Die Studie von FERK et al. (2003) konnte, in ihrer nach Alter differenzierenden Studie, die Bedeutung des haptischen Handelns für die Grundschule nachweisen. In

der Oberstufe und der Universität veränderte sich der Kompetenzzuwachs jedoch zugunsten der Anwendung graphischer Darstellungen. Da die Studien, welche keinen signifikanten Unterschied feststellen konnten ebenfalls mit Oberstufenschülern (COPOLO, HOUNSHELL 1995, S. 298) bzw. Studierenden aus dem ersten Semester (ABRAHAM et al. 2010, S. 1426) durchgeführt wurden, kann das Alter der Probanden als eine mögliche Erklärung herangezogen werden. Wie in Kapitel 4.2 dargelegt wurde, besteht in der Gesamtstichprobe ein Altersdurchschnitt von M = 15.53 (.697). KÖCK und REMPFLER (2004, S. 104) zeigen anhand von entwicklungspsychologischen Ergebnissen von u. a. PIAGET und INHELDER (1977) auf, dass die Entwicklung des ‚formalen Denkens' eine zentrale Bedeutung für das abstrakte, vom Konkreten gelöste Denken besitzt. Die Grundzüge des ‚formalen Denkens' entwickeln sich bis zum 11.–12. Lebensjahr und erreichen mit 14–15 Lebensjahren einen Zustand des Gleichgewichts. Um den Prozess des ‚formalen Denkens' zu beschreiben, zitieren KÖCK und REMPFLER (2004, S. 109) NAISH (1982, S. 46): „As formal operations develop, the students becomes able to consider theoretical space, mentally abstracted from concrete particulars."

Eng verknüpft mit der Entwicklung des ‚formalen Denken' ist zudem die geographische Fähigkeit des räumlichen Denkens[8], welche sich bis zum 12.–14. Lebensjahr bereits bis zu 80 %, im Vergleich zu Leistungen von Erwachsenen, ausgebildet hat. Komplexe Repräsentationsweisen wie symbolische Darstellungen, Überblicksdarstellungen und koordinierte Darstellungen können demnach ab der ‚formalen Phase' von Schülern verwendet werden (KÖCK, REMPFLER 2004, S. 109). Da in der vorliegenden Studie aufgrund des Altersdurchschnittes der Probanden davon ausgegangen werden kann, dass das ‚formale Denken' bei den Probanden bereits voll entwickelt ist, kann dies als eine mögliche Erklärung für den Erfolg der abstrakten graphischen Modelle herangezogen werden. Dementsprechend muss für die Ergebnisse der Studie einschränkend deutlich gemacht werden, dass diese lediglich auf die Jahrgangsstufe EF bezogen werden können. Bei einer ähnlichen Interventionsstudie bis einschließlich der 5. Jahrgangsstufe kann hingegen, aufgrund des nicht ausgebildeten ‚formalen Denkens', von einem Vorteil für die visuell detaillierteren und näher an der Realität angelegten konkreten Modelle ausgegangen werden. Als logische methodische Schlussfolgerung empfehlen daher auch KÖCK und REMPFLER (2004, S. 136) bei jüngeren Schülern anschaulichere und realistischere Visualisierungen von Inhalten vorzunehmen.

[8] Es sei darauf hingewiesen, dass KÖCK und REMPFLER (2004, S. 109) sich aufgrund fehlender geographiedidaktischer Studien auf Erkenntnisse der Entwicklungspsychologie und damit auf ein Raumverständnis der Psychologie beziehen. Für die Geographie wird jedoch von einem komplexeren und aufgrund der nicht unmittelbaren Beobachtung, trotz des konkret empirischen Gehaltes, von einem abstrakteren Raumverständnis ausgegangen (KÖCK, REMPFLER 2004, S. 126).

COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 299f.) stellen zudem heraus, dass für die Interventionsstudie nicht nur entscheidend ist, ob die Intervention mit graphischen oder konkreten Modellen stattfindet, sondern, dass auch die Darstellungsform (konkret oder graphisch) des Testformates Einfluss auf die Ergebnisse besitzt. In ihrer Studie machen COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 300f.) deutlich, dass durch die spätere Prüfung in einem graphischen Testformat, graphische gegenüber konkreten Modellen Vorteile besitzen. Dies deutet darauf hin, dass der inhaltliche Transfer der in einem konkreten Modell gewonnen Erkenntnisse in eine graphische Form den Probanden Probleme bereitet. Gestützt wird dies durch Erkenntnisse von MOHAMED-SALAH und ALAIN (2016, S. 874), die aufzeigen konnten, dass Schüler große Probleme damit haben, sich graphische Modelle dreidimensional vorzustellen. Da in der vorliegenden Studie mit dem Fragebogen und der Concept Map graphische Darstellungsformen eingesetzt wurden, besteht die Möglichkeit, dass seitens der Experimentalgruppe zusätzliche kognitive Anstrengungen notwendig waren. Es muss daher einschränkend deutlich gemacht werden, dass nicht überprüft wurde, inwiefern die Schüler der Vergleichsgruppe ihren Lernzuwachs auf konkrete Modelle übertragen konnten. Es kann zudem vermutet werden, dass die Schüler, die mit konkreten Modellen arbeiteten, zwischen realen Hochwasserereignissen und den am Modell gewonnenen Erkenntnissen aufgrund des höheren Realitätsbezuges des konkreten Modelles die Zusammenhänge besser herstellen können.
Die haptische Tätigkeit bei den konkreten Modellen stellt einen weiteren zentralen Unterschied zwischen den Interventionsgruppen dar. Die verschiedenen haptischen Handlungen und kognitiven Anstregungen an dem neuen konkreten Modell können bei den Schülern eine erhöhte wahrgenommene Komplexität ausgelöst haben, welche von Lernpsychologen auch als „Overload“ bezeichnet wird (vgl. SWELLER 1988; WEIDENMANN 2006). Dazu legt WEIDENMANN (2006, S. 440) dar, dass Medien, die eine schnelle Abfolge von Reizen auf die Rezipienten ausüben, „die Ressourcen der Lernenden von den aufgabenbezogenen Inhalten und Problemen ab[lenken], anstatt sie darauf zu konzentrieren. Die Folge solcher Überforderung ist eine geringe Verarbeitungstiefe.“ Das die reduzierte Komplexität einen zentralen Vorteil bei der Vermittlung von Systemorganisation und Systemverhalten ausmacht, legt bspw. WIKTORIN (2013, S. 4) dar: „dass es zu einer Veranschaulichung komplexer Sachverhalte und gerade systemischer Zusammenhänge notwendig ist, die Komplexität gegenüber dem Bezugssystem zu reduzieren, d.h. auf deren entscheidende Merkmale zu verkürzen bzw. zu vereinfachen.“ Es kann also vermutet werden, dass trotz gleicher Inhalte der graphischen und konkreten Modelle, die zentralen systemischen Zusammenhänge, aufgrund der kognitiven Reduzierung auf das Wesentliche, in den graphischen Modellen optimaler vermittelt werden konnten.
Die erhöhte wahrgenommene Komplexität der Lernhandlung bei den konkreten Modellen könnte zusätzlich dadurch unterstützt worden sein, dass den Probanden

die Arbeit mit graphischen Modellen im Erdkundeunterricht bereits bekannt war, während die Arbeit mit konkreten Modellen für die Probanden eine seltene oder sogar gänzlich neue Erfahrung darstellte (siehe Abbildung 46).

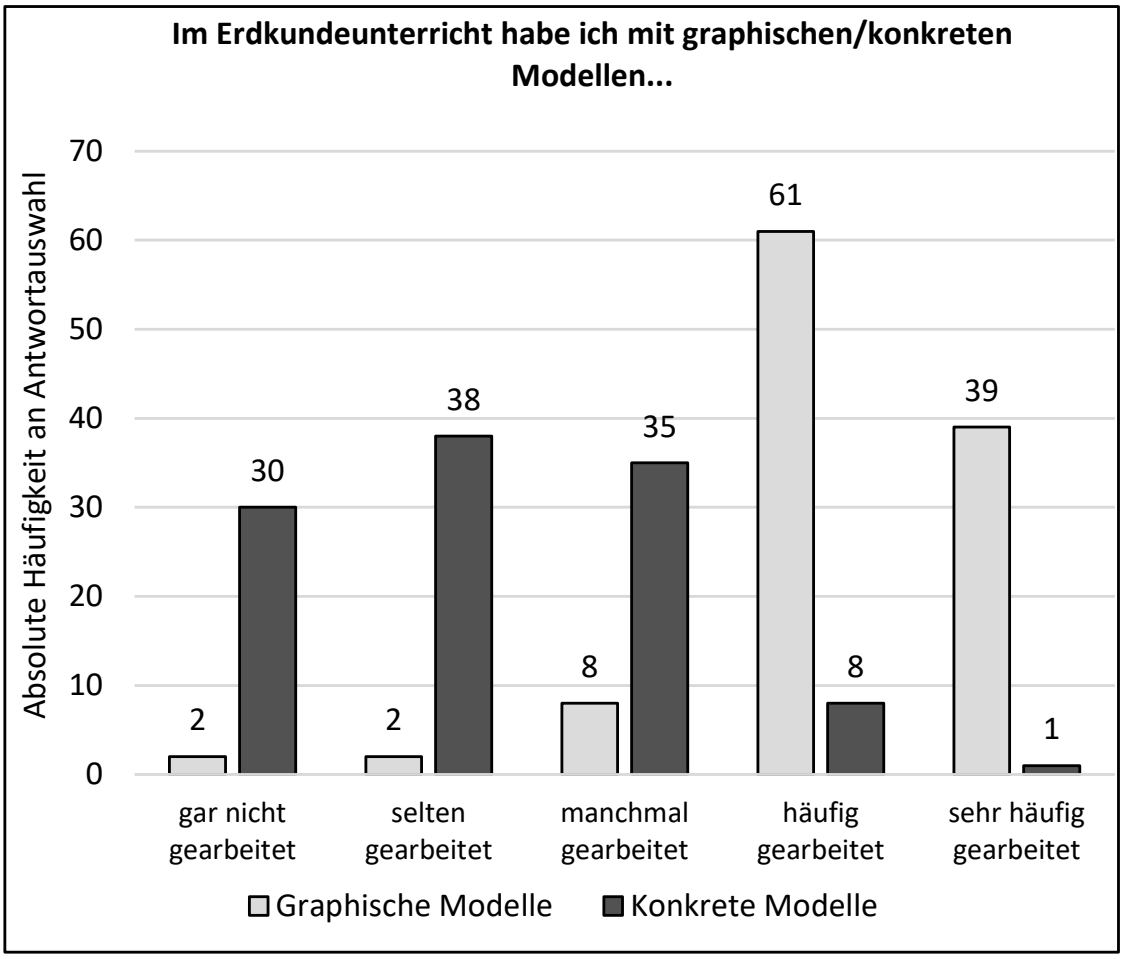


Abb. 46: Einsatz von graphischen und konkreten Modellen bei den Probanden im Erdkundeunterricht (eigene Darstellung)

Wie in Kapitel 2.1.4 bereits dargelegt wurde, muss zudem beachtet werden, dass Lernprozesse, zu denen auch der Erwerb der Systemkompetenz gehört, von zahlreichen internen und externen Einflussfaktoren abhängig ist. WILD et al. (2006) stellen beispielsweise ‚emotionale', ‚motivationale' (siehe zu diesem Punkt Kapitel 6.4), ‚kognitive' und ‚soziale' Voraussetzungen als mögliche interne Einflussfaktoren des Lernprozesses dar, die hier, da sie über das Ziel der vorliegenden Studie hinaus gehen, nicht tiefergehend betrachtet werden sollen.

6.3 Langfristige Wirksamkeit der Intervention

Durch den Follow-up-Test, welcher sechs Wochen nach der Intervention erhoben wurde, soll zudem die Frage überprüft werden, ob in der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) sechs Wochen nach dem Posttest ein geringerer Rückgang der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar ist.

Hypothese 3: In der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) ist sechs Wochen nach dem Posttest ein geringerer Rückgang der Systemkompetenzdimension ‚Systemorganisation und Systemverhalten' als in der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) nachweisbar.

Durch eine Kontrastanalyse konnte aufgezeigt werden, dass laut Fragebogen zwischen t_2 und t_3 keine statistisch signifikant unterschiedliche Abnahme ($p = .940$, $\eta_p^2 < .001$) der Systemorganisation und des Systemverhaltens zwischen der Experimental- und Vergleichsgruppe vorhanden ist. Auch die Veränderungen der Concept Map von t_2 zu t_3 bestätigen, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p = .538$, $\eta_p^2 = .003$) in der Abnahme der Systemorganisation und des Systemverhaltens zwischen den Interventionsgruppen vorzufinden sind.

Ergebnis H3: Aufgrund des nicht signifikanten Effektes beider Untersuchungsvariablen kann für die vorliegende Studie die Hypothese 3, dass die Schülerinnen und Schüler die mit den konkreten Modellen arbeiten, einen geringeren Rückgang der Systemorganisation und des Systemverhaltens als die Vergleichsgruppe verzeichnen, verworfen werden.

Als Grundlage für die Annahme der Hypothese 3 wurden Studien von KONG et al. (2016) und STULL und HEGARTY (2015) herangezogen. Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Studien konnte die Studie von COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 300) keine signifikanten Unterschiede im Follow-up-Test feststellen. Da bei einem zunehmenden zeitlichen Abstand zur Intervention mit einer zunehmenden Abnahme der Systemorganisation und des Systemverhaltens zu rechnen ist, erscheint es sinnvoll, die zeitlichen Abstände zwischen Intervention und Follow-up-Test zu berücksichtigen. So wurde bei KONG et al. (2016, S. 267) fünf Tage und bei STULL und HERGARTY (2015, S. 10f.) sieben Tage nach der Intervention der Follow-up-Test erhoben. Im Gegensatz dazu setzen COPOLO und HOUNSHELL (1995, S. 300) ihren Follow-up-Test 40 Tage nach der Intervention ein. Es kann daher festgehalten werden, dass mit COPOLO und HOUNSHELL (1995) die einzige Studie, die einen ähnlichen zeitlichen Abstand zwischen der Intervention und Follow-up-Test wie die vorliegende Studie gewählt hat, ebenfalls keine signifikanten Unterschiede feststellen

konnte. Der in dieser Studie gewählte Zeitabstand von ca. 42 Tagen wird durch Ergebnisse von FANTA et al. (2019, S. 7; 15) gestützt, die in ihrer Interventionsstudie das systemische Denken in einem Follow-up-Test zwei Wochen nach der Intervention erhoben haben und für kommende Interventionsstudien zum systemischen Denken einen zeitlichen Abstand von zwei bis drei Monaten empfehlen.
Die Sinnhaftigkeit eines späten Zeitpunktes des Follow-up-Tests wird dadurch gestützt, dass in Kapitel 5.4 durch t-Tests aufgezeigt werden konnte, dass noch nach sechs Wochen sowohl in der Experimentalgruppe (‚Fragebogen' $p < .001$, $d = 0.93$; ‚Scoringsystem' $p < .001$, $d = 0.52$) als auch in der Vergleichsgruppe (‚Fragebogen' $p < .001$, $d = 1.4$; ‚Scoringsystem' $p < .001$, $d = 0.78$) mittlere und große statistisch signifikante Effekte von t_1 zu t_3 vorhanden waren. Die theoretische Vermutung von KÖCK (1995, S. 271), dass gerade Modelle durch ihre vernetzte Darstellung den langfristigen Lernzuwachs fördern können, kann durch diese Ergebnisse gestützt werden. Im Gegensatz zu den Interventionsgruppen besitzt die Kontrollgruppe von t_1 zu t_3 keinen statistisch signifikanten Anstieg (‚Fragebogen' $p = .052$; ‚Scoringsystem' $p = .700$). Während in der Kontrollgruppe beim ‚Fragebogen' von t_2 zu t_3 keine starke Veränderung ($M_{t2} = 19.41$; $Mt_3 = 19.18$) des Mittelwertes festgestellt werden kann, verzeichnet das ‚Scoringsystem' ein im Verhältnis stärkeren Rückgang des Mittelwertes ($Mt_2 = 7.94$; $Mt_3 = 7.00$) (siehe Abbildung 40 und Abbildung 41). Der Rückgang des ‚Scoringsystems' in der Kontrollgruppe kann vermutlich dadurch erklärt werden, dass der Effekt, durch die in Biologie erstellte Concept Map, bzw. der „Test-Effekt" über den Zeitraum von sechs Wochen nicht mehr wirksam ist.
WEIDENMANN (2006, S. 439f.) legt als entscheidendes Kriterium für Behaltensleistungen die kognitive Verarbeitungstiefe dar. Entscheidenden Einfluss auf die Verarbeitungstiefe nehmen demnach das ‚Interesse' gegenüber dem Lerninhalt sowie die Gefahr des mentalen ‚Overload' ein. In der Interessenstheorie wird davon ausgegangen, dass bei einem hohen ‚Interesse' des Lernenden am Lernangebot eine intensivere Auseinandersetzung und Beschäftigung mit dem Lernangebot stattfindet, was sich wiederum positiv auf die kognitive Verarbeitungstiefe auswirkt (WEIDENMANN 2006, S. 440). Auch wenn, wie in Kapitel 5.6.1 dargestellt, beim ‚Interesse', mit den Modellen zu arbeiten, zwischen den Interventionsgruppen ein großer Effekt ($p < .001$, $d = 1.17$) zugunsten der konkreten Modelle festgestellt werden konnte, zeigte sich, in der in Kapitel 5.6.4 durchgeführten Korrelation ‚Interesse', kein statistisch signifikanter Einfluss auf die Entwicklung des Fragebogens ($p = .054$) oder der Concept Map ($p = .850$) von t_1 zu t_2. Als eine mögliche Ursache hierfür kann die strenge zeitliche Taktung der Intervention angesehen werden, die eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lernangebot aufgrund eines größeren ‚Interesses', nicht möglich machte, so dass einer der Vorteile der konkreten Modelle, nicht zum Tragen kommen konnte. Stattdessen kann, wie in Kapitel 6.2

dargelegt, vermutet werden, dass ein kognitiver Overload bei den konkreten Modellen einsetzte, der eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den zentralen Inhalten und damit einen stärkeren langfristigen Lernerfolg, verhinderte.

6.4 Auswirkung der Intervention auf die tätigkeitszentrierte Motivation

Im Folgenden sollen zunächst die Ergebnisse zur Hypothese 4 (Kapitel 5.6.1) diskutiert werden, um darauf aufbauend die weiteren Ergebnisse der Kapitel 5.6.2, Kapitel 5.6.3 und Kapitel 5.6.4 in den entsprechenden Forschungskontext zu setzen. Die Hypothese stützt sich dabei auf theoretische Überlegungen in der Geographiedidaktik (siehe Kapitel 3, u. a. BIRKENHAUER 1997B; HARRISON, TREAGUST 2000). Durch den Einsatz des Fragebogens zur aktuellen Motivation (FAM) nach RHEINBERG et al. (2001) kann der Fragestellung nachgegangen werden, ob zwischen der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) statistisch signfikante Unterschiede bei den motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation messbar sind.

Hypothese 4: Zwischen der Experimentalgruppe (konkrete Modelle) und der Vergleichsgruppe (graphische Modelle) sind statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation messbar.

Die Ergebnisse in Kapitel 5.6.1 machen deutlich, dass zum ersten Testzeitpunkt des FAM beim Einsatz der Modelle in den Interventionsgruppen ein signifikanter Unterschied bezüglich des Interesses ($p < .001$, $d = 1.17$) und der Erfolgswahrscheinlichkeit ($p = .020$, $d = 0.50$) besteht. Dahingehend lässt sich in der Einschätzung der ‚Misserfolgsbefürchtung' ($p = .309$) und der ‚Herausforderung' ($p = .135$) kein signifikanter Unterschied finden. Beim erneuten Einsatz der Modelle zeigt sich im FAM ein signifikanter Unterschied bezogen auf das ‚Interesse' ($p < .001$, $d = 1.08$) und die ‚Herausforderung' ($p = .031$, $d = 0.45$). Die Faktoren ‚Misserfolgsbefürchtung' ($p = .391$) und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' ($p = .099$) weisen beim erneuten Einsatz der Modelle hingegen keine signifikanten Unterschiede auf.
Insgesamt konnten signifikante Unterschiede in der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit', ‚Herausforderung' und beim ‚Interesse' der Schüler mit den Modellen zu arbeiten, festgestellt werden. Lediglich bei der ‚Misserfolgsbefürchtung' konnte weder zum ersten, noch zum zweiten Testzeitpunkt ein signifikanter Unterschied ermittelt werden.

Ergebnis H4: Die Hypothese 4, dass sich beim Einsatz der konkreten und graphischen Modelle Unterschiede in Bezug auf die motivationalen Faktoren der tätigkeitszentrierten Motivation zeigen, kann daher bestätigt werden.

Werden die signifikanten Unterschiede betrachtet, so fällt auf, dass beim Faktor ‚Interesse' ein großer Effekt zwischen den Interventionsgruppen vorhanden ist. Da nach HEMMER und HEMMER (2010A, S. 233) konkrete Modelle zu den vier Arbeitsweisen in der Geographie gehören, die das größte ‚Interesse' bei Schülern hervorrufen, ist das große ‚Interesse' an den konkreten Modellen nicht verwunderlich. Zudem muss, wie in Abbildung 46 dargelegt und von HEMMER und HEMMER (2010B, S. 132) durch eine weitere Studie bestätigt, der unterschiedliche Einsatz von konkreten und graphischen Modellen im Schulalltag berücksichtigt werden. Der geringe Einsatz von konkreten Modellen kann zu einem ‚Neuheitseffekt' führen, der ein erhöhtes ‚Interesse' bei den Probanden in der Experimentallgruppe hervorruft (WEIDENMANN 2006, S. 433). Dass laut t-Test für abhängige Stichproben das ‚Interesse' in den Interventionsgruppen bei einem erneuten Einsatz nicht zurückgeht ($p = .947$; $p = .175$), lässt sich vermutlich auf neu eingeführte Einsätze und Schutzmaßnahmen in den Modellen zurückführen, so dass sich der ‚Neuheitseffekt' weiter auswirkt. Denkbar ist ebenfalls, dass die Lernumgebung die Erwartungshaltung der Schüler erfüllt und das Interesse daher auch noch in der zweiten Phase positiv auf das situationale Interesse wirkt. Durch die Ergebnisse des Motivationsfaktors ‚Interesse' lassen sich zudem Aussagen von BIRKENHAUER (1997B, S. 44) und HARRISON und TREAGUST (2000, S. 1012) empirisch stützen, die indirekt von einem hohen ‚Interesse' an konkreten Modellen ausgehen.

Vom ersten bis zum zweiten Testzeitpunkt konnte für die Motivationsfaktoren ‚Herausforderung' und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' ein Wechsel der Signifikanz festgestellt werden. Während bei dem ersten Testzeitpunkt der Faktor ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' einen signifikanten Unterschied zwischen den Treatmentgruppen besitzt, konnte beim Faktor ‚Herausforderung' kein signifikanter Unterschied zwischen den Treatmentgruppen emittelt werden. Dies ändert sich zum zweiten Testzeitpunkt, in welchem die ‚Herausforderung' einen signifikanten Unterschied zwischen den Treatmentgrupppen aufwies, während die ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' keinen statistisch signifikanten Unterschied zeigte. Die Veränderung von t_1 zu t_2 lässt sich durch eine enge theoretische Verknüpfung der beiden Motivationsfaktoren ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und ‚Herausforderung' in Bezug zur erfolgsbezogenen Komponente der Leistungsmotivation erklären (RHEINBERG et al. 2001, S. 6). So zeigt sich beim erneuten Einsatz der Modelle, sowohl bei der Experimentalgruppe ($p = .023$, $d = 0.36$) als auch bei der Vergleichsgruppe ($p < .001$, $d = 0.58$), ein statistisch signifikanter Anstieg der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit'. Da die Schüler nach dem ersten Einsatz bereits mit den verschiedenen Modellen vertraut sind, erscheint eine höhere Einschätzung der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' folgerichtig. Diametral zur ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' verzeichnet der Faktor ‚Herausforderung' sowohl in der Experimentalgruppe ($p = .036$, $d = 0.31$) als auch in der Vergleichsgruppe ($p < .001$, $d = 0.59$) eine statistisch signifikante Abnahme. Die Abnahme der ‚Herausforderung' in beiden Interventionsgruppen erfolgt, da eine

erneute kognitive Auseinandersetzung mit inzwischen bekannten Modellen stattfindet (VOLLMEYER, RHEINBERG 2002, S. 290). In der Leistungsmotivationsforschung wird daher von einem ‚invers-linearem Zusammenhang' der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und der ‚Herausforderung' gesprochen (BRANDSTÄTTER et al. 2018, S. 39), der auch hier fast idealtypisch zu erkennen ist (siehe Abbildung 44).
Da RHEINBERG et al. (2001, S. 7) bei gleicher Leistungssituation und gleicher Lehrkraft, wie in der vorliegenden Studie, von keinen unterschiedlichen Einflüssen auf die ‚Misserfolgsbefürchtung' ausgehen, erscheint dieses Ergebnis plausibel.
In einer ergänzenden Analyse (Kapitel 5.6.4) wurde mit Hilfe der Spearman-Korrelation untersucht, inwiefern zwischen den Motivationsfaktoren und den Ergebnissen des ‚Fragebogens' sowie dem Scoringsystem ein statistischer Zusammenhang besteht. Dabei konnte aufgezeigt werden, dass die Motivationsfaktoren keinen statistischen Zusammenhang zu den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' besitzen (siehe für die weiteren Ergebnisse Kapitel 5.6.4). Im Folgenden soll die Bedeutung der Motivationsfaktoren auf die Lernleistung daher tiefergehend betrachtet werden. Da der Motivationsfaktor ‚Misserfolgsbefürchtung', der auch der Leistungsmotivation zuzuordnen ist, keinen signifikanten Unterschied zwischen den Treatmentgruppen besitzt, soll dieser in der folgenden Diskussion nicht berücksichtigt werden.
Dem Motivationsfaktor ‚Interesse' wird generell ein hoher direkter Einfluss auf die Lernleistung zugesprochen. So stellen SCHIEFELE et al. (1992, S. 202) in einer großangelegten Metastudie heraus, dass zwischen Lernerfolg und Interesse bei naturwissenschaftlichen Fächern eine Korrelation von r = .34 und bei sozialwissenschaftlichen Fächern eine Korrelation von r = .25 besteht. Damit besitzt der Faktor ‚Interesse' einen höheren Zusammenhang zur Lernleistung als alle anderen Motivationsfaktoren (WILD et al. 2006, S. 216). Während WEIDENMANN (2006, S. 439f.) ‚Interesse' explizit als beeinflussenden Faktor des langfristigen Lernerfolges beschreibt, stellt KRAPP (2010, S. 21) die Bedeutung von ‚Interesse' für qualitativ hochwertige Wissensstrukturen und Relationen zwischen verschiedenen Inhalten in den Vordergrund. Dass der große signifikante Unterschied des ‚Interesses' (d_{t1} = 1.17; d_{t2} = 1.08) sich nicht in den Ergebnissen des Fragebogens und des Scoringsystems niederschlägt, kann vermutlich dem Charakter der Intervention zugeschrieben werden. Durch die engen Vorgaben der Intervention hat der Faktor ‚Interesse' kaum Gelegenheit, durch Auswahl und Wiederholung von Lerninhalten, einen Einfluss zu nehmen. So machen bspw. RHEINBERG et al. (2001, S. 8f.) deutlich, dass „In Lernsituationen, in denen der Lerner durch eine Sequenz ganz spezifischer Ziele eng geführt wird […] es für den Lernerfolg nicht viel ausmacht [sic!], ob man an den Inhalten besonders interessiert ist oder ob man auf diesem Gebiet seine Tüchtigkeit erproben wollte." Auch KRAPP (2010, S. 21f.) geht davon aus, dass ‚Interesse' vor allem zu einer tiefergehenden, wiederholenden Auseinandersetzung

mit einem Lerngegenstand führt und dies vor allem in Lernsituationen ohne äußere Vorgaben zum Tragen kommen kann. Der Einfluss des ‚Interesses' kann daher vor allem bei Lernaufgaben angenommen werden, die aufgrund ihrer Schwierigkeit mehrere Durchgänge benötigen (RHEINBERG et al. 2001, S. 10). BROCKMÜLLER (2019, S. 152f.), die den Einfluss des Interesses über den KIM-Fragebogen (WILDE et al. 2009) erhoben hat, konnte lediglich einen minimal kleinen Interaktionseffekt (f = 0.013) zwischen „Gruppe und Motivation" feststellen. Aufgrund des Verhältnisses des marginal kleinen Interaktionseffekts im Vergleich zum Effekt des Einsatzes von Modellen/Simulationen auf die Systemkompetenz (f = 0.1) wird von ihr keine vertiefte Betrachtung des Einflusses von ‚Interesse' auf die Systemkompetenz empfohlen. Die vorliegenden Ergebnisse stützen die Erkenntnis, dass auch große Unterschiede im ‚Interesse' keinen starken Einfluss auf die Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens haben. Wie jedoch dargelegt, muss dabei die enge Strukturierung der Interventionsstudien berücksichtigt werden. Inwiefern eine Auswirkung des ‚Interesses' auf langfristigen Lernerfolg im Unterricht gegeben ist, kann abschließend nicht beantwortet werden. Zudem muss angemerkt werden, dass die Steigerung der ‚Motivation' einen Zweck über den Lernerfolg im engeren Sinne hinaus besitzt (RENKL 2018, S. 935). So macht KRAPP (2010, S. 22) berechtigterweise deutlich, dass „eine auf Interesse beruhende Lernmotivation in der Regel viele Vorteile hat und es deshalb sehr erstrebenswert erscheint, so oft und so gut dies möglich ist, den Unterricht interessensorientiert zu gestalten."

Die Motivationsfaktoren ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und ‚Herausforderung' spielen, wie bereits dargelegt, in der Leistungsmotivationsforschung eine zentrale Rolle. Hier muss vor allem das Risikowahl-Modell von ATKINSON (1957) genannt werden, in welchem die beiden Motivationsfaktoren Einfluss nehmen (u. a. RHEINBERG et al. 2001, S. 6; BRANDSTÄTTER et al. 2018, S. 39). So ist laut ATKINSON (1957, S. 361) die ‚Leistungsmotivation' von der Einschätzung der ‚Erfolgswahrscheinlichkeit', der erwarteten ‚Herausforderung' (Anreiz) und dem ‚Motiv' abhängig. Hieraus wiederum lassen sich erfolgsmotivierte (optimistische Herangehensweise an Leistungsaufgaben) und misserfolgsmotivierte (zweifelnde Herangehensweise an Leistungsaufgaben) Persönlichkeitsmerkmale bestimmen, die ausschlaggebend für die Auswahl möglicher Aufgaben sind. Während für erfolgsmotivierte Personen mittelschwere Aufgaben als motivierend angesehen werden, sind für misserfolgsmotivierte Personen am ehesten einfache und schwierige Aufgaben geeignet (BRANDSTÄTTER et al. 2018, S. 40). Von einer hohen ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' bzw. ‚Herausforderung' kann daher nicht zwangsläufig auf eine hohe Motivation geschlossen werden (RHEINBERG et al. 2001, S. 6). Inwiefern der Faktor ‚erfolgsmotivierte' oder ‚misserfolgsmotivierte' Person einen Einfluss auf die Auswahl der Aufgabenschwierigkeiten besitzt, kann aufgrund des Interventionsdesigns daher nicht abschließend beantwortet werden.

6.5 Diskussion der Methodik

Im Folgenden sollen die methodischen Erkenntnisse aus dem Einsatz der Messinstrumente ‚Fragebogen', ‚Concept Map' und ‚FAM' diskutiert werden. Beim Einsatz des Fragebogens in der experimentellen Interventionsstudie kann von einer ausreichenden Objektivität, Reliabilität und Validität ausgegangen werden (Kapitel 4.4.5.1, 4.4.5.2 und 4.4.5.3). Lediglich der Cronbachs Alpha-Wert der Skala zur Systemorganisation und zum Systemverhalten zeigt mit einem Wert von .41 eine leicht zu niedrige interne Konsistenz des Erhebungsinstrumentes an. Auch wenn in Kapitel 4.4.5.2 dargelegt wurde, warum der Fragebogen zu Recht problemlos eingesetzt werden kann, wäre ein erneuter Pilotierungsdurchlauf mit zusätzlichen Testitems und einer ggf. anschließenden Korrektur, zur Erhöhung der internen Konsistenz der entsprechenden Skala, erstrebenswert.
Bei dem Einsatz der halboffenen Concept Map zeigte sich, dass der Grad der Offenheit gut gewählt wurde. So konnten die Schüler durch die Offenheit der Concept Map einerseits ihre eigenen kognitiven Wissensstrukturen einbringen, andererseits war durch die Referenzmap eine so hohe Objektivität gegeben, so dass ein Intraklassenkorrelationskoeffizient von .99 erreicht wurde. Bei der Auswertung der Expertenmaps zeigte sich, dass sogar bei der Darstellung von Experten erhebliche Unterschiede vorhanden sind (siehe Tabelle 24).

Tab. 24: Vergleich der verschiedenen Expertenmaps (eigene Darstellung)

	Lehrer 1	**Lehrer 2**	**Fachwissenschaftler 1**	**Fachwissenschaftler 2**	**Geographiedidaktiker**
Gezogene Propositionen	13	25	24	25	32
Propositionen die mit der Referenzmap übereinstimmen	11	10	13	15	16
Punkte nach dem Scoringsystem	24	35	37	40	48

Dies bestätigt Ergebnisse von ACTON et al. (1994, S. 303), die ebenfalls von unterschiedlichen Expertenmaps berichten und daraus die Notwendigkeit der Befragung von mehreren Experten ableiteten. Durch die Verwendung mehrerer Expertenmaps in einer Referenzmap konnte nicht nur der Problematik unterschiedlicher

Expertenmaps entgegenwirkt, sondern zudem eine Gewichtung der verschiedenen Verbindungen vorgenommen werden. Da fünf verschiedene Expertenmaps in das Scoringsystem einfließen, ist zudem die große Diskrepanz zwischen der maximal möglichen Punktzahl (77 Punkte) und den Probandenantworten (Mittelwert mit Standardabweichung aller Probanden zum Pre-, Post- und Follow-up-Testzeitpunkt: t_1 = 11.43 (6.74); t_2 = 17.47 (6.79); t_3 = 15.85 (7.81)) nicht verwunderlich.
In Kapitel 4.3.3 wurde transparent gemacht, wieso das Scoringsystem gegenüber dem Strukturindex als Auswertungsmethode der Concept Map bevorzugt wurde. Durch die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson und einer anschließenden Fisher Z-Transformation konnte in Kapitel 5.5 aufgezeigt werden, dass zwischen dem Fragebogen und dem Scoringsystem ($\bar{r}$ = 0.31) ein mittlerer Zusammenhang besteht. Zwischen dem Fragebogen und dem Strukturindex ($\bar{r}$ = .24) konnte hingegen nur ein kleiner Zusammenhang festgestellt werden. Dass zwischen dem Strukturindex und dem Scoringsystem $\bar{r}$ = 0.64 ein großer Zusammenhang ermittelt werden konnte, ist aufgrund der gleichen Datengrundlage (Concept Map) folgerichtig, macht jedoch auch deutlich, dass trotz gleicher Datengrundlage zwischen den Auswertungsmethoden ein statistischer Unterschied besteht. BENNINGHAUS et al. (2019B, S. 11f.) korrelierten in ihrer Studie verschiedene Parameter mit dem ‚Diameter' und erhielten ebenfalls mittlere und teilweise große Korrelationen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Aufgabenstellungen und die vergleichende Benchmark unterschiedlich und die Ergebnisse somit nur bedingt vergleichbar sind. Da zwar ein Zusammenhang zwischen ‚Scoringsystem' und ‚Fragebogen' belegt werden konnte, zugleich aber auch Unterschiede zwischen den Testinstrumenten nachgewiesen wurden, kann die Vermutung gestützt werden, dass die Analyse von Concept Maps bei der Betrachtung der Systemkompetenz einen Mehrwert gegenüber anderen Antwortformaten (Fragebogen) besitzt (MEHREN et al. 2018, S. 700).
Die Ergebnisse des FAM und die fast idealtypischen Entwicklungen der Motivationsfaktoren (siehe Kapitel 6.4) können zudem als ein Validitätshinweis für den FAM angesehen werden (RHEINBERG et al. 2001, S. 8).

6.6 Ergänzende Betrachtung: Kontrolle möglicher Störvariablen

Wie bereits in Kapitel 2.1.4 aufgezeigt werden konnte, besteht ein insgesamt uneinheitlicher Forschungsstand darüber, inwiefern sich das ‚Geschlecht' auf die Entwicklung des systemischen Denkens auswirkt. Da in der vorliegenden Studie sowohl im Fragebogen (p_{t1} = .525; p_{t2} = .377; p_{t3} = .594) als auch im Scoringsystem (p_{t1} = .727; p_{t2} = .182; p_{t3} =. 651) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich des systemischen Denkens festgestellt wurden, können weder die Studien, die einen signifikanten Unterschied zugunsten der

männlichen Teilnehmer (BOOTH SWEENEY, STERMAN 2000; KASPERIDUS et al. 2006) ermittelten, noch die Studie, die einen signifikanten Unterschied zugunsten der weiblichen Teilnehmer (BRÄUTIGAM 2014) feststellten, bestätigt werden.
Ebenfalls in Kapitel 2.1.4 wurde die negative Korrelation zwischen ‚systemischem Denken' und ‚Schulnoten' (BRÄUTIGAM 2014, S. 127; FANTA et al. 2017, S. 254; BROCKMÜLLER 2019, S. 93f.) angesprochen, die vermuten lässt, dass ein Zusammenhang zwischen kognitiven Fähigkeiten und systemischem Denken besteht (vgl. BEN-ZVI ASSARAF, ORION 2004, S. 554). Die Ergebnisse in Kapitel 5.7 zeigen auf, dass auch in der vorliegenden Studien zwischen der ‚Mathematiknote' und dem ‚Scoringsystem' (p_{t2} = .016: r = –0.20), der ‚Deutschnote' und dem ‚Fragebogen' (p_{t1} = .036; r = –0.1) sowie der ‚Erdkundenote' und dem ‚Scoringsystem' (p_{t1} = .017; r = –0.20) eine statistisch signifikante negative Korrelation vorhanden ist. Die Vermutung, dass zwischen ‚Schulnoten' und ‚systemischem Denken' zwingend eine statistisch signifikante negative Korrelation besteht, kann allerdings nur bedingt gestützt werden, da eine erhöhte Probandenzahl (n = 202) notwendig wäre, um für die dargelegten Effekte die für diese Studie festgelegt Teststärke von 80 % zu erhalten. Auch muss beachtet werden, dass zwischen der Variablen ‚Schulnoten' und den anderen Variablen des ‚systemischen Denkens' kein statistischer Zusammenhang ermittelt werden konnte. Wie in der Studie von BROCKMÜLLER (2019, S. 157) kann jedoch festgestellt werden, dass unter den gefundenen Effekten der Zusammenhang zwischen ‚Erdkundenote' und ‚systemischem Denken' den geringsten Zusammenhang aufweist. Dies ist insofern verwunderlich, da in der Geographie die Systemkompetenz das Hauptbasiskonzept darstellt (DGFG 2020, S. 10f.). Die Schlussfolgerung von BROCKMÜLLER (2019, S. 157), dass Aufgabenformate des sytemischen Denkens stärker in den Geographieunterricht integriert werden müssen, erscheint daher nur folgerichtig.

7 Fazit und Ausblick

Dem systemischen Denken kommt in einer Welt mit zunehmend komplexen Zusammenhängen eine immer größere Bedeutung zu. Dass das Verständnis von komplexen Systemen in Zukunft als eine Schlüsselfähigkeit von Schülern angesehen werden kann (Cox et al. 2019, S. 37), zeigt sich unter anderem darin, dass die Systemkompetenz das Hauptbasiskonzept der Geographie darstellt (DGfG 2020, S. 10f.). In diesem Zusammenhang kommt der Geographie mit der Betrachtung von Mensch-Umwelt-Systemen ein großes Gewicht zu. In der vorliegenden Arbeit wurde daher am Beispiel des Mensch-Umwelt-Systems ‚Hochwasser' untersucht, inwiefern graphische und konkrete Modelle die Systemorganisation und das Systemverhalten von Schülern kurzfristig, aber auch langfristig fördern können. Als weitere zentrale Einflussvariable auf den Lernprozess wurde die tätigkeitszentrierte Motivation tiefergehend betrachtet.

