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).

71

Matthias Probst

Hydrologie anwendungsorientiert vermitteln

Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Unterrichtsmodells zur Förderung der Transferleistung

hgd Hochschulverband für Geographiedidaktik

Diese Arbeit wurde als Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät (Dr. phil. nat) am Geographischen Institut der Universität Bern angenommen unter dem Titel:

„Hydrologie anwendungsorientiert vermitteln. Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Unterrichtsmodells zur Förderung der Transferleistung."

Leitung der Arbeit:
Prof. Dr. Rolf Weingartner, Geographisches Institut der Universität Bern
Prof. Dr. Sibylle Reinfried, Pädagogische Hochschule Luzern

Vorsitz der Prüfung:
Prof. Dr. Stefan Brönnimann, Geographisches Institut der Universität Bern

Externer Gutachter:
Prof. Dr. Peter Labudde, oP, Fachhochschule Nordwestschweiz

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

Matthias Probst:
Hydrologie anwendungsorientiert vermitteln.
Entwicklung, Umsetzung und Evaluation eines Unterrichtsmodells zur Förderung der Transferleistung.

© 2020 der vorliegenden Ausgabe:
readbox unipress
in der readbox publishing GmbH | http://unipress.readbox.net
Am Hawerkamp 31, 48155 Münster
Münsterscher Verlag für Wissenschaft
© 2020 Matthias Probst
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-96163-173-5

"Überhaupt lernt niemand etwas durch bloßes Anhören,
und wer sich in gewissen Dingen nicht selbst tätig bemüht,
weiß die Sachen nur oberflächlich."

Johann Wolfgang von Goethe
(28.08.1749 – 22.03.1832)

Vorwort

Das Entwickeln, Aushandeln, Suchen, Erkennen, Reflektieren, Verwerfen, Verstehen und Vertiefen in vielen Gesprächen waren bei der Entstehung dieser Arbeit eine große Bereicherung. Herzlich danke ich meiner Betreuerin Prof. Dr. Sibylle Reinfried (Pädagogische Hochschule Luzern) und meinem Betreuer Prof. Dr. Rolf Weingartner (Leitung der Abteilung Hydrologie am Geographischen Institut der Universität Bern), welche mir die Gelegenheit für diese Erfahrungen gegeben haben und mir jederzeit zur Seite standen mit vielen konstruktiven Anregungen und Hinweisen. Ihre gemeinsame engagierte Betreuung gewährleistete für meine Dissertation die bestmögliche konzeptionelle, fachwissenschaftliche, fachdidaktische und forschungsmethodische Stütze. Ebenfalls bedanke ich mich bei Prof. Dr. Peter Labudde, (ehemaliger Leiter Zentrum Naturwissenschafts- und Technikdidaktik an der Fachhochschule Nordwestschweiz) für die bereitwillige Übernahme des Zweitgutachtens.

Als praktizierende Geographielehrperson am Gymnasium Burgdorf, als Dozent der Fachdidaktik Geographie an der Pädagogischen Hochschule Bern, als Autor von Lernmedien an der Schnittstelle Forschung und Bildung am Geographischen Institut der Universität und als Experte an den Maturitätsprüfungen Geographie im Kanton Bern und Solothurn bin ich täglich mit Fragen zum Lernen und Anwenden des Gelernten konfrontiert. Gerade dieses Arbeitsumfeld hat mir ermöglicht, mich aus vielen verschiedenen Perspektiven mit Lernen und Transfer auseinanderzusetzen und diese Erfahrungen in die Dissertation einzubringen. In diesem Sinn bedanke ich mich bei all meinen Arbeitskolleginnen und -kollegen an den verschiedenen Bildungsinstituten für das immer wieder entgegengebrachte Verständnis und Interesse in unzähligen Gesprächen.

Ein großer Dank gilt dem HADES-Team (Hydrologischen Atlas der Schweiz), namentlich Felix Hauser, Rolf Weingartner, Alex Hermann, Tom Reist, Bruno Schädler, Jan Schwanbeck und Alain Bühlmann für die großartige Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Lernmediums WASSERverstehen. Ohne sie wäre die Realisierung dieses Lernmediums mit Print- und E-Book nicht möglich gewesen.

Den Masterstudierenden und Doktorierenden der Gruppe für Hydrologie am Geographischen Institut der Universität Bern sei ebenfalls sehr für den konstruktiven Austausch und die Unterstützung gedankt. Ich habe das große Interesse bei den Präsentationen im Kolloquium und den Korridor-Gesprächen über die fünf Jahre sehr geschätzt.

Den teilnehmenden Lehrpersonen danke ich für ihren großartigen Einsatz bei den Unterrichtsinterventionen, sowie ihren Schülerinnen und Schülern für ihre offene

und eingehende Bereitschaft bei den drei Befragungen. Die Wirksamkeitsstudie war nur dank ihrem Engagement möglich.

Bei der Entwicklung der quantitativen Wirksamkeitsstudie wurde ich von Prof. Dr. Evelyne Wannack (Leiterin Geschäftsstelle Kommission für Forschung und Entwicklung an der Pädagogischen Hochschule Bern), Prof. Dr. Erich Ramseier (Beratung in quantitativen Methoden an der Pädagogischen Hochschule Bern), Prof. Dr. Heinz Rhyn (Leitung der Pädagogischen Hochschule Zürich und ehemaliger Leiter des Instituts für Forschung, Entwicklung und Evaluation an der Pädagogischen Hochschule Bern), Christof Strähl und Kathrin Burkhart (Institut für Mathematische Statistik und Versicherungslehre an der Universität Bern) beratend unterstützt. Besten Dank für Ihre hilfreichen Anregungen und konkreten Hinweise. Ilona Rösti danke ich für ihre tatkräftige und akribische Unterstützung bei der Durchführung der quantitativen Wirksamkeitsstudie.

An den *Autumn Schools* und *Winter Schools* des Schweizerischen Doktoratsprogramms in Fachdidaktik habe ich im Austausch mit vielen Doktorierenden und Forschenden wertvolle Impulse für mein Dissertationsprojekt erhalten. Besonders bedanke ich mich bei Dr. Silvana Kappeler Suter (Fachhochschule Nordwestschweiz) und Dr. Florence Ligozat (Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, Université de Genève) für die einwandfreie Organisation dieser mehrtägigen Veranstaltungen und Prof. Dr. Andreas Müller (Universität Genf) und Prof. Dr. Monika Waldis Weber (Fachhochschule Nordwestschweiz) für die wertvollen und unterstützenden Gespräche und Rückmeldungen.

Im Kreis der doktorierenden Geographiedidaktikerinnen und -didaktiker der Schweiz haben wir uns mehrmals für einen konstruktiv-kritischen Austausch zu den laufenden Doktorats-Projekten getroffen. Für diese offenen und anregenden Diskussionen danke ich Ute Schönauer (Pädagogische Hochschule Luzern), Daniel Siegenthaler (Fachhochschule Nordwestschweiz), Sabine Stopper (Pädagogische Hochschule St. Gallen) und Marco Lupatini (Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana).

Sehr bedanke ich mich auch bei Elke Keller (Dozentin für Milchtechnologie), die den Lernansatz AEL bereits in Kursen an der Universität Kassel umgesetzt und im Rahmen eines Weiterbildungsangebots in die Hochschuldidaktik der Universität Bern eingebracht hat. Aus den Diskussionen zu diesen Umsetzungsbeispielen an Hochschulen haben sich interessante Anregungen für die weitere Ausarbeitung des Lernansatzes AEL ergeben.

Für die aufwendige Durchsicht und das wertvolle Kommentieren von Teilen der Arbeit bedanke ich mich bei Prof. Dr. Stefan Brönnimann (Leitung der Abteilung

Klimatologie am Geographischen Institut der Universität Bern), Bernhard Probst, Edi Probst und Elke Keller. Ein großer Dank geht auch an Korrektor Dr. Peter Maurer für seinen unermüdlichen Einsatz und den sprachlichen Feinschliff der Arbeit.

Von ganzem Herzen gilt mein persönlicher Dank meiner Frau Anne Montavon und meinen Kindern Elisa und Louis, ohne deren Rückhalt diese Dissertation nicht möglich gewesen wäre.