Die Ergebnisse der Arbeit machen deutlich, dass bei den Schülern, die mit den graphischen und konkreten Modellen arbeiten, im Vergleich zur Kontrollgruppe ein statistisch signifikanter Anstieg der Systemorganisation und des Systemverhaltens nachzuweisen ist. Dabei zeigte sich in der Entwicklung der Systemorganisation und des Systemverhaltens zwischen der Verwendung der konkreten und graphischen Modelle für die vorliegende Stichprobengröße sowohl beim Post- als auch beim Follow-up-Test kein signifikanter Unterschied.

Es konnte zudem herausgestellt werden, dass sowohl die graphischen als auch die konkreten Modelle das Potenzial besitzen, die Systemorganisation und das Systemverhalten langfristig zu fördern. Die Interventionsstudie zeigt jedoch nicht nur die positiven Erfolge von graphischen und konkreten Modelle zur Förderung der Systemorganisation und des Systemverhaltens auf, sondern macht auch deutlich, dass die Wahl von graphischen oder konkreten Modellen unterschiedliche Einflüsse auf die tätigkeitszentrierte Motivation der Schüler besitzt. So zeigten sich beim ersten Testzeitpunkt bei den Motivationsfaktoren ‚Interesse' und ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und beim zweiten Testzeitpunkt für die Motivationsfaktoren ‚Interesse' und ‚Herausforderung' signifikante Unterschiede zugunsten der konkreten Modelle. Bei einem wiederholten Einsatz der graphischen und konkreten Modelle konnte zudem die Veränderung der Motivationsfaktoren ‚Herausforderung', ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' und ‚Misserfolgsbefürchtung' belegt werden. Hier zeigte sich vom ersten zum zweiten Einsatz sowohl bei den graphischen als auch bei den konkreten Modelle eine signifikante Abnahme der ‚Herausforderung' und Zunahme der ‚Misserfolgsbefürchtung'. Der Motivationsfaktor ‚Erfolgswahrscheinlichkeit' ließ hingegen vom ersten zum zweiten Einsatz sowohl bei den graphischen als auch bei den konkreten Modellen einen signifikanten Anstieg erkennen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, hinsichtlich der schulpraktischen Relevanz bei

der Thematisierung komplexer Mensch-Umwelt-Systeme, die Notwendigkeit, den Einsatz von graphischen und/oder konkreten Modellen zu forcieren. Hinsichtlich der Verwendung graphischer Modelle fällt dabei die sicherlich leichtere schulpraktische Umsetzung und eine, durch Folgestudien mit höherer Probandenanzahl zu klärende, möglicherweise stärkere Vermittlung der Systemorganisation und des Systemverhaltens ins Gewicht. Demgegenüber kann bei dem Einsatz von konkreten Modellen, neben der ebenfalls langfristigen Förderung der Systemorganisation und des Systemverhaltens, die wirksamere Steigerung des ‚Interesses' an der Arbeit mit dem Unterrichtsgegenstand als Vorteil hervorgehoben werden.
Bei der Wahl zwischen konkreten und graphischen Modellen in der unterrichtlichen Planung scheint es erforderlich, ebenso die Altersstruktur der Schüler stärker im Blick zu nehmen. Entwicklungspsychologische Erkenntnisse lassen die Vermutung zu, dass konkrete Modelle eher dem Lernverhalten jüngerer Schüler entgegenkommen, während ältere Schüler bereits abstraktere Darstellungsformen verarbeiten können (KÖCK, REMPFLER 2004, S. 108f.) und in der Lage sind, diese in ihre bereits aufgebauten konzeptuellen Strukturen im Gedächtnis einzubauen (vgl. HOFFMANN 2017).
Weiterhin ist festzustellen, dass andere zentrale Kompetenzen, wie das ‚Fachwissen', in der vorliegenden Studie nicht untersucht wurden, so dass über die unterrichtliche Förderung dieser Kompetenzen durch graphische und konkrete Modelle keine Aussage getroffen werden kann.
In der vorliegenden Studie wurde erneut (siehe Kapitel 6.2 Abbildung 46 bzw. HEMMER, HEMMER 2010B, S. 132) der vergleichsweise seltene Einsatz von konkreten Modellen in der Schulpraxis deutlich. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen vermuten, dass es bei einem häufigeren Einsatz von konkreten Modellen im Geographieunterricht, neben der Steigerung des Interesses am Unterrichtsfach, langfristig zu einer Abnahme der wahrgenommen Komplexität bei Schülern kommen könnte. Dies wiederum würde zu einer verstärkten Konzentration auf die zentralen aufgabenbezogenen Inhalte und Probleme bei Einsätzen von konkreten Modellen führen.
Durch den Anstieg des Scoringsystems in der Kontrollgruppe, welcher durch das Anfertigen der Concept Map bedingt ist, kann zudem festgestellt werden, dass zur Förderung der Systemorganisation und des Systemverhaltens in der Unterrichtspraxis auch ein verstärkter Einsatz von Concept Maps oder ihr verwandter Methoden wie z. B. der Mysterymethode (vgl. SCHULER et al. 2017) empfohlen werden kann (siehe NESBIT, ADESOPE 2006; FÜRSTENAU 2011).
Da in beiden Interventionsgruppen ein signifikanter Lernzuwachs bezüglich der Systemorganisation und des Systemverhaltens über den Zeitraum von sechs Wochen nachgewiesen werden konnte, kann für Forschungsdesigns zukünftiger Interventionsstudien, die einen diesbezüglichen langfristigeren Lernerfolg untersuchen, ein zeitlicher Abstand von mindestens sechs Wochen für den Follow-up-Test

empfohlen werden. Zudem wird bei Studien, in denen zur Messung der Systemkompetenz Concept Maps eingesetzt werden, eine größere Probandenanzahl in der Kontrollgruppe mit einer höheren Spannbreite an Schulen nahegelegt, da damit Verzerrungen durch potenzielle Störvariablen, wie z. B. durch den Einsatz von Concept Maps in anderen Unterrichtsfächern, entgegengewirkt werden kann.
Für die methodische Evaluation von Systemorganisation und Systemverhalten hat sich in der vorliegenden Interventionsstudie der Einsatz von Concept Maps und die Überprüfung dieser durch das ‚Scoringsystem' bewährt und kann daher empfohlen werden. So konnte jeder Signifikanztest der Variablen ‚Fragebogen' durch eine Signifikanzprüfung der Variablen ‚Scoringsystem' bestätigt werden. Während zwischen den Variablen ‚Fragebogen' und ‚Scoringsystem' ein mittlerer Zusammenhang nachgewiesen werden konnte, zeigte sich zwischen der Variablen ‚Fragebogen' und der ebenfalls erhobenen Variablen ‚Strukturindex' lediglich ein schwacher Zusammenhang.
Beim Einsatz des Fragebogens machte sich positiv bemerkbar, dass lediglich die erste Dimension des empirisch validierten Kompetenzstrukturmodells und Kompetenzstufenmodells zur Systemkompetenz im Geographieunterricht (vgl. MEHREN et al. 2016, S. 159) untersucht wurde, so dass diese mit einer hohen Anzahl von Items überprüft werden konnte. Einschränkend muss hier jedoch die geringe interne Konsistenz genannt werden, die durch mehr Testitems und die Herausnahme bestimmter Items in zukünftigen Studien weiter gesteigert werden sollte.
Die durchgeführte Studie bietet verschiedenste Anknüpfungspunkte, sich in Folgestudien mit der Entwicklung und Erhebung von Systemkompetenz im Geographieunterricht zu befassen. So konnten in der vorliegenden Studie an einigen Stellen zwar Effekte festgestellt werden, diese erreichten aufgrund der Stichprobenzahl jedoch keine Signifikanz oder nicht die für diese Arbeit festgelegte Teststärke ($1 - \beta > 80\ \%$). Hier muss vor allem der in Kapitel 5.3 gefundene Effekt zugunsten der graphischen Modelle genannt werden, welcher aufgrund der Stichprobengröße keine Signifikanz besaß. Hier wird eine Folgestudie mit einer höheren Probandenanzahl für den Fragebogen ($n = 218$) nahegelegt, um unterschiedliche Entwicklungen zwischen graphischen und konkreten Modellen von t_1 zu t_2 zugunsten der graphischen Modelle zu überprüfen.
Auch bei den Motivationsfaktoren konnten während der ersten und der zweiten Erhebung signifikante Veränderungen festgestellt werden (siehe Kapitel 5.6.3). Um für alle gefundenen Effekte eine ausreichende Teststärke zu erreichen, würde sich eine Folgestudie mit einer gesamten Probandengröße von $n = 166$ in den Interventionsgruppen anbieten. Eine nähere Betrachtung der unterschiedlichen Entwicklung zwischen graphischen und konkreten Modellen wird hingegen aufgrund der geringen Effektestärken und der Teststärken unter dem vorher festgelegten β-Fehler-Niveau von $\beta = 20\ \%$ nicht als sinnvoll angesehen (siehe Kapitel 5.4).
In der Diskussion (Kapitel 6.2) konnten die Auswirkungen der Darstellungsform im

Testformat (konkret oder graphisch) auf die Ergebnisse herausgestellt werden. Anknüpfend an die Studie von COPOLO und HOUNSHELL (1995) bestünde daher die Möglichkeit, weitergehend den Einfluss der Darstellungsform im Testformat auf die Ergebnisse von Interventionsstudien mit Modellen zu untersuchen. An dieser Stelle würde sich nach einer durchgeführten Intervention der Transfer des systemischen Denkens von konkreten Modellen auf graphische Modelle und von graphischen Modellen auf konkrete Modelle anbieten.
Ebenfalls in Kapitel 6.2 wurde die Bedeutung des Alters der Probanden auf die Förderung der Entwicklung des systemischen Denkens durch Modelle herausgestellt. Eine vertiefende Betrachtung der Entwicklung von systemischem Denken durch graphische und konkrete Modelle bei unterschiedlichen Jahrgängen und die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs mit der Variable ‚Alter' erscheint daher empfehlenswert.
Um die Auswirkungen des zwischen den graphischen und konkreten Modellen stark unterschiedlichen Motivationsfaktors ‚Interesse' auf das systemische Denken zu untersuchen, würden sich zudem, basierend auf den Erkenntnissen in Kapitel 6.4, Studien anbieten, in welchen sich das ‚Interesse' an der Arbeit mit einem Lerngegenstand in einer längeren und offener gestalteten Intervention besser niederschlagen kann. In diesem Zusammenhang sind zudem weitere Interventionsstudien zur Förderung des systemischen Denkens mit Hilfe von graphischen und konkreten Modellen an anderen Lerngegenständen als der Hochwasserthematik anzuregen.
Methodisch erwies sich der Einsatz der Referenzmap, bestehend aus verschiedenen Expertenmaps, als gewinnbringend. In Anlehnung an ACTON et al. (1994) erscheint ein Vergleich verschiedener Typen von Expertenmaps für den Bereich Geographiedidaktik interessant. So ist vorstellbar, dass sich die Berufsbiographien von Lehrern, Fachdidaktikern sowie Fachwissenschaftlern unterschiedlich auf die Anfertigung der Expertenmaps auswirken, was wiederum bei der Auswahl von Experten für die Erstellung von Referenzmaps im schulischen Bereich berücksichtigt werden müsste. Für die vorliegende Studie zeigte sich zudem die Methode des Scoringsystems als eine gewinnbringende Auswertungsmöglichkeit von Concept Maps. Beim Einsatz von Concept Maps in Folgestudien erscheint es daher sinnvoll, in Anlehnung an BENNINGHAUS (2019A; 2019B), begründet verschiedene Auswertungssysteme auszuwählen, die Ergebnisse zu vergleichen und im Zusammenhang mit der Forschungsfrage und dem Forschungsdesign zu diskutieren.

8 Literaturverzeichnis

ABRAHAM, M., VARGHESE, V., TANG, H. (2010): Using Molecular Representations to Aid Student Understanding of Stereochemical Concepts. In: Journal of Chemical Education 87 (12), S. 1425-1429.

ACHILLES, F. (1994): Modelle selber bauen. In: geographie heute 122 (15), S. 6-11.

ACTON, W. H., JOHNSON, P. J., GOLDSMITH, T. E. (1994): Structural Knowledge Assessment: Comparison of Referent Structures. In: Journal of Educational Psychology 66 (2), S. 303-311.

ALEXANDER, D. E. (2013): Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. In: Natural Hazards and Earth System Science 13 (11), S. 2707-2716.

ALLEN, C. (2011): Concept Mapping Validates Fieldwork's Capacity to Deepen Students' Cognitive Linkages of Complex Processes. In: Research in Geographic Education 13 (2), S. 30-51.

ALLIANZ UMWELTSTIFTUNG (2014): Informationen zum Thema „Hochwasser": Ursachen, Schutz und Vorsorge. Berlin. https://umweltstiftung.allianz.de/content/dam/onemarketing/umweltstiftung/umweltstiftung/media/download/wissen_hochwasser_web_kl.pdf [13.04.2020].

AMMONEIT, R., REUDENBACH, C., TUREK, A., NAUß, T., PETER, C. (2019): Geographische Modellierkompetenz – Modellierung von Raum konzeptualisieren. In: Geographie und Wirtschaftskunde 156 (42), S. 19-29.

ATKINSON, J. W. (1957): Motivational determinants of risk-taking behavior. In: Psychological Review 64, S. 359-372.

AUSUBEL, D. P. (1978²): Educational Psychology: A Cognitive View. New York.

BAHR, M. (2013): Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: ROLFES, M., UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig (= Didaktische Impulse 1), S. 17-23.

BAILER-JONES, D. M. (2002): Naturwissenschaftliche Modelle: Von Epistemologie zu Ontologie. In: BECKERMANN, A., NIMTZ, C. (Hrsg.): Argument und Analyse - Sektionsvorträge. Paderborn, S. 1-11.

BALDAUF, H. (2013): Versäumter Hochwasserschutz. „Die Flut kommt vier Jahre zu früh“. o. O. https://www.spiegel.de/panorama/hochwasser-in-grimma-wieso-die-schutzmauer-nicht-fertig-wurde-a-903738.html [02.02.2020].

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2004²): Hochwasser. Naturereignis und Gefahr. München (= Spektrum Wasser 1).

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg.) (2018): Entstehung von Hochwasser. https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_entstehung/index.htm [20.02.2020].

BAYRAKTAR, S. (2001): A Meta-analysis of the Effectiveness of Computer-Assisted Instruction in Science Education. In: Journal of Research on Technology in Education 34 (2), S. 173-188.

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (Hrsg.) (o. J.): Warn-App NINA. https://www.bbk.bund.de/DE/NINA/Warn-App_NINA_node.html [13.04.2020].

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (Hrsg.) (2010): Neue Strategie zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland. Bonn (= Wissenschaftsforum 4).

BEHRENDT, H., DAHNCKE, H., REISKA, P. (2000): Einsatz und computergestützte Auswertung von Concept Maps mit modalen Netzen und Bereichsdiagrammen. In: FISCHLER, H., PEUCKERT, J. (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. Berlin, S. 117-145.

BEHRENDT, H., REISKA, P. (2001): Abwechslung im Naturwissenschaftsunterricht mit Concept Mapping. In: PLUS LUCIS 9 (1), S. 9-12.

BELL, T. (2004): Komplexe Systeme und Strukturprinzipien der Selbstregulation – Konstruktion grafischer Darstellungen, Transfer und systemisches Denken. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10 (1), S. 183-204.

BENNINGHAUS, J. C., MÜHLING, A., KREMER, K., SPRENGER, S. (2019A): Complexity in Education for Sustainable Consumption – An Educational Data Mining Approach using Mysteries. In: Sustainability 11 (3), S. 1-16.

BENNINGHAUS, J. C., MÜHLING, A., KREMER, K., SPRENGER, S. (2019B): The Mystery Method Reconsidered – A Tool for Assessing Systems Thinking in Education for Sustainable Development. In: Education Sciences 9 (3), S. 1-15.

BEN-ZVI ASSARAF, O., ORION, N. (2005): Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. In: Journal of Research in Science Teaching 42 (5), S. 518-560.

BERGHAUS, M. (2011³): Luhmann leichtgemacht. Eine Einführung in die Systemtheorie. Köln.

BERTALANFFY, L. (1968): General System Theory: Foundations, Development, Applications. New York.

BERTSCHY, F. (2007): Vernetztes Denken in einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Interventionsstudie zur Förderung vernetzten Denkens bei Schülerinnen und Schülern der 1. und 2. Primarschulstufe. Dissertation. Bern.

BETTE, J., BÜNSTORF, U., HEMMER, M., JANSEN, R., KERSTING, R., RAHNER, M., SALMEN, H. J., SAUERBORN, P., SMIELOWSKI, B., ZIMMERMANN, K. (2017): Terra Erdkunde 2. Gymnasium Nordrhein-Westfalen. Stuttgart.

BETTE, J., MEHREN, M., MEHREN, R. (2019): Modellkompetenz im Geographieunterricht. In: Praxis Geographie 49 (3), S. 4-9.

BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG (Hrsg.) (2013): EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie. Hochwasserrisikokarte Ruhr. o. O. https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/276_ruhr_a02-a04_rk_mw_b005.pdf [13.04.2020].

BIRKENHAUER, J. (1995): Modelle im Geographieunterricht: Begründung – Beispiele – Erfahrungen. In: Internationale Schulbuchforschung 17 (3), S. 275-282.

BIRKENHAUER, J. (1997A): Modelle im Geographieunterricht. In: Praxis Geographie 27 (1), S. 5-9.

BIRKENHAUER, J. (1997B): Konkrete Modelle. Didaktik der Geographie. Medien – Systematik und Praxis. München.

BITTNER, R., GÜNTHER, K., MERZ, B. (2009): Naturkatastrophen in Deutschland. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement. In: ERNST & SOHN (Hrsg.): Ernst & Sohn Special 6, S. 7-10.

BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I., WISNER, B. (1994): At Risk. Natural hazards, people´s vulnerability, and disasters. London.

BOJANOWSKI, A. (2011): Extremwetter. Forscher geben Menschheit Schuld an Flutkatastrophen. o. O. https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/extremwetter-forscher-geben-menschheit-schuld-an-flutkatastrophen-a-746153.html [20.02.2020].

BOLLMANN-ZUBERBÜHLER, B. (2008): Lernwirksamkeitsstudie zum systemischen Denken an der Sekundarstufe I. In: FRISCHKNECHT-TOBLER, U., NAGEL, U., SEYBOLD, H. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 99-118.

BOLLMANN-ZUBERBÜHLER, B., KUNZ, P. (2008): Ist systemisches Denken lehr- und lernbar? In: FRISCHKNECHT-TOBLER, U., NAGEL, U., SEYBOLD, H. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 33-52.

BÖNING, F., BREMM, A., BRINKMANN-B., U., BRÜCK, R., ELVENICH, E., HOFFMEISTER, G., KREUZBERGER, N., KREUZBERGER, C., SCHMOLL, L., SCHRAY, B., STARK, W. WEIß, S. (2014): Diercke Praxis. Arbeits- und Lernbuch. Einführungsphase. Braunschweig.

BOOTH SWEENEY, L., STERMAN, J. D. (2000): Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinking Inventory. In: System Dynamics Review 16 (4), S. 249-286.

BORTZ, J., SCHUSTER, C. (2010[7]): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin.

BOSSEL, H. (1994): Modellbildung und Simulation in Umweltanwendungen. In: it-Information Technology 36 (4-5), S. 20-25.

BOSSEL, H. (2004): Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt.

BRADBURN, N., SUDMAN, S., WANSINK, B. (2014): Asking Questions. The Definitive Guide to Questionnaire Design – For Market Research, Political Polls, and Social and Health Questionnaires. San Francisco.

BRÄHLER, B. (2017): Hochwasserschutz in Grimma. Macht die Schotten dicht! o. O. https://www.mdr.de/sachsen/leipzig/fuenfzehn-jahre-flut-in-grimma-100.html [20.02.2020].

BRANDSTÄDTER, K., HARMS, U., GROßSCHEDL, J. (2012): Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. In: International Journal of Science Education 34 (14), S. 2147-2170.

BRANDSTÄTTER, V., SCHÜLER, J., PUCA, R. M., LOZO, L. (2018²): Leistungsmotivation. In: BRANDSTÄTTER, V., SCHÜLER, J., PUCA, R. M., LOZO, L. (Hrsg.): Motivation und Emotion. Allgemeine Psychologie für Bachelor. Berlin, S. 31-51.

BRÄUTIGAM, J. I. (2014): Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit. Trier.

BROCKMÜLLER, S., VIEHRIG, K., SCHULER, C., MRAZEK, J., VOLZ, D., SIEGMUND, A. (2016): Enhacement of geographical systems thinking through the use of models. In: LAVONEN, J., JUUTI, K., LAMPISELKÄ, J., UITTO, A., HAHL, K. (Hrsg.): Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future, Edition: Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Helsinki, S. 158-168.

BROCKMÜLLER, S. (2019): Erfassung und Entwicklung von Systemkompetenz. Empirische Befunde zu Kompetenzstruktur und Förderbarkeit durch den Einsatz analoger und digitaler Modelle im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehungen. Siegen.

BRODENGEIER, E., KORBY, W., KREUS, A., Pungel, S., RUHREN, N. v. d., ZIMMERMANN, K. (2014): Terra. Geographie Einführungsphase. Oberstufe. Nordrhein-Westfalen. Stuttgart.

BROMBACH, H., JÜPNER, R., MÜLLER, U., PATT, H., RICHWIEN, W., VOGT, R. (2013²): Hochwasserschutzmaßnamen. In: PATT, H., JÜPNER, R. (Hrsg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin, S. 313-482.

BRONSTERT, A., BORMANN, H., BÜRGER, G., HABERLANDT, U., HATTERMANN, F., HEISTERMANN, M., HUANG, S., KOLOKOTRONIS, V., KUNDZEWICZ, Z., MENZEL, l., MEON, G., MERZ, B., MEUSER, A., PATON, E. N., PETROW, T. (2017): Hochwasser und Sturzfluten an Flüssen in Deutschland. In: BRASSEUR, G., JACOB, D., SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, S. 87-101.

BRÜHNE, T., HARNISCHMACHER, S. (2019): Konzeptionelle Einführung in die Methodik des Concept Mapping. In: BRÜHNE, T., HARNISCHMACHER, S. (Hrsg.): Diercke Concept Mapping. Braunschweig, S. 4-16.

BRÜNKEN, R., MÜNZER, S., SPINATH, B. (2019): Pädagogische Psychologie – Lernen und Lehren. Göttingen.

BÜHNER, M. (2011³): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. Hallbergmoos.

CABRERA, D. A. (2006): Systems Thinking. Ithaca.

CAÑAS, A. J., NOVAK, J. D. (2012): Freedom vs. Restriction of content and Structure during Concept Mapping-posibilities and limitations for construction and assessment. Valleta. https://pdfs.semanticscholar.org/563e/4d23ef789c01c46e21eb01539de848550af0.pdf [13.04.2020].

CARBONELL-CARRERA, C., HESS-MEDLER, S. (2019): 3D Landform Modeling to Enhance Geospatial Thinking. In: International Journal of Geo-Information 8 (2), S. 65-80.

CLAAßEN, K. (1997): Gruppen von Modellen. In: Praxis Geographie 27 (1), S. 9-11.

CLASON, D. L., DORMODY, T. J. (1994): Analyzing Data Measured by Individual Likert-Type Items. In: Journal of Agricultural Education 35, S. 31-35.

CLAUSEN, S., CHRISTIAN, A. (2012): Concept Mapping als Messverfahren für den außerschulischen Bereich. In: Journal für Didaktik der Biowissenschaften (3), S. 18-31.

COHEN, J. (1988): Statistical Power Analysis for the behavioral sciences. 2. Ausgabe. New York.

COHEN, R. L. (1989): Memory for Action Events: The Power of Enactment. In: Educational Psychology Review 1 (1), S. 57-80.

COPOLO, C. F., HOUNSHELL, P. B. (1995): Using Three-Dimensional Models to Teach Molecular Structures in High School Chemistry. In: Journal of Science Education and Technology 4 (4), S. 295-305.

COX, M., ELEN, J., STEEGEN, A. (2019): Systems thinking in geography: can high school students do it? In: International Research in Geographical and Environmental Education 28 (1), S. 37-52.

CYFFKA, B., STAMMEL, B., FISCHER, P., BETZ, F., GELHAUS, M., KUBA, M. (2018): Flussauen im Wandel von Raum und Zeit. In: Geographische Rundschau 70 (1), S. 18-25.

DEIMANN, M. (2002): Motivationale Bedingungen beim Lernen mit Neuen Medien. In: BLEEK, W.-G., KRAUSE, D., OBERQUELLE, H., PAPE, B. (Hrsg.): Medienunterstütztes Lernen – Beiträge von der WissPro-Wintertagung 2002. Hamburg, S. 61-70.

DEVELAKI, M. (2007): The model-based view of scientific theories and the structuring of school programmes. In: Science Realism 16, S. 725-749.

DGFG (Deutsche Gesellschaft für Geographie) (Hrsg.) (2020[10]): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Bildungsabschluss – mit Aufgabenbeispielen. Bonn. <https://geographie.de/wp-content/uploads/2020/09/Bildungsstandards_Geographie_2020_Web.pdf> [17.11.2020].

DIESNER, T. (2015): Die Allgemeine Systemtheorie bei Ludwig von Bertalanffy: Eine Begründung interdisziplinärer Wissenschaftspraxis. Berlin.

DIKAU, R., WEICHSELGARTNER, J. (2005): Der unruhige Planet. Der Mensch und die Naturgewalten. Darmstadt.

DIKAU, R. (2016): Naturkatastrophen – Sozialkatastrophen. In: Geographie aktuell & Schule (221), S. 4-13.

DIKAU, R., WEICHSELGARTNER, J., HUFSCHMIDT, G. (2020[3]): Gefahren – Risiken – Katastrophen. In: GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U., REUBER, P., VÖTT, A. (Hrsg.): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. München, S. 1101-1142.

DISSE, M. (2013[2]): Hydrologische Grundlagen. In: PATT, H., JÜPNER, R. (Hrsg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin, S. 17-88.

DORI, J. Y., BARAK, M. (2001): Virtual and Physical Molecular Modeling: Fostering Model Perception and Spatial Understanding. In: Educational Technology & Society 4 (1), S. 61-74.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016A[5]): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016B[5]): Untersuchungsdesgin. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 181-220.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016C[5]): Stichprobenziehung. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 291-320.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016D[5]): Qualitätskriterien in der empirischen Sozialforschung. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 81-120.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016E[5]): Datenerhebung. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 321-578.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016F[5]): Bestimmung von Teststärke, Effektgröße und optimalem Stichprobenumfang. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 807-866.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016G[5]): Datenanalyse. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 597-784.

DÖRING, N., BORTZ, J. (2016H[5]): Operationalisierung. In: DÖRING, N., BORTZ, J. (Hrsg.): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, S. 221-290.

DÖRNER, D., KREUZIG, H. W., REITHER, F., STÄUDEL, T. (1983): Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität. Bern.

DÖRNER, D. (1989): Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbeck.

DRACOS, T. (1980): Hydrologie. Eine Einführung für Ingenieure. Wien.

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e.V.) (Hrsg.) (2013): Das Deutsche Nationalkomitee für die UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“: Positionspapier „Zukunftsstrategie BNE 2015+“. Bonn. http://www.bne-portal.de/sites/default/files/BNE-Positionspapier-2015plus_deutsch.pdf [13.04.2020].

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e.V.) (Hrsg.) (2014): UNESCO Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Deutsche Übersetzung. Bonn. https://www.bmbf.de/files/2015_Roadmap_deutsch.pdf [13.04.2020].

EGNER, H., RATTER, B. (2008): Einleitung: Wozu Systemtheorie(n). In: EGNER, H., RATTER, B., DIKAU, R. (Hrsg.): Umwelt als System – System als Umwelt? München, S. 9-19.

EID, M., GOLLWITZER, M., SCHMITT, M. (2010³): Statistik und Forschungsmethoden. Lehrbuch. Weinheim.

ELVERFELDT, K. v. (2012): Systemtheorie in der Geomorphologie. Problemfelder, erkenntnistheoretische Konsequenzen und praktische Implikationen. Stuttgart (= Erdkundliches Wissen 151).

ENGEL, H. (1997): Die Ursachen des Hochwassers am Rhein – natürlich oder selbstgemacht? In: IMMENDORF, R. (Hrsg.): Hochwasser. Natur im Überfluss? Heidelberg, S. 9-30.

ENGELHARD, K., OTTO, K.-H. (2015): Kompetenzorientierten Geographieunterricht fachgerecht planen und analysieren. In: REINFRIED, S., HAUBRICH, H. (Hrsg.): Geographie unterrichten lernen. Die Didaktik der Geographie. Berlin, S. 309-380.

ESCHER-VETTER, H. (2011³): Gebirgsgletscher im Klimawandel – Auswirkungen auf die Wasserversorgung. In: LOZÁN, J. L., GRAßL, H., HUPFER, P., KARBE, L., SCHÖNWIESE, C.-D. (Hrsg.): WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? Hamburg, S. 72-80. https://www.climate-service-center.de /imperia/md/content/csc/warnsignalklima/warnsignal_klima_wasser_kap1_1.7_escher-vetter.pdf [13.04.2020].

EU (Europäische Union) (Hrsg.) (2007): Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlamentes und des Rates. In: EUROPÄISCHE UNION (Hrsg.): Amtsblatt der Europäi-

schen Union L 288, S. 27-34. http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaesser/richtlinie_management_hochwasserrisiken.pdf [13.04.2020].

EVAGOROU, M., KORFIATIS, K., NICOLAOU, C., CONSTANTINOU, C. (2009): An Investigation of the Potential of Interactive Simulations for Developing System Thinking Skills in Elementary School: A case study with fifth-graders and sixth-graders. In: International Journal of Science Educations 31 (5), S. 655-674.

EVERS, M. (2018): Hochwasserrisikomanagement in Europa und Deutschland. In: Geographische Rundschau 70 (1), S. 26-31.

FANTA, D., BRÄUTIGAM, J., GREIFF, S., RIEß, W. (2017): Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Erfassung von systemischen Denken bei Lehramtsstudierenden in ökologischen Kontexten. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, S. 241-259.

FANTA, D., BRÄUTIGAM J., RIESS, W. (2019): Fostering systems thinking in student teachers of biology and geography – an intervention study. In: Journal of Biological Education, S. 1-19.

FATTORELLI, S., FONTANA, G. D., DA ROS, D. (1999): Flood Hazard Assessment and Mitigation. In: CASALE, R., MARGOTTINI, C. (Hrsg.): Floods and Landslides. Heidelberg, S. 19-38.

FAUL, F., ERDFELDER, E., LANG, A.-G., BUCHNER, A. (2007): G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. In: Behavior Research Methods 39 (2), S. 175-191.

FAVIER, T. T., VAN DER SCHEE, J. A. (2014): The effects of geography lessons with geospatial technologies on the development of high school students` relational thinking. In: Computers & Education 76, S. 225-236.

FELDMANN, H., FRÜH, B., KOTTMEIER, C., PANITZ, H.-J., SCHÄDLER, G. (2010): Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg (ReSiPrec). Karlsruhe. http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/downloads/ReSiPrec_Schlussbericht_Herausforderung_Klimawandel.pdf [13.04.2020].

FELGENTREFF, C., DOMBROWSKY, W. R. (2008): Hazard-, Risiko- und Katastrophenforschung. In: FELGENTREFF, C., GLADE, T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Berlin, S. 13-30.

FELGENTREFF, C., GLADE, T. (2008): Naturrisiken – Sozialkatastrophen: zum Geleit. In: FELGENTREFF, C., GLADE, T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Berlin, S. 1-12.

FELGENTREFF, C., KUHLICKE, C., WESTHOLT, F. (2012): Naturereignisse und Sozialkatastrophen. Berlin (= Schriftenreihe Sicherheit 8).

FERK, V., VRTACNIK, M., BLEJEC, A., GRIL, A. (2003): Students` understanding of molecular structure representations. In: International Journal of Science Education 25 (10), S. 1227-1245.

FERRELL, B. G. (1983): A Factor Analytic Comparison of Four Learning-Styles Instruments. In: Journal of Educational Psychology 75 (1), S. 33-39.

FIELD, A. (2018[5]): Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics. Los Angeles.

FISCHER, F., MANDL, H. (2000): Strategiemodellierung mit Expertenmaps. In: FISCHER, F., MANDL, H. (Hrsg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Göttingen, S. 37-53.

FISCHLER, H., PEUCKERT, J. (2000): Concept Mapping in Forschungszusammenhängen. In: FISCHLER, H., PEUCKERT, J. (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. Berlin, S. 1-21.

FLICK, U. (2011[3]): Triangulation. Eine Einführung. Wiesbaden (= Qualitative Sozialforschung 12).

FÖGELE, J., MEHREN, R., REMPFLER, A. (2020): Wissen vernetzen. Concept Maps im Geographieunterricht. In: Praxis Geographie 50 (4), S. 10-14.

FRAEDRICH, W. (2011): Hochwasser an der Elbe – fast jedes Jahr aufs Neue. Wasser als Naturereignis mit dramatischen Folgen für Mensch und Raum. In: geographie heute 31 (293), S. 8-12.

FRISCH, M. (1979): Der Mensch erscheint im Holozän. Frankfurt am Main.

FRISCHKNECHT-TOBLER, U., KUNZ, P., NAGEL, U. (2008): Systemdenken – Begriffe, Konzepte und Definitionen. In: FRISCHKNECHT-TOBLER, U., NAGEL, U., SEYBOLD, H.-J. (Hrsg.): Systemdenken – Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 11-31.

FUCHSGRUBER, V., RIEMBAUER, G. (2016): Hochwasser in Löbnitz. Auswirkungen und Schutzmaßnahmen. In: Praxis Geographie 46 (12), S. 10-13.

FURR, R. M., ROSENTHAL, R. (2003): Evaluating Theories Efficiently: The Nuts and Bolts of Contrast Analysis. In: Understanding Statistics 2 (1), S. 45-67.

FÜRSTENAU, B. (2011): Concept Maps im Lehr-Lern-Kontext. In: Die Zeitschrift für Erwachsenenbildung 18 (1), S. 46-48.

GAIDA, T. (2019): Hochwasser am Rhein. o. O. https://www.gaidaphotos.de/blog/hochwasser-am-rhein/ [20.02.2020].

GEOFORSCHUNGSZENTRUM (Hrsg.) (o. J.): FAQ Hochwasser. Potsdam. https://www.eskp.de/fileadmin/eskp/publikationen/fragen_und_antworten/FAQ_Hochwasser.pdf [13.04.2020].

GERSMEHL, P. J., GERSMEHL C. A. (2007): Spatial Thinking by Young Children: Neurologic Evidence for Early Development and "Educatability". In: Journal of Geography 106 (5), S. 181-191.

GIERE, R. N. (1999): Modelle und Theorien. In: GADENNE, V., VISINTIN, A. (Hrsg.): Wissenschaftsphilosophie. Freiburg, S. 147-165.

GIERE, R. N. (2010): An agent-based conception of models and scientific representation. In: Synthese 172 (2), S. 269-281.

GRAF, D. (2014): Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I., SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, S. 325-340.

GRAW, M. (2003²): Hochwasser – Naturereignis oder Menschenwerk? Bonn (= Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz 66).

GREGOIRE, T. G., DRIVER, B. L. (1987): Analysis of ordinal data to detect population differences. In: Psychological Bulletin 101 (1), S. 159-165.

GUASTELLO, E. F., BEASLEY, T. M., SINATRA, R. C. (2000): Concept mapping effects of science content comprehension of low-achieving inner-city seventh graders. In: Remedial and Special Education 21 (6), S. 356-365.

GREIFF, S., FUNKE, J. (2010): Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. In: Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 56, S. 216-227.

GROSCH, J. (2016): Rheinpegel in Köln. Die schlimmsten Hoch- und Niedrigwasser der vergangenen 100 Jahre. Köln. https://www.ksta.de/koeln/rheinpegel-in-koeln-die-schlimmsten-hoch--und-niedrigwasser-der-vergangenen-100-jahre-24966974 [02.02.2020].

GRUNDMANN, D. (2017): Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schulen verankern. Handlungsfelder, Strategien und Rahmenbedingungen der Schulentwicklung. Wiesbaden.

GRÜNEWALD, U., SÜNDERMANN, J. (2001): Überschwemmungen. In: PLATE, E. J., MERZ, B. (Hrsg.): Naturkatastrophen. Ursachen – Auswirkungen – Vorsorge. Stuttgart, S. 159-189.

GRÜNKORN, J. (2014): Modellkompetenz im Biologieunterricht. Empirische Analyse von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mit Aufgaben im offenen Antwortformat. Berlin.

GRÜNKORN, J., LOTZ, A., TERZER, E. (2014): Erfassung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht 67 (3), S. 132-138.

GRUNWALD, A., KOPFMÜLLER, J. (2006): Nachhaltigkeit. Frankfurt am Main.

HAAN, G. de (2008): Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept für Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: BORMANN, I., HAAN, G. de (Hrsg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. Wiesbaden, S. 23-43.

HAAN, G. de, KAMP, G., LERCH, A., MARTIGNON, L., MÜLLER-CHRIST, G., NUTZINGER, H.-G. (2008): Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen. Berlin (= Ethics of Science and Technology Assessment 33).

HÄCKEL, H. (2016[8]): Meteorologie. Stuttgart.

HAGGETT, P., CHORLEY, R. J. (1970): Models, Paradigms and the New Geography. In: CHORLEY, R. J., HAGGETT, P. (Hrsg.): Physical and Information Models in Geography. Abingdon, S. 19-39.

HALLER, H.-D., NOWACK, I. (2003): Lernstildiagnose. o. O. https://docplayer.org/26459820-Lernstildiagnose-d-goettingen.html [13.04.2020].

HARRISON, A. G., TREAGUST, D. F. (2000): A typology of school science models. In: International Journal of Science Education 22 (9), S. 1011-1026.

HATTIE, J. (2014[2]): Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning“ besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer. Hohengehren.

HATTIE, J. (2017[3]): Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning for Teachers“ besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer. Baltmannsweiler.

HAUFF, M. v., KLEINE, A. (2009): Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung. München.

HECKHAUSEN, H. (1963): Hoffnung und Furcht in der Leistungsmotivation. Meisenheim am Glan.

HEGELE, I. (2008[4]): Stationenarbeit – Ein Einstieg in den offenen Unterricht. In: WIECHMANN, J. (Hrsg.): Zwölf Unterrichtsmethoden. Vielfalt für die Praxis. Weinheim, S. 61-76.

HEMMER, I., HEMMER, M. (2010A): Interesse von Schülerinnen und Schülern an geowissenschaftlichen Themen und Arbeitsweisen – Zur Bedeutung der Kontexte. In: HEMMER, I., HEMMER, M. (Hrsg.): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Weingarten (= Geographiedidaktische Forschungen 46), S. 223-238

HEMMER, I., HEMMER, M. (2010B): Interesse von Schülerinnen und Schülern an einzelnen Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts – ein Vergleich zweier empirischer Studien aus den Jahren 1995 und 2005. In: HEMMER, I., HEMMER, M. (Hrsg.): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Weingarten (= Geographiedidaktische Forschungen 46), S. 65-148.

HENTSCHEL, P., ROTH, J. (1997): Hochwasser – natürliches „Lebenselixier" der Auen. In: IMMENDORF, R. (Hrsg.): Hochwasser. Natur im Überfluss? Heidelberg, S. 39-56.

HERGET, J. (2008): Hochwasser, Sturzfluten und Ausbruchsflutwellen. In: FELGENTREFF, C., GLADE, T. (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. Berlin, S. 165-180.

HESS, U. (2018): Allgemeine Psychologie II. Motivation und Emotion. Stuttgart (= Grundriss der Psychologie 4).

HLAWATSCH, S., LÜCKEN, M., HANSEN, K.-H., FISCHER, M., BAYRHUBER, H. (2005): Forschungsdialog: System Erde. Schlussbericht. Kiel.

HMELO-SILVER, C. E., AZEVEDO, R. (2006): Understanding Complex Systems. Some Core Challenges. In: Journal of the Learning Sciences 15 (1), S. 53-61.

HMELO-SILVER, C. E., MARATHE, S., LIU, L. (2007): Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: expert-novice understanding of complex systems. In: The Journal of the Learning Sciences 16 (3), S. 307-331.

HMELO-SILVER, C. E., JORDAN, R., EBERBACH, C., SINHA, S. (2017): Systems learning with a conceptual representation: a quasi-experimental study. In: Instructional Science 45 (1), S. 53-72.

HOFFMANN, J. (2017²): Das semantische Gedächtnis: Bildung und Repräsentation konzeptuellen Wissens. In: HOFFMANN, J., ENGELMAP, J. (Hrsg.): Lern- und Gedächtnispsychologie. Berlin, S. 77-108.

HOFSTÄTTER, M., JACOBEIT, M., HOMANN, M., LEXER, A., CHIMANI, B., PHILIPP, A., BECK, C., GANEKIND, M. (2015): Auswirkungen des Klimawandels auf großflächige Starkniederschläge in Mitteleuropa: Analyse der Veränderungen von Zugbahnen und

Großwetterlagen. Großflächige Starkniederschläge im Klimawandel. Abschlussbericht Juni 2015. Augsburg (= Geographica Augustana 19) http://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_projekte/wetrax/endbericht [13.04.2020].

HOPPER, M., STAVE, K. A. (2008): Assessing the Effectiveness of Systems thinking Interventions in the Classroom. Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society. Athens. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.408.4985&rep=rep1&type=pdf [13.04.2020].

HOUSTON, J. B., HAWTHORNE, J., PERREAULT, M. F., PARK, E. H., HODE, G. M., HALLIWELL, M. R., MCGOWEN, S. E. T., DAVIS, R., VAID, S., MC ELDERRY, J. A., GRIFFITH, S. (2014): Social media and disasters: a functional framework for social media use in disaster planning, response, and research. In: Disasters 39 (1), S. 1-22.

HUFSCHMIDT, G., DIKAU, R. (2013): Bildung als Katastrophenvorsorge. In: UNGER, C., MITSCKE, T., FREUDENBERG, D. (Hrsg.): Krisenmanagement – Notfallplanung – Bevölkerungsschutz. Festschrift anlässlich 60 Jahre Ausbildung im Bevölkerungsschutz. Berlin, S. 273-291.

HUPFER, P., KUTTLER, W. (Hrsg.) (2006[12]): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. Wiesbaden.

IKSR (Hrsg.) (2015): Veränderungen des Oberrheins. https://www.iksr.org/rhein/teileinzugsgebiete/oberrhein/veraenderungen/ [30.01.2020].

INROPERA, F. P. (2016): Climate change a wicked problem: complexity and uncertainty at the intersection of science, economics, politics and human behavior. New York.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2012): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: FIELD, C. B., BARROS, V., STOCKER, T. F., QUIM, D., DOKKEN, D. J., EBI, K. L., MASTRANDREA, M. D., MACH, K. J., PLATTNER, G.-K., ALLEN, S. K., TIGNOR, M., MIDGLEY, P. M. (Hrsg.): Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel. Ein Sonderbericht der Arbeitsgruppen I und III des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Deutsche Übersetzung durch die Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Bonn.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Hrsg.) (2013/2014): Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt. Bonn.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Hrsg.) (2014A): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). IPCC. Genf. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Bonn.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Hrsg.) (2014B): Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg. Bonn.

JAHN, M., VIEHRIG, K., FIENE, C., SIEGMUND, A. (2015): Mit Concept Maps systemisches Denken von Schüler/innen bewerten. In: BUDKE, A., KUCKUCK, M. (Hrsg.): Geographiedidaktische Forschungsmethoden. Berlin, S. 341-368.

JANICH, P. (2002): Modell und Modelliertes. Zwecke und Methoden. In: GETHMANN, C. F., LINGNER, S. (Hrsg.): Integrative Modellierung zum Globalen Wandel. Berlin (Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung 17), S. 15-34.

JONKISZ, E., MOOSBRUGGER, H., BRANDT, H. (2012²): Planung und Entwicklung von Tests und Fragebogen. In: MOOSBRUGGER, H., KELAVA, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin, S. 28-74.

KAHLMEIER, A. (2014): Hochwasser 1993 „Weihnachtsbaum im Bötchen geholt“. Köln. https://www.express.de/2709316 [20.02.2020].

KAMINSKE, V. (1996): Vernetztes Denken im Unterricht – Der geosystemare Ansatz in einer Klasse 11. In: Geographie und Schule 18 (102), S. 36-43.

KAPMEIER, F. (2004): Findings from four years of bathtub dynamics at higher management education institutions in Stuttgart. Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society. o. O.

KASPAR, F., MÄCHEL, H. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: BRASSEUR, G., JACOB, D., SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, S. 17-21.

KASPERIDUS, H. D., LANGFELDER, H., BIBER, P. (2006): Comparing Systems Thinking Inventory Task Performance in German Classrooms at High School and University Level. 24th International conference of the System Dynamics Society. Nijmegen.

KELAVA, A., MOOSBRUGGER, H. (2012²): Deskriptivstatistische Evaluation von Items (Itemanalyse) und Testwertverteilungen. In: MOOSBRUGGER, H., KELAVA, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin, S. 75-102.

KERSTING, P. (2015): Ein kritischer Überblick systemtheoretisch geprägter Ansätze in der Geographie. In: GRYL, I., SCHLOTTMANN, A., KANWISCHER, D. (Hrsg.): Mensch: Umwelt: System – Theoretische Grundlagen und praktische Beispiele für den Geographieunterricht. Berlin (= Praxis neue Kulturgeographie 11), S. 43-60.

KESTLER, F. (2002): Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts. Bad Heilbrunn.

KINCHIN, I. M., HAY, D. B., ADAMS, A. (2000): How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. In: Educational Research 42 (1), S. 43-57.

KINCHIN, I. A. (2014): Concept Mapping as a Learning Tool in Higher Education: A Critical Analysis of Recent Reviews. In: The Journal of Continuing Higher Education 62 (1), S. 39-49.

KLIEME, E., MAICHLE, U. (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I: Auswertung von Unterrichtsversuchen mit dem Modellbildungssystem MODUS. Bonn.

KLIEME, E., AVENARIUS, H., BLUM, W., DÖBRICH, P., GRUBER, H., PRENZEL, M., REISS, K., RIQUARTS, K., ROST, J., TENORTH, H. E., VOLLMER, H. J. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Expertise. Bonn.

KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hrsg.) (2005): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. München.

KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland), BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) (Hrsg.) (2016²): Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Berlin.

KOCH, S., KRELL, M., KRÜGER, D. (2015): Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox. In: Erkenntnisweg Biologiedidaktik 14, S. 93-108.

KÖCK, H. (1979): Modelle im Geographieunterricht. Ein Ansatz legitimer Wissenschaftsorientierung. In: KROSS, E. (Hrsg.): Geographiedidaktische Strukturgitter – Eine Bestandsaufnahme. Bochumer Symposium 1978. Braunschweig, S. 113-131.

KÖCK, H. (1984): Möglichkeiten der Modellbildung im Erdkundeunterricht. In: Geographie im Unterricht 9 (7), S. 277-285.

KÖCK, H. (1985): Systemdenken – geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. In: Geographie und Schule 7 (33), S. 15-19.

KÖCK, H. (1995): Erkenntnis- und lerntheoretische Funktionen geographischer Modelle. In: Internationale Schulbuchforschung 17 (3), S. 251-282.

KÖCK, H., REMPFLER, A. (2004): Erkenntnisleitende Ansätze – Schlüssel zur Profilierung des Georgaphieunterrichts. Mit erprobten Unterrichtsvorschlägen. Köln.

KOENZEN, U. (1997): Fließgewässerrenaturierung und Auenschutz – eine Möglichkeit zur Hochwasserprävention? In: IMMENDORF, R. (Hrsg.): Hochwasser. Natur im Überfluss? Heidelberg, S. 145-162.

KOLB, A. Y., KOLB, D. A. (2005): Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education. In: Academy of Management Learning & Education 4 (2), S. 193-212.

KONG, X., NIE, L., THANG, H., WANG, Z., YE, Q., TANG, L., LI, J., HUANG, W. (2016): Do three-dimensional visualization and three-dimensional printing improve hepatic segment anatomy teaching? A randomized controlled study. In: Journal of surgical education 73 (2), S. 264-269.

KOO, T. K., LI, M. Y. (2016): A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. In: Journal of Chiropractic Medicine 15 (2), S. 155-163.

KRAPP, A. (2010): Die Bedeutung von Interessen für die Lernmotivation und das schulische Lernen – eine Einführung. In: HEMMER, I., HEMMER, M. (Hrsg.): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Weingarten (= Geographiedidaktische Forschungen 46), S. 9-26.

KRAUTTER, Y. (2015): Medien im Geographieunterricht nach lernförderlichen Kriterien auswählen. In: REINFRIED S., HAUBRICH H. (Hrsg.): Geographie unterrichten lernen. Die Didaktik der Geographie. Berlin, S. 213-276.

KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A., KRÜGER, D. (2016): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: SANDMANN, A., SCHMIEMANN, P. (Hrsg.): Biologiedidaktische Forschung 1. Berlin, S. 83-102.

KREUS, A., VON DER RUHREN, N. (Hrsg.) (2008): Fundamente. Geographie Oberstufe. Stuttgart.

KRISTEN, J., JACKLYN, P., COUPER, L., SILBERGLITT, M., DAVENPORT, J. (2016): Tangible models an haptic representations aid learning of molecular biology concepts. In: 38th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2016) (1), S. 372-377.

KRÜGER, D., KAUERTZ, A., UPMEIER ZU BELZEN, A. (2018): Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I., SCHECKER, H. (Hrsg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, S. 141-157.

KRUSE, S. (2010): Vorsogendes Hochwassermanagement im Wandel. Ein sozial-ökologisches Raumkonzept für den Umgang mit Hochwasser. Wiesbaden.

KUNZ, M., MOHR, S., WERNER, P. (2017): Niederschlag. In: BRASSEUR, G., JACOB, D., SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, S. 57-66.

Lambert, J. H. (1969): Logische und philosophische Abhandlungen 2. Hildesheim (= Philosophische Schriften 7).

LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2007): Bürgerinformation. Hochwasserschutz Grimma. Pirna. https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13478/documents/15297 [20.02.2020].

LATZ, W. (Hrsg.) (2014): Diercke Praxis. Arbeits- und Lernbuch. Einführungsphase. Braunschweig.

Lauterjung, J. (2016): Naturgefahren. Gefährdung, Frühwarnung und Reaktion. In: Praxis Geographie 46 (12), S. 4-9.

LAWA (Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (Hrsg.) (2004): Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Düsseldorf. https://www.lawa.de/documents/10_instrumente_und_handlungsempfehlungen_zur_umsetzung_der_leitlinien_fuer_einen_zukunftsweisenden_hochwasserschutz_auch_als_download_1552299668.pdf [13.04.2020].

LAWA (Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (Hrsg.) (2013): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen beschlossen auf der 146. LAWA - VV am 26./27. September 2013 in Tangermünde. Magdeburg. https://www.lawa.de/documents/empfehlungen_zur_aufstellung_von_hwrmpl_mit_anlagen_1552299352.pdf [13.04.2020].

LECHER, T. (1997): Die Umweltkrise im Alltagsdenken. Weinheim.

LESER, H., EGNER, H., MEIER, S., MOSIMANN, T., NEUMAIR, T., PAESLER, R., SCHLESINGER, D. (2017A[16]): System. In: LESER, H. (Hrsg.): Diercke Wörterbuch Geographie. Raum – Wirtschaft und Gesellschaft – Umwelt. Braunschweig, S. 923.

LESER, H., EGNER, H., MEIER, S., MOSIMANN, T., NEUMAIR, T., PAESLER, R., SCHLESINGER, D. (2017B[16]): Hochwasser. In: LESER, H. (Hrsg.): Diercke Wörterbuch Geographie. Raum – Wirtschaft und Gesellschaft – Umwelt. Braunschweig, S. 369.

LESER, H., EGNER, H., MEIER, S., MOSIMANN, T., NEUMAIR, T., PAESLER, R., SCHLESINGER, D. (2017C[16]): Überschwemmungen. In: LESER, H. (Hrsg.): Diercke Wörterbuch Geographie. Raum – Wirtschaft und Gesellschaft – Umwelt. Braunschweig, S. 979.

LIEHR, S., BECKER, E., KEIL, F. (2006): Systemdynamiken. In: BECKER, E., JAHN, T. (Hrsg.): Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. Frankfurt, S. 259-283.

LIFE PROJEKT (Hrsg.) (o. J.): Vergleich zwischen naturnah und begradigt. http://www.life-bachtaeler.de/gewaesserrenaturierung/naturnah-begradigt.html [20.02.2020].

LIND, G. (2013): Meta-Analysen als Wegweiser? Zur Rezeption der Studie von Hattie in der Politik. o. O. http://www.uni-konstanz.de/ag-moral/pdf/Lind-2013_meta-analysen-als-wegweiser.pdf [13.04.2020].

LINDSAY, B. R. (2011): Social Media and Disaster: Current Uses, Future Optins, and Policy Considerations. o. O. https://www.nisconsortium.org/portal/resources/bin/Social_Media_and_Dis_1423591240.pdf [13.04.2020].

LIU, X., HINCHEY, M. (1996): The internal consistency of a concept mapping scoring scheme and its effects on predicition validity. In: International Journal of Science Education 18 (8), S. 921-937.

LOHMANN, D., PODBREGAR, N. (2015): Sturmfluten – wenn das Wasser kommt. In: PODBREGAR, N., LOHMANN, D. (Hrsg.): Im Fokus: Naturkatastrophen. Zerstörerische Gewalten und tickende Zeitbomben. Berlin (= Naturwissenschaften im Fokus), S. 179-192.

LUHMANN, N. (1984): Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie. Frankfurt am Main.

LUHMANN, N. (1991[4]): Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie. Frankfurt am Main.

LUHMANN, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Erster und zweiter Teilband. Frankfurt am Main.

LUHMANN, M. (2010): R für Einsteiger. Einführung in die Statistiksoftware für die Sozialwissenschaften. Berlin.

MAHR, B. (2003): Modellieren. Beobachtungen und Gedanken zur Geschichte des Modellbegriffs. In: KRÄMER, S., BREDEKAMP, H. (Hrsg.): Bild – Schrift – Zahl. München, S. 59-86.

MAHR, B. (2008): Ein Modell des Modellseins. Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In: DIRKS, U., KNOBLOCH, E. (Hrsg.): Modelle. Frankfurt am Main, S. 187-220.

MAIERHOFER, M. (2001): Förderung des systemischen Denkens durch computerunterstützen Biologieunterricht. Herdecke.

MALLICK, B. (2014): Der gesellschaftliche Umgang mit zunehmender Verwundbarkeit. Eine Analyse der sozialen Bedingungen für vulnerabilitätsorientierte räumliche Planung in den Küstenzonen von Bangladesch (= Regionalwissenschaftliche Forschungen 36).

MANIAK, U. (2010[6]): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. Berlin.

MATTES, W. (2011): Methoden für den Unterricht. Kompakte Übersichten für Lehrende und Lernende. Paderborn.

MC CLURE, J. R., BELL, P. E. (1990): Effects of an environmental education-related STS approach instruction on cognitive structures of preservice science teachers. Pennsylvania.

MDR (Hrsg.) (2019): Erinnerungen. Grimma 2002. https://www.mdr.de/zeitreise/stoebern/damals/grimma-flut100.html [20.02.2020].

MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. W. (1972): The Limits to growth. A Report for THE CLUB OF ROM'S Project on the Predicament of Mankind. New York.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M. (2014): Denken in komplexen Zusammenhängen. Systemkompetenz als Schlüssel zur Steigerung der Eigenkomplexität von Schülern. In: Praxis Geographie 44 (4), S. 4-8.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J. (2015A): Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. In: Geographie aktuell & Schule 215 (37), S. 4-16.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. (2015B): Diagnostik von Systemkompetenz mittels Concept Maps. Malariabekämpfung im Kongo als Beispiel. In: Praxis Geographie 45 (7-8), S. 29-33.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J. (2015C): Validierung eines Kompetenzmodells zur Geographischen Systemkompetenz. In: GRYL, I., SCHLOTTMANN, A., KANWISCHER, D. (Hrsg.): Mensch: Umwelt: System – Theoretische Grundlagen und praktische Beispiele für den Geographieunterricht. Berlin (= Praxis neue Kulturgeographie 11), S. 61-81.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E.-M., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J. (2016): Systemkompetenz im Geographieunterricht. Ein theoretisch hergeleitetes und empirisch überprüftes Kompetenzstrukturmodell. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 22 (1), S. 147-163.

MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M. (2017): Die Anbahnung von Systemkompetenz im Geographieunterricht. In: ARNDT, H. (Hrsg.): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen (= FAU Lehren und Lernen 2), S. 223-252.

MEHREN, R., REMPFLER, A., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J., ULRICH-RIEDHAMMER, E. (2018): System competence modelling: Theoretical foundation and empirical validation of a model involving natural, social and human-environment systems. In: Journal of Research in Science Teaching 55 (5), S. 685-711.

MEHREN, R., REMPFLER, A. (2018): Systemisches Denken. In: BRUCKER, A., HAVERSATH, J.-B., SCHÖPS, A. (Hrsg.): 102 Stichworte. Baltmannsweiler, S. 205-206.

MEISERT, A. (2008): Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zu Klassifikation von Modellen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 14 (1), S. 243-261.

MENOLD, N., BOGNER, K. (2015): Gestaltung von Ratingskalen in Fragebögen. Mannheim. https://www.gesis.org/fileadmin/upload/SDMwiki/Archiv/Ratingskalen_MenoldBogner_012015_1.0.pdf [13.04.2020].

MERZ, B., KREIBICH, H., RUDOLF, B. (2014): Hochwasser. In: BECKER, P., HÜTTL, R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam, S. 14-23. https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_749927_16/component/file_1127894/content [13.04.2020].

MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MSW) (Hrsg.) (2014): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II. Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Geographie. Düsseldorf.

MINSHULL, R. (1975): An Introduction to Models in Geography. London.

MOHAMED-SALAH, B., ALAIN, D. (2016): To what degree does handling concrete molecular models promote the ability to translate and coordinate between 2D and

3D molecular structure representations? A case study with Algerian students. In: Chemistry Education Research and Practice 17 (4), S. 862-877.

MOHLER, P. P., PORST, R. (1996): Pretest und Weiterentwicklung von Fragebogen – Einführung in das Thema. In: STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Pretest und Weiterentwicklung von Fragebogen. Wiesbaden (= Spektrum Bundesstatistik 9), S. 7-15.

MÖLTNER, A., SCHELLBERG, D., JÜNGER, J. (2006): Grundlegende quantitative Analysen medizinischer Prüfungen. In: GMS Zeitschrift für Medizinische Ausbildung 23 (3), S. 1-11. http://www.medizinische-fakultaet-hd.uni-heidelberg.de/fileadmin/kompzent/Moeltner_Quantitative_Analysen.pdf [13.04.2020].

MOOSBRUGGER, K., KELAVA, A. (2012²): Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In: MOOSBRUGGER, H., KELAVA, A. (Hrsg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. Berlin, S. 7-26.

MÜLLER, R. (1983): Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs. In: STACHOWIAK, H. (Hrsg.): Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit. München, S. 17-86.

MÜLLER, U. (2010): Hochwasserrisikomanagement. Theorie und Praxis. Wiesbaden. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9729-9.pdf [13.04.2020].

MÜLLER, M., BESSEL, T., PISI, S., KREIBICH, H., KIENZLER, S., THIEKEN, A. (2015²): Auswirkungen und Schäden. In: DEUTSCHES KOMITEE KATASTROPHENVORSORGE E.V. (Hrsg.): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement. Bonn, S. 31-44. http://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/DKKV_53_Hochwasser_Juni_2013.pdf [13.04.2020].

MULNV NRW (Hrsg.) (2010): Hochwasserrisiken gemeinsam meistern. Die europäische Richtlinie zum Hochwasserrisiko-Management in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/hochwasserrisiken.pdf [13.04.2020].

MULNV NRW (Hrsg.) (2013): Hochwasserrisiko-Management. Schritte zum zukunftsfähigen Umgang mit den Risiken durch Hochwasser in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/broschuere_hochwasserrisiko_nrw.pdf [13.04.2020].

MULNV NRW (o. J.): Hochwassergefahrenkarten/Hochwasserrisikokarten - Erläuterungen und Lesehilfe. Düsseldorf. https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/lesehilfe_hwrmrl_hwgk.pdf [13.04.2020].

MÜNCHNER RÜCKVERSICHERUNG (Hrsg.) (2018): NatCatSERVICE. Das Analyse Tool. o. O. http://natcatservice.munichre.com/ [13.04.2020].

NAISH, B. (1982): Mental development and the learning of geography. In: GRAVES, N. J. (Hrsg.): New Unesco Source Book for Geography Teaching. Paris, S. 16-54.

NANNA, M. J., Sawilowsky, S. S. (1998): Analysis of Likert scale data in disability and medical rehabilitation research. In: Psychological Methods 3 (1), S. 55-67.

NESBIT, J. C., ADESOPE, O. O. (2006): Learning with Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. Review of Educational research 76 (3), S. 413-448.

NEUHAUS, B., BRAUN, E. (2007): Testkonstruktion und Testanalyse für empirisch arbeitende Didaktiker. In: BAYRHUBER, H., ELSTER, D., KRÜGER, D., VOLLMER, H. J. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung und Assessment. Innsbruck, S. 135-164.

NEWMAN, D. L., STEFKOVICH, M., CLASEN, C., FRANZEN, M. A., WRIGHT, L. K. (2018): Physical Models Can Provide Superior Learning Opportunities Beyond the Benefits of Active Engagements. In: Biochemistry and Molecular Biology Education 46 (5), S. 435-444.

NIEDEK, I., FRATER, H. (Hrsg.) (2003): Naturkatastrophen. Wirbelstürme, Beben, Vulkanausbrüche – Entfesselte Gewalten und ihre Folgen. Berlin.

NIEKAMP, O., PIROTH, K. (2013²): Hochwasserschäden. In: PATT, H., JÜPNER, R. (Hrsg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin, S. 519-552.

NOVAK, J. D., GOWIN, D. B., JOHANSEN, G. T. (1983): The use of concept mapping and knowledge Vee mapping with junior high school science students. In: Science Education 67 (5), S. 625-645.

NOVAK, J. D., GOWIN, D. B. (1984): Learning how to learn. Cambridge.

NOVAK, J. D. (1996): Concept Mapping: A Tool for Improving Science Teaching and Learning. In: TREAGUST, D. F., DUIT, R., FRASER, B. J.: Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics. New York, S. 32-43.

NOVAK, J. D., CAÑAS, A. J. (2008): The theory underlying concept maps and how to construct and use them. Pensacola.

OBERACKER, C. (2015): Land unter! Hochwasserrisiko, Klimawandel und warum Anpassung nicht immer einfach ist. In: Praxis Geographie 45 (5), S. 16-21.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (Hrsg.) (2016): Financial Management of Flood Risk. Paris. http://www.oecd.org/daf/fin/insurance/Financial-Management-of-Flood-Risk.pdf [14.04.2020].

ORION, N., BASIS, T. (2008): Characterization of high school students`system thinking skills in the context of earth systems. Paper at the NARST annual Conference. Baltimore.

OSSIMITZ, G. (1994): Systemdynamiksoftware und Mathematikunterricht. Endbericht zum gleichnamigen Projekt. Klagenfurt.

OSSIMITZ, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. Klagenfurt (= Klagenfurter Beiträge zur Didaktik der Mathematik 1).

OTTO, K.-H., SCHULER, S. (2012): Pädagogisch-psychologische Ansätze. In: DUTTMANN, R., GLAWION, R., POPP, H., SCHNEIDER-SLIWA, R., SIEGMUND, A. (Hrsg.): Geographiedidaktik. Theorie – Themen – Forschung. Braunschweig, S. 133-164.

OTTO, K-H., MÖNTER, L. (2013): RISIKO: Lernen - Lehren - Leben. Die Behandlung von Naturrisiken im Geographieunterricht zwischen Anspruch und Wirklichkeit. In: Geographie und ihre Didaktik 42 (1), S. 44-48.

OTTO, K.-H., MÖNTER, L. (2015): Scientific Literacy im Geographieunterricht fördern. Experimentelle Lehr-/Lernformen und Modellexperimente. In: geographie heute 36 (322), S. 2-7.

OTTO, K.-H. . (Hrsg.) (2017): Welt im Wandel. Ein Informations- und Arbeitsheft für die Sekundarstufe II. Braunschweig.

PALA, Ö., VENNIX, J. A. M. (2005): Effect of system dynamics education on systems thinking inventory task performance. In: System Dynamics Review 21 (2), S. 147-172.

PATT, H., JÜPNER, R. (2013²): Einführung in die Thematik. In: PATT, H., JÜPNER, R. (Hrsg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin, S. 1-10.

PECH, I., KREIBICH, H., THIEKEN, A. (2015²): Warnung und Reaktion aus Sicht von Betroffenen. In: DEUTSCHES KOMITEE KATASTROPHENVORSORGE E.V. (Hrsg.): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement. Bonn, S. 138-143.

PENNER, D. E. (2000): Explaining Systems: Investigating Middle School Students` Understanding of Emergent Phenomena. In: Journal of research in Science teaching 37 (8), S. 784-806.

PETER, C. (2013): Problemlösendes Lernen und Experimentieren in der geographiedidaktischen Forschung. Eine Interventions- und Evaluationsstudie zur naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung im Geographieunterricht. Gießen.

PETER, C. (2018): Modelle. In: BRUCKER, A., HAVERSATH, J.-B., SCHÖPS, A. (Hrsg.): 102 Stichworte. Baltmannsweiler, S. 151-152.

PETROW, T., MERZ, B. (2009): Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002. In: Journal of Hydrology 371 (1-4), S. 129-141. http://www.ltrr.arizona.edu/kkh/hwrs/pdfs/trends/Trends-in-flood-mag-freq-and-seasonality-in-Germany.pdf [14.04.2020].

PIAGET, J. (1964): Development and learning. In: RIPPLE, R., ROCKCASTLE, U. (Hrsg.): Piaget rediscovered. New York, S. 7-20.

PIAGET, J., INHELDER, B. (1977): Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden: Essay über die Ausformung der formalen operativen Strukturen. Olten.

PISI, S. (2015²): Strukturen des Katastrophenschutzes und Bewältigung des Hochwassers 2002 und 2013. In: DEUTSCHES KOMITEE KATASTROPHENVORSORGE E. V. (Hrsg.): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement. Bonn, S. 144-171.

PLATE, E. J. (1997): Einführung: “Naturkatastrophe“ Hochwasser. In: IMMENDORF, R. (Hrsg.): Hochwasser. Natur im Überfluss? Heidelberg, S. 1-8.

PODBREGAR, N. (2015): Gefährliche Fluten – Hochwasser und Überschwemmungen. In: PODBREGAR, N., LOHMANN, D. (Hrsg.): Im Fokus: Naturkatastrophen. Zerstörerische Gewalten und tickende Zeitbomben. Berlin (= Naturwissenschaften im Fokus), S. 193-207.

PROBST, M. (2012): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern. https://hydrologischer-atlas.ch/downloads/04/01/hochwasser.pdf [20.02.2020].

PRÜFER, P., REXROTH, M. (1996): Verfahren zur Evaluation von Survey-Fragen: Ein Überblick. Mannheim (= ZUMA-Arbeitsbericht Nr. 96/05). https://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/gesis_reihen/zuma_arbeitsberichte/96_05.pdf [14.04.2020].

RAHMSTORF, S. (2012[7]): Der Klimawandel. München.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014A[4]): Der t-Test. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 33-80.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014B[4]): Merkmalszusammenhänge. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 81-116.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014C[4]): Varianzanalyse mit Messwiederholung. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 65-92.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014D[4]): Inferenzstatistik. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 21-32.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014E[4]): Verfahren für Rangdaten. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 93-110.

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2014F[4]): Verfahren für Nominaldaten. In: RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (Hrsg.): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Berlin, S. 111-134.

RASCHKE, N. (2018): Dreidimensionale Modelle. In: BRUCKER, A., HAVERSATH, J.-B., SCHÖPS, A. (Hrsg.): Geographie-Unterricht. 102 Stichworte. Baltmannsweiler, S. 49-51.

RASMUSSEN, J. L. (1989): Analysis of Likert-scale data: A reinterpretation of Gregoire and Driver. In: Psychological Bulletin 105 (1), S. 167-170.

RATTER, B., TREILING, T. (2008): Komplexität – oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen? In: EGNER, H., RATTER, B., DIKAU, R. (Hrsg.): Umwelt als System – System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand. München, S. 23-28.

RAUTHE, M., MALITZ, G., GRATZKI, A., BECKER, A. (2014): Starkniederschlag. In: BECKER, P., HÜTTL, R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam, S. 24-33. https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_749927_16/component/file_1127894/content [14.04.2020].

REINFRIED, S., KIENZLER, P. M. (2012): Warum gibt es Überschwemmungen? (2). Die Ursachen von Hochwasser und Überschwemmungen verstehen. In: Geographie und Schule 196, S. 43-49.

REMPFLER, A. (1999): Wasser- und Klimahaushalt im städtischen Raum. Ein Ansatz zur Vermittlung von Systemdenken. In: geographie heute 19 (172), S. 36-40.

REMPFLER, A. (2000): Systemdenken im Geographieunterricht – Beispiel „Bodenerosion“. Eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II. In: Regio Basiliensis 41 (2), S. 127-142.

REMPFLER, A. (2009): Systemkompetenz: Forschungsstand und Forschungsfragen. In: Geographie und ihre Didaktik 37 (2), S. 58-79.

REMPFLER, A., Uphues, R. (2010): Sozialökologisches Systemverständnis: Grundlage für die Modellierung von geographischer Systemkompetenz. In: Geographie und ihre Didaktik 38 (4), S. 205-217.

REMPFLER, A. (2010): Systemdenken. Schlüsselkompetenz für zukunftsorientiertes Raumverhalten. In: Geographie und Schule 32 (184), S. 11-18.

REMPFLER, A., UPHUES, R. (2011A): Systemkompetenz im Geographieunterricht - Die Entwicklung eines Kompetenzmodells. In: MEYER, C., HENRŸ, R., STÖBER, G. (Hrsg.): Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Braunschweig, S. 36-48.

REMPFLER, A., UPHUES, R. (2011B): Für ein adäquates Verständnis von Geosystemen. In: Geographie und Schule 33 (189), S. 4-10.

REMPFLER, A., UPHUES, R. (2011C): Systemkompetenz und ihre Förderung im Geographieunterricht. In: Geographie und Schule 33 (189), S. 22-33.

REMPFLER, A., UPHUES, R. (2012): System competence in Geography education. Development of competence models, diagnosing pupils` achievement. In: European Journal of Geography 3 (1), S. 6-22.

REMPFLER, A., UPHUES, R. (2013): Systemkompetenz. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 265-266.

REMPFLER, A. (2015A): Vollständig präsentierte Testaufgabe „Land-/Seewind“, bestehend aus Aufgabenstamm und 9 Items. Online-Ergänzung 1 zum Beitrag: MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J. (Hrsg.): Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. In: Geographie aktuell & Schule 215 (37), S. 4-16.

REMPFLER, A. (2015B): Vollständig präsentierte Testaufgabe „Tropischer Regenwald“, bestehend aus Aufgabenstamm und 9 Items. Online-Ergänzung 2 zum Beitrag: MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E. M., BUCHHOLZ, J., HARTIG, J. (Hrsg.): Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. In: Geographie aktuell & Schule 215 (37), S. 4-16.

REMPFLER, A. (2018): Wirksamer Geographieunterricht – Eine Synthese aus 18 Experteninterviews. In: REMPFLER, A. (Hrsg.): Wirksamer Geographieunterricht. Baltmannsweiler (= Unterrichtsqualität: Perspektiven von Expertinnen und Experten 5), S. 206-219.

RENKL, A. (2018[4]): Bildungsforschung: Die Perspektive der Forschung zu Lernen und Instruktion. In: TIPPELT, R., SCHMIDT-HERTHA, B. (2018): Handbuch Bildungsforschung 2. Wiesbaden, S. 925-946.

RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R., BURNS, B. D. (2001): FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituation. http://psych-server.psych.uni-potsdam.de/people/rheinberg/messverfahren/FAMLangfassung.pdf [14.04.2020].

RHEINBERG, F. (2004): Motivationsdiagnostik. Göttingen (= Kompendien psychologische Diagnostik 5).

RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. (2018[9]): Motivation. Stuttgart.

RICHMOND, B. (1993): Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. In: System Dynamics Review 9 (2), S. 113-133.

RICHWIEN, W. (2013[2]): Geotechnische und hydrogeologische Grundlagen: In: PATT, H., JÜPNER, R. (Hrsg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Berlin, S. 210-238.

RIEß, W., MISCHO, C. (2008A): Wirkungen variierten Unterrichts auf systemisches Denken. In: FRISCHKNECHT-TOBLER, U., NAGEL, U., SEYBOLD, H.-J. (Hrsg.): Systemdenken – Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 135-147.

RIEß, W., MISCHO, C. (2008B): Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten. In: BORMANN, I., DE HAAN, G. (Hrsg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. Wiesbaden, S. 215-232.

RIEß, W., MISCHO, C. (2010): Promoting Systems Thinking through Biology Lessons. In: Journal of Science Education 32 (6), S. 705-725.

RIEß, W. (2010): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Theoretische Analyse und empirische Studien. Münster.

RIEß, W., HÖRSCH, C., JAKOB, T. (2013): Förderung systemischen Denkens als Aufgabe einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: PÜTZ, N., SCHWEER, M., LOGEMANN, N.

(Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung – Aktuelle theoretische Konzepte und Beispiele praktischer Umsetzung. Frankfurt, S. 103-126.

RIEß, W., SCHULER, S., HÖRSCH, C. (2015): Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? Theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung am Beispiel eines Seminars für Lehramtsstudierende. In: Geographie aktuell und Schule 37 (215), S. 16-29.

RINSCHEDE, G. (2007³): Geographiedidaktik. Stuttgart.

RINSCHEDE, G., SIEGMUND, A. (2020⁴): Geographiedidaktik. Stuttgart.

RIßE, D. (2016): Hochwasser. Köln ist bei einer Extremflut schutzlos. Köln. https://www.ksta.de/25109908 [20.02.2020].

ROSENKRÄNZER, F., STAHL, E., HÖRSCH, C., SCHULER, S., RIEß, W. (2016): Das Fachdidaktische Wissen von Lehramtsstudierenden zur Förderung von systemischem Denken: Konzeptualisierung, Operationalisierung und Erhebungsmethode. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 22 (1), S. 109-121.

ROSENKRÄNZER, F., HÖRSCH, C., SCHULER, S., RIEß, W. (2017): Student teachers` pedagogical content knowledge for teaching systems thinking: effects of different interventions. In: International Journal of Science Education 39 (14), S. 1932-1951.

ROST, J., LAUSTRÖER, A., RAACK, N. (2003): Kompetenzmodelle einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In: Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule 8 (52), S. 10-15.

ROST, D. H. (2013³): Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien. Bad Heilbrunn.

RUDOLF, B., SIMMER, C. (2015⁴): Niederschlag, Starkregen und Hochwasser. In: WEFER, G., SCHMIEDER, F. (Hrsg.): Expedition Erde. Wissenswertes und Spannendes aus den Geowissenschaften. Bremen, S. 380-389.

RUIZ-PRIMO, M., SHAVELSON, R. (1996): Problems and Issues in the Use of Concept Maps in Science Assessment. In: Journal of research in science teaching 33 (6), S. 569-600.

RUIZ-PRIMO, M., SCHULTZ, S., LI, M., SHAVELSON, R. (2001A): Comparison of the Reliability and Validity of Scores from Two Concept-Mapping Techniques. In: Journal of research in science teaching 38 (2), S. 260-278.

RUIZ-PRIMO, M., SHAVELSON, R., LI, M., SCHULTZ, S. (2001B): On the Validity of Cognitive Interpretations of Scores From Alternative Concept-Mapping Techniques. In: Educational Assessment 7 (2), S. 99-141.

SCHECKER, H. (1993): The Didactic Potential of Computer Aided Modeling for Physics Education. In: FERGUSON, D. L. (Hrsg.): Advanced Educational Technologies for Mathematics and Science. Milton Keynes (= NATO ASI Series 107), S. 165-207.

SCHECKER, H., KLIEME, E., NIEDERRER, H., EBACH, J., GERDES, J. (1999): Abschlussbericht zum DFG-Projekt: Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestütte Modellbildungssysteme. Bremen. http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/DFG_PMS_Ab.pdf [14.04.2020].

SCHECKER, H., KLIEME, E. (2000): Erfassung physikalischer Kompetenz durch Concept-Mapping-Verfahren. In: FISCHLER, H., PEUCKERT, J. (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie. Berlin, S. 117-145.

SCHIEFELE, U., KRAPP, A., WINTELER, A. (1992): Interest as a Predictor of Academic Achievment: A Meta-Analysis of Research. In: RENNINGER, K. A., HIDI, S., KRAPP, A. (Hrsg.): The Role of Interest in Learning and Development. New Jersey, S. 183-212.

SCHIEFELE, U., KRAPP, A., SCHREYER, I. (1993): Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 25 (2), S. 120-148.

SCHLAG, B. (2013[4]): Lern- und Leistungsmotivation. Dresden.

SCHMIDT, H., EYRING, V., LATIF, M., RECHID, D., SAUSEN, R. (2017): Globale Sicht des Klimawandels. In: BRASSEUR, G., JACOB, D., SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, S. 7-16.

SCHNELL, R, HILL, P. B., ESSER, E. (2018[11]): Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin.

SCHÖNBORN, K. J., BIVALL, P., TIBELL, L. A. E. (2011): Exploring relationships between students' interaction and learning with a haptic virtual biomolecular model. In: Computers & Education 57 (3), S. 2095-2105.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2019): Klimawandel kompakt. Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt. Stuttgart.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2013[4]): Klimatologie. Stuttgart.

SCHRAMKE, W. (1999): Concept Mapping. Schüler strukturieren ihr Wissen. In: Praxis Geographie 29 (7-8), S. 18-23.

SCHRÖTER, K., HASAN, I., FALTER, D., THIEKEN, A. (2015²): Schutz und Entlastung von hochwassergefährdeten Gebieten. In: DEUTSCHES KOMITEE KATASTROPHENVORSORGE E. V. (Hrsg.): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement. Bonn, S. 76-91. http://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/DKKV_53_Hochwasser_Juni_2013.pdf [14.04.2020].

SCHRÜFER, G., SCHOCKEMÖHLE, J. (2012): Nachhaltige Entwicklung und Geographieunterricht. In: HAVERSATH, J.-B. (Mod.): Geographiedidaktik: Theorie-Themen-Forschung. Braunschweig (= Das Geographische Seminar 13), S. 107-132.

SCHUBERT, J. C. (2013): Modelle. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 199-200.

SCHULER, S. (2014): Problemorientierte Kartenauswertung mit der Mehthode „Lebendige Karte". Ein Aufgabenbeispiel zu Sturmfluten und Hochwasserschutz in der Hamburger Elbmarsch. In: Praxis Geographie 44 (6), S. 16-22.

SCHULER, S., VANKAN, L., ROHWER, G. (Hrsg.) (2017): Diercke. Denken lernen mit Geographie. Methoden 1. Braunschweig.

SCHULER, S., FANTA, D., ROSENKRÄNZER, F., RIEß, W. (2018): Systems thinking within the scope of education for sustainable development (ESD) – a heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. In: Journal of Geography in Higher Education 42 (2), S. 192-204.

SCHULTZE, A. (1994): Grafische und plastische Modelle im Erdkundeunterricht. In: geographie heute 14 (122), S. 2-5.

SEDLMEIER, P., RENKEWITZ, F. (2008): Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie. München.

SMITH, K., WARD, R. (1998): Floods. Physical Processes and Human impacts. Chichester.

SNOOK, I., O`NEILL, J., CLARK, J., O`NEILL, A.-M., OPENSHAW, R. (2009): Invisible Learnings?: A Commentary on John Hattie`s Book ‚Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-analyses Relating to Achievement'. In: New Zealand Journal of Educational Studies 44 (1), S. 93-106.

SOMMER, C. (2005): Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschülern im Bereich Biologie. Kiel.

SOMMER, C., LÜCKEN, M. (2010): System competence – Are elementary students able to deal with a biological system? In: Nordic Studies in Science Education 6 (2), S. 125-143.