Bern, im August 2019
Matthias Probst

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V
Zusammenfassung XI
Abkürzungsverzeichnis XIII
Abbildungsverzeichnis XIV
Tabellenverzeichnis XX

1 Einleitung – Wissenschaftliche Kenntnisse der Hydrologie anwendungsorientiert vermitteln 1

2 Hydrologie – komplexe Herausforderungen für die Zukunft der Menschheit 6

3 Lernpsychologische und fachdidaktische Grundlagen zu Lernen und Transfer 15

3.1 Lernpsychologischer Konstruktivismus 15
3.1.1 Kognitives Lernen – Lernen durch Einsicht 16
3.1.2 Konstruktivistische Auffassung von Lernen 17
3.1.3 Verschiedene Typen von Wissen 19
3.2 Vorstellungen und *Conceptual Change* 20
3.3 Modell der Didaktischen Rekonstruktion 24
3.4 Transfer – lernpsychologischer und geographiedidaktischer Forschungsstand 28
3.4.1 Begriff „Transfer“ und verschiedene Transferarten 29
3.4.2 Träges Wissen – Erklärungen für ausbleibenden Transfer 33
3.4.3 Transfertheorien – Erklärungen für erfolgreichen Transfer 34
3.4.4 Geographiedidaktische Forschung zu Transfer 40
3.5 Fazit: Transferleistung im Lernprozess fördern 42

4 Zielsetzungen und Vorgehen 45

5 Entwicklung des Lernansatzes AEL – ein Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung 49

5.1 Analytisch-erkenntnisorientierter Lernansatz AEL 49
5.1.1 Theorie- und praxisgeleitete Entwicklung 49
5.1.2 Lernansatz AEL – kurz erklärt 51
5.1.3 Bedeutung und Entwicklung fokussierender Lernaufgaben 56
5.1.4 Bedeutung wissenschaftlicher Erklärungsansätze 61
5.1.5 Rolle der Lehrperson 62

5.2 Erprobung des Lernansatzes AEL – Fallbeispiele aus der Unterrichtspraxis 65
5.2.1 Fallbeispiel Hochwasser 66
5.2.2 Fallbeispiel Geländepraktikum Boden 71
5.2.3 Fallbeispiel Verstädterung 74
5.2.4 Fallbeispiel Nachhaltige Entwicklung 78
5.2.5 Fallbeispiel Aufeinandertreffen von Kulturen 81
5.2.6 Fallbeispiel Bougouni – ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung im Sahel 85
5.2.7 Fazit: Mit dem Lernansatz AEL Transfer fördern und komplexe Themen erfassen 88
5.3 Einordnung des Lernansatzes AEL in lernpsychologische und fachdidaktische Grundlagen zu Lernen und Transfer 90
5.3.1 Lernansatz AEL und lernpsychologischer Konstruktivismus 91
5.3.2 Vorstellungen im Unterricht einbeziehen und *Conceptual Change* ermöglichen 98
5.3.3 Lernansatz AEL – Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion 101
5.3.4 Lernansatz AEL und Erkenntnisse der Transferforschung 107
5.3.5 Fazit: Theoriebezogene Einordnung des Lernansatz AEL 111

5.4 Fazit: Lernansatz AEL – Praxis- und Theoriebezug 112

6 Umsetzung des Lernansatzes AEL – das Lernmedium WASSERverstehen 113

6.1 Ausgangslage 113
6.2 Konzept des Lernmediums WASSERverstehen 116
6.3 Modul 1: Hydrologische Extremereignisse 119
6.4 Modul 2: Wallis – Wassernutzung im Wandel 129
6.5 Fazit: Lernansatz AEL als Konzept für Lernmedien 133

7 Evaluation des Lernansatzes AEL – quantitative Wirksamkeitsstudie zur Veränderung von Wissen und Transferleistung im Geographieunterricht 134

7.1 Ausgangslage und Fragestellungen 134
7.2 Methoden 135
7.2.1 Studiendesign 135
7.2.2 Intervention zum Thema Hochwasser 138
7.2.3 Erhebungsinstrumente und Datenaufbereitung 147

7.2.4 Güte der Messinstrumente 167
7.2.4.1 Überprüfung der Objektivität 167
7.2.4.2 Überprüfung der Validität 169
7.2.4.3 Überprüfung der Reliabilität 170
7.3 Statistische Analyse – Tests und Ausgangssituation 174
7.3.1 Fragestellungen und statistische Tests 174
7.3.2 Ausgangsbedingungen 175
7.4 Veränderung des Wissens zu Hochwasser – Ergebnisse und Interpretation 176
7.4.1 Analyse des Fragebogens zum Hochwasserwissen 177
7.4.2 Analyse der spontanen Aufzählung von Hochwasserfaktoren 185
7.5 Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser – Ergebnisse und Interpretation 193
7.5.1 Analyse des Fragebogens zur Transferleistung 193
7.5.2 Analyse der Bildanalysen zu Hochwasser 205
7.6 Überprüfung der Einflussfaktoren 219
7.6.1 Einfluss von personen- und umfeldbedingten Faktoren 219
7.6.2 Einflussfaktoren gruppenbezogen 224
7.6.3 Einflussfaktoren aus Sicht der Probanden 226
7.7 Fazit: Einordnung der Ergebnisse aus der quantitativen Wirksamkeitsstudie 231

8 Schlussfolgerungen und Ausblick 235

Literaturverzeichnis 243

Anhang 261

Die Materialien im Anhang zum Lernmedium WASSERverstehen sind frei zugänglich unter ***www.wasserverstehen.ch****.*

Zusammenfassung

Vielfältige Bedürfnisse der Gesellschaft und Wirtschaft sowie klimabedingte Veränderungen stellen **komplexe Herausforderungen** für den Umgang mit Gewässern und der Ressource Wasser. Dementsprechend hält die UNO im sechsten Ziel der Agenda 2030 fest, dass der Zugang zu Trinkwasser und zu sanitären Einrichtungen ein Menschenrecht sei und der Umgang mit der Ressource Wasser entscheidend für die soziale, wirtschaftliche und ökologische Entwicklung ist. Ein umsichtiger Umgang mit diesen hydrologischen Herausforderungen setzt in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik ein **anschlussfähiges hydrologisches Grundwissen** voraus. Nur so können in der Gesellschaft und Politik Maßnahmen für ein zukunftsorientiertes Wassermanagement im eigenen Lebensraum verstanden und konsensbezogen umgesetzt werden.

Damit ist insbesondere die **Bildung** auf allen Schulstufen gefordert, hydrologisches Grundlagenwissen so zu vermitteln, dass es die Lernenden später in anderen Situationen und Problemstellungen anwenden können, um so Handlungsoptionen für sich persönlich, die Gesellschaft, Wirtschaft und Politik zu erkennen und weiterzuentwickeln. Dieser Anspruch deckt sich mit einer grundsätzlich und immer wieder gestellten Forderung an den Geographieunterricht, Kenntnisse sollen so vermittelt werden, dass diese von den Lernenden bei anderen Sachverhalten und in anderen geographischen Räumen angewendet und weiterentwickelt werden. Wenn Lernen sinnvoll sein soll, muss das Gelernte anwendbar und übertragbar sein, um so späteres Lernen oder Problemlösen zu beeinflussen. Dies ist auch eine Zielsetzung der **Kompetenzorientierung**, die aktuell die schweizerische und europäische Bildungsdiskussion bestimmt und sich beispielsweise an Gymnasien in Lehrplänen oder in den **Anforderungsbereichen** an Maturitätsprüfungen niederschlägt.

Obschon vom Fachbereich Hydrologie und von der Bildung Unterrichtskonzepte gefordert sind, welche die **Transferleistung** ausbilden, und man sich in der Geographiedidaktik über deren Bedeutung einig ist, gibt es im Fachbereich Geographie kaum Studien zur Transferleistung. Ausgehend vom lernpsychologischen Begriffsverständnis und geographischen Anforderungen im Unterricht wird in der vorliegenden Dissertation unter Transfer (lat.-engl.; „Übertragung, Überführung“) die Fähigkeit verstanden, erworbenes Wissen oder erlernte Fertigkeiten in anderen Situationen und Aufgaben mit neuen Anforderungen anzuwenden.

Doch wovon hängt der erfolgreiche Transfer von Gelerntem im Geographieunterricht ab? Ausgehend von dieser Fragestellung wird in der vorliegenden Dissertation der flexibel einsetzbare **analytisch-erkenntnisorientierte Lernansatz** (kurz **Lernansatz AEL**) entwickelt, der die Transferleistung im Unterricht explizit fördern soll. Bei der Entwicklung des Lernansatzes AEL waren geographiedidaktische und

lernpsychologische Forschungsergebnisse sowie reflektierte Erfahrungen aus dem eigenen Unterricht auf der Sekundarstufe II leitend.

Der Lernansatz AEL dient als didaktisches Konzept für das Lernmedium WASSERverstehen, welches in Zusammenarbeit mit der Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern und dem Hydrologischen Atlas der Schweiz entwickelt wurde. Das Lernmedium WASSERverstehen zeigt mit dem Print- und E-Book praxisorientiert die Umsetzung des Lernansatzes AEL und ermöglicht eine quantitative Wirksamkeitsstudie an vier gymnasialen Klassen im Geographieunterricht. In der Studie mit einem Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design wurde in einer Experimental- und Vergleichsgruppe die Wirksamkeit des Lernansatzes AEL, des Lernmediums WASSERverstehen und der Unterrichtssequenz auf die vier Bereiche Wissenszuwachs, Behaltensleistung, Transferleistung und Beständigkeit der Transferleistung zum Thema Hochwasser untersucht.