SOMMER, K., Toschka, C., SCHRÖDER, L., SCHRÖDER, T., STEFF, H., FISCHER, R. A. (2017): Modellexperimente im Chemieunterricht - Ein Beitrag zur Definition des Begriffes Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. In: Chemkon 24 (1), S. 13-19.

SPRINGER, T. M. (2014): Improving Students' Understanding of Molecular Structure through Broad-Based Use of Computer Models in the Undergraduate Organic Chemistry Lecture. In: Journal of Chemical Education 91 (8), S. 1162-1168.

STACHOWIAK, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien.

STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN (2019): Der Retentionsraum Köln-Porz-Langel. Köln. https://www.steb-koeln.de/hochwasser-und-ueberflutungsschutz/Retentionsraeume/Der-Retentionsraum-K%C3%B6ln-Porz-Langel.jsp [20.02.2020].

STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN (Hrsg.) (o. A.): Mit Sicherheit für Köln. Ein Meilenstein für den Hochwasserschutz. Köln. https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Brosch%C3%BCren-Ver%C3%B6ffentlichungen/Hochwasserver%C3%B6ffentlichungen/Mit-Sicherheit-f%C3%BCr-K%C3%B6ln-Ein-Meilenstein-f%C3%BCr-den-Hochwasserschutz.pdf [20.02.2020].

STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2019): Fachserie 3 Reihe 5.1. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. 2018. o. O. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/bodenflaechennutzung-2030510187004.pdf?__blob=publicationFile [14.04.2020].

STERMAN, J. D. (2001): System Dynamics Modelling: Tools for learning in a complex World. In: Californa Management Review 43 (4), S. 8-25.

STERMAN, J. D. (2002): All models are wrong: reflection on becoming a systems scientist. In: System Dynamics Review 18 (4), S. 501-530.

STEYER, C. D. (2013): Hochwasser in Sachsen. Der Schock danach. o. O. http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/hochwasser-in-sachsen-der-schock-danach/8311006.html [20.02.2020].

STIEGHORST, M. (2011): Hochwasserkatastrophen sind unvermeidbar – Schäden verhindern. In: RAHE, J., STIEGHORST, M., WEBER, U. (Hrsg.): Handbuch Rhein. Darmstadt, S. 156-166.

STULL, A. T., HEGARTY, M. (2015): Model Manipulation and Learning: Fostering Representational Competence with Virtual and Concrete Models. In: Journal of Educational Psychology 108 (4), S. 509-527.

STULL, A. T., MORGAN, G., SHAMIN, P., MARY, H. (2016): Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. In: Journal of Chemical Education 93 (6), S. 994-1001.

STUNZ, L. N., LYNEIS, D. A., RICHARDSON, G. P., BARCAN, D., COSTELLO, W., FISHER, D. (2002): The Future of System Dynamics and Learner-centred Learning in K-12 Education. International System Dynamics Conference. Palermo.

SWELLER, J. (1988): Cognitive load during problem solving: Effects on learning. In: Cognitive Science 12 (2), S. 257-285.

TARSKI, A. (1935): Über den Begriff der logischen Folgerung. In: Actes du congrés international de philosophie scientifique 7, S. 1-11.

TERZER, E., HARTIG, J., UPMEIER ZU BELZEN, A. (2013): Systematische Konstruktion eines Tests zu Modellkompetenz im Biologieunterricht unter Berücksichtigung von Gütekriterien. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 19 (1), S. 51-76.

THEIßEN, A. (1986): Organisation der Lernprozesse. In: KÖCK, H. (Hrsg.): Grundlagen des Geographieunterrichts. Köln (= Handbuch des Geographieunterrichts 1), S. 209-287.

THEYßEN, H. (2014): Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I., SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, S. 67-79.

THIEKEN, A., PECH, I. (2015²): Risikovorsorge und Wiederaufbau. In: DEUTSCHES KOMITEE KATASTROPHENVORSORGE E. V. (Hrsg.): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement. Bonn, S. 170-183. http://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/DKKV_53_Hochwasser_Juni_2013.pdf [14.04.2020].

TILLMANN, A. (2014): Eigenständiges Concept Mapping und die Nutzung von Expertenmaps. Eine Vergleichsstudie zu Lerneffektivität und individuellen Lernpräferenzen. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik 42 (2), S. 75-96.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2012): Hochwasser. Verstehen, erkennen, handeln! Bonn. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_hochwasser_barrierefrei_new.pdf [14.04.2020].

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2013): Und sie erwärmt sich doch – Was steckt hinter der Debatte um den Klimawandel? Dessau-Roßlau.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2016): Steckbriefe zu den Flussgebietseinheiten. o. O. https://www.umweltbundesamt.de/steckbriefe-zu-den-flussgebietseinheiten [14.04.2020].

UN (United Nations) (Hrsg.) (2015A): Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. o. O. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf [14.04.2020].

UN (United Nations) (Hrsg.) (2015B): Generalversammlung. 70/1. Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. o. O. http://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf [14.04.2020].

UPMEIER ZU BELZEN, A., KRÜGER, D. (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 16 (1), S. 41-57.

URHAHNE, D., RENZEL, M., DAVIER, M. v., SENKBEIL, M., BLESCHKE, M. (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendungen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 6 (1), S. 157-186.

VAN ZELE, E., LENAERTS, J., WIEME, W. (2004): Improving the usefulness of concept maps as a research tool for science education. In: International Journal of Science Education 26 (9), S. 1043-1064.

VESTER, F. (1983): Unsere Welt – ein vernetztes System. München.

VESTER, F. (1988): Leitmotiv vernetztes Denken. München.

VESTER, F. (1999): Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart.

VIEHRIG, K., GREIFF, S., SIEGMUND, A., FUNKE, J. (2011): Geographische Kompetenzen fördern – Erfassung der Geographischen Systemkompetenz als Grundlage zur Bewertung der Kompetenzentwicklung. In: MEYER, C., HENRŸ, R., STÖBER, G. (Hrsg.): Geographische Bildung: Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Braunschweig, S. 49-57.

VIEHRIG, K., SIEGMUND, A., WÜSTENBERG, S., FREIFF, S., FUNKE, J. (2012): Systemisches und räumliches Denken in der geographischen Bildung – Erste Ergebnisse zur Überprüfung eines Modells der Geographischen Systemkompetenz. In: HÜTTERMANN, A., KIRCHNER, P., SCHULER. S., DRIELING, K. (Hrsg.): Räumliche Orientierung: Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformationen im Unterricht. Braunschweig, S. 95-102.

VIEHRIG, K., SIEGMUND, A., FUNKE, J., WÜSTENBERG, S., GREIFF, S. (2017): The Heidelberg Inventory of Geographic System Competency Model. In: LEUTNER, D., FLEISCHER, J., GRÜNKORN, J., KLIEME, E. (Hrsg.): Competence Asssessment in Education. Research, Models and Instruments. Cham, S. 31-53.

VOHWINKEL, H. (2013): Wenn ganze Jahre eines Lebens fortgespült werden. o. O. https://www.welt.de/vermischtes/article116945345/Wenn-ganze-Jahre-eines-Lebens-fortgespuelt-werden.html [20.02.2020].

VOLLMEYER, R., RHEINBERG, F. (2002): Aktuelle Motivation und Motivation im Lernverlauf. In: STIENSMEIER-PELSTER, J., RHEINBERG, F. (Hrsg.): Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept (Test und Trends: Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik 2), S. 281-295.

VRIES, H. d., LENDERINK, G., MEIJGAARD, E. v. (2014): Future snowfall in western and central Europe projected with a high-resolution regional climate model ensemble. In: Geophysical Research Letters 41, S. 4294-4299. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2014GL059724 [14.04.2020].

WAGNER, S., BERG, P., SCHÄDLER, G. (2013): High resolution regional climate model simulations for Germany: Part II—projected climate changes. In: Climate Dynamic 40 (1-2), S. 415-427. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00382-012-1510-1.pdf [14.04.2020].

WAND, C. (2003): Die Elbe im Wohnzimmer. Eine hausgemachte Katastrophe. In: Praxis Geographie 33 (11), S. 26-29.

WARDENGA, U., WEICHHART, P. (2006): Sozialökologische Interaktionsmodelle und Systemtheorien – Ansätze einer theoretischen Begründung integrativer Projekte in der Geographie? In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft 148, S. 9-31.

WEICHBOLD, M. (2019²): Pretest. In: BAUR, N., BLASIUS, J. (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden, S. 349-356.

WEICHHART, P. (2003): Physische Geographie und Humangeographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchner Projekt einer „Integrativen Umweltwissenschaft“. In: HEINRITZ, G. (Hrsg.): Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild? Münchner Symposium zur Zukunft der Geographie. Passau (= Münchner Geographische Hefte 85), S. 17-34.

WEIDENMANN, B. (2006⁵): Lernen mit Medien. In: KRAPP, A., WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Basel, S. 424-476.

WEILER, M. (2016): Einfluss von Landnutzung und Landbedeckung auf den Wasserkreislauf. In: FOHRER, N. (Hrsg.): Hydrologie. Bern, S. 179-190.

WEINERT, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim, S. 17-31.

WELLENREUTHER, M. (1982): Grundkurs: Empirische Forschungsmethoden. Königstein.

WELT (Hrsg.) (o. J.): Grimma in Sachsen – Die Hochwasser 2002 und 2013. o. O. https://www.welt.de/vermischtes/gallery116773925/Grimma-in-Sachsen-Die-Hochwasser-2002-und-2013.html [02.02.2020].

WIKTORIN, D. (2013): Graphische Modelle im Geographieunterricht. Handlungsorientierter Einsatz von und kritischer Umgang mit Modellen. In: Praxis Geographie 43 (12), S. 4-7.

WIKTORIN, D. (2014): Modelle in der Geographie. Thematische und didaktische Einordnung. In: Praxis Geographie extra, S. 6-10.

WILD, E., HOFER, M., PEKRUN, R. (2006[5]): Psychologie des Lerners. In: KRAPP, A., WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Neubiberg, S. 203-268.

WILDE, K., BÄTZ, K., KOVALEVA, A., URHAHNE, D. (2009): Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 15 (1), S. 31-45.

WILKINSON, L., TASK FORCE ON STATISTICAL INFERENCE (1999): Statistical Methods in Psychology Journals. Guidelines and Explanations. In: American Psychologist 54 (8), S. 594-604.

WILMS, H.-J. (2006): Leben mit der Überschwemmung im ländlichen Bangladesch. Die Vulnerabilität der betroffenen Menschen und Perspektiven für eine angepasste Entwicklung. Bonn. http://hss.ulb.uni-bonn.de/2006/0831/0831.pdf [14.04.2020].

WINTER DE, J. C. F., DODOU, D. (2010): Five-Point Likert Items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon. In: Practical Assessment, Research, and Evaluation 15 (11), S. 1-12.

WIRTH, E. (1979): Theoretische Geographie. Grundzüge einer theoretischen Kulturgeographie. Stuttgart.

WOLTERS, G. (2004): Modell. In: MITTELSTRAß, J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie 2. Stuttgart, S. 911-913.

YIN, Y., VANIDES, J., RUIZ-PRIMO, M., AYALA, C., SHAVELSON, R. (2005): Comparison of Two Concept-Mapping Techniques: Implications for Scoring, Interpretation, and Use. In: Journal of research in science teaching 42 (2), S. 166-184.

ZEEUW DE, G. (2016): Auf der Suche nach Wissen. Über Ludwig von Bertalanffy, General System Theory (1968). In: BAECKER, D. (Hrsg.): Schlüsselwerke der Systemtheorie. Wiesbaden, S. 61-82.

ZEHETMAIR, S. (2013): Interessensgegensätze im Hochwasserschutz. o. O. http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/hochwasserschutz/172870/interessen-gegensaetze-im-hochwasserschutz [14.04.2020].

ZEIT ONLINE (Hrsg.) (2017): Hochwasser. o. O. http://www.zeit.de/gesellschaft/zeitgeschehen/2017-01/unwetter-hochwasser-ostsee-schleswig-holstein-mecklenburg-vorpommern [20.02.2020].

ZIMMERMANN, J. (2010): Für eine Geschichte der Systemwissenschaft. Osnabrück (= Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück 53).

9 Anhang

9.1 Intervention

9.1.1 Übersicht über die Unterrichtsreihe

Reihenthema: Hochwasser - ein natürliches Ereignis oder ein menschengemachtes Problem? Natürliche und anthropogene Einflüsse auf Hochwasserereignisse an Flüssen, die Folgen für den Menschen sowie unterschiedliche Maßnahmen und Perspektiven des Hochwasserschutzes mit ihren Auswirkungen auf zukünftige Hochwasserereignisse.

Kernanliegen der Unterrichtssequenz: Die SuS erklären, dass die Entstehung von Hochwasserereignissen sich aus einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren zusammensetzt, in welchem der Mensch oft eine verstärkende Funktion einnimmt. Darauf aufbauend vergleichen sie die Auswirkungen von Hochwasserereignissen an zwei Raumbeispielen und beurteilen die verschiedenen Maßnahmen und Perspektiven des Hochwasserschutzes.

Kernlehrplanbezug:

Inhaltsfeld 1: Lebensräume und deren naturbedingte sowie anthropogen bedingte Gefährdung.

Inhaltlicher Schwerpunkt:
- Gefährdung von Lebensräumen durch geotektonische und klimaphysikalische Prozesse;
- Leben mit dem Risiko von Wassermangel und Wasserüberfluss

Sachkompetenz: Die Schülerinnen und Schüler stellen Hochwasserereignisse als einen natürlichen Prozess im Rahmen des Wasserkreislaufes dar, der durch unterschiedliche menschliche Eingriffe in seinen Auswirkungen verstärkt wird.

Urteilskompetenz: Die Schülerinnen und Schüler beurteilen Maßnahmen der Hochwasservorsorge aus der Perspektive unterschiedlich Betroffener. (MSW 2014, S. 22f.)

Stunde	Thema	Kompetenz-schwerpunkt oder Kernanliegen	Inhalte
1-3	Natürliches Ereignis oder menschengemachtes Problem? - Erarbeitung von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf die Entstehung von Hochwasserereignissen in Deutschland anhand eines Stationenlernens.	Die SuS erklären, dass verschiedene natürliche und anthropogen beeinflusste Faktoren Einfluss auf die Entstehung von Hochwasser besitzen und dass diese in einem komplexen Zusammenhang stehen.	**Ursachen** für Hochwasser: Flussbegradigungen, Einzugsgebiete, Starkregen, Dauerregen, Bodenbeschaffenheiten (Waldfläche, versiegelte Flächen), Klimawandel
4-6	„Alle Jahre wieder?“ – Erarbeitung der Folgen von Hochwasserereignissen auf das Leben der Menschen und mögliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Perspektiven beteiligter Gruppen am Beispiel der Städte Köln und Grimma erarbeiten.	Die SuS erläutern, dass Hochwasserereignisse verschiedene Auswirkungen auf das Leben des Menschen haben können und beurteilen an den Beispielen Köln und Grimma, welche unterschiedlichen Perspektiven und Möglichkeiten es gibt, mit Hochwasserereignissen umzugehen.	**Folgen** von Hochwasser: finanzielle Schäden, zerstörte Infrastruktur, Stromausfall; **Maßnahmen** gegen Hochwasser: Hochwasserschutzkonzept, Deiche/Schutzmauern, Regenrückhaltebecken, Beteiligung verschiedener Gruppen, Interessensausgleiche

Stundenthema: Natürliches Ereignis oder menschengemachtes Problem? - Erarbeitung von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf die Entstehung von Hochwasserereignissen in Deutschland anhand eines Stationenlernens.
Kernanliegen: Die SuS erklären, dass verschiedene natürliche und anthropogen beeinflusste Faktoren Einfluss auf die Entstehung von Hochwasser besitzen und dass diese in einem komplexen Zusammenhang stehen.
Kompetenzbezug des Kernanliegens:
Sachkompetenz: Die Schülerinnen und Schüler stellen Hochwasserereignisse als einen natürlichen Prozess im Rahmen des Wasserkreislaufes dar, der durch unterschiedliche menschliche Eingriffe in seinen Auswirkungen verstärkt wird.

Phasen	Unterrichtsschritte	Sozial-formen	Medien	Didaktisch-methodische Funktion
Einstieg	Zum Einstieg werden zwei Bilder mittels PPP/OHP gezeigt. Die SuS beschreiben das jeweilige Bild. Anschließend werden die Bilder mit sich widersprechenden Zitaten hinterlegt. Mögliche Fragen, die aufgeworfen werden sollen: „Ist ein Hochwasser ein natürliches oder ein vom Menschen gemachtes Problem?“ „Wie entstehen Hochwasserereignisse?“	Klassen-gespräch	PPP/OHP	Durch den durch die Bilder/Zitate erzeugten kognitiven Konflikt, soll das Interesse am Unterrichtsgegenstand geweckt werden. Zudem werden bei den SuS Fragen aufgeworfen, die in den kommenden Stunden zusammen mit ihnen beantwortet werden sollen.
	Eine zentrale Leitfrage für die erste Arbeitsphase wird genannt und schriftlich festgehalten.		Tafel/ PPP/OHP	
	Die SuS formulieren Hypothesen, wie die beiden Aussagen gemeint sein könnten und wie der Mensch dazu beitragen könnte, dass es zu Hochwasserereignissen kommt.		Tafel/ PPP/OHP	Die SuS äußern ihre Vermutungen, wie der Mensch und die Natur Einfluss auf Hochwasserereignisse nehmen können.

Arbeits-phase	Den SuS wird das weitere Vorgehen bezüglich des Beantwortens der Fragestellung transparent gemacht. Die Klasse wird per Zufallsprinzip in drei Gruppen eingeteilt. Es wird erklärt, dass es insgesamt drei Stationen mit Unterrichtsmaterialien gibt, die im Uhrzeigersinn bearbeitet werden sollen. Die erarbeiteten Ergebnisse werden nach dem Stationenlernen vorgetragen. Die SuS haben für jede Station *35 Minuten* Zeit.	Klassengespräch		Bezüglich der Organisation wird den SuS das weitere Vorgehen transparent gemacht. Dadurch wird gewährleistet, dass im Folgenden die SuS eigenständig an den Stationen arbeiten und seitens der Lehrkraft nur wenig Einfluss genommen werden muss. Den SuS wird zudem transparent gemacht, dass sie in der Lage sein sollen, die Ergebnisse jeder Station zu präsentieren, so dass auf Seiten der SuS ein (gewisser) Grad an Verantwortungsbewusstsein erzeugt wird.
	Den SuS werden die drei Stationen und ihre Aufgaben detailliert erklärt. Die SuS werden anschließend mit ihrer Gruppe einer Station zugeteilt.	Klassengespräch, Einzelarbeit	Arbeitsblätter, Hochwassermodell, Motivationstest	Wichtig: An der Station des Hochwassermodells achtet die Kursleitung darauf, dass die SuS zunächst die Aufgabenstellung durchlesen. Anschließend wird von den SuS der FAM beantwortet. Nachdem die Gruppe die Station erledigt hat, wird von der Kursleitung der FAM eingesammelt. Sollten die Gruppen beim Hochwassermodell etwas länger brauchen, geht die nachrückende Gruppe an ein bereitstehendes Ersatzmodell. Beendet die Gruppe ihre Arbeit mit dem Modell, geht sie auto-

Sicherung	Jede Gruppe stellt die Ergebnisse der letzten Station, an der sie gearbeitet hat, im Klassenverband vor. Die Lehrkraft und die anderen Gruppen ergänzen, bzw. korrigieren die Ergebnisse, wenn notwendig.	Präsentation/ Klassengespräch	Arbeitsblätter (Dokumentenkamera) OHP	Die SuS lernen, Ergebnisse zu präsentieren. Die anderen Klassenmitglieder und die Lehrkraft ergänzen bzw. korrigieren, wenn notwendig, so dass am Ende jede/r SuS alle Arbeitsblätter korrigiert und ausgefüllt besitzt.

Stundenthema: „Alle Jahre wieder?“ – Erarbeitung der Folgen von Hochwasserereignissen auf das Leben der Menschen und mögliche Hochwasserschutzmaßnahmen und Perspektiven beteiligter Gruppen am Beispiel der Städte Köln und Grimma erarbeiten.
Kernanliegen: Die SuS erläutern, dass Hochwasserereignisse verschiedene Auswirkungen auf das Leben des Menschen haben können und beurteilen an den Beispielen Köln und Grimma, welche unterschiedlichen Perspektiven und Möglichkeiten es gibt, mit Hochwasserereignissen umzugehen.
Kompetenbezug des Kernanliegens:
Urteilskompetenz: Die Schülerinnen und Schüler beurteilen Maßnahmen der Hochwasservorsorge aus der Perspektive unterschiedlich Betroffener.

Phasen	**Unterrichtsschritte**	**Sozial-formen**	**Medien**	
Einstieg	Zum Einstieg wird anhand von Bildern und Zitaten nacheinander die Entwicklungen des Hochwassermanagements in den Städten Köln und Grimma dargelegt. Die SuS kommentieren die Bilder und Zitate. Sie verorten zudem mithilfe der Atlanten die beiden Raumbeispiele und identifizieren die entscheidenden Flüsse in den Raumbeispielen. Anschließend einigen sie sich auf eine Fragestellung, z.B.: Welche Schutzmaßnahmen gibt es für Städte vor Hochwasser? Was lief im Hochwasserschutz in Grimma falsch und in Köln richtig? Die Fragen werden schriftlich festgehalten und für die kommenden zwei Stunden als wichtig markiert.	Klassen-ge-spräch	PPP/OHP /Tafel; Atlanten	Im Einstieg wird den SuS aufgezeigt, wie unterschiedlich das Hochwassermanagement in verschiedenen Städten verlaufen kann. Es wird ein kognitiver Konflikt angeregt, welcher mehrere Fragen aufwirft. Diese werden für die SuS transparent als Leitfaden für die kommenden zwei Stunden festgehalten.

Arbeits-phase	Die Klasse wird per Zufallsprinzip in zwei gleichgroße Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe beschäftigt sich mit dem Raumbeispiel Köln, die andere Gruppe beschäftigt sich mit dem Raumbeispiel Grimma. Die beiden Gruppen erhalten die Materialmappen. Die beiden Gruppen erarbeiten an ihrem Raumbeispiel die Auswirkungen von Hochwasserereignissen, die möglichen Hochwasserschutzmaßnahmen und die verschiedenen, zu berücksichtigenden Perspektiven. Die erarbeiteten Ergebnisse werden auf einer OHP-Folie, bzw. einem DINA4-Blatt zusammengefasst, die später zur Präsentation dienen.	Klassengespräch Gruppenarbeit	Materialmappen Arbeitsblätter zum Raumbeispiel; Hochwassermodell	Den SuS wird deutlich gemacht, dass jedes Raumbeispiel in der kommenden Stunde von einer zufällig ausgewählten Gruppe anhand der Ergebnisse präsentiert werden muss. Die Ergebnisse der jeweils anderen Gruppe werden von der Lehrkraft eingesammelt. Die Gruppenarbeit besteht insgesamt aus zwei Phasen. In einer Phase beschäftigen sich die SuS in ihrer Gruppe mit den Materialien, welche das Fallbeispiel Köln, bzw. Grimma darlegen, in der anderen Phase erproben die SuS die möglichen Maßnahmen mithilfe des Modells.
Sicherung	Für jedes der beiden Raumbeispiele stellt je eine Gruppe ihre Ergebnisse vor. Die andere Gruppe korrigiert, bzw. ergänzt anschließend. Im Unterrichtsgespräch wird abschließend die Problemfrage der Stunde beantwortet und darüber diskutiert, wie sich die Umsetzung des Hochwasserschutzes bei den beiden Raumbeispielen unterscheidet und wo Gemeinsamkeiten vorhanden sind.	Präsentation/ Klassengespräch	OHP-Folie, Arbeitsblatt (Dokumentenkamera)	Die SuS lernen, Ergebnisse zu präsentieren. Die anderen Klassenmitglieder und die Lehrkraft ergänzen, bzw. korrigieren, wenn notwendig.

9.1.2 Materialien Experimentalgruppe

Einstieg Stunde 1:

(ZEIT ONLINE 2017)

„Extremwetter: Forscher geben Menschheit Schuld an Flutkatastrophen“
(BOJANOWSKI 2011)

(LIFE PROJEKT o. J.)

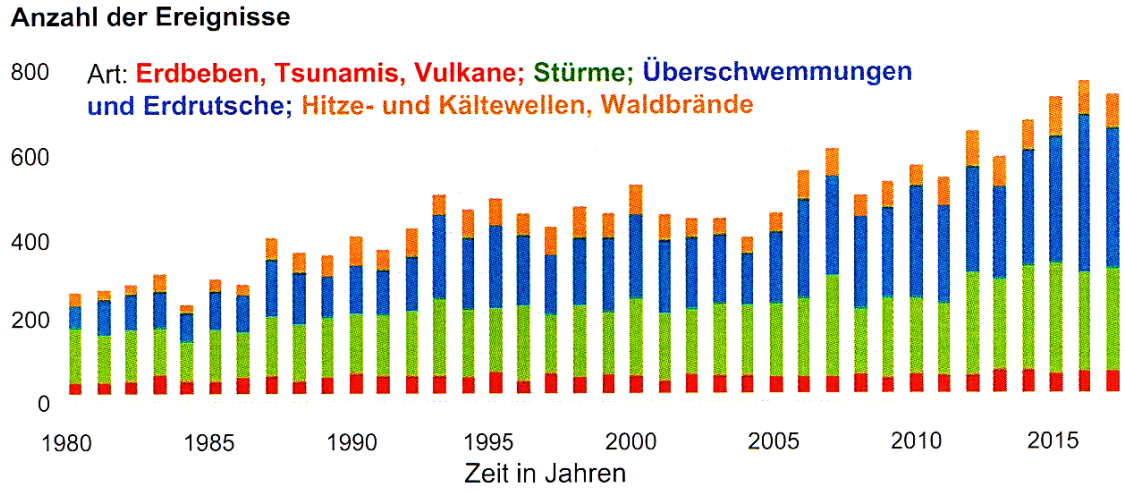
„Hochwasser sind Teil des natürlichen Wasserkreislaufes. Nicht Menschenhand, sondern die Natur selbst verursacht dieses Phänomen.“
(BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2018)

Station 1: Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederschlag

M 1 Welche Rolle spielt der Klimawandel?

Hochwasser sind grundsätzlich natürliche Ereignisse. Sie treten regelmäßig auf und sind charakteristisch für das Abflussverhalten von Flüssen. Durch den Klimawandel verändert sich in Deutschland in Zukunft die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hochwasser. „Die Nutzung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl oder Gas durch den Menschen hat in den vergangenen Jahrzehnten dazu geführt, dass der Ausstoß des klimaschädlichen Kohlendioxids (CO_2) und anderer Klimagase spürbar zunahm. Die daraus resultierende Temperaturerhöhung auf der Erde führt dazu, dass sich der Wasserkreislauf intensiviert und beschleunigtB. Denn: Je höher die Temperatur in der Atmosphäre steigt, desto mehr Wasser kann verdunsten und erneut als Niederschlag fallen. Dabei ist die Veränderung des Niederschlags nicht gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt. Besonders im Winter nehmen die Niederschläge zu, während sie im Sommer leicht zurückgehen.“ (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 16)

M 2 Anzahl der Schadensereignisse weltweit 1980-2017



(SCHÖNWIESE 2019, S. 90, nach Münchner Rückversicherung: NATCATSERVICE 2018)

1. Erläutern Sie stichpunktartig unter Verwendung von M 1 und M 2, warum man davon ausgehen kann, dass hydrologische Ereignisse in Zukunft zunehmen werden.

M 3 Veränderung der Niederschlagswahrscheinlichkeit in Deutschland

„Für den Niederschlag lassen sich in Deutschland Veränderungen beobachten: […] Gegenüber dem Beginn des 20. Jahrhunderts ist der mittlere Jahresniederschlag in Deutschland etwa um 9 % angestiegen. Dabei haben vor allem die Niederschläge im Winter und im Frühling zugenommen. Im Sommer ergibt sich noch kein wesentlicher Trend. Bei der Niederschlagsverteilung zeigen sich starke regionale Trends. Die Zunahme der Jahresniederschläge ist größtenteils auf die westlichen Bundesländer beschränkt. In den östlichen Bundesländern gleicht der abnehmende Sommerniederschlag den Anstieg im Winter wieder aus. Trotz der eingeleiteten Maßnahmen zum Schutz des Klimas werden […] die Temperaturen in Deutschland bis 2100 vorrausichtlich um 1,5-3,5°C gegenüber der Durchschnittstemperatur von 1961-1990 ansteigen. Diese Erwärmung dürfte im Südwesten Deutschlands stärker als im Norden ausfallen. Auch die regionale Verteilung der Niederschläge wird sich wahrscheinlich verändern, wobei Aussagen hierzu noch sehr unsicher sind. Die Winterniederschläge könnten bis 2100 um 0-40 % steigen, die Sommerniederschläge könnten bundesweit dagegen um bis zu 40 % abnehmen. Neben der Verschiebung des Niederschlags vom Sommer in den Winter wird es im Winter vorrausichtlich mehr regnen und dafür weniger schneien. Erste Analysen deuten außerdem darauf hin, dass Starkregen häufiger und intensiver auftreten wird. Dies hat Auswirkungen auf die Hochwassergefahr.“
(UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 16f.)

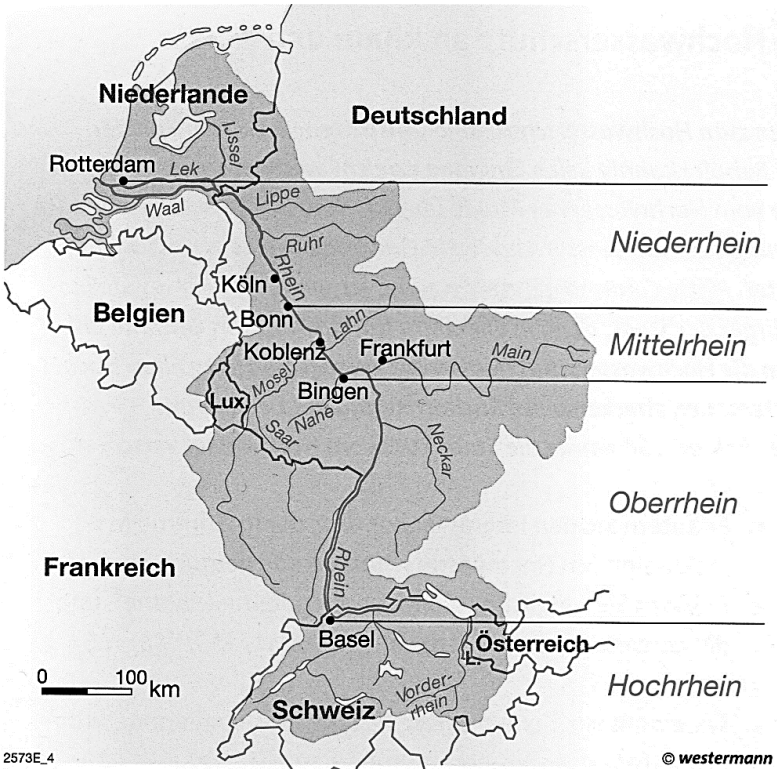
2. Beurteilen Sie mit Hilfe von M 1 - M 3 kritisch, inwiefern die Aussage zutrifft:
„In Deutschland wird es mehr regnen, deshalb steigt die Hochwassergefahr!“

Station 2: Einzugsgebiet und Flussverlauf des Rheins

M 1 Abflussystem eines Flusses

„Das Abflusssystem eines Flusses wird in Oberlauf, Mittellauf und Unterlauf eingeteilt. Vom Quellgebiet bis zur Mündung nimmt das Gefälle ab und es steigt die Wassermenge im Fluss, weil Nebenflüsse zufließen. Im Mittellauf und Unterlauf des Flusses nimmt das Gefälle ab. Die Fließgeschwindigkeit verringert sich. […] Bei großen Wassermengen im Fluss, zum Beispiel nach Starkregen oder Schneeschmelze im Oberlauf, kann es zu Überschwemmungen kommen." (LATZ 2014, S. 72)

M 2 Karte: Einteilung des Abflussystems am Rhein



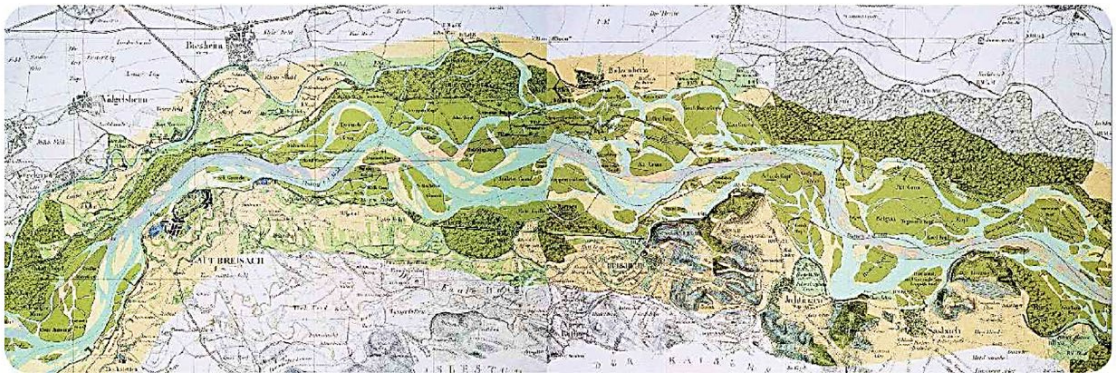
(LATZ 2014, S. 75)

M 3 Historische Veränderung des Rheins

„Die Oberrheinebene wurde bereits in vorgeschichtlicher Zeit besiedelt. […] Zwischen Basel und Mannheim zählte man über 2000 Inseln. […] Von 1817 bis 1990 wurde der Rhein […] begradigt. Dies führte auf der Strecke von Basel bis Karlsruhe, wo zahlreiche Flussarme in einem 200 m breiten Mittelwasserbett zusammengefasst wurden, zu einer Verkürzung des Flusslaufes um 14 %. Weiter flussabwärts, im Mäanderbereich zwischen Karlsruhe und Mannheim, wurde der Lauf um 37 % (50 km) verkürzt. Nach 1912 erfolgten zahlreiche wasserbautechnische Eingriffe, um den Rhein zur Energiegewinnung und als Schifffahrtsstraße nutzen zu können." (KREUS, VON DER RUHREN 2008, S. 78f.)

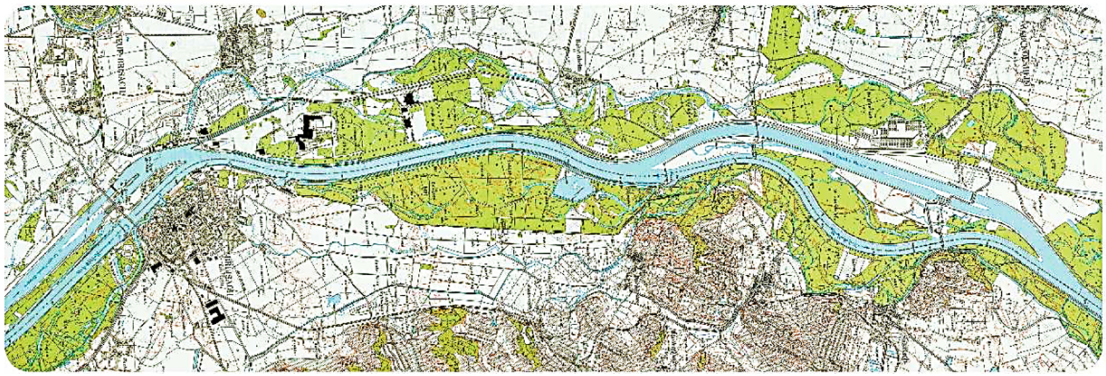
Station 2: Einzugsgebiet und Flussverlauf des Rheins

M 4 Karte: Verlauf des Rheins am Kaiserstuhl um 1838



(UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 22)

M 5 Karte: Verlauf des Rheins am Kaiserstuhl im Jahr 1980



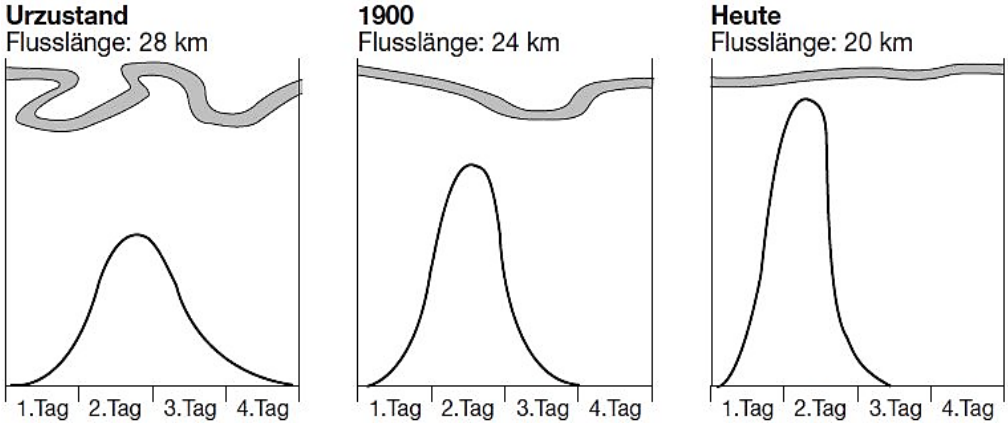
(UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 22)

1. Beschreiben Sie stichpunktartig anhand von M 1 - M 5, wie sich der Rheinverlauf von 1838 bis heute verändert hat. Welche positiven und negativen Folgen könnten mit den Veränderungen einhergehen?

M 6 Auswirkungen der Flussbegradigungen auf die Hochwasserwelle

„Flussbegradigungen verkürzten die Lauflänge der Flüsse am Oberrhein um etwa 82 Kilometer, am Niederrhein um etwa 23 Kilometer. Dies beschleunigt den Abfluss des Wassers im Rhein, der Fluss wird – bildlich gesprochen – schneller. Die Konsequenz daraus: Die Fließzeit der Hochwasserwelle im Rhein hat sich beispielsweise auf der Strecke Basel/Maxau um 30 Stunden verringert. […] Es kommt zu einer steileren und höheren Hochwasserwelle." (UMWELTBUNDESAMT 2012, S. 22)

M 7 Veränderung der Hochwasserwelle aufgrund der Flussbegradigung

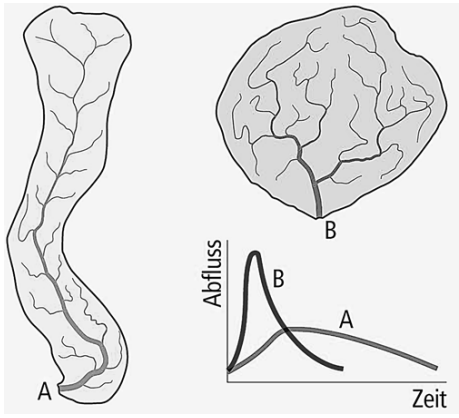


(WAND 2003, S. 29)

M 8 Das Einzugsgebiet

„Auch die Form des Einzugsgebietes beeinflusst die Art und den Verlauf des Hochwassers. Bei Starkregen fließt in einem eher kreisförmigen Einzugsgebiet das Wasser aufgrund gleich langer Sammelwege gleichzeitig zusammen und führt so zu großen Hochwasserspitzen [siehe M 7]. In einem länglichen Einzugsgebiet ist der Abfluss zeitlich besser verteilt und erreicht erst allmählich seinen Höchststand [siehe M 7]." (PROBST 2012, S. 4)

M 9 Einzugsgebiet und Abflusswelle



(PROBST 2012, S. 4)

2. Seit 1995 arbeitet die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins daran, die durch Hochwasser verursachten Schäden bis 2020 um 25 % zu verringern. Erläutern Sie, warum eine internationale Zusammenarbeit von Staaten notwendig ist und warum es sinnvoll ist, Staaten wie Luxemburg, welche nicht direkt am Rhein liegen, zu beteiligen.

_____

_____

_____

Station 3: Die Auswirkungen von Starkregen, Dauerregen und verschiedener Bodenarten auf Hochwasser

M 1 Starkregen, Dauerregen, Bodenbeschaffenheit und Wasserstandsganglinie
„**Starkregen** tritt in Mitteleuropa meistens im Sommer [April bis Oktober] auf und ist meist von kurzer Dauer. Als **Dauerregen** wird Niederschlag bezeichnet, der mehrere Tage lang anhält. […] Ob der Niederschlag zu Hochwasser führt, ist aber noch von vielen anderen Faktoren wie z.B. den **Bodenbeschaffenheiten** abhängig. Die Entwicklung eines Flusshochwassers wird als **Wasserstandsganglinie** bezeichnet. Nachdem es geregnet hat, steigt das Wasser im Fluss bis zum höchsten Wasserstand an, der als Hochwasserscheitel bezeichnet wird. Das Ansteigen des Wassers beginnt meistens mit einer Verzögerung und steigt oft auch noch an, wenn der Regen bereits aufgehört hat.“ (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 380f.)

M2 Arbeiten mit einem Hochwassermodell (Teil 1)

Vorbereitung:
1. Lesen Sie den Text M 1 als inhaltliche Vorbereitung.
2. Vor der Durchführung werden verschiedene Rollen* verteilt: Wasserzuführer, Zeitnehmer, Datenerfasser, Flussstandableser, mehrere Beobachter.
Material: Modell, Starkregeneinsatz, Dauerregeneinsatz, Waldgebietseinsatz, Parkplatzeinsatz, Stoppuhr (Handy), Eimer mit ca. 5 Liter Wasser

Versuch Teil 1: Untersuchung mit Waldgebiet und Starkregen
„1. Zur Vorbereitung des ersten Versuchs wird der [Waldgebieteinsatz] mit leicht angefeuchteten Schwämmen und Vegetation (Spielzeugbäume […]) so hergerichtet, dass die Assoziation an ein […] [Waldgebiet] geweckt wird. Entlang des Flusses werden [auf die markierten Flächen mit den Nummern 1 und 2] Spielzeughäuschen platziert.
2. Im ersten Versuch geht es darum, die Bedingungen in einem naturnahen […] Einzugsgebiet zu erforschen. Dazu werden der […] [Waldgebietseinsatz] und der Einsatz, mit [welchem Starkregen produziert werden kann], in das Modell eingesetzt.
3. […] [In den Messbecher werden] 2800 ml (2,8 l) Wasser aus dem Wasserhahn oder einem Wassereimer [geschüttet].
4. Die beobachtenden Schüler haben den Auftrag, das Gesamtgeschehen im Einzugsgebiet und am Fluss zu beobachten. [Zudem ist es wichtig aufzupassen, dass die Häuser nicht in den Abfluss gelangen und somit die Ergebnisse verfälschen.]
5. Die Zeitmessung beginnt, wenn das […][Regenwasser in den Starkregeneinsatz gegossen wird]. Der […] [Zeitnehmer] hat die Aufgabe, dem Flussstandableser alle […] [10] Sekunden ein Signal zum Ablesen des Wasserstandes im Fluss an der Messstelle zu geben. Der Flussstandableser gibt den Wert laut bekannt. [Der erste Wert bei 0 Sekunden ist mit 150 Meter ü. N. N. bereits eingetragen.]
6. Die Datenerfasser notieren die Messwerte sofort in [M 3]. […] Der Flussstandableser ruft alle […] [10] Sekunden den abgelesenen Wert aus. In der Regel werden die Messwerte 2 Minuten lang aufgezeichnet oder zumindest so lange, bis der Fluss zu fließen aufhört.
7. Sobald der Fluss zu fließen aufhört, gießt der Abflussmesser das aus dem Modellablauf abgeflossene und gesammelte Wasser in den Messbecher.“ (REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 49). Abschließend wird notiert, ob die jeweiligen Dörfer überschwemmt wurden oder nicht.

M2 Arbeiten mit einem Hochwassermodell (Teil 2)

Versuch Teil 2: Untersuchung mit Waldgebiet und Dauerregen
Vor den jeweils nächsten Versuchen sollte vorsichtig aus dem Hochwassermodell das Wasser entfernt werden. Im zweiten Versuch geht es darum, die Bedingungen eines Waldgebietes bei langanhaltendem Regen zu untersuchen. Der Starkregeneinsatz wird durch den Dauerregeneinsatz ersetzt. Der Ablauf des Versuchs ist ansonsten identisch mit dem Ablauf in Versuch 1.

Versuch Teil 3: Untersuchung mit Parkplatz und Starkregen
Im dritten Versuch geht es darum, die Auswirkungen von asphaltierten Landschaften bei Starkregen zu untersuchen. Der Dauerregeneinsatz wird durch den Starkregeneinsatz ersetzt und der Waldgebietseinsatz durch den Parkplatzeinsatz, auf welchem mehrere Autos platziert werden. Der Ablauf des Versuches ist ansonsten identisch mit den vorherigen Abläufen.

Versuch Teil 4: Untersuchung mit Parkplatz und Dauerregen
Im vierten Versuch geht es darum, die Auswirkungen von asphaltierten Landschaften bei Dauerregen zu untersuchen. Der Dauerregeneinsatz wird durch den Starkregeneinsatz ersetzt. Der Ablauf des Versuches ist ansonsten identisch mit den vorherigen Abläufen.

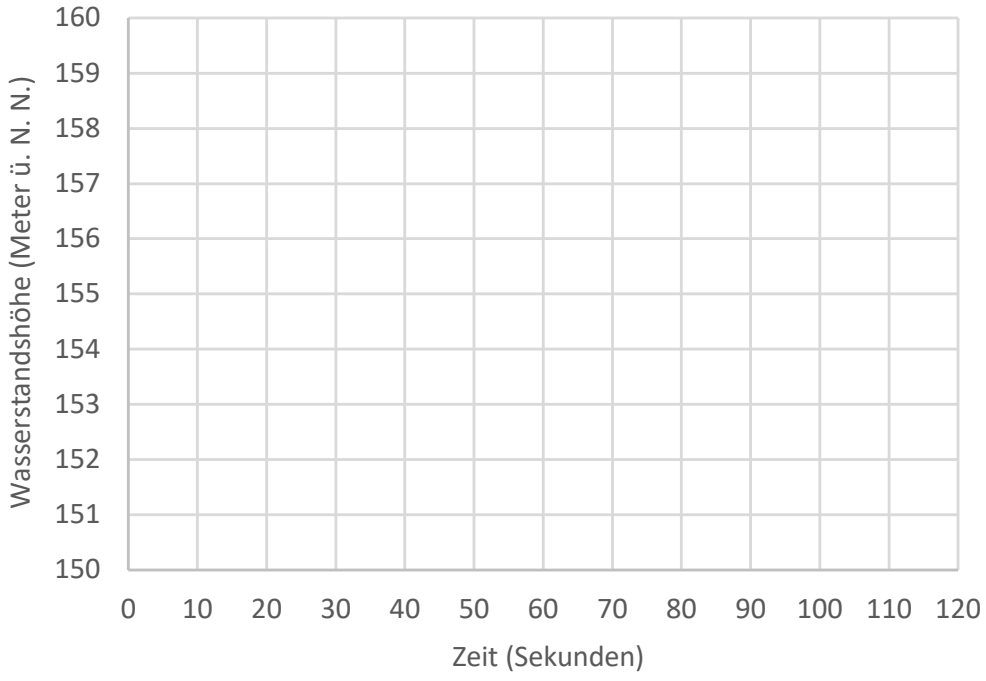
* Um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen, wird hier und in den folgenden Materialien zwar nur die männliche Form genannt, stets aber die weibliche Form gleichermaßen mitgemeint.

Station 3: Die Auswirkungen von Starkregen, Dauerregen und verschiedener Bodenarten auf Hochwasser

M 3 Wasserstandsmessungen				
Zeit (Sekunden)	Waldgebiet und Starkregen (Meter ü. NN)	Waldgebiet und Dauerregen (Meter ü. NN)	Parkplatz und Starkregen (Meter ü. NN)	Parkplatz und Dauerregen (Meter ü. NN)
0	**150**	**150**	**150**	**150**
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
110				
120				
Dorf 1 überschwemmt?				
Dorf 2 überschwemmt?				

Zeichnen Sie nun die in M 3 eingetragenen Werte in die Graphik M 4 ein.

M 4 Wasserstandsganglinien



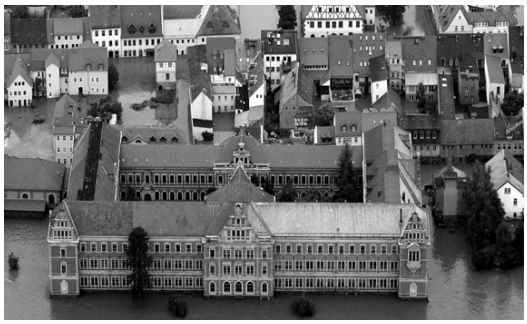
Einstieg Stunde 4-6:

Rathaus von Grimma August 2002
(WELT o. J.)

Innenstadt von Grimma August 2002
(WELT o. J.)

„Verheerend war die Flut 2002 in Grimma. 250 Millionen Euro Kosten, fast 700 Häuser beschädigt oder zerstört, Infrastruktur wie Brücken und Straßen mitgerissen. Die 30.000 Einwohner zählende Stadt war die am stärksten betroffene Kommune in Sachsen. Die Schadensbilanz entlang der Mulde veranlasste das Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft damals, ein Hochwasserkonzept zu erarbeiten. Das hat ein eindeutiges Ziel: Grimma vor einem statistisch alle 100 Jahre auftretenden Hochwasser zu schützen.“ (BALDAUF 2013)

Rathaus von Grimma Juni 2013
(WELT o. J.)



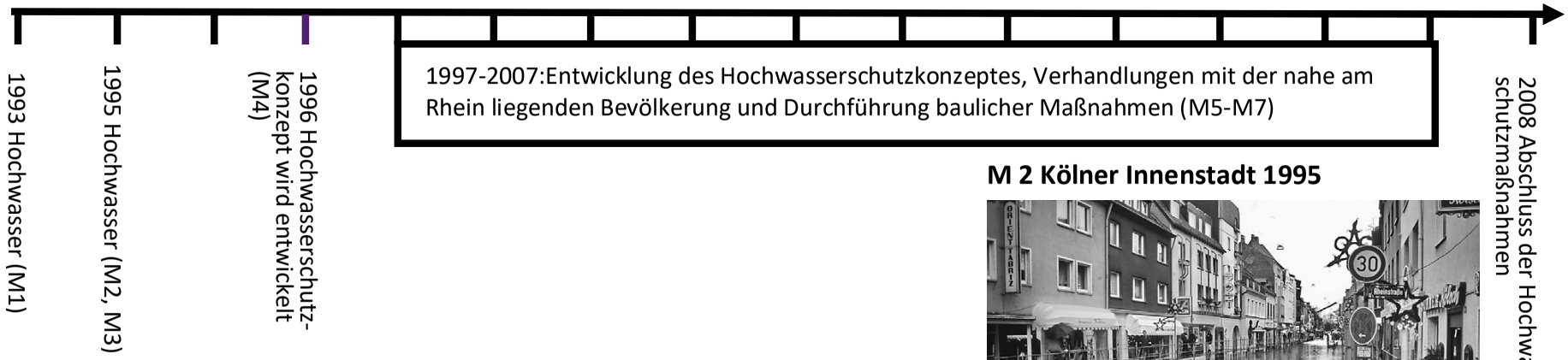
Innenstadt von Grimma Juni 2013
(WELT o. J.)

(GROSCH 2016)

Köln Hochwasser: Pegel beim Jahrhunderthochwasser 1995 liegt bei 10,69 Metern. Vergleich: Durchschnitt der letzten 10 Jahre (Mittelwasser) liegt bei 3,48 Metern. (STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN o. A., S. 8; 67)

„Dabei sind sich die Experten darin einig, dass die Stadt in den vergangenen Jahren einen bundesweit vergleichsweise guten Hochwasserschutz aufgebaut habe. 1996 verabschiedete der Rat ein Hochwasserschutzkonzept, in den Folgejahren wurden 430 Millionen Euro in den Hochwasserschutz investiert. Mauern und mobile Wände bewahren seitdem den Kölner Süden und die Altstadt bis zu einem Pegel von 11,30 Meter vor dem Rheinwasser, den linksrheinische Kölner Norden sogar bis 11,90 Meter.“ (RIßE 2016)

Gruppe: Raumbeispiel Köln



M 1 Hochwasser 1993

„25. Dezember 1993. Schöne Bescherung! […] 100.000 Menschen stand das Wasser bis zum Hals. Franzjosef Müller (76) und sein Sohn Thomas (47) […] erinnern sich, als wäre es gestern gewesen. […]

‚[…] Wir sind ins Dorf gerudert und haben eingekauft. Brot und alles Mögliche fürs Fondue, denn bereits Heiligabend gab's im ganzen Haus keinen Strom mehr. Und den Weihnachtsbaum habe ich dann selbst geholt.' […] Doch dass der Pegel ausgerechnet Weihnachten mit 10,68 Meter fast an die Rekordmarke von 1926 herankommen würde, das schmeckte nun wirklich keinem. Die Heizung funktionierte nicht mehr, das eingebaute Notstromaggregat reichte gerade mal fürs Tiefkühlfach und die Kochplatte. Die Familie saß am offenen Kamin und harrte der Dinge. […]

‚Aber wir in der ersten Reihe haben ja noch Glück im Unglück. Die in der zweiten saufen eher ab', wissen die beiden und verweisen auf Nachbarn, deren Klavier bis über die Tasten vollgelaufen ist, auf Sandkästen, die am Fenster vorbeischwimmen, und auf den armen Kerl, dessen Parkett nach sechs Wochen gerade getrocknet war, als das nächste Hochwasser kam."(KAHLMEIER 2014)

M 2 Kölner Innenstadt 1995

(GAIDA 2019)

M 3 Schadensbilanz 1993 und 1995

„Allein die beiden Katastrophenhochwasser von 1993 und 1995 haben in Köln zu Schäden von über 85 Millionen Euro geführt. […] 1.740 Hektar Fläche des Stadtgebietes [waren 1995] überflutet. 4.500 freiwillige und amtliche Helfer kamen zum Einsatz, davon 1995 allein 850 Bundeswehrsoldaten." (STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN (Hrsg.) o. A., S. 8)

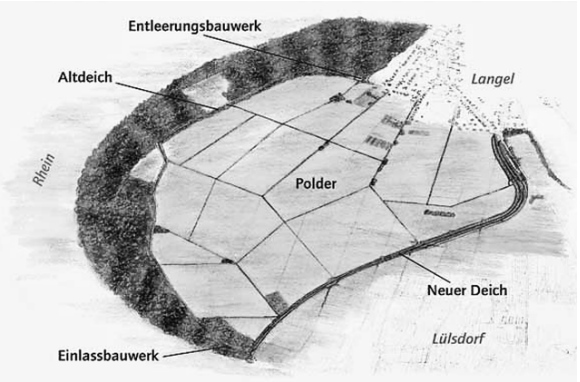
M4 Hochwasserschutzkonzept der Stadt Köln

Grundsätzliche Ziele des Hochwasserschutzkonzeptes:

- „eine optimale Einbindung des Konzeptes in den überregionalen und internationalen Hochwasserschutz […]
- ein verbesserter Hochwasserschutz für die Bevölkerung, für Sachgüter und für sensible Nutzungen (Chemiebetriebe, Krankenhäuser, Zoos, Altenheime)
- eine Bewusstseinsänderung in der Bevölkerung durch ausreichende Informationen über mögliche Gefährdungen und durch ständige Sensibilisierung für die Hochwasserproblematik."

(STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN o. A., S. 10)

M 6 Das Regenrückhaltebecken Köln-Langel



(STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN o. A., S. 40)

M5 Einbezug der Anlieger

Bei der Gestaltung von Hochwasserschutzmaßnahmen treffen oft verschiedene Interessen aufeinander. Die Städte wollen die Pläne meistens möglichst schnell und kostengünstig umsetzen, die Bürger, die von baulichen Maßnahmen wie Hochwasserschutzwänden direkt betroffen sind, haben wiederum andere Interessen. Schon bei der Bekanntmachung des Hochwasserschutzkonzeptes im Jahr 1997 „wurde – neben überwiegend positiven Reaktionen - erkennbar, dass einige Anlieger den Hochwasserschutz zwar befürworten, Maßnahmen auf ihrem eigenen Grundstück jedoch eher ablehnend gegenüberstanden. Im Rahmen der teilweise erforderlichen Planänderungsverfahren wurden die Wünsche und Anregungen der Behörden und Anlieger geprüft und soweit wie möglich berücksichtigt. […] Das Ziel war, die Bauarbeiten im Einvernehmen und ohne Komplikationen und zeitliche Verzögerungen durchzuführen. […] Dies führte dazu, dass die Bauarbeiten in Abstimmung mit den Anliegern größtenteils reibungslos und zur Zufriedenheit aller Beteiligter verlaufen sind." (STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN o. A., S. 13-15)

M 7 Das Regenrückhaltebecken Köln-Langel

Ein zentraler Punkt in Hochwasserschutzkonzepten ist die Schaffung von sogenannten Regenrückhaltebecken oder auch Retentionsräumen. Dabei werden, zur Absenkung der Hochwasserwelle, bestimmte Räume, wie z.B. Felder, überflutet, damit der Wasserstand in anderen Räumen absinkt. Der Retentionsraum Langel stellt eine zentrale Maßnahme im Hochwasserschutzkonzept der Stadt Köln dar. Mithilfe von Deichen und Wassereinlass- bzw. Wasserentleerungwerken kann hier eine Fläche von 160 Hektar (das sind 210 Fussballfelder) überflutet und 5 Millionen Kubikmeter Wasser aufgenommen werden. Dadurch kann der Hochwasserpegel in der Kölner Altstadt im Notfall um 5 cm abgesenkt werden (STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN 2019.).

Bei einem großen Projekt wie dem Regenrückhaltebecken Köln-Langel sind immer unterschiedliche Interessen vorhanden, die Konfliktpotenzial mit sich bringen. Im Planungsprozess war es daher entscheidend, Kompromisse zu finden, so dass alle beteiligten Parteien zufrieden waren.

Gruppe: Raumbeispiel Köln

M9 Arbeiten mit einem Hochwassermodell

Vorbereitung: Vor der Durchführung werden verschiedene Rollen verteilt: Wasserzuführer, Zeitnehmer, Schriftführer, Flussstandableser, mehrere Beobachter, Schutzmauerbauer

Material: Modell, Parkplatzeinsatz, Regenrückhaltebeckeneinsatz, Starkregeneinsatz, Häuser, Stoppuhr (Handy), Arbeitsblätter, Knete, Eimer mit ca. 5 Liter Wasser

Versuch Teil 1: Untersuchung mit Parkplatzeinsatz, Starkregeneinsatz und Schutzmaue
1. Die Häuser werden auf die markierten Stellen 1 und 2 verteilt.
2. Diskutierten Sie in ihrer Gruppe, welche Schutzmauerkonstruktion am geeignetsten sein könnte und wo sie platziert sein müsste, um die Häuser von Dorf 1 zu schützen.
3. Fertigen Sie die Schutzmauer aus der Knete nach ihrer Vorstellung an und befestigt sie an der gewünschten Stelle.
4. In den Messbecher werden 2800 ml (2,8l) Wasser aus dem Wasserhahn oder aus einem Wassereimer geschüttet.
5. „Die Schüler die beobachten, haben den Auftrag, das Gesamtgeschehen in dem Einzugsgebiet der Dörfer und am Fluss zu beobachten, da die Schüler, welche die Messungen machen oder aufschreiben, sich auf einen kleinen Ausschnitt konzentrieren müssen und nicht alle Veränderungen mitbekommen. [Zudem ist es wichtig aufzupassen, dass die Häuser nicht in den Abfluss gelangen und somit die Ergebnisse verfälschen.]
6. Die Zeitmessung beginnt, wenn das […] [Regenwasser in den Starkregeneinsatz gegossen wird]. Der [Zeitnehmer] hat die Aufgabe, dem Flussstandableser alle […] 10 Sekunden ein Signal zum Ablesen des Wasserstandes im Fluss an der Messstelle zu geben. Der Flussstandableser gibt den Wert laut bekannt. [Der erste Wert bei 0 Sekunden ist mit 150 über N. N. bereits eingetragen.]
7. Die Datenerfasser notieren die Messwerte sofort. […] Der Flussstandableser ruft alle […] [10] Sekunden den abgelesenen Wert aus. In der Regel werden die Messwerte 2 Minuten lang aufgezeichnet oder zumindest so lange, bis der Fluss nicht mehr fließt.
8. Sobald der Fluss zu fließen aufhört, gießt der Abflussmesser das aus dem Modellablauf abgeflossene und gesammelte Wasser zurück in den Messbecher (REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 49)“. Abschließend wird notiert, ob die jeweiligen Dörfer überschwemmt wurden.
9. Diskutieren Sie, inwiefern die Schutzmauer das Dorf 1 geschützt hat und welche Auswirkungen die Schutzmauer noch hatte. Notieren Sie ihre Erkenntnisse in der letzten Zeile „Beobachtungen“.

Versuch Teil 2: Untersuchung mit Regenrückhaltebeckeneinsatz, Parkplatzeinsatz, Starkregeneinsatz und Schutzmauer
Im zweiten Versuch geht es darum, die Auswirkungen eines Regenrückhaltebeckens bei Starkregen zu untersuchen. Die Schutzmauer bleibt dafür unverändert an den Stellen von Versuch

1. Unterhalb der Parkplatzfläche wird das Regenrückhaltebecken eingelegt. Anschließend werden die Parkplatzfläche und der Starkregeneinsatz eingesetzt.
2. Der Ablauf des Versuches ist ansonsten identisch mit dem Ablauf in Versuch 1 ab Punkt

(Quelle: Verändert nach: REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 49)

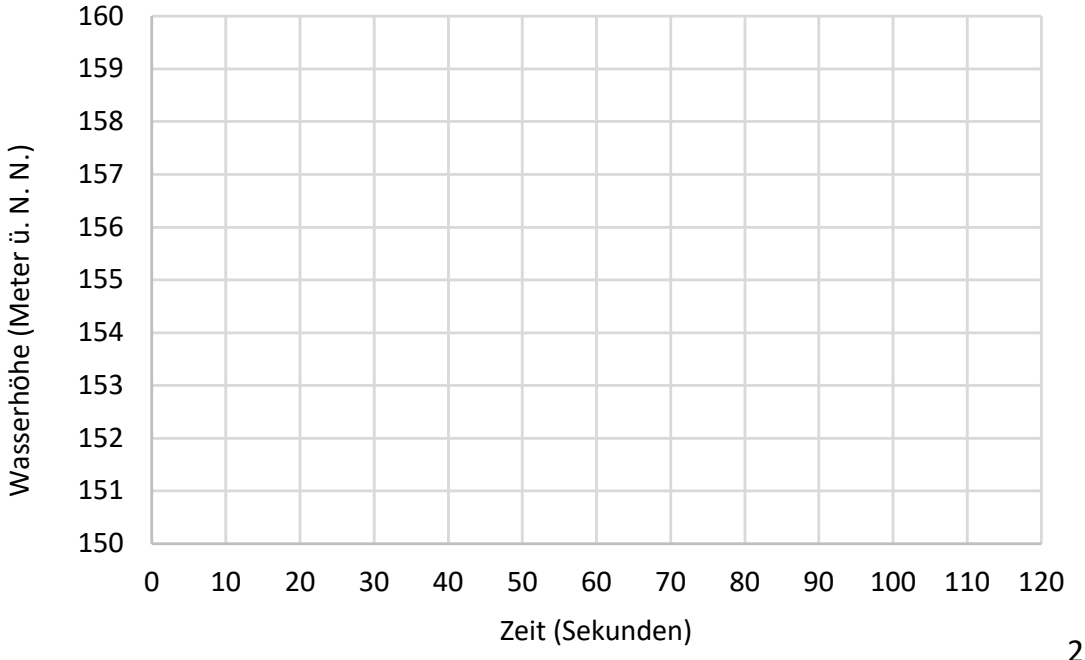
Gruppe: Raumbeispiel Köln

M 10 Maßnahmen zur Verminderung von Hochwasser

Zeit (Sekunden)	Versuch 1: Parkplatz, Starkregen und Schutzmauer (Meter ü. NN)	Versuch 2: Parkplatz, Starkregen, Regenrückhaltebecken, Schutzmauer (Meter ü. NN)
0	**150**	**150**
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
Dorf 1 überschwemmt?		
Dorf 2 überschwemmt?		

Zeichnen Sie nun die in M 10 eingetragenen Werte in die Graphik M 11 ein.

M 11 Wasserstandsganglinien

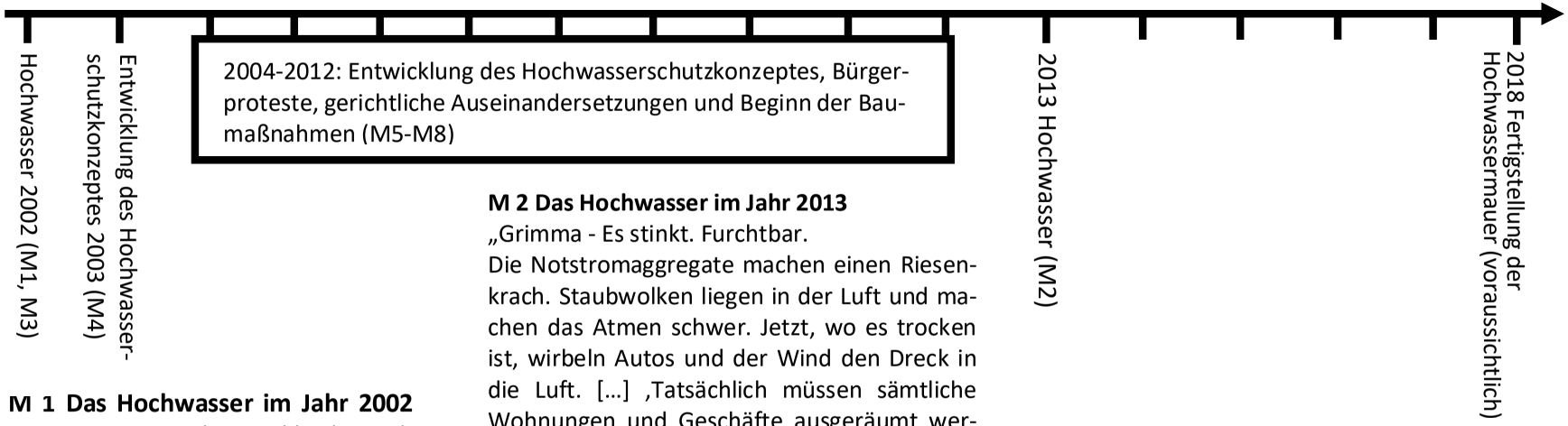


Gruppe: Raumbeispiel Köln

Arbeitsauftrag:
1. Beschreiben Sie mithilfe der Materialien (M 1 – M 7) in der Tabelle (M8), welche Folgen und Maßnahmen bei Hochwasserereignissen und im Hochwasserschutz von Bedeutung sind.
2. Beurteilen und begründen Sie, inwieweit die Umsetzung des Hochwasserschutzkonzeptes in Köln gut gelungen/nicht gut gelungen ist und begründen Sie diese Entscheidung anhand der Materialien im Fazit.
3. Bereiten Sie sich darauf vor, die Ergebnisse präsentieren zu können.

M 8 Hochwasserfolgen und Hochwasserschutz am Beispiel der Stadt Köln	
Folgen von Hochwasserereignissen	**Maßnahmen des Hochwasserschutzes**
Fazit:	

Gruppe: Raumbeispiel Grimma



M 1 Das Hochwasser im Jahr 2002

„Die 30.000 Einwohner zählende Stadt Grimma war 2002 die am stärksten von der Jahrhundertflut betroffene Kommune Sachsens. Mehrere Meter hoch stand die braune Brühe, in etwa 700 Gebäuden bis weit in die ersten Stockwerke. Wie Pappkartons waren Häuser damals umgefallen, andere so stark beschädigt, dass sie anschließend abgerissen werden mussten, 45 insgesamt.

Die Flut hatte eine Stadt zurückgelassen, die aussah, als habe in ihr ein Krieg getobt: Straßenbeläge waren fortgespült, Rohre und Mauerwerk metertief freigelegt, Laternen umgeknickt. Viele Altstadtbewohner verloren alles. 250 Millionen Euro hoch war der materielle Schaden.“ (VOHWINKEL 2013)

M 2 Das Hochwasser im Jahr 2013

„Grimma - Es stinkt. Furchtbar.

Die Notstromaggregate machen einen Riesenkrach. Staubwolken liegen in der Luft und machen das Atmen schwer. Jetzt, wo es trocken ist, wirbeln Autos und der Wind den Dreck in die Luft. […] ‚Tatsächlich müssen sämtliche Wohnungen und Geschäfte ausgeräumt werden. Eine genaue Zahl ist noch nicht bekannt, aber es dürften mehr als 1000 sein. Das Wasser hat hier rund drei Tage gestanden und alles unbrauchbar gemacht‘.“ (STEYER 2013)

M 3 Grimma nach dem Hochwasser im Jahr 2002

(MDR 2019)

M 4 Hochwasserschutzkonzept für Grimma

„Aufgrund der historischen Bedeutung der Altstadt stößt der Hochwasserschutz für Grimma in der Öffentlichkeit und in Fachkreisen auf großes Interesse. Im Mittelpunkt der Diskussion [steht die Schutzmauer, die Grimma vor einem weiteren Hochwasser bewahren soll. Andere Maßnahmen, wie z. B. ein Regenrückhaltebecken sind nicht geplant.

Die historische Bedeutung der Stadt ist für die Bürger von Grimma sehr wichtig. Die Herausforderung ist also Hochwasserschutz, Denkmalschutz und Stadtentwicklung zu verbinden].“ (LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN 2007)

M 5 Die Schutzmauer in Grimma

Die in langwierigen Prozessen erarbeitete Lösung ist eine 2,2 Kilometer lange Schutzmauer, die zu 80% Teil bestehender historischer Gebäude ist. Für die neugebauten Abschnitte wurde eine Schutzmauer errichtet, die der alten Stadtmauer ähnelt und somit in das Stadtbild passt. Die Zwischenöffnungen in den alten Gebäuden werden im Falle eines Hochwassers mit extra dafür entworfenen mobilen Wänden verschlossen. (Eigene Darstellung, nach BRÄHLER 2017)

M 6 Alte sanierte Stadtmauer als Schutzmauer

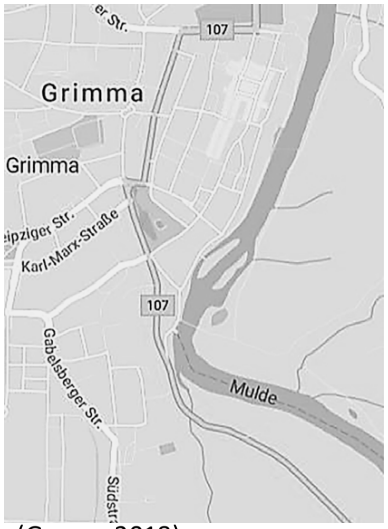
(BRÄHLER 2017)

M 8 Bürgerinteressen

Schon kurz nachdem die Pläne für eine Schutzmauer bekannt wurden, formierte sich in der Bevölkerung von Grimma Protest. Viele Bürger sahen in der Schutzmauer eine Verschandelung der historischen Altstadt. Bürgerproteste wurden angestoßen, es kam zu Unterschriftenaktionen. Schließlich einigte man sich bei der Schutzmauer auf einen Kompromiss (siehe M 5, M 6). „Nach weiteren erfolglosen fünf Klagen begann der äußerst komplizierte Bau, der bis heute alle Beteiligten Nerven kostet (BALDAUF 2013).“ Für das Hochwasser im Jahr 2013 kam die eigentlich für 2007 geplante Schutzmauer allerdings zu spät.

(Eigene Darstellung, nach BALDAUF 2013)

M 7 Grimma an der Mulde



(GOOGLE 2018)

Exkurs: Alternative Hochwasserschutzmaßnahmen

Neben den Schutzmauern gibt es noch zahlreiche andere Hochwasserschutzmaßnahmen. Eine sehr beliebte Maßnahme ist das Errichten von so genannten **Regenrückhaltebecken** oder auch **Retentionsräumen**. Regenrückhaltebecken „sind Flächen, auf denen sich bei Hochwasser das Wasser ausbreiten und versickern kann. Hier fließt es nur langsam oder kommt zum Stehen. So wird der Hochwasserabfluss verzögert (BETTE et al. 2017, S. 71).“ Der Einfluss und Abfluss des Wassers in den Regenrückhaltebecken wird dabei gezielt gesteuert.

Gruppe: Raumbeispiel Grimma

Arbeitsauftrag:

1. Beschreiben Sie mithilfe der Materialien (M 1–M 8) in der Tabelle (M9), welche Folgen und Maßnahmen bei Hochwasserereignissen und im Hochwasserschutz von Bedeutung sind.

2. Beurteilen und begründen Sie, inwieweit die Umsetzung des Hochwasserschutzkonzeptes in Grimma gut gelungen/nicht gut gelungen ist und begründen Sie diese Entscheidung anhand der Materialien im Fazit.

3. Bereiten Sie sich darauf vor, die Ergebnisse präsentieren zu können.

M 9 Hochwasserfolgen und Hochwasserschutz am Beispiel der Stadt Grimma	
Folgen von Hochwasserereignissen	**Maßnahmen des Hochwasserschutzes**
Fazit:	

Gruppe: Raumbeispiel Grimma

M 10 Versuchsablauf

Vorbereitung: Vor der Durchführung des Modellversuches werden verschiedene Rollen verteilt: Wasserzuführer, Zeitnehmer, Schriftführer, Flussstandableser, mehrere Beobachter, Schutzmauerbauer

Material: Modell, Parkplatzeinsatz, Regenrückhaltebeckeneinsatz, Starkregeneinsatz, Häuser, Stoppuhr (Handy), Arbeitsblätter, Knete, Eimer mit ca. 5 Liter Wasser

Versuch Teil 1: Untersuchung mit Parkplatzeinsatz, Starkregeneinsatz und Schutzmauer

1. Die Häuser werden auf die markierten Stellen 1 und 2 verteilt.
2. Diskutierten Sie in ihrer Gruppe, welche Schutzmauerkonstruktion am geeignetsten sein könnte und wo sie platziert sein müsste, um die Häuser von Dorf 1 zu schützen.
3. Fertigen Sie die Schutzmauer aus der Knete nach ihrer Vorstellung an und befestigt sie an der gewünschten Stelle.
4. In den Messbecher werden 2800 ml (2,8l) Wasser aus dem Wasserhahn oder aus einem Wassereimer geschüttet.
5. „Die Schüler die beobachten, haben den Auftrag, das Gesamtgeschehen in dem Einzugsgebiet der Dörfer und am Fluss zu beobachten da die Schüler, welche die Messungen machen oder aufschreiben, sich auf einen kleinen Ausschnitt konzentrieren müssen und nicht alle Veränderungen mitbekommen. [Zudem ist es wichtig aufzupassen, dass die Häuser nicht in den Abfluss gelangen und somit die Ergebnisse verfälschen.]
6. Die Zeitmessung beginnt, wenn das […] [Regenwasser in den Starkregeneinsatz gegossen wird]. Der [Zeitnehmer] hat die Aufgabe, dem Flussstandableser alle […] 10 Sekunden ein Signal zum Ablesen des Wasserstandes im Fluss an der Messstelle zu geben. Der Flussstandableser gibt den Wert laut bekannt. [Der erste Wert bei 0 Sekunden ist mit 150 über N. N. bereits eingetragen.]
7. Die Datenerfasser notieren die Messwerte sofort. […] Der Flussstandableser ruft alle […] [10] Sekunden den abgelesenen Wert aus. In der Regel werden die Messwerte 2 Minuten lang aufgezeichnet oder zumindest so lange, bis der Fluss nicht mehr fließt.
8. Sobald der Fluss zu fließen aufhört, gießt der Abflussmesser das aus dem Modellablauf abgeflossene und gesammelte Wasser zurück in den Messbecher (REINFRIED, KIENZLER 2012, S. 49)“. Abschließend wird notiert, ob die jeweiligen Dörfer überschwemmt wurden oder nicht.
9. Diskutieren Sie, inwiefern die Schutzmauer das Dorf 1 geschützt hat und welche Auswirkungen die Schutzmauer noch hatte. Notieren Sie ihre Erkenntnisse in der letzten Zeile „Beobachtungen“.

Versuch Teil 2: Untersuchung mit Regenrückhaltebeckeneinsatz, Parkplatzeinsatz, Starkregeneinsatz und Schutzmauer

Im zweiten Versuch geht es darum, die Auswirkungen eines Regenrückhaltebeckens bei Starkregen zu untersuchen. Die Dämme bleiben dafür unverändert an der Stelle von Versuch 1.

1. Unterhalb der Parkplatzfläche wird das Regenrückhaltebecken eingelegt. Anschließend werden die Parkplatzfläche und der Starkregeneinsatz eingesetzt.
2. Der Ablauf des Versuches ist ansonsten identisch mit dem Ablauf in Versuch 1 ab Punkt 4. (Quelle: Verändert nach: REINFRIED, KIENZERL 2012, S. 49)

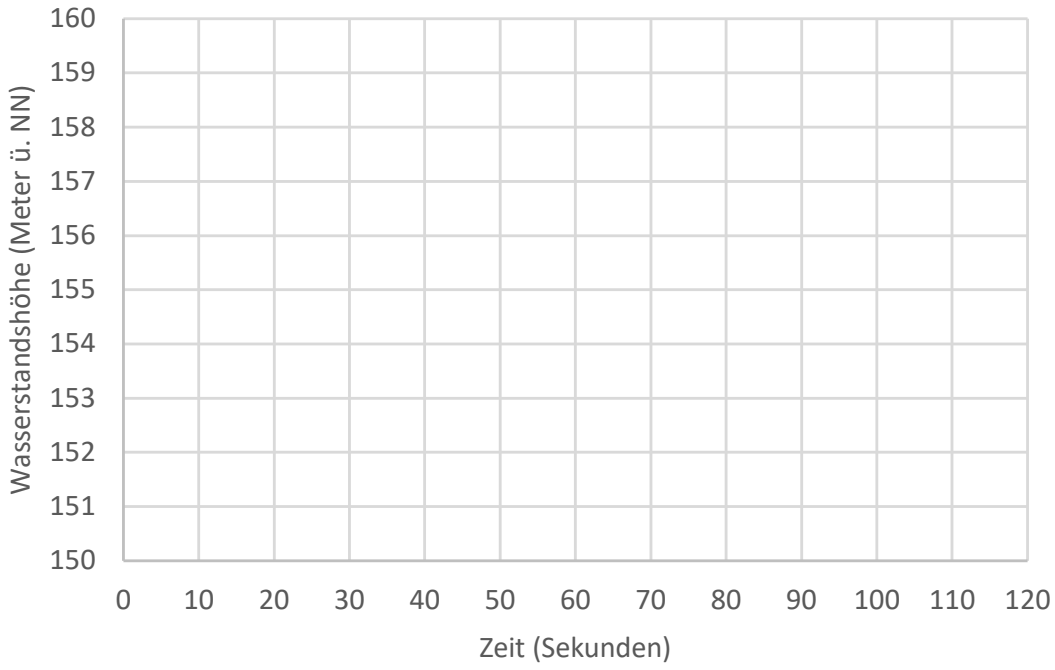
Gruppe: Raumbeispiel Grimma

M 11: Maßnahmen zur Verminderung von Hochwasser

Zeit (Sekunden)	Versuch 1: Parkplatz, Starkregen und Schutzmauer	Versuch 2: Parkplatz, Starkregen, Regenrückhaltebecken, Schutzmauer
0	**150**	**150**
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
Dorf 1 überschwemmt?		
Dorf 2 überschwemmt?		

Zeichnen Sie nun die in M 11 eingetragenen Werte in die Graphik M 12 ein.

M 12 Wasserstandsganglinien



Die folgenden drei Texte wurden als laminierte DinA-4 Seiten auf die Gruppentische gelegt.

Vorgehen bei Station 3

1. Lesen Sie den Text M 1 als inhaltliche Vorbereitung.

2. Lesen Sie M 2 durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Versuche in M2-M4 durch.

Vorgehen beim Raumbeispiel Grimma

1. Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1 – M 8 die Tabelle M 9 aus.

2. Lesen Sie den Versuchsablauf (M 10) durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe den Versuch Teil 1 und Teil 2 durch (M10).