Die Studie zeigt, dass der Lernansatz AEL das **Vorwissen** und die Erfahrungen der Lernenden im Unterricht flexibel zugänglich macht und so einen **Conceptual Change** ermöglicht sowie den **Wissenszuwachs,** die **Behaltensleistung,** die **Transferleistung** und deren **Beständigkeit** zu Hochwasser hochsignifikant steigert. Verschiedene Praxiserprobungen zeigen zudem, dass sich der Lernansatz AEL für geographische Fragestellungen zu **komplexen Sachverhalten** eignet, wo eindeutige Lösungen mit „richtig“ und „falsch“ nicht zielführend sind und wo aus **unterschiedlichen Perspektiven** das dynamische Verhältnis von Umwelt und Mensch erkannt und verstanden werden muss.

Mit dem Lernansatz AEL, dem Lernmedium WASSERverstehen und der Wirksamkeitsstudie liegen **erstmals im Verbund theoriebasierte, praxisbezogene und statistisch überprüfte Grundlagen** zur Transferleistung im Geographieunterricht vor. Damit bietet die Studie Grundlagen zum Lerntransfer für unterrichtende Lehrpersonen, für die Ausbildung von Lehrpersonen, für die geographiedidaktische und lernpsychologische Forschung und für die Lernmedienentwicklung.

Keywords: Transferleistung, Wissenskonstruktion, Kompetenzorientierung, Lernansatz AEL, Vorstellungen, *Conceptual Change*, quantitative Wirksamkeitsstudie, Lernmedium WASSERverstehen, Hydrologie, komplexe Themen, Hochwasser

Abkürzungsverzeichnis

AEL	Analytisch-erkenntnisorientierter Lernansatz
AFB I	Anforderungsbereich I (Tab. 1)
AFB II	Anforderungsbereich II (Tab. 1)
AFB III	Anforderungsbereich III (Tab. 1)
EG	Experimentalgruppe
L	Lehrerinnen und Lehrer
S	Schülerinnen und Schüler
VG	Vergleichsgruppe

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 |	Allgemeiner Überblick zum Dissertationsprojekt	5
Abb. 2 |	Starkniederschläge und Hochwasser	7
Abb. 3 |	Entwicklung der jährlichen Schadenssummen durch Naturereignisse 1972–2018	9
Abb. 4 |	Dispositionsmodell zur Erkennung und Beurteilung der Hochwassergefahr in Einzugsgebieten	10
Abb. 5 |	Positionierung der vorliegenden Dissertation zur Transferförderung im Überschneidungsbereich des kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus	18
Abb. 6 |	Modell der Didaktischen Rekonstruktion	26
Abb. 7 |	Detaillierter Überblick zum Dissertationsprojekt	48
Abb. 8 |	Lernansatz AEL – eigenständig analytisch Denken in allen Lernphasen	51
Abb. 9 |	Entwicklung von fokussierenden Lernaufgaben	58
Abb. 10 |	Aare in Bern beim Hochwasserereignis am 24. August 2005	67
Abb. 11 |	Sedrun mit den drei Wildbächen Strem, Drun und Drun da Bugnei	67
Abb. 12 |	Bodenprofil einer sauren Braunerde am Keltenwall beim Zehendermätteli in Bern	72
Abb. 13 |	Schotterkörper des Ørkendalen-Gletschers, Grönland	72
Abb. 14 |	Verlauf der Bodenbildung im schweizerischen Mittelland nach der letzten Eiszeit	73
Abb. 15 |	Bodenbildung durch Abbau- und Aufbauprozesse von mineralischer und organischer Bodensubstanz sowie Verlagerung und Gefügebildung	73
Abb. 16 |	Stadt- und Landbevölkerung von 1950 bis 2050	75
Abb. 17 |	Verstädterungsrate und Verstädterungsgrad in Regionen der Erde	76
Abb. 18 |	Verstädterungsgrad nach Regionen im Jahr 2014	76
Abb. 19 |	Entsorgung ausrangierter U-Bahn Waggons im Atlantik	78

Abb. 20 | Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung 78

Abb. 21 | Aufeinandertreffen von Kulturen im Sport 82

Abb. 22 | Familie Natomo aus Kouakourou in Mali 86

Abb. 23 | Mit dem Lernansatz AEL, fokussierenden Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen komplexe Themen erfassen und Transfer fördern 89

Abb. 24 | Bezüge vom Lernansatz AEL zum kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus 96

Abb. 25 | Position des Lernansatzes AEL bezüglich kooperativem Lernen und direkten Unterrichtsformen 97

Abb. 26 | Adaptiver Unterricht nach dem Lernansatz AEL und dem Modell der Didaktische Rekonstruktion 104

Abb. 27 | Einstiegsseite von WASSERverstehen.ch mit dem aktuellen Abfluss der Hauptentwässerungsgebiete der Schweiz 115

Abb. 28 | Die drei Phasen des Lernansatzes AEL umgesetzt im Lernmedium WASSERverstehen 117

Abb. 29 | Inhaltsbezogene Setzung der Medien mit blauen Icons im E-Book WASSERverstehen 119

Abb. 30 | Entstehung von Gewittern 120

Abb. 31 | Veränderung der Gefahren- und Risikosituation in Klosters Platz zwischen 1900 und 2013 121

Abb. 32 | Der Fluss Töss liegt zwischen Orüti und Bauma in niederschlagsarmen Perioden immer wieder trocken 122

Abb. 33 | Einzugsgebiet und Trockenheit 122

Abb. 34 | WASSERverstehen, Phase Fokus beim Themenblatt Hochwasser 123

Abb. 35 | WASSERverstehen, Phase Wissen beim Themenblatt Hochwasser 124

Abb. 36 | WASSERverstehen, Phase Wissen beim Themenblatt Hochwasser 125

Abb. 37 | WASSERverstehen Phase Transfer beim Themenblatt Hochwasser 126

Abb. 38 | WASSERverstehen, Arbeitsblatt zum Themenblatt Hochwasser 127

Abb. 39 | WASSERverstehen, Arbeitsblatt mit Literatur zum Themenblatt Hochwasser 128
Abb. 40 | Wasserversorgung Crans-Montana-Sierre 129
Abb. 41 | Bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen ist der Wasserverbrauch je nach Witterung sehr unterschiedlich 130
Abb. 42 | Der Trinkwasserverbrauch für die Bevölkerung und den Tourismus in der Region Crans-Montana-Sierre 131
Abb. 43 | Zukunft von Stauseen 132
Abb. 44 | Vergleich der Intervention zwischen der Experimentalgruppe EG und Vergleichsgruppe VG 139
Abb. 45 | Unterrichtsverlauf der Intervention in der Experimentalgruppe EG 144
Abb. 46 | Unterrichtsverlauf der Intervention in der Vergleichsgruppe VG 147
Abb. 47 | Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz 155
Abb. 48 | Kategorisierungsraster mit sechs Kategorien (Subskala) und vierzig Hochwasserfaktoren 157
Abb. 49 | Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser zum nahem Transfer 158
Abb. 50 | Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser zum weiten Transfer 159
Abb. 51 | Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz 160
Abb. 52 | Lösungsraster mit Begründungen zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz 162
Abb. 53 | Erhebungsinstrument D Standardisierter Fragebogen zur Motivation 163
Abb. 54 | Erhebungsinstrument E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen 165
Abb. 55 | Erhebungsinstrument F Personen- und umfeldbezogene Faktoren 166
Abb. 56 | Wissensveränderung zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 178
Abb. 57 | Wissensveränderung zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 179

Abb. 58 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 187
Abb. 59 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 188
Abb. 60 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 197
Abb. 61 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 198
Abb. 62 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 206
Abb. 63 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 207
Abb. 64 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 213
Abb. 65 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 214
Abb. 66 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Fokus 263
Abb. 67 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Wissen 265
Abb. 68 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Transfer 266
Abb. 69 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Starkniederschlag 267
Abb. 70 | Literaturangaben zu Themenblatt Starkniederschlag 268
Abb. 71 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Starkniederschlag 269
Abb. 72 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Fokus 271
Abb. 73 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Wissen 273
Abb. 74 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Transfer 274
Abb. 75 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Hochwasser 275
Abb. 76 | Literaturangaben zu Themenblatt Hochwasser 276

Abb. 77 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Hochwasser 278

Abb. 78 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Fokus 279

Abb. 79 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Wissen 281

Abb. 80 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Transfer 282

Abb. 81 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Umgang mit Hochwasser 283

Abb. 82 | Literaturangaben zu Themenblatt Umgang mit Hochwasser 284

Abb. 83 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Umgang mit Hochwasser 285

Abb. 84 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Fokus 287

Abb. 85 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Wissen 289

Abb. 86 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Transfer 290

Abb. 87 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Niedrigwasser 291

Abb. 88 | Literaturangaben zu Themenblatt Niedrigwasser 288

Abb. 89 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Niedrigwasser 293

Abb. 90 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Fokus 295

Abb. 91 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Wissen 297

Abb. 92 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Transfer 298

Abb. 93 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserdargebot 299

Abb. 94 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserdargebot 300

Abb. 95 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserdargebot 303

Abb. 96 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Fokus 305

Abb. 97 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Wissen 307

Abb. 98 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Transfer 308

Abb. 99 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Nutzung des Wassers 309

Abb. 100 | Literaturangaben zu Themenblatt Nutzung des Wassers 310

Abb. 101 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Nutzung des Wassers 314

Abb. 102 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Fokus 315

Abb. 103 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Wissen 317

Abb. 104 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Transfer 318

Abb. 105 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserverteilung 319

Abb. 106 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserverteilung 320

Abb. 107 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserverteilung 322

Abb. 108 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Fokus 323

Abb. 109 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Wissen 325

Abb. 110 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Transfer 326

Abb. 111 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 327

Abb. 112 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 328

Abb. 113 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 329

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 |	Drei Anforderungsbereiche	3
Tab. 2 |	Hochwasserfaktoren gegliedert nach Grunddisposition, variable Disposition und auslösendem Ereignis	12
Tab. 3 |	Vier Transferarten des Geographieunterrichts	55
Tab. 4 |	Überprüfung und Anpassung von Lernaufgaben bezüglich ihrer Fokussierung, Herausforderung und geographischen Fachlichkeit	59
Tab. 5 |	Operatoren zu den drei Anforderungsbereichen	59
Tab. 6 |	Erprobte Fallbeispiele zum Lernansatz AEL	65
Tab. 7 |	Grunddispositionen, variable Dispositionen und auslösendes Ereignis bei Hochwasser	68
Tab. 8 |	Verstädterungsgrad und -rate in verschiedenen Regionen der Erde	75
Tab. 9 |	Verstädterungsgrad und Verstädterungsrate in verschiedenen Regionen der Erde mit Schülervorstellungen und Korrekturen	77
Tab. 10 |	Akkulturationsstrategien	82
Tab. 11 |	Kontaktfördernde und kontakterschwerende Faktoren zwischen Mehrheitskultur und Minderheitskultur	84
Tab. 12 |	Lernansatz AEL und die Aspekte des kognitiven Lernens	91
Tab. 13 |	Lernansatz AEL und die drei Komponenten des intelligenten Verhaltens	92
Tab. 14 |	Lernansatz AEL und die kognitiven und affektiven Faktoren für die Förderung eines *Conceptual Change* im Unterricht	99
Tab. 15 |	Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Verminderung von trägem Wissen	107
Tab. 16 |	Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Förderung eines erfolgreichen Transfers	109
Tab. 17 |	Gliederung der Lernaufgaben in WASSERverstehen nach Hinführung, Fragestellung und Aufgabenstellung	118
Tab. 18|	Design der quantitativen Wirksamkeitsstudie	136
Tab. 19|	Anzahl Probanden an den einzelnen Messzeitpunkten und an allen drei Messzeitpunkten	138

Tab. 20 | Überprüfung der Reliabilität der Erhebungsinstrumente B,C und D an den drei Messzeitpunkten 173
Tab. 21 | Vergleich der Gruppen EG und VG beim Messzeitpunkt t1 bezüglich des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser 176
Tab. 22 | Veränderung des Wissens zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 180
Tab. 23 | Gruppenunterschiede beim Wissen zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 181
Tab. 24 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 189
Tab. 25 | Gruppenunterschiede beim spontanen Wissen zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte 190
Tab. 26 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe 199
Tab. 27 | Gruppenunterschiede bei der Transferleistung zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten 200
Tab. 28 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe 208
Tab. 29 | Gruppenunterschiede beim nahen Transfer zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten 209
Tab. 30 | Häufigkeiten der Hochwasserfaktoren „Gletscher, Schnee“, „Neigung der Hänge“ und „See“, erfasst nach dem Kategorisierungsraster 212
Tab. 31 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe 215
Tab. 32 | Gruppenunterschiede zum weiten Transfer zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten 216
Tab. 33 | Einflussfaktoren auf das Wissen zu Hochwasser an den Messzeitpunkten t2 und t3 221
Tab. 34 | Einflussfaktoren auf die Transferleistung zu Hochwasser an den Messzeitpunkten t2 und t3 223
Tab. 35 | Vergleich der Einflussfaktoren zwischen der Experimentalgruppe EG und der Vergleichsgruppe VG beim Messzeitpunkt t1 225
Tab. 36 | Bedeutung des Vorwissens aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe 227
Tab. 37 | Bedeutung von unterrichtsbezogenen und didaktischen Einfluss- 229

faktoren aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe beim Messzeitpunkt t2 und t3

Tab. 38 | Rückmeldungen zur Intervention mit dem Lernmedium WASSERverstehen aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe beim Messzeitpunkt t2 230

Tab. 39 | Bedeutsamkeit der vorliegenden Forschungsarbeit sowie Ausweitungsmöglichkeiten und anknüpfbare Forschung 240

1 Einleitung – Wissenschaftliche Kenntnisse der Hydrologie anwendungsorientiert vermitteln

Gewässer liefern Trink- und Brauchwasser, sie dienen der Energieproduktion und sind für Tiere, Pflanzen und Menschen ein unentbehrlicher Lebensraum. Auch die Schweiz ist mit der Zersiedelung und dem Klimawandel zunehmend gefordert im Umgang mit wasserbezogenen Extremereignissen sowie im Umgang mit der Wasserressource bei der Trinkwasseraufbereitung, Bewässerung oder Wasserkraftnutzung. Die Ressource Wasser ist ein entscheidender Faktor für die soziale, wirtschaftliche und ökologische Entwicklung von Regionen. Ein nachhaltiger Umgang mit Wasser muss daher von Politik und Wirtschaft vorausschauend geplant und umgesetzt sowie von der Bevölkerung mitgetragen werden. Die Basis hierfür sind ein korrektes und **anschlussfähiges hydrologisches Grundwissen** und ein Bewusstsein für die Ressource Wasser bei allen Beteiligten. Damit ist insbesondere die Bildung auf allen Schulstufen gefordert, hydrologisches Grundlagenwissen so zu vermitteln, dass es die Lernenden später in anderen Situationen und Problemstellungen anwenden können, um so Handlungsoptionen für sich persönlich, die Gesellschaft, Wirtschaft und Politik zu erkennen und weiterzuentwickeln. Davon ausgehend setzt sich die vorliegende **Dissertation das Ziel**, ein Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung ausgehend von lernpsychologischen und fachdidaktischen Forschungskenntnissen sowie Erfahrungen aus der Unterrichtspraxis zu entwickeln und die Wirksamkeit des Unterrichtsmodells in einer quantitativen Studie in gymnasialen Klassen zu einem hydrologischen Thema zu testen.

Der Anspruch an Transferleistungen von Fachwissenschaften wie der Hydrologie decken sich mit einer grundsätzlich und immer wieder gestellten Forderung an den Geographieunterricht, Kenntnisse sollen so vermittelt werden, dass diese von den Lernenden bei anderen Sachverhalten und in anderen geographischen Räumen angewendet und weiterentwickelt werden (DGFG 2017; KLAUER 2011; SCHMIDTKE 2012, u.a.). Dies ist auch eine Zielsetzung der **Kompetenzorientierung**, die aktuell die schweizerische und europäische Bildungsdiskussion bestimmt und sich beispielsweise an Schweizer Gymnasien in Lehrplänen oder Maturitätsprüfungen mit der Ausrichtung auf bestimmte Anforderungsbereiche niederschlägt. **Stufen mit ansteigendem Anspruchsniveau** wurden in der seit Jahrzehnten dauernden pädagogischen Diskussion um die Begriffe „Lernziele“, „Kompetenzen“ und „Learning Outcomes“ (Lernergebnisse) immer wieder festgelegt, in Form der Lernzieltaxonomie von BLOOM (1972), den kompetenzorientierten Anforderungsbereichen (Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGFG 2016) oder dem lernergebnisorientierten Qualifikationsrahmen (Leistungsausschuss der schweizerischen Hochschulkonferenzen (CRUS, 2011)). Neben allen Unterschieden ist diesen verschiedenen

Differenzierungskonzepten von Lernvorgaben gemeinsam, dass die höheren Anspruchsniveaus von den Lernenden vorwiegend das Anwenden, Analysieren, Beurteilen und Weiterentwickeln verlangen. Mit zunehmendem Anspruchsniveau wird also vorausgesetzt, dass die Lernenden ihre erworbenen Kenntnisse beim Bewältigen von Problemstellungen anwenden und weiterentwickeln können. Diese Anforderungen setzen eine Transferleistung bei den Lernenden voraus.