Vorgehen beim Raumbeispiel Köln

1. Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1 – M 7 die Tabelle M 8 aus.

2. Lesen Sie den Versuchsablauf (M 9) durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe den Versuch Teil 1 und Teil 2 durch (M 9).

9.1.3 Materialien Vergleichsgruppe

Die nachfolgend aufgeführten Materialien wurden in der Vergleichsgruppe eingesetzt und müssen entsprechend mit den Materialien in 9.1.2 getauscht werden. Dies betrifft einmal Station 3, sowie im zweiten Teil bei den Raumbeispielen die Arbeit mit den Modellen. Ansonsten werden die Materialien aus 9.1.2 auch bei der Vergleichsgruppe identisch eingesetzt. Für die Gruppenarbeit wurden die verschiedenen Szenarien ausgedruckt. Die Tabelle wurde im DinA-3 Format ausgedruckt und die graphischen Modelle entsprechend vergrößert und zum Einsortieren in die Tabelle laminiert. Da die Ergänzungen der Raumbeispiele identisch sind, werden diese in den Überschriften zusammengefasst. In der Interventionsstudie wurden die Überschriften getrennt dargestellt.

Station 3: Die Auswirkungen von Starkregen, Dauerregen und verschiedener Bodenarten auf Hochwasser

In einem Versuch wurde mit Hilfe von Modellen untersucht, welche Auswirkungen die Bodennutzung und die Niederschlagsart auf den Verlauf eines Hochwassers besitzen. Die verschiedenen untersuchten Szenarien (M 2 - M 5) und die dazu vorhandenen modellhaften Darstellungen (M 6 - M 17) befinden sich unsortiert im Briefumschlag.

1. Lesen Sie die Szenarien 1- 4 durch (M 2 - M 5). Ordnen Sie jedem der vier Szenarien (M 2 - M 5) drei graphische Modelle (M 5 - M 16) in der zeitlich korrekten Reihenfolge zu.

2. Kleben Sie die graphischen Modelle in der zeitlich richtigen Reihenfolge zum passenden Szenario.

M 1 Starkregen, Dauerregen, Bodenbeschaffenheit und Wasserstandsganglinie
Starkregen tritt in Mitteleuropa meistens im Sommer (April bis Oktober) auf und ist meist von kurzer Dauer. Als **Dauerregen** wird Niederschlag bezeichnet, der mehrere Tage lang anhält. (…) Ob der Niederschlag zu Hochwasser führt, ist aber noch von vielen anderen Faktoren wie z.B. den **Bodenbeschaffenheiten** abhängig. Die Entwicklung eines Flusshochwassers wird als **Wasserstandsganglinie** bezeichnet. Nachdem es geregnet hat, steigt das Wasser im Fluss bis zum höchsten Wasserstand an, der als Hochwasserscheitel bezeichnet wird. Das Ansteigen des Wassers beginnt meistens mit einer Verzögerung und steigt oft auch noch an, wenn der Regen bereits aufgehört hat (RUDOLF, SIMMER 2015, S. 380f.).

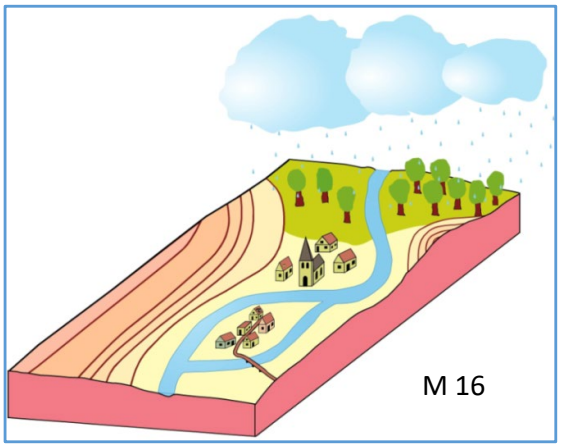
Szenario 1 (M 2): Im ersten Szenario wurde untersucht, inwiefern sich ein **Starkregen** auf eine Landschaft auswirkt, die von **Waldgebieten** geprägt ist. Dabei zeigte sich, dass die Waldgebiete die großen Wassermengen anfangs gut aufnehmen konnten. Daher kam es zu einem verzögerten Anstieg des Wasserspiegels. Nach dem Anstieg des Wasserstandes sank dieser nicht sofort wieder ab. Da der Zufluss durch den Starkregen noch nicht vorbei war, stieg der Wasserstand noch einmal leicht an und verblieb aufgrund des geringen Wasserabflusses durch den Waldboden für längere Zeit auf diesem Wasserstand.

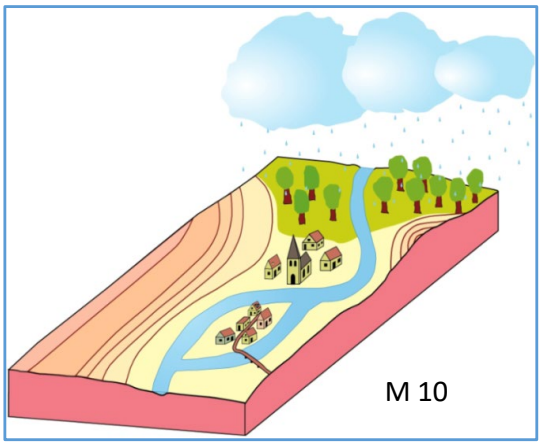
Szenario 2 (M 3): Das zweite Szenario wurde ausgewählt, um eine Landschaft zu untersuchen, die insgesamt stark von **Waldgebieten** bestimmt ist und die von einer Wetterlage geprägt ist, die **Dauerregen** mit sich bringt. Die Waldgebiete konnten den Dauerregen gut aufnehmen, so dass es zu keinem nennenswerten Anstieg des Wasserstandes kam. Erst nach längerer Zeit konnte ein leichter Anstieg beobachtet werden, welcher sich jedoch auch wieder schnell auf ein normales Maß einpendelte.

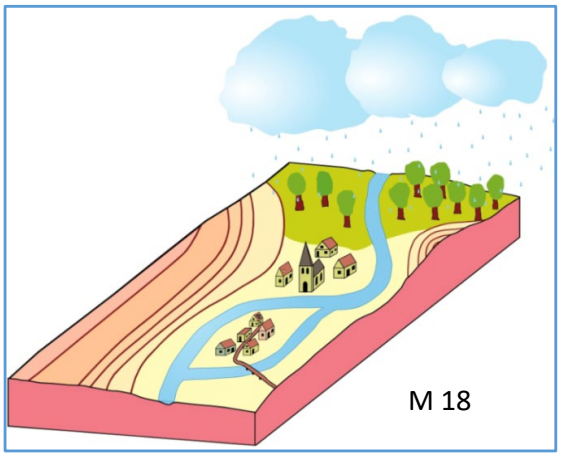
Szenario 3 (M 4): Im dritten Szenario sollten sehr extreme Bedingungen untersucht werden.

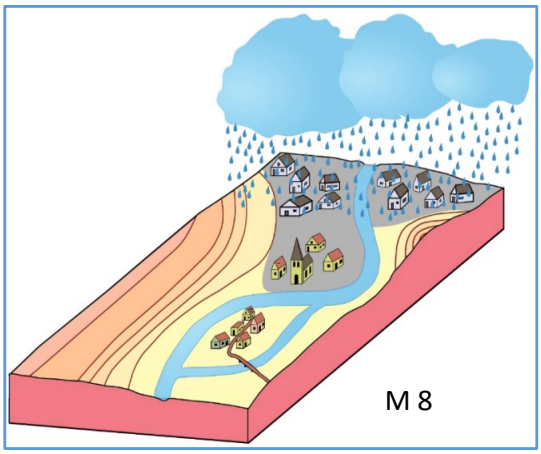
Hier wurde danach gefragt, inwiefern sich **Starkregen** auf eine **versiegelte Fläche** wie z. B. eine Stadt auswirkt. Wie zu erwarten war, konnte das Wasser nicht versickern und es kam zu einem sehr schnellen und sehr starken Anstieg des Wasserstandes. Nach dem sehr hohen und schnellen Ansteigen des Wasserstandes sank dieser jedoch auch wieder schnell ab. Da durch den kurzen Starkregen kein weiteres Wasser nachfloss und der Abfluss an der versiegelten Fläche sehr schnell stattfand, pendelte sich das Hochwasser auf einen leicht erhöhten Wasserstand ein.

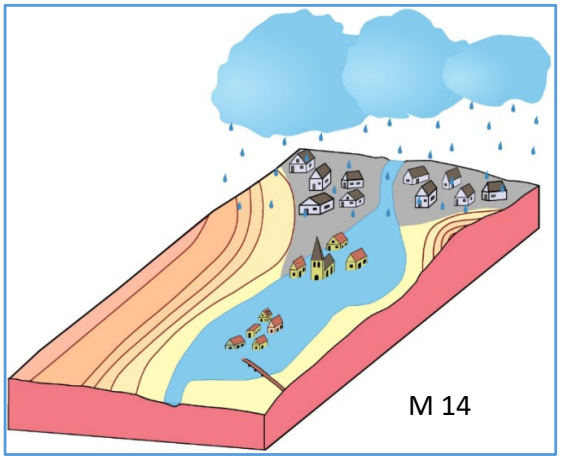
Szenario 4 (M 5): Das vierte Szenario simulierte eine Wetterlage, die zu **Dauerregen** führt, der sich über eine Landschaft abregnet, die städtisch geprägt ist und daher viele **versiegelte Flächen** besitzt. Obwohl die Wassermengen beim Dauerregen nicht sehr groß waren, kam es, da das Wasser nicht versickern konnte, zu einem schnellen und steilen Anstieg des Wasserstandes. Da es sich um eine Wetterlage mit Dauerregen handelte und immer mehr Regen nachfloss, verweilte der schnell angestiegene Wasserstand für längere Zeit auf einem hohen Niveau, bis er langsam wieder absank.

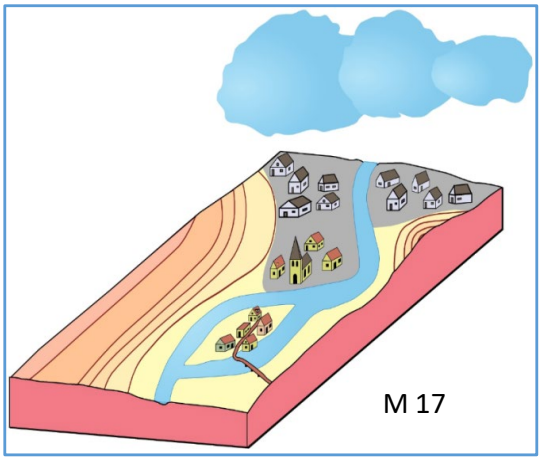

M 16

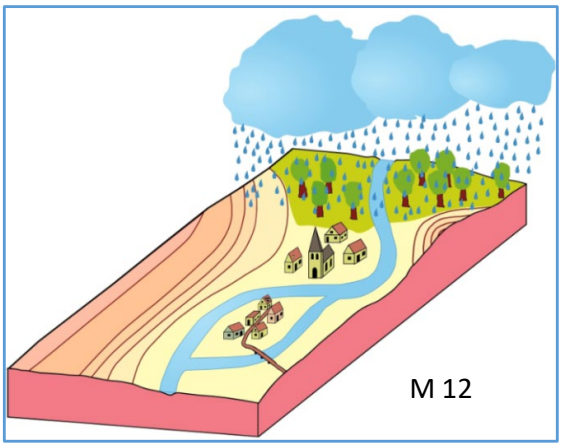

M 10

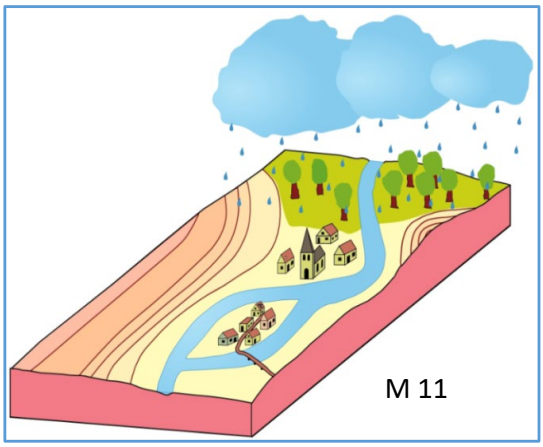

M 18

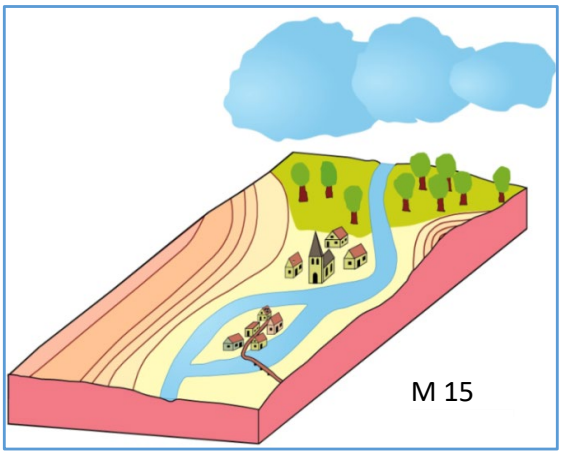

M 8

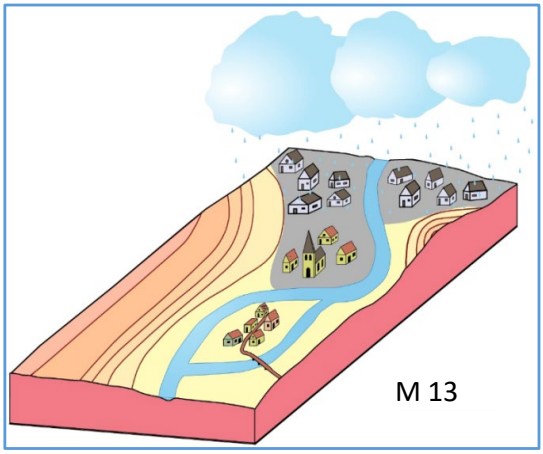

M 14

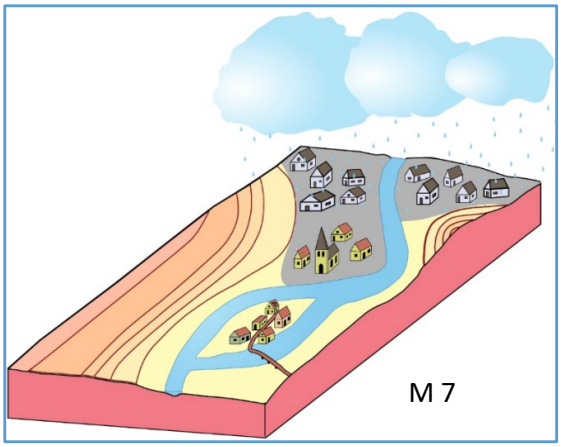

M 17

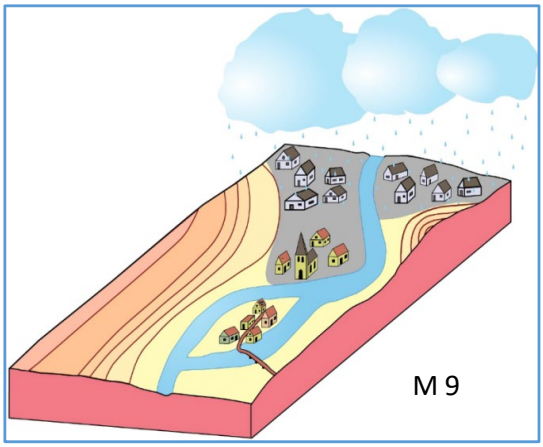

M 12

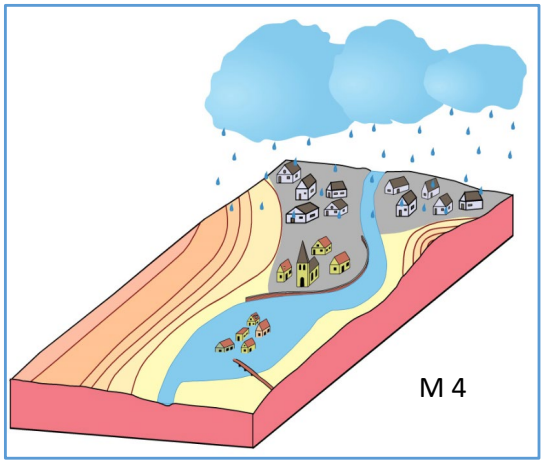

M 11

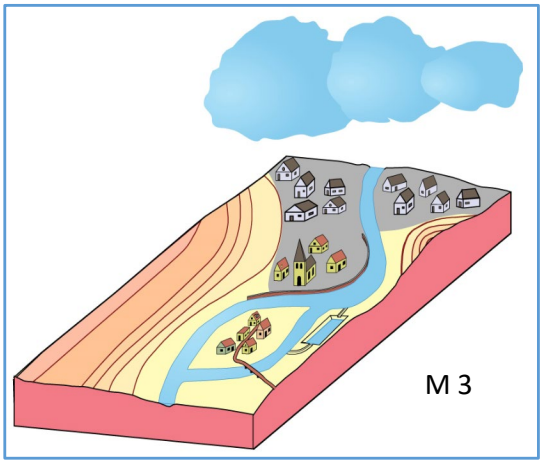

M 15

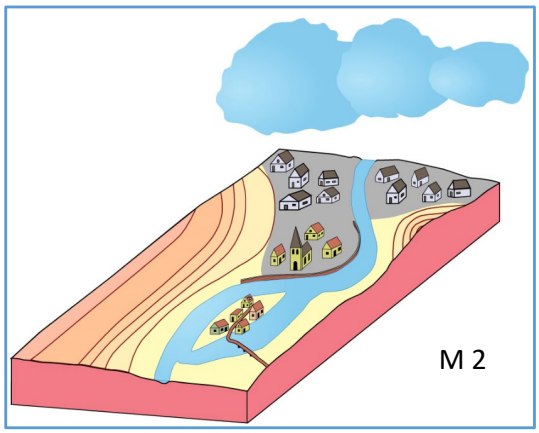

M 13

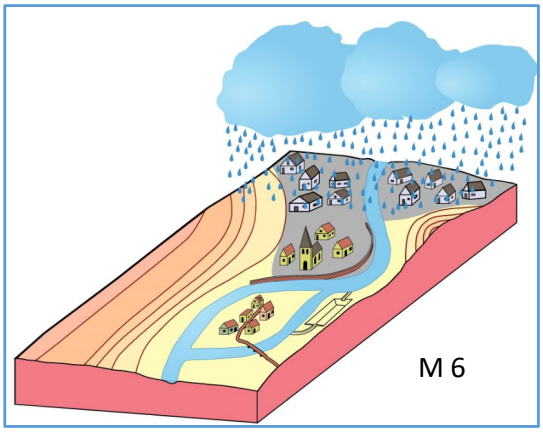

M 7

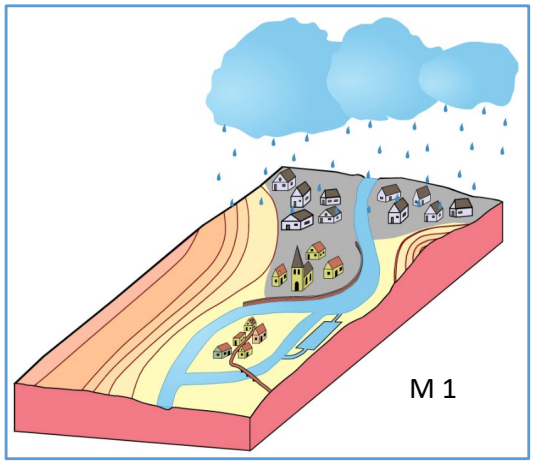

M 9

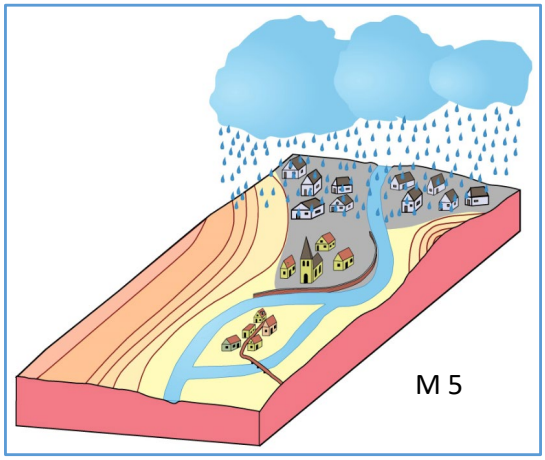

M 4


M 3


M 2


M 6


M 1


M 5

Gruppe: Raumbeispiel Grimma bzw. Gruppe Raumbeispiel Köln

	Ausgangssituation bei Beginn des Regens	**Nach 30 Sekunden im Modell**	**Nach 60 Sekunden im Modell**
Szenario 1			
Szenario 2			

Gruppe: Raumbeispiel Grimma bzw. Gruppe Raumbeispiel Köln

Die folgenden drei Texte wurden als laminierte DinA-4 Seiten auf die Gruppentische gelegt.

<u>Vorgehen bei Station 3</u>
Lesen Sie den Text M 1 als inhaltliche Vorbereitung.

Öffnen Sie den Briefumschlag und lesen Sie die Aufgaben 1-4 durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Aufgaben 1-4 durch.

<u>Vorgehen beim Raumbeispiel Köln</u>
Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1–M 7 die Tabelle M 8 aus.

Lesen Sie die Aufgaben 4-7 durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

Erarbeiten Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Aufgaben 4-7.

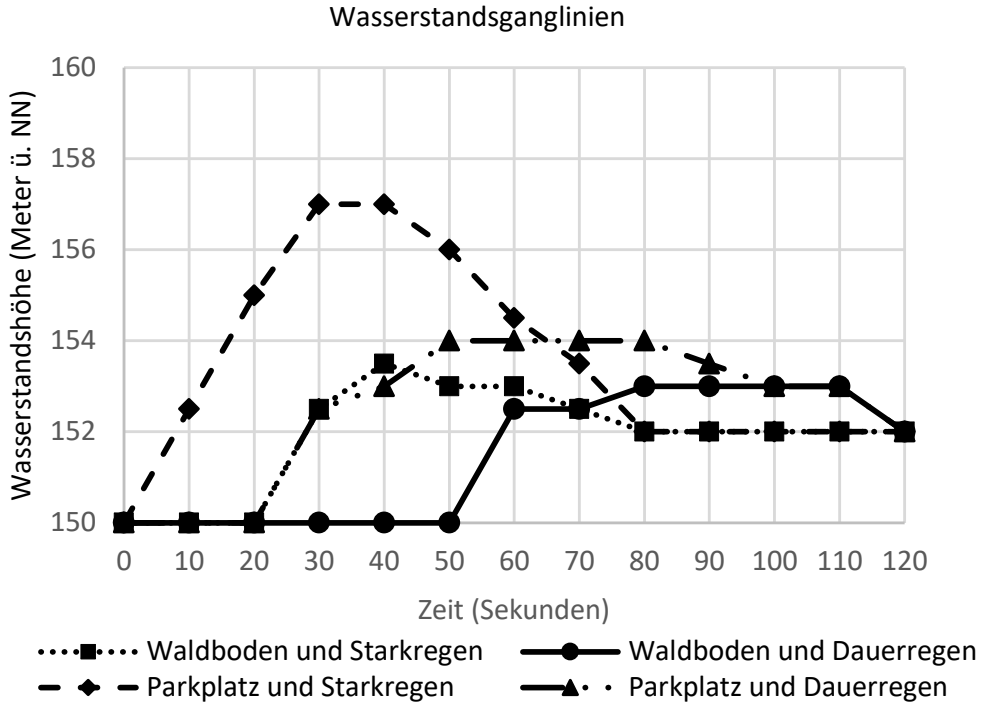
<u>Vorgehen beim Raumbeispiel Grimma</u>
Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1–M 8 die Tabelle M 9 aus.

Lesen Sie die Arbeitsaufträge 4-7 durch. Füllen Sie danach – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.

Erarbeiten Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Aufgaben 4-7.

9.1.4 Berechnung Wasserstandsganglinie Hochwassermodell

M 3 Wasserstandsmessungen				
Zeit (Sekunden)	Waldboden und Starkregen (Meter ü. NN)	Waldboden und Dauerregen (Meter ü. NN)	Parkplatz und Starkregen (Meter ü. NN)	Parkplatz und Dauerregen (Meter ü. NN)
0	**150**	**150**	**150**	**150**
10	**150**	**150**	**152,5**	**150**
20	**150**	**150**	**155**	**150**
30	**152,5**	**150**	**157**	**152,5**
40	**153,5**	**150**	**157**	**153**
50	**153**	**150**	**156**	**154**
60	**153**	**152,5**	**154,5**	**154**
70	**152,5**	**152,5**	**153,5**	**154**
80	**152**	**153**	**152**	**154**
90	**152**	**153**	**152**	**153,5**
100	**152**	**153**	**152**	**153**
110	**152**	**153**	**152**	**153**
120	**152**	**152**	**152**	**152**



Ergebnisse der drei durchgeführten Modelldurchläufe zur Berechnung des Mittelwertes des Hochwassermodells

M 3 Wasserstandsmessungen												
Zeit	Waldboden und Starkregen (Meter ü. N. N.)			Waldboden und Dauerregen (Meter ü. N. N.)			Parkplatz und Starkregen (Meter ü. N. N.)			Parkplatz und Dauerregen (Meter ü. N. N.)		
	Durch-gang 1	Durch-gang 2	Durch-gang 3	Durch-gang 1	Durch-gang 2	Durch-gang 3	Durch-gang 1	Durch-gang 2	Durch-gang 3	Durch-gang 1	Durch-gang 2	Durch-gang 3
0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
10	150	150	150	150	150	150	152,5	153	152	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	155	156	154	150	150	150
30	152	152,5	153	150	150	150	157	157	157	152.5	153	152
40	153	153,5	154	150	150	150	157	157,5	156,5	153,5	154	153
50	153	153	153,5	150	150	150	156	157	155	154	154,5	154
60	153	153	153	152,5	152,5	155	154,5	155	154	154	154,5	154
70	152,5	152,5	153	152,5	152,5	152,5	153,5	154	153	154	154	154
80	152	152	152,5	153	153	152,5	152	152,5	152	154	154	154
90	152	152	152	153	153	153	152	152	152	153,5	154	153,5
100	152	152	152	153	153	153	152	152	152	153	153,5	153
110	152	152	152	153	152.5	153	152	152	152	153	153	153
120	152	152	152	152	152	152,5	152	152	152	152	152	152

9.1.5 Instruktionen für das Vorgehen der Kursleitung in der Hauptstudie

Auf die Arbeitsschritte, die nur von der Experimentalgruppe oder Vergleichsgruppe durchgeführt wurden, wird in der Kategorie „Phase“ schriftlich hingewiesen.

Zeitangabe	Phase	Instruktionen
8:15-8:30 Uhr	Begrüßung	- Die SuS werden von den Lehrpersonen am Audimax begrüßt. Anschließend werden die SuS per Zufallsprinzip in zwei gleich große Gruppen eingeteilt. - Die Lehrpersonen gehen mit den SuS zu den ihnen zugewiesenen Seminarräumen.
8:30-8:50 Uhr	Einstieg	- Die Lehrpersonen stellen sich kurz vor: 1. Name; 2. Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der RUB. - Die PPP wird gestartet. Die SuS sollen jeweils kurz die beiden Bilder beschreiben. Falls von den SuS nicht genannt, wird von den Lehrpersonen darauf hingewiesen, dass das Hochwasser in Bild 1 eher in einem städtischen Bereich stattfindet, während das Bild 2 eher in einem natürlichen Gebiet (Wald) aufgenommen wurde. - Die beiden Zitate werden von den SuS vorgelesen. Durch den kognitiven Konflikt, welcher durch die Bilder/Zitate erzeugt wird, soll das Interesse am Unterrichtsgegenstand geweckt werden. - Von der Lehrperson oder den SuS werden verschiedene Fragen aufgeworfen: „ Ist ein Hochwasser ein natürliches oder vom Menschen erzeugtes Naturereignis?“ ; „Wie entstehen Hochwasserereignisse?“ - Die SuS formulieren verschiedene Hypothesen, wie es zu Hochwasserereignissen kommt und ob es sich um ein natürliches oder ein menschengemachtes Naturereignis handelt. - Den SuS wird erläutert, dass im ersten Block bis zur Mittagspause die aufgestellte Frage in Form eines Stationenlernens erarbeitet werden soll.

8:50-9:10 Uhr	Vorstellen der Stationen (**Experimentalgruppe**)	- Es wird erklärt, dass insgesamt drei Stationen mit Unterrichtsmaterialien vorhanden sind, die im Uhrzeigersinn bearbeitet werden sollen. - Die SuS werden per Zufallsprinzip in zwei oder drei Gruppen mit mindestens 4 und höchstens 6 SuS eingeteilt. Die erarbeiteten Ergebnisse werden nach dem Stationenlernen vorgetragen. Die SuS haben für jede Station 35 Minuten Zeit. **Stationen**: 1. Einzugsgebiet und Flussverlauf am Beispiel des Rheins 2. Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederschlag 3. Die Auswirkungen von Starkregen, Dauerregen und verschiedenen Bodenarten auf Hochwasserereignisse (Modell) - Den SuS wird verdeutlicht, dass mit dem Hochwassermodell vorsichtig umgegangen werden muss. - Zudem wird den SuS das Vorgehen an Station 3 erläutert: 1. Lesen Sie den Text M 1 als inhaltliche Vorbereitung. 2. Lesen Sie M 2 durch. Füllen Sie **danach** – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. **Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.** 3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Versuche in M2-M4 durch. - Sollte die Gruppe an Station 3 länger als 35 Minuten brauchen, wechselt die Gruppe an Station 2 zum Ersatzmodell. Spätestens nach 45 Minuten muss die Gruppe an Station 3 jedoch zu Station 1 wechseln. - Den SuS wird erklärt, dass notfalls Verständnis oder Aufgabenfragen gestellt werden können, jedoch vordergründig versucht werden soll, die Stationen alleine in der Gruppe zu bewältigen. Während des gesamten Stationenlernens wird darauf geachtet, dass Fragen nur beantwortet werden, wenn diese für den weiteren Lernverlauf unerlässlich sind. Ansonsten werden Fragen von den Lehrenden im Sinne der „Hilfe zur Selbsthilfe“ beantwortet, so dass möglichst wenig Input außerhalb der Informationen des Stationenlernens gegeben werden muss.

8:50-9:10 Uhr	Vorstellen der Stationen (**Vergleichs-gruppe**)	- Es wird erklärt, dass insgesamt drei Stationen mit Unterrichtsmaterialien vorhanden sind, die im Uhrzeigersinn bearbeitet werden sollen. - Die SuS werden per Zufallsprinzip in zwei oder drei Gruppen mit mindestens 4 und höchstens 6 SuS eingeteilt. Die erarbeiteten Ergebnisse werden nach dem Stationenlernen vorgetragen. Die SuS haben für jede Station 35 Minuten Zeit. **Stationen**: 1. Einzugsgebiet und Flussverlauf am Beispiel des Rheins 2. Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederschlag 3. Die Auswirkungen von Starkregen, Dauerregen und verschiedenen Bodenarten auf Hochwasserereignisse (Modell) - Den SuS wird verdeutlicht, dass mit dem Hochwassermodell vorsichtig umgegangen werden muss. - Zudem wird den SuS das Vorgehen an Station 3 erläutert: 1. Lesen Sie den Text M 1 als inhaltliche Vorbereitung. 2. Öffnen Sie den Briefumschlag und lesen Sie die Aufgaben 1-4 durch. Füllen Sie **danach** – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. **Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.** 3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Aufgaben 1-4 durch. - Sollte die Gruppe an Station 3 länger als 35 Minuten brauchen, wechselt die Gruppe an Station 2 zum Ersatzmodell. Spätestens nach 45 Minuten muss die Gruppe an Station 3 jedoch zu Station 1 wechseln. - Den SuS wird erklärt, dass notfalls Verständnis oder Aufgabenfragen gestellt werden können, jedoch vordergründig versucht werden soll, die Stationen alleine in der Gruppe zu bewältigen. Während des gesamten Stationenlernens wird darauf geachtet, dass Fragen nur beantwortet werden, wenn diese für den weiteren Lernverlauf unerlässlich sind. Ansonsten werden Fragen von den Lehrenden im Sinne der „Hilfe zur Selbsthilfe“ beantwortet, so dass möglichst wenig Input außerhalb der Informationen des Stationenlernens gegeben werden muss.

9:10-11:00 Uhr	Stationen-arbeiten	- Die Lehrperson begleitet das Stationenlernen und achtet darauf, dass alle SuS an den verschiedenen Stationen in den Lernprozess einbezogen werden. - Die Fragebögen zur aktuellen Motivation werden nach dem Ausfüllen in den Gruppen von der Lehrkraft eingesammelt. Es wird direkt überprüft, ob jeder SuS einen Code eingetragen hat. - Jeweils 10 Minuten vor dem Wechsel der Station wird den SuS signalisiert, dass sie in den nächsten 10 Minuten zum Ende kommen sollen.
11:00-11:45 Uhr	Ergebnis-präsentation/ Besprechung	- Jede Gruppe stellt die Ergebnisse ihrer letzten Station vor. Die Lehrperson bespricht die jeweiligen Ergebnisse mit den SuS und greift gegebenenfalls inhaltlich korrigierend ein. Es wird jedoch darauf geachtet, dass nicht mehr Informationen als notwendig gegeben werden und dass die gegebenen Informationen auch inhaltlich aus den Materialien zu erarbeiten sind. - Bei Station 3 wird mit den SuS der Verlauf der Hochwasserlinien inhaltlich besprochen und, wenn notwendig, mit einer Ideallösung abgeglichen. - Sollten nur zwei Gruppen gebildet worden sein, bestimmt die Lehrperson eine der beiden Gruppen, welche zwei Stationen vorstellen muss.
11:45-12:30 Uhr	Mittagspause	- Die SuS haben 45-Minuten Mittagspause. Die SuS werden von der Lehrperson so zur Mensa begleitet, damit diese nicht in Kontakt mit der gleichzeitig stattfindenden Vergleichsgruppe/Experimentalgruppe kommen. Anschließend gehen die SuS mit der Lehrperson geschlossen zurück zum Seminarraum. - In der Mittagspause werden von der Studienleitung die überflüssigen Materialien eingesammelt, die ausgefüllten FAM eingeheftet und der zweite Block mit Materialien vorbereitet.

12:30-12:45 Uhr	Einstieg	- Der Einstieg erfolgt erneut über eine PPP. Die SuS sollen die Bilder zunächst beschreiben. - Das Zitat zur Stadt Grimma wird eingeblendet und von der Lehrperson vorgelesen. Es wird von der Lehrperson betont, dass scheinbar nach dem Hochwasser Konsequenzen gezogen werden sollten, damit ein solches Ereignis nicht noch einmal vorkommt. - Anschließend werden die Vergleichsbilder (Grimma 2013) gezeigt, die einen kognitiven Konflikt auslösen. Es wird auf eine Reaktion seitens der SuS gewartet. Kommen keine Meldungen, wird von der Lehrperson die Frage aufgeworfen, ob sich Grimma nach den Vorstellungen der SuS entwickelt hat. - Die SuS werden gefragt, woran man erkennen kann, dass es sich wirklich um die gleiche Szene 11 Jahre später handelt. - Die SuS sollen versuchen, eine mögliche Fragestellung zu formulieren, z. B. „Warum hat der Hochwasserschutz in der Stadt Grimma nicht funktioniert“ oder „Wieso ist das Hochwasser im Jahr 2013 wieder da?“ . - Den SuS wird ein Bild der Stadt Köln gezeigt. Schülermeldungen werden abgewartet. - Ggf. wird von der Lehrperson gefragt, um welche Stadt und welchen Fluss es sich handelt. - Nacheinander werden die beiden Zitate eingeblendet. Die Lehrperson wartet Schülermeldungen ab. Bei Ausbleiben von Schülermeldungen, erklärt die Lehrperson, dass das Hochwasserschutzkonzept in Köln als ein positives Beispiel angesehen werden kann. - Die Lehrperson fragt die SuS, wo sie Grimma und Köln verorten würden. - Anschließend wird die Verortung der Städte mit ihren Flüssen eingeblendet. - Die Lehrpersonen erklären, dass im Folgenden in Gruppen (zwei oder vier) die beiden Raumbeispiele erarbeitet werden. - Wenn vor der Mittagspause zwei Gruppen gebildet wurden, werden diese beibehalten. Ansonsten werden 2 oder vier neue Gruppen zusammengesetzt. - Die beiden Raumbeispiele werden den Gruppen zufällig zugeteilt.

12:45-13:00 Uhr	Vorstellen des Arbeitsauftrages (**Experimentalgruppe**)	- Den SuS wird das Vorgehen in den Gruppen dargelegt. Es wird deutlich gemacht, dass zunächst die Tabelle mit Hilfe der Materialien ausgefüllt werden soll und darauf aufbauend der Versuchsablauf durchgelesen wird, zu welchem der Test ausgefüllt werden soll. Anschließend werden die Versuche durchgeführt. 1. Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1 – M 8 die Tabelle M 9 aus. 2. Lesen Sie den Versuchsablauf durch. Füllen Sie **danach** – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. **Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.** 3. Führen Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in ihrer Gruppe den Versuch Teil 1 und Teil 2 durch (M10). - Den SuS wird erklärt, dass sie von sich aus Verständnisfragen stellen können. Diese werden erneut nur wenn für den weiteren Lernprozess notwendig und wie bisher im Sinne der „Hilfe zur Selbsthilfe“ beantwortet, so dass möglichst wenige Informationen außerhalb der Materialien genannt werden müssen.
12:45-13:00 Uhr	Vorstellen des Arbeitsauftrages (**Vergleichsgruppe**)	- Den SuS wird das Vorgehen in den Gruppen dargelegt. Es wird deutlich gemacht, dass zunächst die Tabelle mit Hilfe der Materialien ausgefüllt werden soll und darauf aufbauend der Versuchsablauf durchgelesen wird, zu welchem der Test ausgefüllt werden soll. Anschließend werden die Versuche durchgeführt. 1. Füllen Sie mit Hilfe der Materialien M 1 – M 7 die Tabelle M 8 aus. 2. Lesen Sie die Aufgaben 4-7 durch. Füllen Sie **danach** – jeder für sich – ehrlich den Fragebogen aus. **Achten Sie darauf, den gleichen Code wie im bereits ausgefüllten Fragebogen zu benutzen.** 3. Erarbeiten Sie, nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, in Ihrer Gruppe die Aufgaben 4-7. - Den SuS wird erklärt, dass sie von sich aus Verständnisfragen stellen können. Diese werden erneut nur wenn für den weiteren Lernprozess notwendig und wie bisher im Sinne der „Hilfe zur Selbsthilfe“ beantwortet, so dass möglichst wenige Informationen außerhalb der Materialien genannt werden müssen.

13:00- 14:00 Uhr	Arbeitsphase	- Die Lehrperson begleitet das Stationenlernen und achtet darauf, dass alle SuS in den Lernprozess einbezogen werden. - Die Fragebögen zur aktuellen Motivation werden nach dem Ausfüllen in jeder Gruppe von der Lehrkraft eingesammelt. Es wird direkt überprüft, ob jeder SuS einen Code eingetragen hat. - 10 Minuten vor Schluss werden die SuS daran erinnert, dass langsam die Ergebnisse zusammengetragen werden müssen.
14:00- 14:25 Uhr	Vorstellen der Ergebnisse	- Die SuS stellen die Ergebnisse ihres Raumbeispiels vor. - Eine Gruppe, die von der Lehrperson zufällig bestimmt wird, stellt zusätzlich die Ergebnisse zur Entwicklung der Hochwasserverlaufskurve und den Bezug zum Regenrückhaltebecken bzw. Deichen/Schutzmauern dar. - Es wird ein Vergleich zur Ideallösung aus Station 3 hergestellt. Es wird mit den SuS diskutiert, wie sich das Retentionsbecken (flacherer und kontrollierter Verlauf der Hochwasserlinie) und die Schutzmauer (Schutz von Dorf 1, dafür erhöhtes Risiko im Flussunterlauf für Dorf 2) auf den Hochwasserlinienverlauf auswirken.
14:25- 14:30 Uhr	Testaustei-len/Instrukti-onen	- Den SuS wird abschließend der Test ausgeteilt. - Sie werden darum gebeten, die Fragen ehrlich und bestmöglich zu beantworten. - Es wird erneut auf die Deckungsgleichheit der Codes hingewiesen. - Lehrperson: „Da der Test nicht benotet wird und nicht an die Lehrkräfte weitergereicht wird, ist es wichtig, dass Sie den Test in Einzelarbeit beantworten“ .
14:30- 15:00 Uhr	Test	- Während des Tests werden keine Fragen der SuS seitens der Lehrperson beantwortet. Dies und die zur Verfügung stehende Zeit (30 Minuten) wird den SuS vorher transparent gemacht. - Während der Test ausgefüllt wird, wird streng darauf geachtet, dass die Tests in Einzelarbeit erledigt werden. - Nach genau 30 Minuten wird der Test eingesammelt. Beim Einsammeln des Tests wird darauf geachtet, dass der Code eingetragen ist.