In der Lernpsychologie bezeichnet **Transfer** die erfolgreiche Anwendung angeeigneten Wissens oder erworbener Fertigkeiten im Rahmen einer neuen Anforderung, welche in der Situation der Wissens- oder Fertigkeitsaneignung noch nicht vorgekommen war (HASSELHORN, GOLD 2014; S. 142; MÄHLER, STERN 2018, S. 842). Transferleistungen gelten auch als wichtiges Kennzeichen eines erfolgreichen Lernprozesses, da der Aufbau von Fertigkeiten und Kenntnissen bei neuen Anforderungen und in unvertrauten Situationen genutzt werden können (HASSELHORN, GOLD 2014; S. 142; MÄHLER, STERN 2018, S. 842). Im Geographieunterricht verlangen die Anforderungen an die Lernenden (DGFG 2017, S. 31) einen Transfer von Gelerntem, um Aufgaben zum Anforderungsbereich II „Anwendung“ und III „Weiterentwicklung“ zu bewältigen (vgl. Tab. 1). Ausgehend von diesen lernpsychologischen und geographiedidaktischen Auffassungen wird in der vorliegenden Dissertation unter Transfer (lat.-engl.; „Übertragung, Überführung“) die Fähigkeit verstanden, **erworbenes Wissen oder erlernte Fertigkeiten in anderen Situationen und Aufgaben mit neuen Anforderungen anzuwenden**. Diese Definition berücksichtigt einerseits das aktuelle Verständnis von Transfer der Lernpsychologie und andererseits die gegenwärtige geographiedidaktische Auffassung von verschiedenen Anforderungsbereichen im Unterricht. Eine weiterführende Darlegung zum Begriff Transfer und zu verschiedenen Transferarten findet sich in Kapitel 3.4.1.

Wie kann der Unterricht jedoch auf diese Anforderung vorbereiten, resp. wie kann die Transferleistung der Lernenden so gefördert werden, dass sie die erworbenen Kenntnisse aus dem Unterricht effektiv in ihrer Lebenswelt auf ähnliche oder neue Situationen und Aufgaben übertragen, sie anwenden und weiterentwickeln? Diese Frage ist für den (Geographie-)Unterricht auch aufgrund der aktuell geforderten kompetenzorientierten Leistungsbeurteilungen, insbesondere im Rahmen von Maturitätsprüfungen an Schweizer Gymnasien von großer Bedeutung. Als praktizierende Geographielehrperson am Gymnasium Burgdorf, als Dozent der Fachdidaktik Geographie an der PHBern und als Experte an den Maturitätsprüfungen Geographie im Kanton Bern und Solothurn bin ich mit den Chancen und Herausforderungen von kompetenzorientiertem Unterrichten und Prüfen im eigenen Berufsfeld konfrontiert. So wird im Fach Geographie an den Kantonalen Maturitätsprüfungen in Bern und auch an den eidgenössischen Maturitätsprüfungen ein überwiegender Anteil (70 – 80 %) an Aufgaben in den **Anforderungsbereichen (AFB)** II und III (Tab. 1) gefordert. Während der AFB I die Reproduktion von Wissen

beinhaltet, fordern AFB II das Anwenden von gelernten Inhalten, Methoden und Verfahren auf andere Sachverhalte und AFB III den reflexiven Umgang mit neuen Problemstellungen und gewonnen Erkenntnissen, um zu Begründungen, Folgerungen, Beurteilungen und Handlungsoptionen zu gelangen (DGFG, 2017 S. 31).

Tab. 1 | Drei Anforderungsbereiche (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE 2017, S. 31)

Anforderungs-bereiche (AFB)	**Geforderte Kompetenzen**
AFB I	Der **Anforderungsbereich I** (Reproduktion) umfasst das Wiedergeben und Beschreiben von fachspezifischen Sachverhalten aus einem abgegrenzten Gebiet und im gelernten Zusammenhang unter reproduktivem Benutzen eingeübter Arbeitstechniken und Verfahrensweisen. Dies erfordert vor allem Reproduktionsleistungen.
AFB II	Der **Anforderungsbereich II** (Reorganisation und Transfer) umfasst das selbstständige Erklären, Bearbeiten und Ordnen bekannter fachspezifischer Inhalte und das angemessene Anwenden gelernter Inhalte, Methoden und Verfahren auf andere Sachverhalte. Dies erfordert vor allem Reorganisations- und Transferleistungen.
AFB III	Der **Anforderungsbereich III** (Reflexion und Problemlösung) umfasst den selbstständigen reflexiven Umgang mit neuen Problemstellungen, den eingesetzten Methoden sowie Verfahren und gewonnenen Erkenntnissen, um zu Begründungen, Deutungen, Folgerungen, Beurteilungen und Handlungsoptionen zu gelangen. Dies erfordert vor allem Leistungen der Reflexion und Problemlösung.

Die Beschreibungen zu AFB II und III in der Tabelle 1 zeigen deutlich, dass von den Lernenden eine erhebliche Transferleistung verlangt wird. Die erworbenen Kenntnisse im Geographieunterricht sollen ein Weltverstehen ermöglichen sowie die Transferleistung und Handlungsfähigkeit fördern. Diese Forderung erhält durch die zunehmende Verfügbarkeit von Wissen und Informationen in neuen elektronischen Medien großen Nachdruck; Wissen ist überall verfügbar, im Umgang und in der Anwendung fordert dieses Wissensangebot die heutige und zukünftige Gesellschaft jedoch stark heraus. Bildung muss die Kenntnisse daher zunehmend so vermitteln, dass deren Anwendung gefördert wird und sich schließlich auch die Transferleistung und Handlungsfähigkeit verbessern. Dadurch werden die Lernenden einerseits befähigt, die vermittelten Kenntnisse auf andere Sachverhalte zu übertragen und weiterzuentwickeln und andererseits lernen sie einen Umgang mit dem überall zugänglichen Wissen, der hin zu Transferleistungen und Handlungsfähigkeit führt.

Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass die Transferleistung einerseits

von Lernenden im modernen Fachunterricht verlangt wird und andererseits aber auch von der Bevölkerung zur Bewältigung von zukünftigen Herausforderungen im Umgang mit Gewässern und Wasser. Ausgehend von diesen Ansprüchen geht die vorliegende Dissertation der **Leitfrage** nach: Welcher Geographieunterricht vermittelt hydrologisches Grundwissen so, dass die Lernenden es in anderen Situationen und Aufgaben anwenden und weiterentwickeln können?

Dieser Leitfrage geht die Dissertation mit folgendem **Vorgehen** nach. In einem ersten Schritt sollen die fachlichen Ansprüche an ein anschlussfähiges Grundwissen zur Hydrologie in der Gesellschaft bestimmt werden (Kapitel 2). Anschließend werden fachdidaktische und lernpsychologische Forschungsergebnisse zu Wissenskonstruktion und Transferleistung in Lernprozessen recherchiert und analysiert (Kapitel 3), um darauf aufbauend die Forschungsfragen und das Vorgehen der Dissertation zu präzisieren (Kapitel 4) sowie ein flexibel einsetzbares Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung bei Lernenden zu entwickeln (Kapitel 5). Dieses Unterrichtsmodell dient als didaktisches Konzept für ein Lernmedium zur Hydrologie (Kapitel 6), welches die Forderungen nach anschlussfähigem hydrologischem Wissen zur Bewältigung von zukünftigen Herausforderungen erfüllen soll. Dieses Lernmedium wird in Zusammenarbeit mit der Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern und dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES) entwickelt. Schließlich soll mit einer quantitativen Wirksamkeitsstudie nach einem *Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design* das entwickelte Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung mit dem Lernmedium zur Hydrologie in einer Experimental- und Vergleichsgruppe im gymnasialen Geographieunterricht überprüft werden (Kapitel 7). Die Entwicklung des Lernmediums und die Durchführung der quantitativen Wirksamkeitsstudie ermöglichen zudem das didaktische Unterrichtsmodell während den Arbeiten weiterzuentwickeln und zu konsolidieren.

Einen ersten Überblick zum Vorgehen in der vorliegenden Dissertation gibt die Abbildung 1. Nach der Analyse der fachlichen Ansprüche der Hydrologie in Kapitel 2 und der lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen in Kapitel 3 werden Forschungsfragen und Vorgehen in Kapitel 4 präzisiert, entsprechend auch die Übersichtsgrafik zur Dissertation (vgl. Abb. 7).

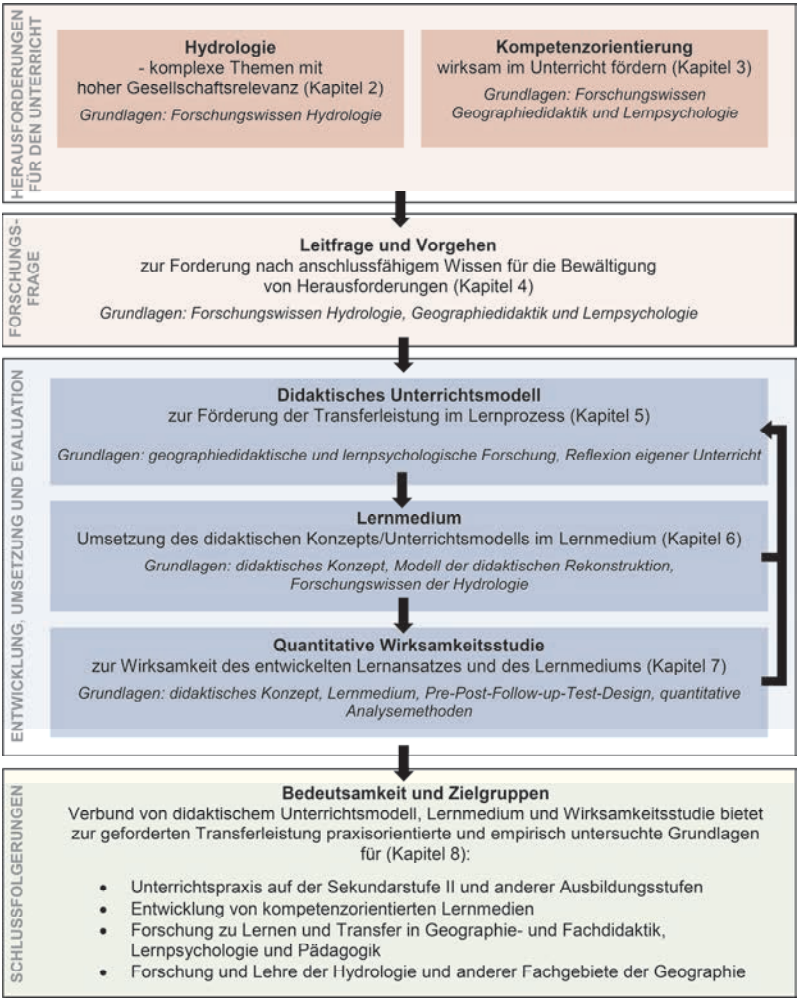


Abb. 1 | Allgemeiner Überblick zum Dissertationsprojekt (detaillierter Überblick in Abb. 7, S. 31)

2 Hydrologie – komplexe Herausforderungen für die Zukunft der Menschheit

Gewässer werden weltweit intensiv beansprucht. Sie liefern Trink- und Brauchwasser, sie dienen der Energieproduktion und sind für Tiere, Pflanzen und Menschen ein unentbehrlicher Lebensraum. Auch in der Schweiz stellen die vielfältigen Bedürfnisse der Gesellschaft und Wirtschaft für die Qualität der Gewässer eine Herausforderung dar. Regionen sind mit der Zersiedelung und dem Klimawandel zunehmend gefordert im Umgang mit der Wasserressource, der Abwasserentsorgung, der Wasserqualität und dem Umgang mit wasserbezogenen Extremereignissen. Diese aktuellen und zukünftigen Herausforderungen liegen im Schnittbereich der Natur- und Sozialwissenschaften, d. h. es sind Fachbereiche angesprochen wie Hydrologie, Klimatologie, Pedologie, Geologie, Biologie sowie Politikwissenschaften, Wirtschaft, Nachhaltige Entwicklung, Raumplanung.

Die **Bedeutung der Gewässer und der Ressource Wasser** nimmt auch mit der Nachhaltigkeitsdiskussion zu. So halten die Vereinten Nationen (UNO) in der Agenda 2030 mit dem sechsten Nachhaltigkeitsziel fest, dass der Zugang zu Trinkwasser und zu sanitären Einrichtungen ein Menschenrecht sei. Zudem sind der Zugang zu Trinkwasser und der Umgang mit der Ressource Wasser entscheidende Faktoren für die soziale, wirtschaftliche und ökologische Entwicklung (UNO 2015).

Ein nachhaltiger Umgang mit Wasser muss von der Bevölkerung mitgetragen werden, wozu diese über ein korrektes und **anschlussfähiges hydrologisches Grundwissen** verfügen und ein Bewusstsein für die Ressource Wasser entwickeln muss. Nur so können Gesellschaft, Wirtschaft und Politik zielführende Maßnahmen für ein zukunftsorientiertes Wassermanagement im eigenen Lebensraum aushandeln und konsensbezogen umsetzen. Damit ist insbesondere die Bildung auf allen Schulstufen gefordert, hydrologisches Grundlagenwissen so zu vermitteln, dass es die Lernenden später in anderen Situationen und Problemstellungen anwenden können, um so Handlungsoptionen für sich persönlich, die Gesellschaft, Wirtschaft und Politik zu erkennen und weiterzuentwickeln.

Dieser Anspruch an die Bildung ist herausfordernd, da einerseits die angesprochenen hydrologischen Herausforderungen eine hohe Komplexität aufweisen und andererseits von den Lernenden der Transfer von erworbenem hydrologischem Wissen auf neue Situationen verlangt wird. Inhalten oder Systemen werden dann eine hohe **Komplexität** zugeschrieben, wenn sie eine Vielzahl von Elementen mit vielfältigen Beziehungen aufweisen und die Wirkungsverläufe unvorhersehbar sind (Ulrich und Probst 1995, Haversath 2012, S. 187).

Beispielsweise weist das Thema **Hochwasser** eine hohe Komplexität auf, da Hochwassersituationen durch eine Vielzahl von Faktoren wie Witterung, Boden, Vegetation, Geologie, Relief, Mensch und Topographie beeinflusst sind, diese Faktoren in vielfältigen Beziehungen zueinander stehen und zudem zeitliche und räumliche Bedingungen den Ablauf unterschiedlich beeinflussen (Abb. 2). Aufgrund dieser hohen Komplexität bleibt trotz erhöhter Wetter-Prognosequalität die präzise Vorhersage von Hochwasser schwierig (WEINGARTNER 2007). So können Hochwasser im Alpenraum auch ohne Niederschlag vorkommen, wenn beispielsweise ein rascher Temperaturanstieg kombiniert mit einer Föhnlage eine starke Schneeschmelze auslöst.

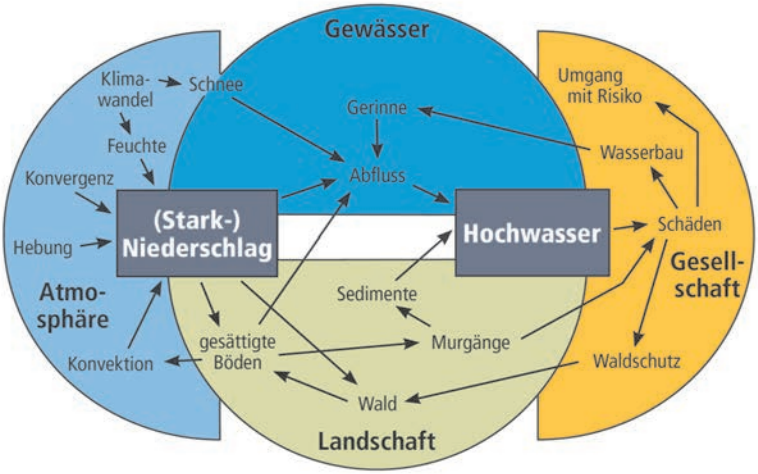


Abb. 2 | Starkniederschläge und Hochwasser hängen auf vielfältige Weise von meteorologischen, hydrologischen, geomorphologischen und gesellschaftlichen Prozessen ab. (BRÖNNIMANN ET AL. 2018a, S. 6)

Themen, welche den Umgang des Menschen mit hydrologischen Herausforderungen vertiefen, weisen ebenfalls eine hohe Komplexität auf. Beispielsweise wird der **Umgang mit Hochwasser** durch die Gefahrensituation und deren Wahrscheinlichkeit, durch vielfältige Schadensrisiken sowie dem Anspruch einer Gesellschaft bezüglich Hochwassersicherheit bestimmt. Dabei ist auch die zeitliche und räumliche Dimension zu berücksichtigen, d. h. die heutige Hochwassersituation in einem Raum ist auch das Ergebnis vergangener Entscheide und Veränderung und beeinflusst zukünftige Umgangsweisen. Auch die Entwicklung eines **zukunftsorientierten Wassermanagements** in einer Region wird beeinflusst durch vielfältige Elemente des lokal und saisonal variierenden Wasserdargebots, des täglich und saisonal variierenden Wasserverbrauchs, der Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung

(z. B. Tourismus, Wasserkraft) und des Klimawandels (z. B. Wasserversorgung ohne Gletscher) sowie durch Wasserrechte und verschiedene Interessen von Akteuren in Landwirtschaft, Tourismus, Wasserkraft und Umweltschutz auf kommunaler, kantonaler und nationaler Ebene. Entsprechend den drei Beispielen weisen die meisten hydrologischen Themen eine hohe Komplexität auf, da sie geprägt sind von verschiedenen naturräumlichen und humangeographischen Elementen mit vielfältigen Beziehungen, welche räumlich unterschiedlich auftreten, sich über die Zeit verändern und unvorhersehbare Wirkungsabläufe hervorrufen.