9.2 Messinstrumente

Der entwickelte Fragebogen (9.2.1) unterscheidet sich im Pretest, Posttest und Follow-up-Test nicht. Lediglich von Teil B (Persönliche Angaben) und Teil C (Interessen und Vorerfahrungen) wurden im Posttest und Follow-up-Test einige Items weggelassen, da eine erneute Abfrage, z. B. des Geschlechts, nicht sinnvoll erscheint. In Teil D wurde zudem der Einleitungstext angepasst.

9.2.1 Fragebogen und Concept Map

Liebe Schülerin, lieber Schüler,
vielen Dank, dass Sie bei der Studie mitmachen. Die Studie ist anonym, auch Ihr Lehrer wird den Fragebogen nicht zu sehen bekommen. Ihre ehrlichen Antworten sind für uns eine große Hilfe und wir bedanken uns im Voraus.

Viel Spaß beim Ausfüllen des Fragebogens!

A. Namenscode

Da der Test anonym ist und Sie Ihren echten Namen nicht angeben müssen, wird hier ein Code (Geheimname) eingegeben. Dafür tragen Sie in die ersten drei Kästchen die ersten drei Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter ein. Dann die ersten drei Buchstaben des Vornamens Ihres Vaters und abschließend Ihre Hausnummer. Achten Sie darauf, dass Sie die Daten richtig und leserlich eintragen.

Beispiel: Vorname der Mutter: Lisa; Vorname des Vaters: Peter; Adresse: Hansaallee 122

L	i	s	P	e	t	122

Ihr Code:
Vorname Mutter / Vorname Vater / Hausnummer

B. Persönliche Angaben

Lesen Sie bitte jeden Satz genau durch und geben Sie eine ehrliche Antwort.

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

Alter:_____ Jahre

Auf meinem letzten Zeugnis hatte ich folgende Noten:

Mathematik: _____
Deutsch: _____
Biologie: _____
Welche Sprache sprechen Sie zu Hause am häufigsten? ☐ Deutsch ☐ andere Sprache:_____

Meine letzte Note in Erdkunde: _____

Ich war schon einmal persönlich von einem Hochwasser betroffen, z. B. weil das Haus, in dem ich lebe, überschwemmt war: ☐ Ja ☐ Nein

C. Interessen und Vorerfahrungen

Hier sollen Sie Angaben zu Ihren persönlichen Interessen machen. Bitte lesen Sie dafür jeden Satz genau durch und kreuzen Sie zu jeder Aussage in der jeweils zutreffenden Spalte ein Kästchen an.

	… interessiert mich nicht	… interessiert mich wenig	… interessiert mich teils, teils	… interessiert mich	… interessiert mich sehr
Das Fach Erdkunde…	☐	☐	☐	☐	☐
Das Thema Naturrisiken (Erdbeben, Vulkane, tropische Wirbelstürme, Hochwasser)…	☐	☐	☐	☐	☐
Das Thema Hochwasser…	☐	☐	☐	☐	☐

Hier sollen Sie angeben, welche persönlichen Erfahrungen Sie bereits gesammelt haben. Bitte lesen Sie dafür jeden Satz genau durch und kreuzen Sie zu jeder Aussage in der jeweils zutreffenden Spalte das Kästchen an.

	… gar nicht gearbeitet	… selten gearbeitet	… manchmal gearbeitet	… häufig gearbeitet	… sehr häufig gearbeitet
Im Erdkundeunterricht habe ich mit konkreten Modellen (3D-Modelle wie z. B. einem Globus)…	☐	☐	☐	☐	☐
Im Erdkundeunterricht habe ich mit graphischen Modellen (2D-Modelle wie z. B. Klimadiagramme)…	☐	☐	☐	☐	☐
Zum Thema Hochwasser habe ich in der Schule bis jetzt…	☐	☐	☐	☐	☐

D. Aufgaben zum Thema Hochwasser

Sie werden sich demnächst in Erdkunde mit dem Thema Hochwasser beschäftigen. Mithilfe dieses Tests möchten wir feststellen, was Sie schon vorher von dem Thema wissen. Da der Test anonym ist und nicht benotet wird, ist es nicht schlimm, wenn Sie eine Frage falsch beantworten. Lesen Sie sich die Fragen genau durch und versuchen Sie, möglichst alle Fragen zu beantworten.
Viel Erfolg!

Frage 1

In dem Einzugsgebiet eines Flusses fällt Starkregen. In einem vergleichbaren Einzugsgebiet eines anderen Flusses fällt hingegen zum gleichen Zeitpunkt die identische Wassermenge als Dauerregen.

Welche Folgen ergeben sich daraus für den Verlauf des Wasserstandes der beiden Flüsse?

Kreuzen Sie für jede Aussage ein „Ja“ (stimmt) oder ein „Nein“ (stimmt nicht) an.	Ja	Nein
A. Bei Dauerregen bleibt der Wasserstand länger hoch.	☐	☐
B. Beim Dauerregen dauert es länger, bis der gleiche Wasserhöchststand erreicht wird wie beim Starkregen.	☐	☐
C. Der Wasserstand beim Starkregen steigt schneller an, erreicht einen höheren Wasserhöchststand und bleibt deswegen auch länger hoch als beim Dauerregen.	☐	☐
D. Bei Starkregen wird im Vergleich zum Dauerregen ein höherer Wasserstand erreicht.	☐	☐

Frage 2

Unterstreichen Sie im folgenden Text jeweils den passenden Begriff in der Klammer.

Der Mensch greift durch Flussbegradigungen oftmals in den Flussverlauf ein. Dadurch werden die Flüsse insgesamt [verkürzt/verlängert]. Dies führt dazu, dass sich die Fließgeschwindigkeit in den Nebenflüssen und dem Hauptfluss [beschleunigt/verlangsamt]. Daraus ergibt sich, dass sich die Fließzeit insgesamt [verkürzt/verlängert]. Die Hochwasserwelle wird dadurch [flacher/höher].

Frage 3

Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach **am besten begründet**?

Bitte **nur eine** Aussage ankreuzen.

☐ A. Die Produktion von CO_2 durch den Menschen beeinflusst die weltweite Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung wiederum führt zu mehr Verdunstung und somit weltweit insgesamt zu höheren Niederschlägen.

☐ B. Die Produktion von CO_2 durch den Menschen beeinflusst die weltweite Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung beeinflusst jedoch nicht den Niederschlag, da die höheren Temperaturen keinen Einfluss auf die Verdunstung und somit auf die Niederschläge haben.

☐ C. Die Produktion von CO_2 durch den Menschen beeinflusst die weltweite Temperaturerhöhung. Die Temperaturerhöhung verändert den Wasserkreislauf und damit die weltweiten Niederschläge. Je nach Region und Jahreszeit kommt es zu unterschiedlichen Niederschlagsveränderungen.

☐ D. Die Produktion von CO_2 durch den Menschen beeinflusst die Temperaturerhöhung nicht. Daher verändern sich der Wasserkreislauf und die Niederschlagssumme nicht.

Frage 4

Bringen Sie die drei folgenden Begriffe in eine <u>sinnvolle Reihenfolge</u> (1) – (3).

Beschriften Sie anschließend <u>die Pfeile</u>, so dass der Zusammenhang zwischen den Begriffen klar wird.
Die drei Begriffe lauten:
- Wasserstand
- Waldfläche
- Versickerung

(1) ……. ……→ (2) …… ……→ (3) ……

Frage 5

Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach **am besten begründet**?

Bitte **nur eine** Aussage ankreuzen.

☐ A. Die Größe des Einzugsgebietes hat keinen Einfluss auf den Wasserstand eines Flusses, da das Wasser sofort im Boden versickert. Internationale Zusammenarbeit im Hochwasserschutz ist daher nicht so wichtig.

☐ B. Die Größe des Einzugsgebietes nimmt Einfluss auf den Wasserstand eines Flusses, da sich das Wasser aus dem Einzugsgebiet im Fluss sammelt. Internationale Zusammenarbeit im Hochwasserschutz ist wichtig, da sich Flüsse und deren Einzugsgebiete oft über Ländergrenzen hinweg erstrecken.

☐ C. Nur die versiegelte Fläche des Einzugsgebietes nimmt Einfluss auf den Wasserstand eines Flusses. Internationale Zusammenarbeit im Hochwasserschutz ist wichtig, da sich versiegelte Flächen oft über Ländergrenzen hinweg erstrecken.

☐ D. Die Größe und die Form des Einzugsgebietes nehmen Einfluss auf den Wasserstand eines Flusses, da sich das Wasser aus dem Einzugsgebiet im Fluss sammelt. Internationale Zusammenarbeit im Hochwasserschutz ist wichtig, da sich Flüsse und deren Einzugsgebiete oft über Ländergrenzen hinweg erstrecken.

Frage 6

Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach **am besten begründet**?

Bitte **nur eine** Aussage ankreuzen.

☐ A. Waldgebiete haben keinen Einfluss auf Hochwasserereignisse. Da sie bereits sehr stark mit Wasser gesättigt sind, können sie nicht mehr viel Wasser aufnehmen.

☐ B. Waldgebiete haben keinen Einfluss auf Hochwasserereignisse, da sie genau so viel Wasser aufnehmen können wie andere Landschaftsformen.

☐ C. Waldgebiete haben einen Einfluss auf Hochwasserereignisse, da sie in der Lage sind viel Wasser aufzunehmen und im Boden zu speichern.

☐ D. Waldgebiete haben einen Einfluss auf Hochwasserereignisse, da sie Wasser abgeben, welches zu Hochwasserereignissen führt.

Frage 7

Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach **am besten begründet**?

Bitte **nur eine** Aussage ankreuzen.

☐ A. Zum Schutz vor Hochwasser können bestimmte Landschaftsräume gezielt überflutet werden. Dies ist notwendig, da bestimmte Ökosysteme auf Überflutungen angewiesen sind.

☐ B. Zum Schutz vor Hochwasser macht es keinen Sinn, gezielte Überflutungen durchzuführen, da die überschwemmten Flächen stark in Mitleidenschaft gezogen werden.

☐ C. Zum Schutz vor Hochwasser können bestimmte Räume gezielt überflutet werden. Dafür werden bewusst Wälder ausgesucht, in denen das Wasser gut versickern kann.

☐ D. Zum Schutz vor Hochwasser können bestimmte Räume gezielt überflutet werden. Dadurch kann der Wasserstand von Flüssen abgesenkt werden.

Frage 8

Bringen Sie die drei folgenden Begriffe in eine sinnvolle Reihenfolge (1) – (3).
Beschriften Sie anschließend die Pfeile, so dass der Zusammenhang zwischen den Begriffen klar wird.
Die drei Begriffe lauten:
- Wasserstand
- versiegelte Fläche
- Versickerung

(1) …… ……→ (2) …… ……→ (3) ……

Frage 9

In einem hochwassergefährdeten Bereich im Mittellauf eines Flusses soll für ein Dorf eine Schutzmauer errichtet werden.

Welche Folgen könnten sich daraus ergeben?

Kreuzen Sie für jede Aussage ein „Ja“ (stimmt) oder ein „Nein“ (stimmt nicht) an.	Ja	Nein
Wahrscheinlich ist das betroffene Dorf jetzt besser vor Hochwasser geschützt.	☐	☐
Die Städte und Gemeinden im Unterlauf des Flusses sind jetzt wahrscheinlich besser vor Hochwasser geschützt.	☐	☐
Die Städte und Gemeinden im Oberlauf des Flusses könnten jetzt stärker gefährdet sein.	☐	☐
Die Städte und Gemeinden im Unterlauf des Flusses könnten jetzt stärker gefährdet sein.	☐	☐

Frage 10

Im Rathaus einer Stadt am Rhein wird überlegt, inwieweit die Bevölkerung bei der Planung des zukünftigen Hochwasserschutzkonzeptes eingebunden werden soll.

Welche Aussage ist Ihrer Meinung nach **am besten begründet**?
Bitte nur **eine** Aussage ankreuzen.

☐ A. Der Einbezug der Bevölkerung ist rechtlich verpflichtend, da die Grundstücke der Bevölkerung betroffen sein könnten.

☐ B. Der Einbezug der Bevölkerung ist nicht notwendig, da Hochwasserschutzkonzepte für die allgemeine Sicherheit notwendig sind und rechtliche Eisprüche deswegen nicht möglich sind.

☐ C. Der Einbezug der Bevölkerung macht Sinn, da durch das Informieren der Öffentlichkeit eine höhere Akzeptanz erreicht wird und dadurch zeitliche Verzögerungen vermieden werden können.

☐ D. Der Einbezug der Bevölkerung macht Sinn, da durch das Informieren der Öffentlichkeit dieser ein Einblick in das Hochwasserschutzkonzept gewährt wird.

Frage 11

In einem hochwassergefährdeten Einzugsgebiet soll ein Kaufhaus mit großen Parkplatzflächen errichtet werden.
Welchen Einfluss hat dies auf die Hochwassergefahr?

Kreuzen Sie für jede Aussage ein „Ja“ (stimmt) oder ein „Nein“ (stimmt nicht) an.	Ja	Nein
Der Bau hat Einfluss auf die Hochwassergefahr, allerdings nur für die Gebiete, die direkt am Parkplatz liegen.	☐	☐
Der Bau hat keinen Einfluss auf mögliche Hochwasserereignisse, da nicht direkt am Fluss gebaut werden soll.	☐	☐
Der Bau hat keinen Einfluss auf die Hochwassergefahr, wenn das Wasser direkt in den nächsten Fluss abfließen kann.	☐	☐
Der Bau hat möglicherweise Einfluss auf die Hochwassergefahr für die Städte und Gemeinden, die weiter flussabwärts liegen.	☐	☐

Frage 12

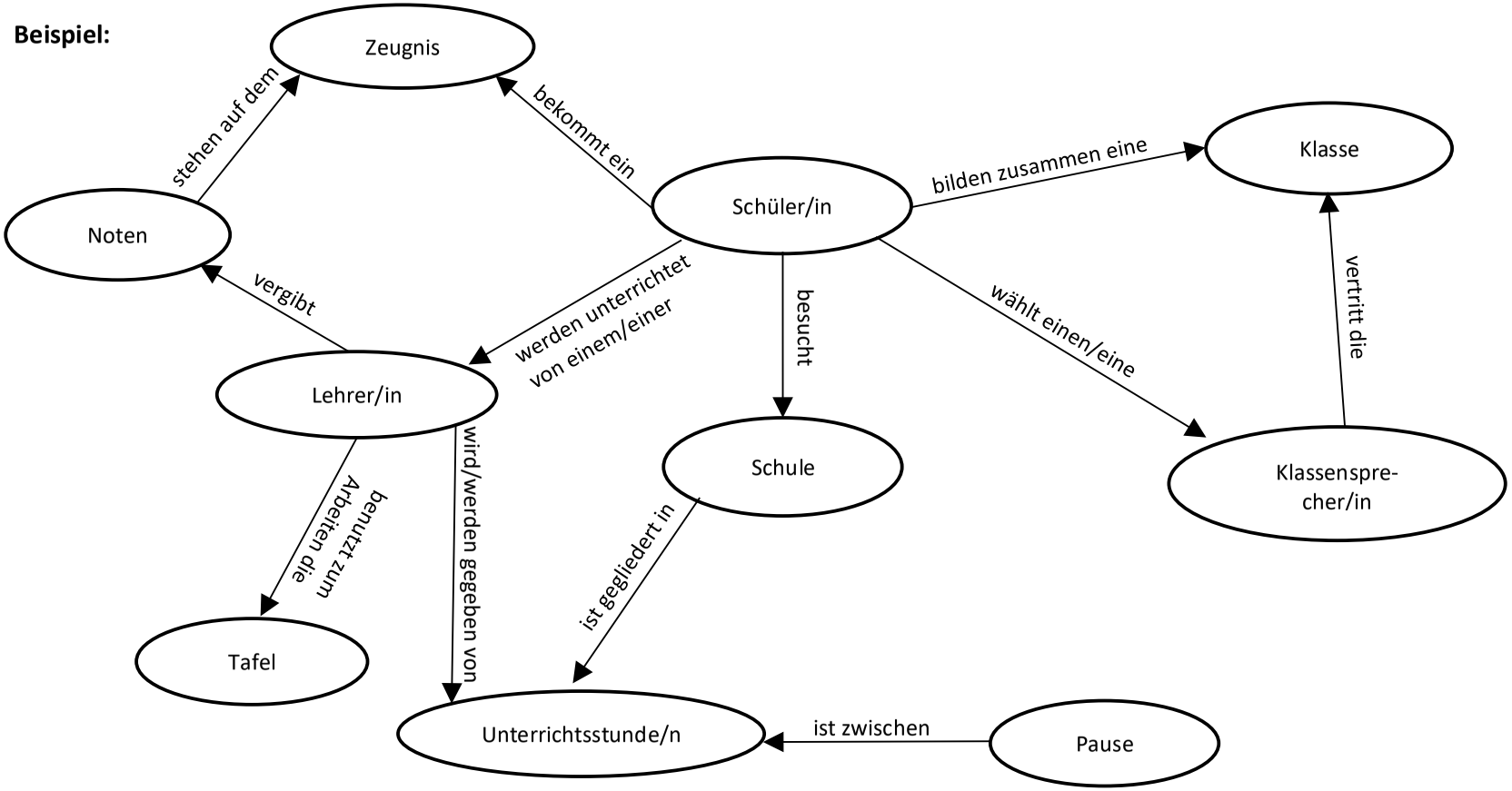
Bringen Sie die drei folgenden Begriffe in eine sinnvolle Reihenfolge (1) – (3).
Beschriften Sie anschließend die Pfeile, so dass der Zusammenhang zwischen den Begriffen klar wird.
Die drei Begriffe lauten:
- Wasserstand
- Regenrückhaltebecken
- Flutung

(1) .... → (2) .... → (3) .....

Frage 13

In der folgenden Aufgabe sollen Sie eine „Concept Map“ zeichnen. In dieser werden verschiedene Begriffe, die miteinander in Beziehung stehen, durch Pfeile verbunden. Die Pfeile werden zudem beschriftet, um die Beziehung der Begriffe zueinander zu erklären. Hier ein Beispiel, wie eine Concept Map zum Thema „Schule“ gestaltet sein kann. Die Concept Map könnte auch ganz anders aufgebaut sein, es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, eine Concept Map aufzubauen.

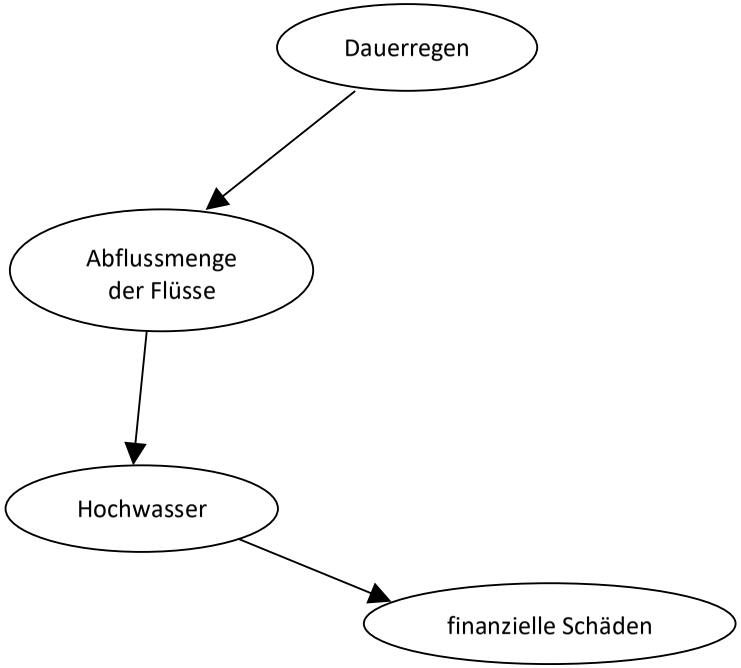
Beispiel:



Zeichnen Sie eine Concept Map zum Thema „Hochwasser“. Benutzen Sie dafür die unten vorgegebenen Begriffe und überlegen Sie, wie die Zusammenhänge zwischen den Begriffen dargestellt werden könnten. Die vorgegebenen Begriffe und ihre Verbindungen sollen als Grundlage für Ihre Concept Map dienen. Verbinden Sie die unten aufgelisteten Begriffe mit Pfeilen und vergessen Sie nicht, **jeden** Pfeil zu beschriften (auch die bereits vorhandenen). Versuchen Sie möglichst viele Verbindungen zu ziehen, die Ihnen sinnvoll erscheinen.

Vorgegebene Begriffe:

- *Starkregen*
- *Waldboden*
- ~~*finanzielle Schäden*~~
- *versiegelte Flächen*
- *Klimawandel*
- ~~*Dauerregen*~~
- ~~*Abflussmenge der Flüsse*~~
- *Deiche/Schutzmauern*
- *Regenrückhaltebecken*
- *Hochwasserschutzkonzept*
- *zerstörte Infrastruktur*
- ~~*Hochwasser*~~
- *Beteiligung/Interessensausgleich verschiedener Akteure*



9.2.2 Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM)

Tragen Sie in die ersten drei Kästchen die ersten drei Buchstaben des Vornamens Ihrer Mutter ein. Dann die ersten drei Buchstaben des Vornamens Ihres Vaters und abschließend Ihre Hausnummer. Achten Sie darauf, dass Sie die Daten richtig und leserlich eintragen.

Ihr Code:
Vorname Mutter / Vorname Vater / Hausnummer

An welcher Station haben Sie heute als erstes mit Ihrer Gruppe gearbeitet:

Station 1 ☐ Station 2 ☐ Station 3 ☐

Wir wollen wissen, wie Ihre **momentane Einstellung** zu den beschriebenen **Aufgaben 1-4** ist. Dazu finden Sie auf dieser Seite Aussagen. Kreuzen Sie bitte jene Zahl an, die auf Sie am besten passt.

	trifft nicht zu						**trifft zu**
1. Ich mag solche Aufgaben.	1	2	3	4	5	6	7
2. Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.	1	2	3	4	5	6	7
3. Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.	1	2	3	4	5	6	7
4. Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.	1	2	3	4	5	6	7
5. Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.	1	2	3	4	5	6	7
6. Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.	1	2	3	4	5	6	7
7. Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.	1	2	3	4	5	6	7

	trifft nicht zu						trifft zu
8. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	1	2	3	4	5	6	7
9. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte.	1	2	3	4	5	6	7
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.	1	2	3	4	5	6	7
11. Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	1	2	3	4	5	6	7
12. Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.	1	2	3	4	5	6	7
13. Ich glaube, dass kann jeder schaffen.	1	2	3	4	5	6	7
14. Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.	1	2	3	4	5	6	7
15. Wenn ich diese Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	1	2	3	4	5	6	7
16. Wenn ich an die Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt.	1	2	3	4	5	6	7
17. Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	1	2	3	4	5	6	7
18. Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.	1	2	3	4	5	6	7

9.3 Methodik und Auswertung

9.3.1 Manual Fragebogenauswertung

Generelle Anmerkungen:
1. Antworten, die nicht lesbar sind oder in welchen die Aufgaben nicht richtig verstanden wurden, werden in SPSS mit der Zahl 9999 angegeben.
2. Aufgaben, bei denen keine Angabe gemacht wurde, bzw. die Aufgabe nicht beantwortet wurde, werden in SPSS mit der Zahl 8888 angegeben.

Persönliche Angaben

Item	Codierung/Lösung	Hilfestellung
Geschlecht	männlich = 1; weiblich = 2;	-
Alter	Alter wird als Zahl übernommen bzw. wenn nötig in Zahl umgewandelt.	-
Noten	Noten werden als Zahl übernommen, bzw. wenn nötig umgewandelt. Zusätze wie +/- werden nicht mit übernommen.	-
Sprache	Deutsch = 1; andere Sprache = 2;	-
andere Sprache	Wird in einer extra Spalte ausgefüllt, wenn vorher „andere Sprache“ angekreuzt wurde, bzw. auch wenn nur die andere Sprache eingetragen wurde. Dafür werden den verschiedenen Fremdsprachen Nummern zugeteilt, z. B. 1 = Polnisch.	-
Note Erdkunde	Erdkundenote wird als Zahl übernommen, bzw. wenn nötig umgewandelt. Zusätze wie +/- werden nicht mit übernommen.	-
Betroffenheit Hochwasser	Ja = 1; Nein = 2;	-

Interessen und Vorerfahrungen

Item	Codierung/Lösung	Hilfestellung
Das Fach Erdkunde…	…interessiert mich nicht = 1; interessiert mich wenig = 2; interessiert mich teils, teils = 3; interessiert mich = 4; interessiert mich sehr = 5	-
Das Thema Naturrisiken…	…interessiert mich nicht = 1; interessiert mich wenig = 2; interessiert mich teils, teils = 3; interessiert mich = 4; interessiert mich sehr = 5	-
Das Thema Hochwasser…	…interessiert mich nicht = 1; interessiert mich wenig = 2; interessiert mich teils, teils = 3; interessiert mich = 4; interessiert mich sehr = 5	-
Im Erdkundeunterricht habe ich mit konkreten Modellen…	…gar nicht gearbeitet = 1; selten gearbeitet = 2; manchmal gearbeitet = 3; häufig gearbeitet = 4; sehr häufig gearbeitet = 5	-
Im Erdkundeunterricht habe ich mit graphischen Modellen…	….gar nicht gearbeitet = 1; selten gearbeitet = 2; manchmal gearbeitet = 3; häufig gearbeitet = 4; sehr häufig gearbeitet = 5	-
Zum Thema Hochwasser habe ich in der Schule bis jetzt…	…gar nicht gearbeitet = 1; selten gearbeitet = 2; manchmal gearbeitet = 3; häufig gearbeitet = 4; sehr häufig gearbeitet = 5	-

Aufgaben zum Thema Hochwasser

In den Fragen 1-12 können jeweils maximal 4 Punkte erreicht werden. Insgesamt sind daher 48 Punkte möglich.

Item	Codierung/Lösung	Hilfestellung
Frage 1	Die Antwortmöglichkeiten (A-D) werden nacheinander in SPSS in jeweils einzelnen Spalten eingetragen. richtig = 1 falsch = 0 A = Ja (richtig) B = Ja (richtig) C = Nein (richtig) D = Ja (richtig) Für jede richtige Antwort gibt es einen Punkt. Danach erfolgt eine automatische Berechnung der Gesamtpunkzahl in einer eigenen Spalte.	-
Frage 2	Die Lücken werden nacheinander in SPSS mit Zahlen in einzelnen Spalten eingetragen. richtig = 1 falsch = 0 verkürzt (richtig) beschleunigt (richtig) verkürzt (richtig) höher (richtig) Für jede richtige Antwort gibt es einen Punkt. Danach erfolgt eine automatische Berechnung der Gesamtpunkzahl in einer eigenen Spalte.	-
Frage 3	Zunächst wird in einer eigenen Spalte angegeben, welche Antwortmöglichkeit ausgewählt wurde: Antwortmöglichkeit A = 1	-

	Antwortmöglichkeit B = 2 Antwortmöglichkeit C = 3 Antwortmöglichkeit D = 4 Nur eine Antwort ist richtig. Bei der richtigen Auswahl werden vier Punkte gegeben, bei der falschen Auswahl kein Punkt: A = 0 B = 0 C = 4 D = 0	
Frage 4	Die Antwort kann in zwei Propositionen unterteilt werden. Für jede sinnvolle Proposition werden 2 Punkte vergeben. Es können daher 0, 2 und 4 Punkte erreicht werden. Jede Reihenfolge kann richtig sein, solange die Relationen sinnvoll beschriftet sind. Es sind daher insgesamt sechs verschiedene Kombinationen der Wörter möglich. Die gewählte Kombination wird, egal ob die Relationen richtig oder falsch sind, ebenfalls in einer eigenen Spalte festgehalten (siehe Hilfestellungen). Anschließend werden die beiden Propositionen in einer eigenen Spalte bewertet. Da es insgesamt sechs Möglichkeiten der Propositionen gibt und diese alle richtig oder falsch sein können, können insgesamt für jede Proposition 12 Zahlen vergeben werden. Zur Bewertung, ob die Proposition richtig ist, kann sich an der an diese Tabelle anschließenden „Hilfe zur Bewertung von Aufgabe 4, 8 und	Kombinationen der gesamten Reihenfolge: Waldfläche = 1; Versickerung = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 → 3 2 = Kombination 2: 1 → 3 → 2 3 = Kombination 3: 2 → 1 → 3 4 = Kombination 4: 2 → 3 → 1 5 = Kombination 5: 3 → 2 → 1 6 = Kombination 6: 3 → 1 → 2 Kombinationen der einzelnen Bewertung: Waldfläche = 1; Versickerung = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 (richtig) 2 = Kombination 1: 1 → 2 (falsch) 3 = Kombination 2: 1 → 3 (richtig) 4 = Kombination 2: 1 → 3 (falsch)

	12“ orientiert werden. Abschließend wird aus den beiden Spalten der Propositionen die Gesamtpunktzahl für die Frage 4 berechnet.	5 = Kombination 3: 2 → 1 (richtig) 6 = Kombination 3: 2 → 1 (falsch) 7 = Kombination 4: 2 → 3 (richtig) 8 = Kombination 4: 2 → 3 (falsch) 9 = Kombination 5: 3 → 2 (richtig) 10 = Kombination 5: 3 → 2 (falsch) 11 = Kombination 6: 3 → 1 (richtig) 12 = Kombination 6: 3 → 1 (falsch)
Frage 5	Zunächst wird in einer eigenen Spalte angegeben, welche Antwortmöglichkeit ausgewählt wurde: Antwortmöglichkeit A = 1 Antwortmöglichkeit B = 2 Antwortmöglichkeit C = 3 Antwortmöglichkeit D = 4 Nur eine Antwort ist richtig. Bei der richtigen Auswahl werden vier Punkte gegeben, bei der falschen Auswahl kein Punkt: A = 0 B = 0 C = 0 D = 4	-
Frage 6	Zunächst wird in einer eigenen Spalte angegeben, welche Antwortmöglichkeit ausgewählt wurde: Antwortmöglichkeit A = 1 Antwortmöglichkeit B = 2 Antwortmöglichkeit C = 3 Antwortmöglichkeit D = 4	-

	Nur eine Antwort ist richtig. Bei der richtigen Auswahl werden vier Punkte gegeben, bei der falschen Auswahl kein Punkt: A = 0 B = 0 C = 4 D = 0	
Frage 7	Zunächst wird in einer eigenen Spalte angegeben welche Antwortmöglichkeit ausgewählt wurde: Antwortmöglichkeit A = 1 Antwortmöglichkeit B = 2 Antwortmöglichkeit C = 3 Antwortmöglichkeit D = 4 Nur eine Antwort ist richtig. Bei der richtigen Auswahl werden vier Punkte gegeben, bei der falschen Auswahl kein Punkt: A = 0 B = 0 C = 0 D = 4	
Frage 8	Die Antwort kann in zwei Propositionen unterteilt werden. Für jede sinnvolle Proposition werden 2 Punkte vergeben. Es können daher 0, 2 und 4 Punkte erreicht werden. Jede Reihenfolge kann richtig sein, solange die Relationen sinnvoll beschriftet sind. Es sind daher insgesamt sechs verschiedene Kombinationen der Wörter möglich. Die gewählte Kombination wird, egal ob die Relationen richtig oder falsch sind, ebenfalls in einer eigenen Spalte festgehalten (siehe Hilfestellungen).	Kombinationen der gesamten Reihenfolge: versiegelte Fläche = 1; Versickerung = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 → 3 2 = Kombination 2: 1 → 3 → 2 3 = Kombination 3: 2 → 1 → 3 4 = Kombination 4: 2 → 3 → 1 5 = Kombination 5: 3 → 2 → 1 6 = Kombination 6: 3 → 1 → 2

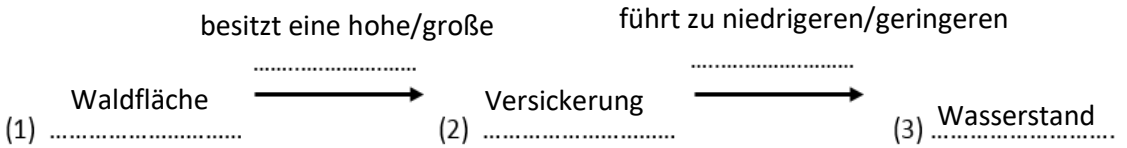
	Anschließend werden die beiden Propositionen in einer eigenen Spalte bewertet. Da es insgesamt sechs Möglichkeiten der Propositionen gibt und diese alle richtig oder falsch sein können, können insgesamt für jede Proposition 12 Zahlen vergeben werden. Zur Bewertung, ob die Proposition richtig ist, kann sich an der an diese Tabelle anschließenden „Hilfe zur Bewertung von Aufgabe 4, 8 und 12“ orientiert werden. Abschließend wird aus den beiden Spalten der Propositionen die Gesamtpunktzahl für die Frage 4 berechnet.	Kombinationen der einzelnen Bewertung: Waldfläche = 1; Versickerung = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 (richtig) 2 = Kombination 1: 1 → 2 (falsch) 3 = Kombination 2: 1 → 3 (richtig) 4 = Kombination 2: 1 → 3 (falsch) 5 = Kombination 3: 2 → 1 (richtig) 6 = Kombination 3: 2 → 1 (falsch) 7 = Kombination 4: 2 → 3 (richtig) 8 = Kombination 4: 2 → 3 (falsch) 9 = Kombination 5: 3 → 2 (richtig) 10 = Kombination 5: 3 → 2 (falsch) 11 = Kombination 6: 3 → 1 (richtig) 12 = Kombination 6: 3 → 1 (falsch)
Frage 9	Die Antwortmöglichkeiten (A-D) werden nacheinander in SPSS in jeweils einzelnen Spalten eingetragen. richtig = 1 falsch = 0 A = Ja (richtig) B = Nein (richtig) C = Nein (richtig) D = Ja (richtig) Für jede richtige Antwort gibt es einen Punkt. Danach erfolgt eine au-	-

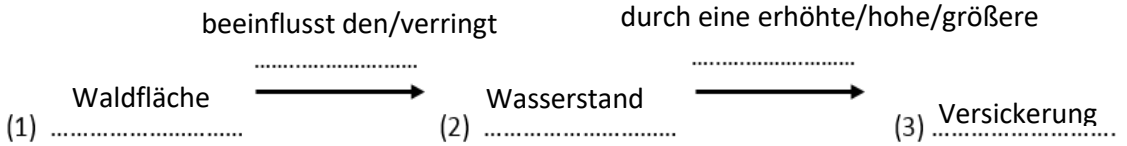
	tomatische Berechnung der Gesamtpunkzahl in einer eigenen Spalte.	
Frage 10	Zunächst wird in einer eigenen Spalte angegeben, welche Antwortmöglichkeit ausgewählt wurde: Antwortmöglichkeit A = 1 Antwortmöglichkeit B = 2 Antwortmöglichkeit C = 3 Antwortmöglichkeit D = 4 Nur eine Antwort ist richtig. Bei der richtigen Auswahl werden vier Punkte gegeben, bei der falschen Auswahl kein Punkt: A = 0 B = 0 C = 4 D = 0	-
Frage 11	Die Antwortmöglichkeiten (A-D) werden nacheinander in SPSS in jeweils einzelnen Spalten eingetragen. richtig = 1 falsch = 0 A = Nein (richtig) B = Nein (richtig) C = Nein (richtig) D = Ja (richtig) Für jede richtige Antwort gibt es einen Punkt. Danach erfolgt eine automatische Berechnung der Gesamtpunkzahl in einer eigenen Spalte.	-
Frage 12	Die Antwort kann in zwei Propositionen unterteilt werden. Für jede sinnvolle Proposition werden 2 Punkte vergeben. Es können daher 0, 2 und 4 Punkte erreicht werden. Jede Reihenfolge kann sinnvoll sein,	Kombinationen der gesamten Reihenfolge: Flutung = 1; Retentionsbecken = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 → 3 2 = Kombination 2: 1 → 3

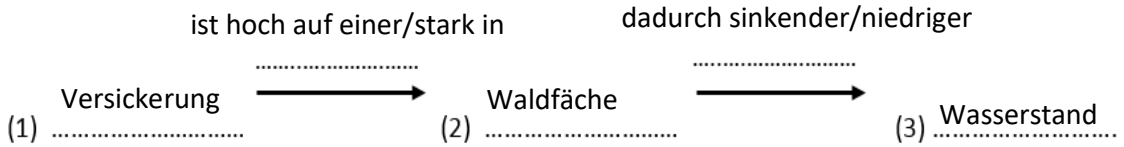
	solange die Relationen sinnvoll beschriftet sind. Es sind daher insgesamt sechs verschiedene Kombinationen der Wörter möglich. Die gewählte Kombination wird, egal ob die Relationen richtig oder falsch sind, ebenfalls in einer eigenen Spalte festgehalten (siehe Hilfestellungen). Anschließend werden die beiden Propositionen in einer eigenen Spalte bewertet. Da es insgesamt sechs Möglichkeiten der Propositionen gibt und diese alle richtig oder falsch sein können, können insgesamt für jede Proposition 12 Zahlen vergeben werden. Zur Bewertung ob die Proposition richtig ist, kann sich an der an diese Tabelle anschließenden „Hilfe zur Bewertung von Aufgabe 4, 8 und 12“ orientiert werden. Abschließend wird aus den beiden Spalten der Propositionen die Gesamtpunktzahl für die Frage 4 berechnet.	→ 2 3 = Kombination 3: 2 → 1 → 3 4 = Kombination 4: 2 → 3 → 1 5 = Kombination 5: 3 → 1 → 2 6 = Kombination 6: 3 → 2 →12 Kombinationen der einzelnen Bewertung: Flutung = 1; Retentionsbecken = 2; Wasserstand = 3 1 = Kombination 1: 1 → 2 (richtig) 2 = Kombination 1: 1 → 2 (falsch) 3 = Kombination 2: 1 → 3 (richtig) 4 = Kombination 2: 1 → 3 (falsch) 5 = Kombination 3: 2 → 1 (richtig) 6 = Kombination 3: 2 → 1 (falsch) 7 = Kombination 4: 2 → 3 (richtig) 8 = Kombination 4: 2 → 3 (falsch) 9 = Kombination 5: 3 → 2 (richtig) 10 = Kombination 5: 3 → 2 (falsch) 11 = Kombination 6: 3 → 1 (richtig) 12 = Kombination 6: 3 → 1 (falsch)

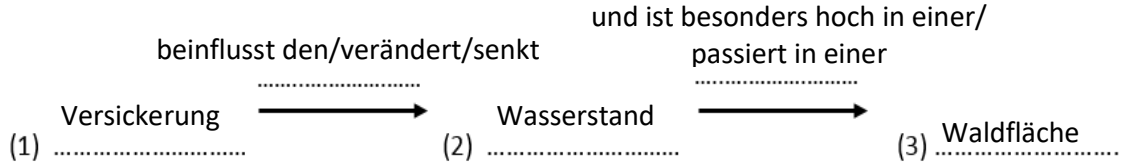
Hilfe zur Bewertung von Aufgabe 4, 8 und 12:
Zur Bewertung der Aufgaben 4, 8 und 12 kann sich an folgenden Bewertungen orientiert werden. Es kann darüber hinaus auch weitere inhaltlich korrekte Darstellungen geben.