Verschiedene Untersuchungen deuten darauf hin, dass das allgemeine **Wissen über hydrologische Zusammenhänge** bei Schülerinnen und Schülern meist nur lückenhaft vorhanden ist. So erweist sich in den Untersuchungen von REINFRIED (2006, S. 2 und 2013, S. 261) das Wissen von Schülerinnen und Schüler zum Grundwasser sowie zu Quellen und ihrer Entstehung als sehr rudimentär oder sind die Kenntnisse zu Folgen des Klimawandels für die Wasserversorgung kaum vorhanden (ADAMINA ET AL. 2018). Aber auch Erwachsene verstehen oftmals hydrologische Zusammenhänge kaum, beispielsweise zwischen Grundwasserqualität und Zersiedelung oder Hochwasserrisiko und Siedlungsentwicklung (LANZ 2016).

Die Dringlichkeit der hydrologischen Herausforderungen und deren Komplexität sowie die Hinweise zum mangelhaft anschlussfähigen hydrologischen Grundwissen bei Jugendlichen und in der Gesellschaft zeigen, dass in der Bildung ein **Unterrichtsmodell** verlangt ist, das komplexe Inhalte der Natur- und Sozialwissenschaften verständlich vermittelt und deren Anwendung in anderen Situationen (Transfer) bewusst fördert. Die meisten geographischen Fachbereiche zeichnen sich dadurch aus, dass sie natur- und sozialwissenschaftliche Themen übergreifend betrachten und damit eine bewusste Auseinandersetzung mit Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft verlangen. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass sich das Unterrichtsmodell im Fach Geographie, aber auch in anderen natur- und sozialwissenschaftlichen Fächern einsetzen lässt.

Das **Unterrichtsmodell zur Förderung von Transferleistungen in komplexen Themen** wird ausgehend von aktuellen fachdidaktischen und lernpsychologischen Forschungserkenntnissen (Kapitel 3) entwickelt und schließlich im Unterricht von gymnasialen Klassen überprüft. Für eine solche Wirksamkeitsstudie am Gymnasium eignet sich das **Thema Hochwasser**, weil diese Naturgefahr mit 70 – 80 Prozent der Schadenssummen aller Naturereignisse weltweit und in der Schweiz sehr bedeutend ist, ihre Auswirkungen auf den Menschen, die Wirtschaft und die Umwelt zugenommen hat (Abb. 3), Naturgefahren in den Geographie-Lehrplänen der Sekundarstufe II zu einem wichtigen Thema geworden sind (Fachrelevanz) und dieses Thema eine hohe Komplexität aufweist (vgl. oben). Zudem sind Kenntnisse zu Hochwasser weltweit anwendbar (exemplarische Relevanz, Transferleistung)

und ist eine vertieft integrative Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen (z. B. Klima, Boden, Vegetation) und sozioökonomischen Faktoren (z. B. Siedlungsentwicklung im Gefahrengebiet) gefordert. Für die Nachvollziehbarkeit der fachdidaktischen Untersuchungen in dieser Dissertation werden im Folgenden die aktuellen fachwissenschaftlichen Forschungskenntnisse zum Thema Hochwasser kurz vorgestellt.

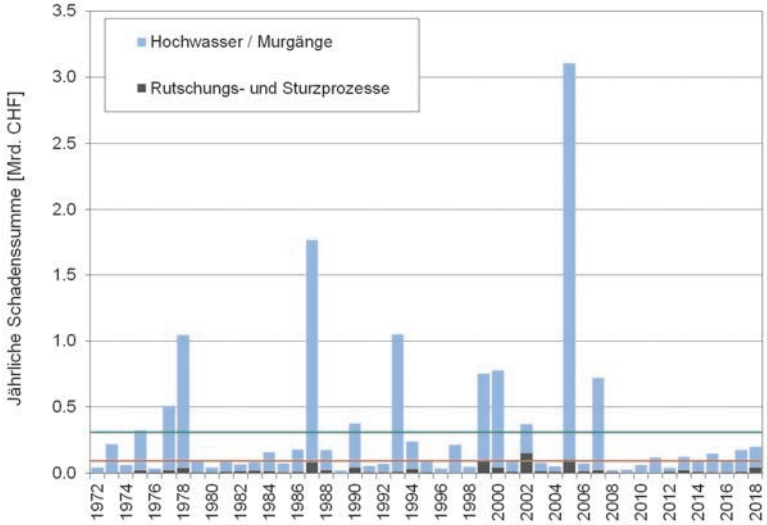


Abb. 3 | Entwicklung der jährlichen Schadenssummen durch Naturereignisse 1972 –2018 (teuerungsbereinigt, Basis 2017). Arithmetisches Mittel (grün, 306 Mio. CHF) und Median (rot, 96 Mio. CHF) sind mit horizontalen Linien gekennzeichnet. (Andres, Badoux 2019, S. 29)

Mit dem **Dispositionsmodell** (Abb. 4) aus Kienholz (1998, S. 11) lassen sich Hochwasser, aber auch andere Naturgefahren in einem Gebiet strukturiert analysieren und abschätzen (Weingartner, Rössler 2018, S. 14; Probst 2015, S. 1). In einem ersten Schritt ist die Analyse der **Grunddisposition** notwendig. Darunter werden all jene Hochwasserfaktoren verstanden, welche über längere Zeit gleich bleiben, beispielsweise Relief, Geologie, Boden und Klima. Die Grunddisposition beschreibt, wie ein Einzugsgebiet auf Starkniederschläge reagiert, welcher Anteil des Niederschlags zum Abfluss gelangt und wie die Hochwasserwelle abfließt. Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser in einem Einzugsgebiet muss bekannt sein, wie häufig mit einer variablen Disposition und mit potentiell auslösenden Ereignissen zu rechnen ist. Unter **variabler Disposition** versteht man die zeitlich variablen, von Tages- und Jahreszeit abhängigen Faktoren, beispielsweise

die vorherrschende Wetterlage, die Bodensättigung, die Schneeschmelze sowie die Höhe der Nullgradgrenze (WEINGARTNER 2018, S. 16). Ein **auslösendes Ereignis** setzt bei gegebener Disposition den gefährlichen Prozess in Gang, beispielsweise intensive Gewitter, starke Schneeschmelzen.

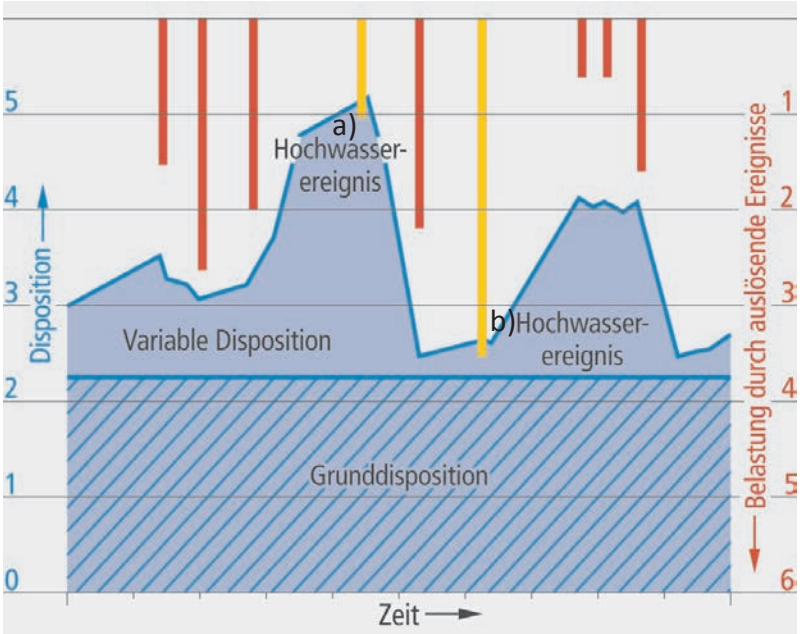


Abb. 4 | Dispositionsmodell zur Erkennung und Beurteilung der Hochwassergefahr in Einzugsgebieten: Im Diagramm lösen zwei Starkniederschläge (gelb) ein Hochwasser aus. Beim Ereignis a) trägt eine stark erhöhte variable Disposition (z. B. langanhaltender Niederschlag und Schneeschmelze im Frühling) und ein verhältnismäßig kleines auslösendes Ereignis (z. B. Gewitter) zur Auslösung eines Hochwassers bei. Beim Ereignis b) ist die Situation umgekehrt. (PROBST 2015)

Mit **Hochwasser** wird der Zustand in einem Fließgewässer oder See dann bezeichnet, wenn der Abfluss oder der Wasserstand einen bestimmten Schwellenwert erreicht ober überschreitet. Tritt das Wasser über die Ufer und bedeckt vorübergehend eine Landfläche, bezeichnet man dies als **Überschwemmung** oder **Überflutung** (KIENHOLZ ET AL. 1998).