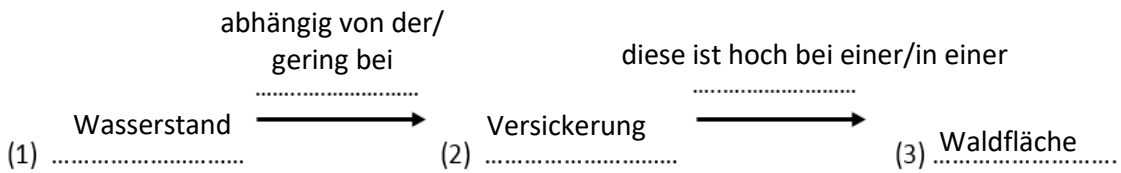
Aufgabe 4:

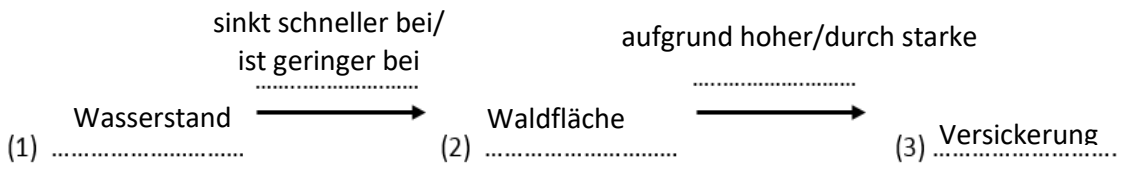








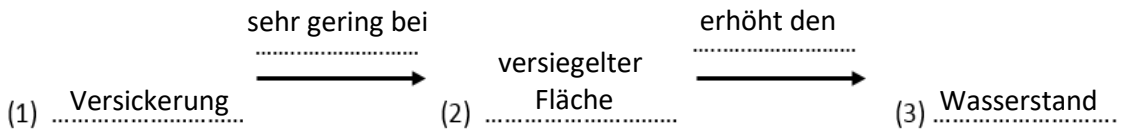




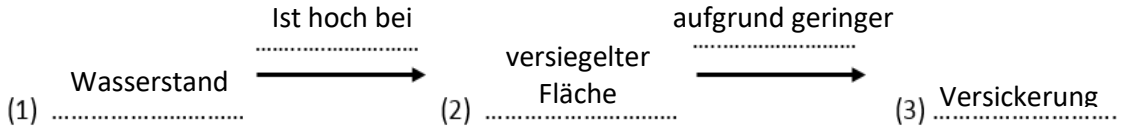
Aufgabe 8:

(1) versiegelte Fläche
verhindert
(2) Versickerung
führt zu hohem
(3) Wasserstand

(1) versiegelte Fläche
beeinflusst
(2) Wasserstand
aufgrund geringer
(3) Versickerung

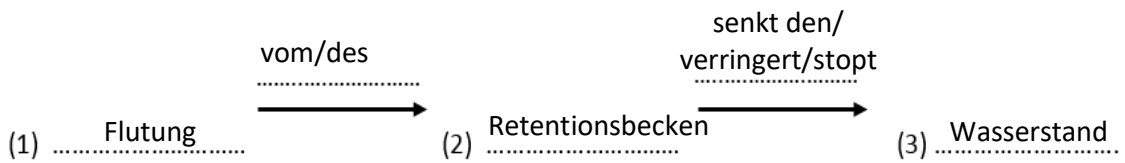

(1) Versickerung
sehr gering bei
(2) versiegelter Fläche
erhöht den
(3) Wasserstand

(1) Versickerung
beeinflusst den
(2) Wasserstand
ist gering bei
(3) versiegelter Fläche


(1) Wasserstand
Ist hoch bei
(2) versiegelter Fläche
aufgrund geringer
(3) Versickerung

(1) Wasserstand
ist abhängig von
(2) Versickerung
und ist hoch bei
(3) versiegelter Fläche

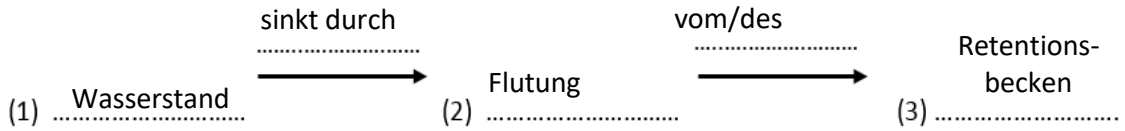
Aufgabe 12


(1) Flutung
vom/des
(2) Retentionsbecken
senkt den/ verringert/stopt
(3) Wasserstand

(1) Flutung
senkt den/verringert
(2) Wasserstand
und füllt das
(3) Retentions- becken

(1) Retentionsbecken
wird gefüllt durch
(2) Flutung
und senkt den/ verringert
(3) Wasserstand

(1) Retentionsbecken
senkt den/verringert
(2) Wasserstand
durch eine
(3) Flutung


(1) Wasserstand
sinkt durch
(2) Flutung
vom/des
(3) Retentions- becken

(1) Wasserstand
ist abhängig von
(2) Retentionsbecken
und wird ge- senkt durch
(3) Flutung

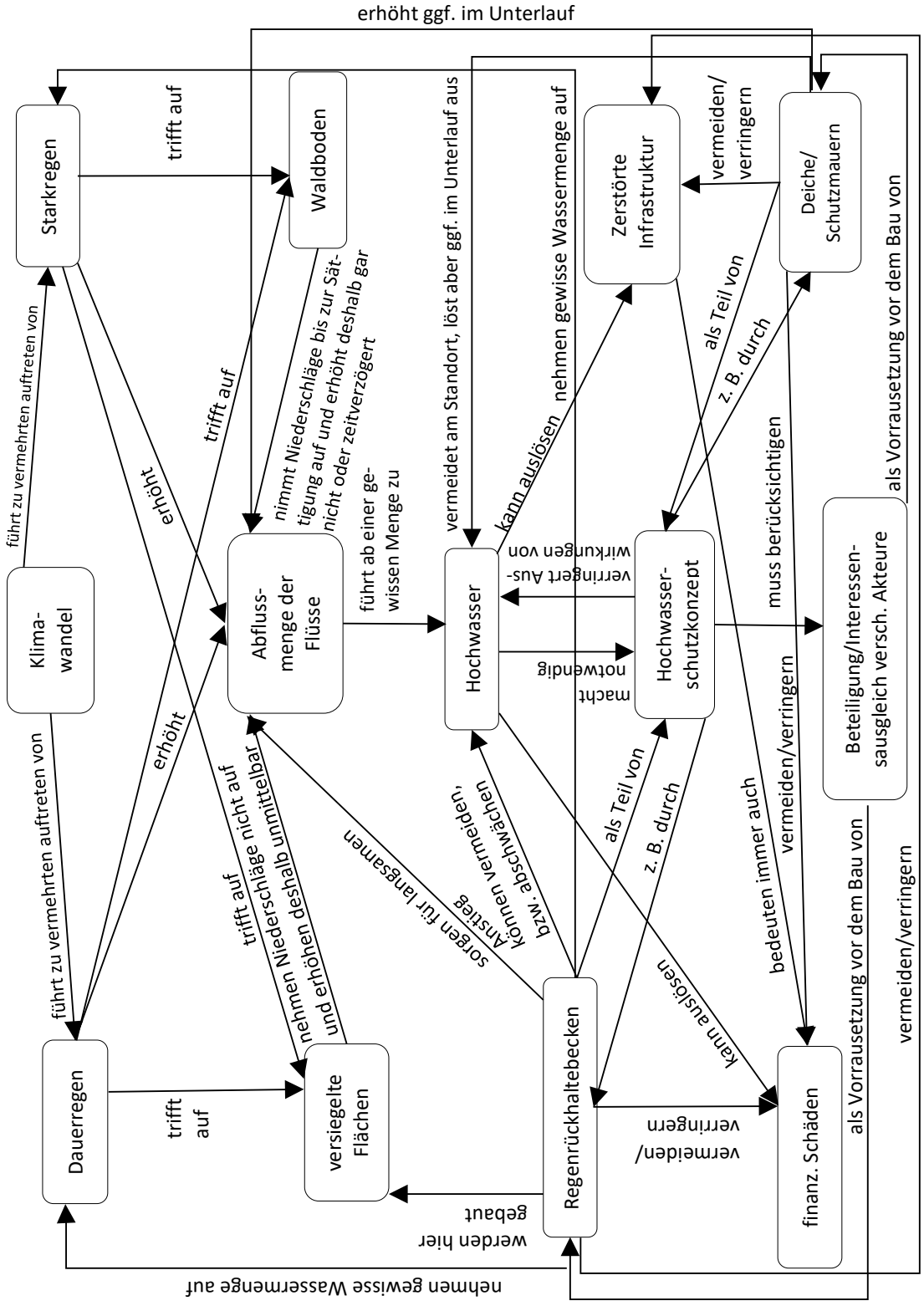
9.3.2 Manual Auswertung Concept Map

Arbeitsschritt	Vorgehen
1. Anzahl der verwendeten Knoten ermitteln	Erfassung der verwendeten Knoten in der Concept Map. Die vier vorgegebenen Knoten werden mitgezählt. Aufgrund einer besseren Vergleichbarkeit und einer klaren schriftlichen Vorgabe in der Aufgabe „Benutzen Sie dafür die unten vorgegebenen Begriffe“ werden nur Knoten gezählt, die schriftlich vorgegeben wurden. Maximal mögliche Knotenzahl ist daher ‚13‘.
2. Anzahl der verwendeten Relationen ermitteln	Erfassung der verwendeten Relationen in der Concept Map. Die Vervollständigung der vorgegebenen Knoten wird als Relation mitgezählt. Hier ist es nicht wichtig, ob die Relationen inhaltlich korrekt sind.
3. Anzahl der wertbaren Propositionen nach Vergleich mit Referenzmap ermitteln	Die Wertbarkeit einer Proposition wird wie folgt ermittelt: • Eindeutige Pfeilrichtung • Beschriftung des Pfeils • Inhaltlich korrekte Beschriftung des Pfeils (nach REMPFLER 2010, S. 15). Die inhaltlich korrekte Beschriftung des Pfeils wird durch einen Abgleich mit der Referenzmap ermittelt (nach RUIZ-PRIMO & SHAVELSON 1996, S. 581-583). Dabei werden alle Propositionen gewertet, die identisch beschriftet wurden oder aber die gleiche inhaltliche Aussage tätigen. Zur Erstellung der Referenzmap siehe Kapitel 4.4.3. Die wertbaren Propositionen werden mit einem Textmarker farblich markiert.
4. Übereinstimmungen der Propositionen mit einem Experten ermitteln	Ermittlungen der Verbindungen, die nicht von der Referenzmap abgedeckt werden aber von einer oder zwei Expertenmaps genannt wurden (siehe Tabelle zur Erstellung der Referenzmap). Bei inhaltlich identischer Beschreibung oder aber mit einer gleichen inhaltlichen Aussage werden die entsprechenden Propositionen mit einer anderen Textmarkerfarbe markiert.
5. Ermitteln des Strukturindexes	Zur Ermittlung des Strukturindexes werden nur die in Punkt drei markierten, mit der Referenzmap abgeglichenen, Propositionen verwendet. Herausarbeiten von: 1. Kreise: Geschlossene Ketten, in welcher die Pfeile in die gleiche Richtung zeigen. Kleinster Kreis sind zwei Knoten. 2. Verzweigungen: Zwei Pfeile führen auf einen Knoten hin (konvergent) oder von einem Knoten weg (divergent). Relationen, die bereits als Kreise gewertet wurden, dürfen

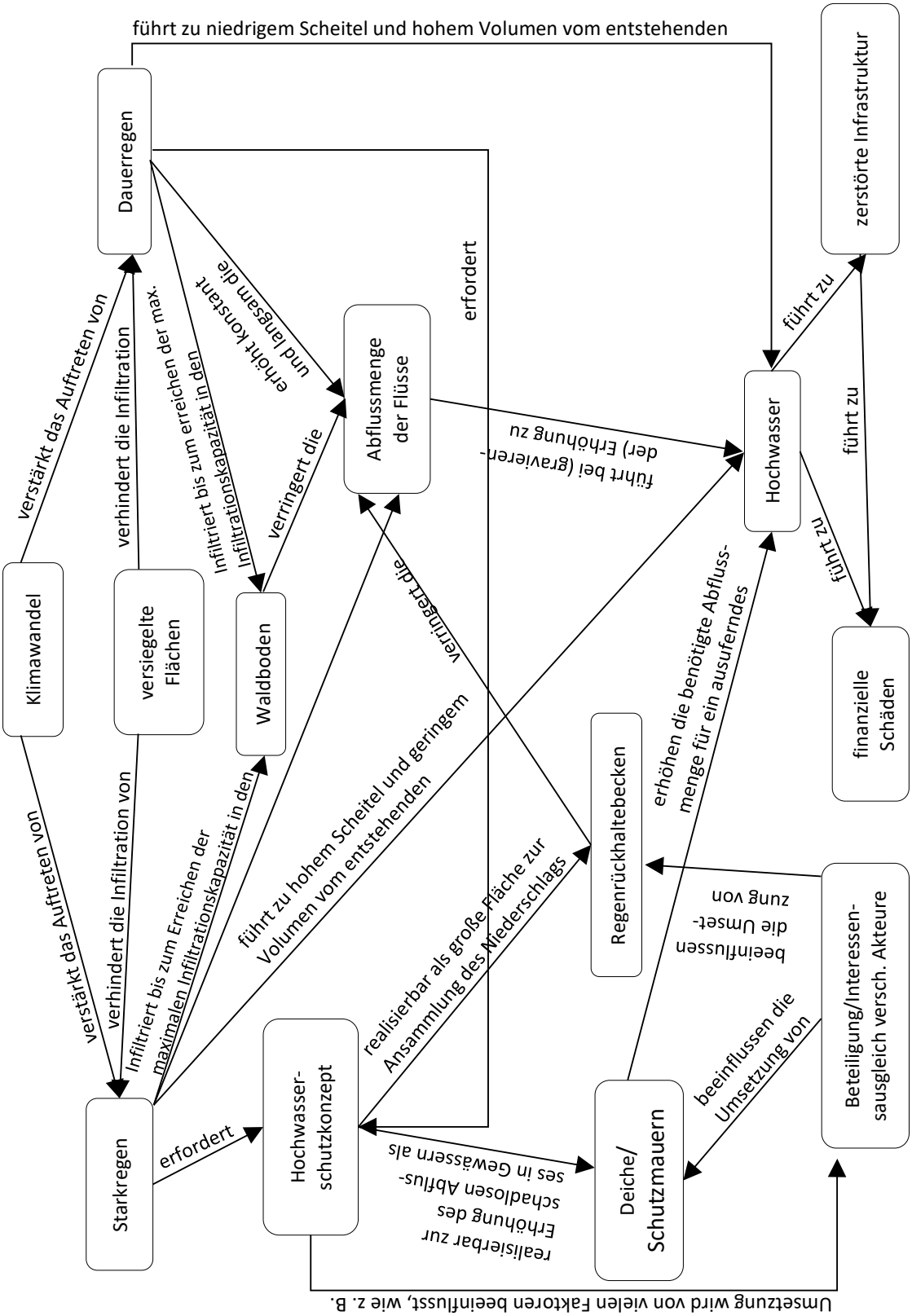
	nicht als Verzweigungen gewertet werden. 3. Pfeilketten: Abfolge von mindesten drei Pfeilen/Relationen in die gleiche Richtung. Relationen welche bereits als Verzweigungen gewertet wurden, dürfen nicht als Pfeilketten gewertet werden. Auswertung erfolgt in der genannten Reihenfolge, da Kreisläufe über Verzweigungen stehen und Verzweigungen über Pfeilketten Kreise, Verzweigungen und Pfeilketten werden jeweils in SPSS in eine eigene Spalte eingetragen. Dadurch automatische Berechnung vom Strukturindex in einer eigenen Spalte möglich: Strukturindex = $\frac{\text{Kreise+Verzweigunge+Ketten}}{\text{Wertbare Elemente}}$ (nach BOLLMANN-ZUBERBÜHLER 2008; S. 106; MEHREN et al. 2015A, S. 33; MEHREN et al.2015B, S. 9).
6. Ermitteln des Scoring-systems	Berechnung des Scoringsystems durch SPSS aus bisher ermittelten Daten: $\text{Scoringsystem} = 2 \times (\text{Anzahl Kategorie 3}) + \text{Anzahl Kategorie 4}$ Zum Scoringsystem siehe Kapitel 4.4.3.
Weitere berechneten Messgrößen: 7. Umfang	Der Umfang einer Concept Map nach Abgleich mit Referenzmap: Es werden die Daten aus Kategorie 1 und 3 genutzt: $\text{Umfang} = \text{Anzahl Elemente} + \text{Anzahl Relationen}$ (nach REMPFLER 2010, S. 14)
Weitere berechneten Messgrößen: 8. Vernetzungsindex	Eine weitere Messgröße, die berechnet wird, stellt der Vernetzungsindex dar. Da jede Proposition als Ausgangs- und Endpunkt ein Element besitzt, wird jede wertbare Relation innerhalb der Formel doppelt berechnet (nach OSSIMITZ 2000, S. 210) Es werden die Daten aus Kategorie 1 und 3 genutzt: $Vernetzungsindex = \frac{2 \times \text{wertbare Relationen}}{\text{wertbare Elemente}}$ (nach SOMMER 2005, S. 151; REMPFLER 2010, S. 14).

9.3.3 Expertenmaps

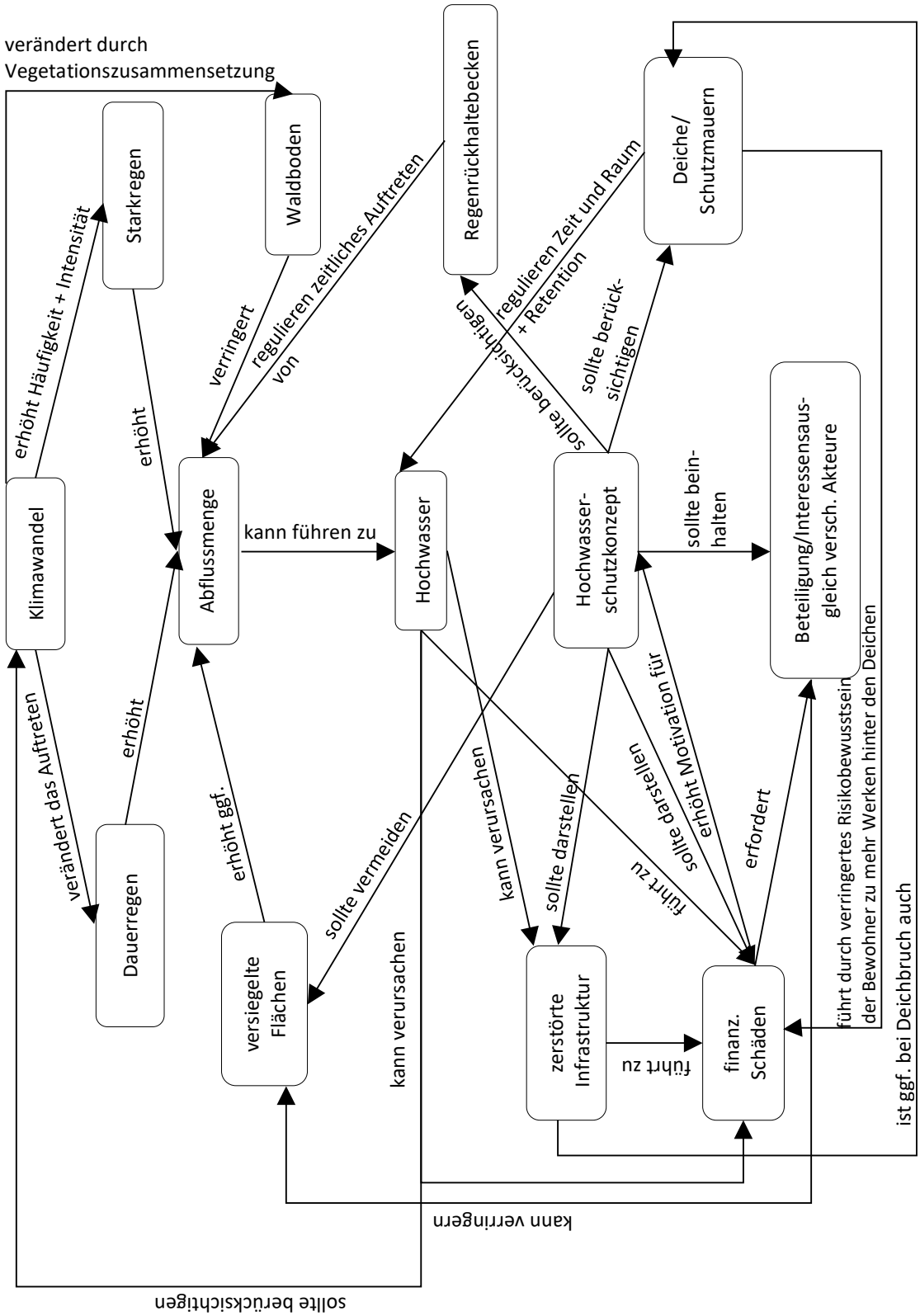
9.3.3.1 Expertenmap Fachdidaktiker/in 1



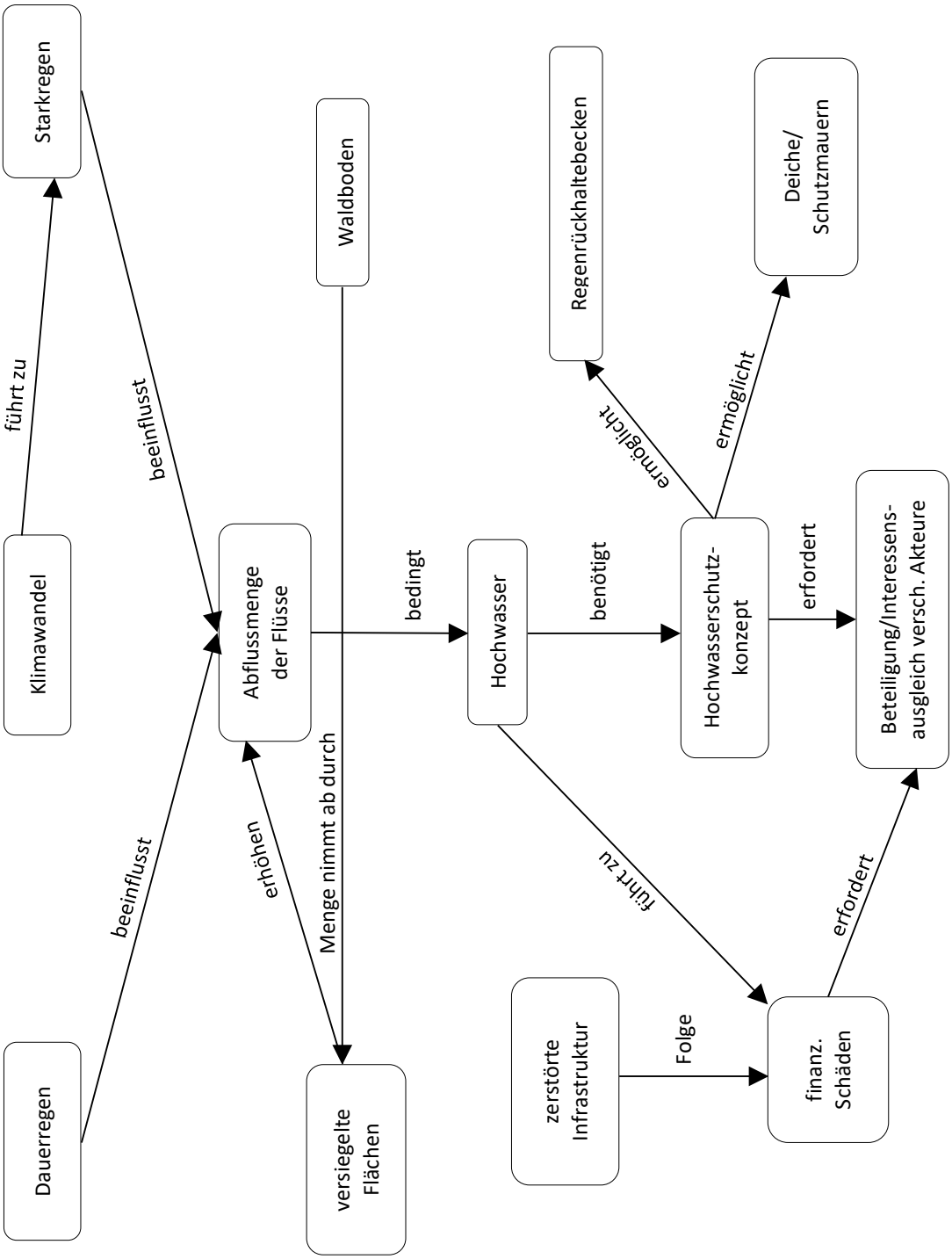
9.3.3.2 Expertenmap Fachwissenschaftler/in 1



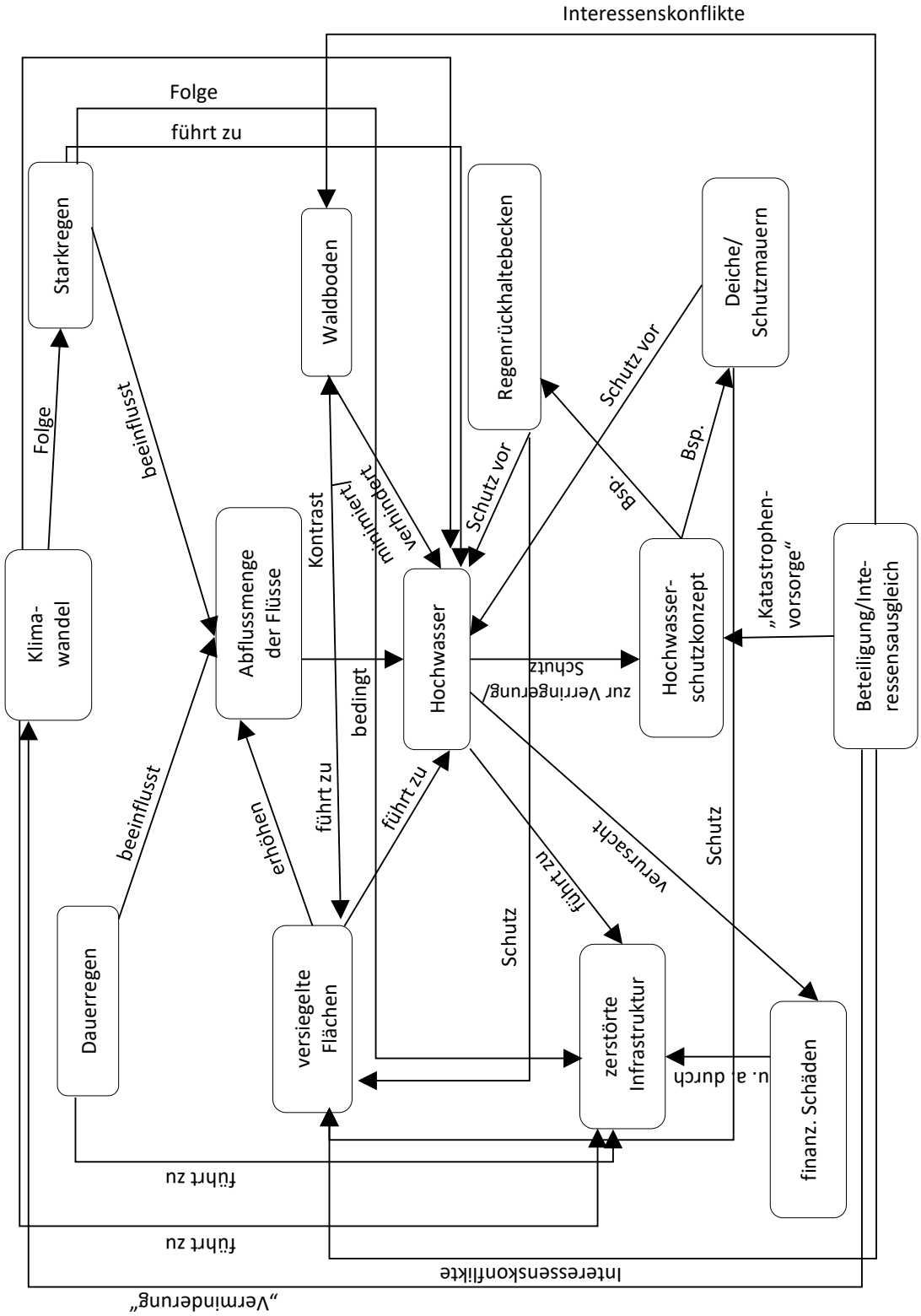
9.3.3.3 Expertenmap Fachwissenschaftler/in 2



9.3.3.4 Expertenmap Lehrer/in 1



9.3.3.5 Expertenmap Lehrer/in 2



zerstörte Infrastruktur						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissen-schaftler/in 2**	**Fachdidakti-ker/in**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Beteiligung Interessen-sausgleich → versiegelte Flächen	kann verrin-gern				Interes-senskon-flikte	2
Beteiligung Interessen-sausgleich → Dei-che/Schutzmauern		beeinflussen die Umsetzung von	als Vorraus-etzung vor dem Bau von			2
Beteiligung Interessen-sausgleich → Regenrück-haltebecken		beeinflussen die Umsetzung von	als Vorraus-etzung vor dem Bau von			2
Beteiligung Interessen-sausgleich → Hochwas-serschutzkonzept					„Katastro-phenvor-sorge“	1
Beteiligung Interessen-sausgleich → Klimawan-del					„Vermin-derung“	1
Beteiligung Interessen-sausgleich → Waldboden					Interes-senskon-flikte	1

Klimawandel						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissen-schaftler/in 2**	**Fachdidakti-ker/in 1**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Klimawandel → Waldboden	verändert durch Vegetationszu-sammenset-zung					1
Klimawandel → Dauerregen	verändert das Auftreten von	verstärkt das Auftreten von	führt zu ver-mehrtem Auf-treten von			3
Klimawandel → Starkregen	erhöht Häufig-keit und Inten-sität	verstärkt das Auftreten von	führt zu ver-mehrtem Auf-treten von	führt zu	Folge	5
Klimawandel → Hochwasser					Folge	1
Klimawandel → zerstörte Infra-struktur					Folge	1

Hochwaser						
Verbindungen	**Fachwissenschaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in 1**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Hochwasser → zerstörte Infrastruktur	kann verursachen	führt zu	kann auslösen		führt zu	4
kann verursachen	kann verursachen	führt zu	kann auslösen	führt zu	verursacht	5
			macht notwendig		zur Verringerung/Schutz	3

Abflussmenge der Flüsse						
Verbindungen	**Fachwissenschaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in 1**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Abflussmenge der Flüsse → Hochwasser	kann führen zu	führt bei (gravierender) Erhöhung zu	führt ab einer gewissen Menge zu	bedingt		4

Hochwasserschutzkonzept						
Verbindungen	**Fachwissenschaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Hochwasserschutzkonzept → Deiche/Schutzmauern	sollte berücksichtigen	realisierbar zur Erhöhung des schadlosen Abflusses in Gewässern als		ermöglicht	Beispiel	4
Hochwasserschutzkonzept → Regenrückhaltebecken	sollte berücksichtigen	realisierbar als große Fläche zur Ansammlung des Niederschlags	z. B. durch	ermöglicht	Beispiel	5
Hochwasserschutzkonzept → Klimawandel	sollte berücksichtigen					1
Hochwasserschutzkonzept → zerstörte Infrastruktur	sollte darstellen					1
Hochwasserschutzkonzept → finanzielle Schäden	sollte darstellen					1
Hochwasserschutzkonzept → versiegelte Flächen	sollte darstellen					1
Hochwasserschutzkonzept → Beteiligung Interessensausgleich	sollte darstellen	Umsetzung wird von vielen Faktoren beeinflusst wie z.B.	muss berücksichtigen	erfordert		4

Dauerregen						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidak-tiker/in**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene**
Dauerregen → Abflussmenge der Flüsse	erhöht	erhöht konstant und lang-sam die	erhöhen	beeinflusst	beeinflusst	5
Dauerregen → Hochwasser		führt zu niedrigem Scheitel und hohem Volumen vom entstehenden				1
Dauerregen → Hochwasser-schutzkonzepte		erfordert				1
Dauerregen → Waldboden		infiltriert bis zum Errei-chen der maximalen Infilt-rationskapazität in den	trifft auf			2
Dauerregen → versiegelte Flä-chen			trifft auf			1
Dauerregen → zerstörte Infra-struktur					führt zu	1

Starkregen						
Verbindungen	**Fachwis-senschaft-ler/in 1**	**Fachwissenschaft-ler/in 2**	**Fachdidak-tiker/in**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Starkregen → Ab-flussmenge der Flüsse	erhöht	erhöht schlagartig die	erhöht	beeinflusst	beeinflusst	5
Starkregen → Waldboden		infiltriert bis zum Errei-chen der maximalen In-filtrationskapazität in den	trifft auf			2
Starkregen → Hochwasser		führt zu hohem Scheitel und geringem Volumen vom entstehenden			führt zu	2
Starkregen → Hochwasser-schutzkonzepte		erfordert				1
Starkregen→ ver-siegelte Flächen			trifft auf			1
Starkregen → zerstörte Infra-struktur					führt zu	1

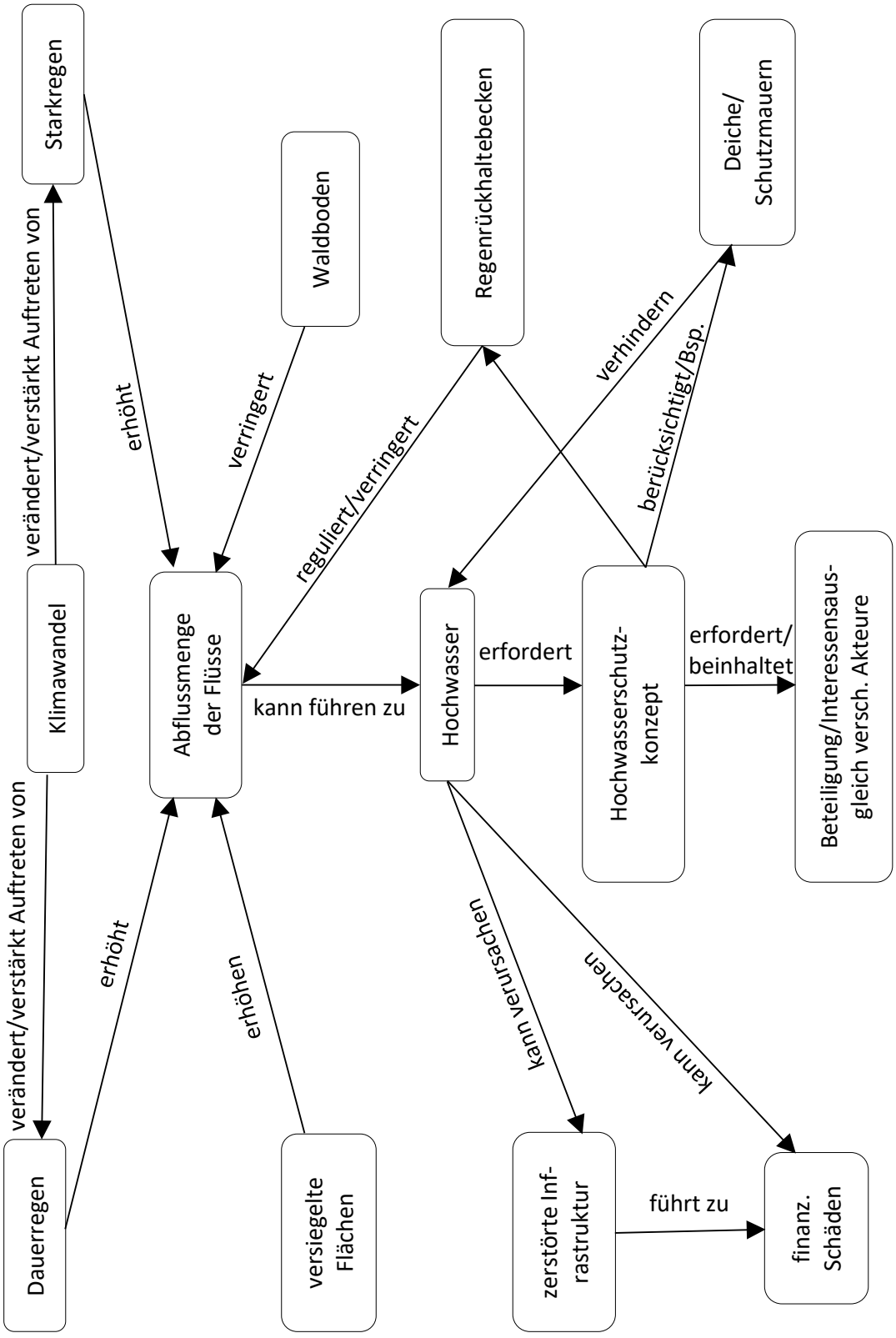
Regenrückhaltebecken						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissen-schaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in**	**Leh-rer/in 1**	**Leh-rer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Regenrückhaltebecken → Abflussmenge der Flüsse	regulieren zeitliches Auf-stocken von	verringern die	sorgen für langsa-men Anstieg			3
Regenrückhaltebecken → Hochwasser			können vermeiden, bzw. abschwächen		Schutz vor	2
Regenrückhaltebecken → versiegelte Flächen			werden gebaut auf		Schutz	2
Regenrückhaltebecken → Dauerregen			nehmen gewisse Wassermenge auf			1
Regenrückhaltebecken → Starkregen			nehmen gewisse Wassermenge auf			1
Regenrückhaltebecken → zerstörte Infrastruktur			vermeiden/verrin-gern			1
Regenrückhaltebecken → zerstörte Infrastruktur			vermeiden/verrin-gern			1
Regenrückhaltebecken → Hochwasserschutzkonzept			als Teil von			1

finanzielle Schäden						
Verbindungen	**Fachwissenschaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in 1**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Finanzielle Schäden → Hochwasserschutzkonzept	erhöht Motivation für					1
Finanzielle Schäden → Beteiligung/Interesse				erfordert		1
Finanzielle Schäden → zerstörte Infrastruktur				u. a. durch		1

Waldboden						
Verbindungen	**Fachwissenschaftler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidaktiker/in**	**Lehrer/in 1**	**Lehrer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
Waldboden → Abflussmenge der Flüsse	verringert	verringert die	nimmt Niederschläge bis zur Sättigung auf und erhöht deshalb gar nicht oder zeitverzögert			3
Waldboden → versiegelte Fläche					Kontrast	2
Waldboden → Hochwasser					vermindert	1

Deiche/Schutzmauern						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissen-schaftler/in 2**	**Fachdidakti-ker/in**	**Leh-rer/in 1**	**Leh-rer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relatio-nen**
Deiche/Schutzmauern → finanzielle Schäden	führt durch verringer-tes Risikobewusstsein der Bewohner zu mehr Werken hinter den Deichen		vermeiden/verrin-gern			2
Deiche/Schutzmauern → Hochwasser	regulieren Zeit und Raum + Retention	erhöhen die be-nötigte Abfluss-menge für ein ausuferndes	vermeidet am Standort, löst aber ggf. im Unterlauf aus		Schutz vor	4
Deiche/Schutzmauern → zerstörte Infrastruk-tur			vermeiden/verrin-gern			1
Deiche/Schutzmauern → Hochwasserschutz-konzept			als Teil von			1
Deiche/Schutzmauern → Abflussmenge der Flüsse			erhöht ggf. im Un-terlauf			1
Deiche/Schutzmauern → versiegelte Flächen					Schutz	1

versiegelte Flächen						
Verbindungen	**Fachwis-senschaft-ler/in 1**	**Fachwissenschaftler/in 2**	**Fachdidakti-ker/in**	**Leh-rer/in 1**	**Leh-rer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
versiegelte Flächen → Abflussmenge der	erhöhen ggf.		nehmen Nie-derschlag nicht	erhöhen		3
versiegelte Flächen → Starkregen		verhindert die Infiltra-tion von				1
versiegelte Flächen → Dauerregen		verhindert die Infiltra-tion von				1
versiegelte Flächen → Hochwasser					führt zu	1

zerstörte Infrastruktur						
Verbindungen	**Fachwissen-schaftler/in 1**	**Fachwissen-schaftler/in 2**	**Fachdidakti-ker/in**	**Lehrer/in 1**	**Leh-rer/in 2**	**Insgesamt gezogene Relationen**
zerstörte Infrastruktur → finanzielle Schäden	führt zu	führt zu	bedeuten im-mer auch	Folge		4
zerstörte Infrastruktur → Deiche/Schutzmau-ern	ist ggf. bei Deichbruch auch					1

9.3.5 Referenzmap