Hochwasser entstehen aus dem komplexen Zusammenspiel zwischen Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis (WEINGARTNER ET AL. 2018,

S. 16). Die Tabelle 2 gibt einen Überblick zu entscheidenden Hochwasserfaktoren gegliedert nach diesen drei Dispositionen.

Ausgelöst werden Hochwasser meistens durch intensive oder lang anhaltende **Niederschläge**. Hohe Temperaturen können zusätzlich die **Nullgradgrenze** ansteigen lassen, was zum einen im Gebirge die Schneeschmelze begünstigt. Zum anderen führt eine hochliegende Nullgradgrenze dazu, dass Niederschläge vermehrt in Form von schnell abfließendem Regen anstatt von Schnee auftreten. Ob Niederschläge sowie Schneeschmelze jedoch ein Hochwasser auslösen und schließlich zu Überschwemmungen führen, hängt vom Zusammenspiel weiterer Faktoren ab: Boden, geologischer Untergrund, Vegetation, Mensch, Größe und Form des Einzugsgebiets und Topographie.

Bei der Abflussbildung sind der Boden und der geologische Untergrund eine Schlüsselgröße (WEINGARTNER, SPREAFICO 2005, S. 64; WEINGARTNER ET AL. 2018, S. 14). In wassergesättigtem, gefrorenem oder anfänglich ausgetrocknetem **Boden** kann Niederschlagswasser kaum oder gar nicht versickern und fließt als Oberflächenabfluss schnell ab. Flachgründige und schlecht durchlässige Böden sind schnell mit Wasser gesättigt (SPREAFICO ET AL. 2003, S. 16–24; Bezzola, Hegg 2008, S. 45). Ist der Boden aber gut durchlässig, tiefgründig und liegt über einem durchlässigen **geologischen Untergrund** (Lockergestein oder Fels mit vielen Klüften und Spalten), kann das Regenwasser mehrheitlich per Tiefensickerung eindringen und zwischengespeichert werden (WEINGARTNER, RÖSSLER 2018, S. 14). Dieses Wasser kommt erst mit entsprechender Verzögerung über Quellen oder das Grundwasser wieder in die Fließgewässer und Seen.

Die **Vegetation**, insbesondere der Wald, vergrößert die Wasserspeicherkapazität des Bodens, indem die Bäume die Bodenbildung fördern und mit ihren Wurzeln Versickerungskanäle schaffen (SPREAFICO ET AL. 2003, S. 18). Das Wasser kann zudem gut in den Waldboden eindringen wegen dem lockeren Auflagehorizont aus Pflanzenmaterial und Humus. Zudem erreicht ein Teil des Niederschlags den Boden nicht, weil er an der Vegetation hängen bleibt (Interzeption) und von dort mehrheitlich an die Atmosphäre verdunstet. Bei lang anhaltenden oder sehr intensiven Niederschlägen kann aber auch der Wald ein Hochwasser nicht verhindern, da auch ein Waldboden einmal gesättigt ist und der Oberflächenabfluss einsetzt (SCHWITTER, BUCHER 2009, S. 31–34). Wald kann bei Hochwasser auch zum Problem werden, wenn entlang von Bächen und Flüssen Bäume mitgerissen werden, in einer Verengung oder bei einer Brücke hängen bleiben und so zu einer Verklausung führen. In der Folge stauen sich Geschiebe und Wasser, das Fließgewässer bricht aus seinem Gerinne aus und verursacht eine Überschwemmung und Übersarung (BEZZOLA, HEGG 2008, S. 142, 180).

Tab. 2 | Hochwasserfaktoren gegliedert nach Grunddisposition, variable Disposition und auslösendem Ereignis[1] (eigene Darstellung)

	Validierte Hypothesen
Grund-disposition	**Topographie** • steiles und enges Gerinne • keine Überflutungsflächen, Auen, Seen • Form des Einzugsgebietes: stärkere Konzentration des Abflusses in rundem als in länglichem Einzugsgebiet **Geologie** • Gesteinsart und dessen Verwitterungsgrad: in Lockermaterial und verwittertem Fels mit Klüften kann Wasser besser versickern und zwischengespeichert werden als in festem Fels. **Boden** • Bodenart: Wasser versickert in kaum durchlässigen Böden (z. B. lehmige Böden) schlecht, was zu Oberflächenabfluss führt. In gut durchlässigen, lockeren Waldböden versickert Wasser besser. • Bodenmächtigkeit: flachgründige Böden haben ein geringeres Speichervermögen als tiefgründige Böden und sind daher schneller gesättigt (⇨ beeinflusst Zwischenspeicherung von Wasser und Oberflächenabfluss) **Vegetation** • tiefgründige Durchwurzelung erhöht den Porenraum und verbessert so die Versickerung von Regenwasser • Durchwurzelung von Boden und Lockermaterial vermindert Geschiebeanteil im Bach und Rutschung in Gerinne • Interzeption ist nur bei einzelnem und kurzem Niederschlagsereignis relevant • Transpiration ist bei Starkniederschlag kaum relevant, danach führt sie Wasser aus dem Bodenspeicher ab und macht ihn so für das nächste Ereignis wieder aufnahmefähiger. **Mensch** • Bodenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen vermindern Versickerung und erhöhen Oberflächenabfluss • Flussbegradigung im Unterlauf erhöht die Fließgeschwindigkeit, Hochwasserspitze und Erosion

[1] Im Rahmen der Dissertation wurden die folgenden sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren definiert: Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch (vgl. Abb. 48).

Variable Disposition	**Witterung** • langanhaltender Niederschlag • hohe Nullgradgrenze führt zu Niederschlägen über großem Gebiet in Form von Regen anstatt Schnee • Schneeschmelze nach schneereichem Winter **Boden** • Wassersättigung der Böden • Boden nimmt wie ein Schwamm Wasser auf, außer bei gefrorenen oder sehr trockenen Böden
Auslösendes Ereignis	• intensives Niederschlagsereignis • starke Schneeschmelze • Verklausung des Bach- oder Flusslaufes durch mitgerissenes Holz und Geröll an Verengungen oder Brücken • Stauung des Bach- oder Flusslaufes durch Erdrutsch oder Steinschlag von seitlichen Hängen

Auch der **Mensch** beeinflusst die Entstehung von Hochwasser in einem Einzugsgebiet. Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen oft weniger Poren auf als Waldböden, da die Wurzeltiefe und -dichte geringer ist und der Boden durch die Beweidung und das Befahren mit Maschinen über Generationen verdichtet wurde. Daher kommt es auf Wiesen-, Weiden- und Ackerböden meistens schneller zu Oberflächenabfluss als auf Waldböden (NAEF ET AL. 1999). Durch den Bau von Straßen, Plätzen und Gebäuden findet eine zunehmende Bodenversiegelung statt. Auf verbauten Flächen kann das Regenwasser nur oberflächlich abfließen, da es nicht in den Boden versickern kann und auch kaum von Pflanzen abgefangen, aufgenommen und verdunstet wird (BRÖNNIMANN ET AL. 2018b, S. 45). Wegen dem erhöhten Oberflächenabfluss fließt in Siedlungsgebieten mehr Regenwasser direkt via Kanalisation in die Flüsse ab und lässt diese schnell ansteigen. Bei Flussbegradigungen wird der Verlauf durch das Entfernen von Flussschlingen kürzer und gerader gemacht. Dadurch kann Land trockengelegt und gewonnen werden oder der Fluss wird für die Schifffahrt nutzbar gemacht. Die Begradigung kann jedoch die Hochwassergefahr erhöhen: Kürzere Fließwege führen zu höheren Fließgeschwindigkeiten, was die Seiten- und Tiefenerosion verstärkt. Zudem erhöhen baulich verengte Bachläufe und die intensivere Nutzung entlang von Gewässern das Schadenspotential bei einem Hochwasserereignis. Die **Größe und Form des Einzugsgebiets** beeinflusst die Art und den Verlauf des Hochwassers, Während Hochwasser großer Flüsse meistens durch großflächige, langanhaltende Niederschläge sowie Schneeschmelze ausgelöst werden, sprechen Bäche aus kleineren und mittleren Einzugsgebieten stärker auf kurze und intensive Gewitter an (SPREAFICO, WEINGARTNER 2005, S. 64). Auch die Form des Einzugsgebiets beeinflusst die Art und

den Verlauf des Hochwassers. Bei Starkniederschlag fließt in einem eher kreisförmigen Einzugsgebiet das Wasser aufgrund gleich langer Sammelwege gleichzeitig zusammen und führt so zu großen Hochwasserspitzen. In einem länglichen Einzugsgebiet ist der Abfluss zeitlich besser verteilt und erreicht erst allmählich seinen Höchststand (TIEDEMANN 1988). Die **Topographie** des Einzugsgebiets spielt ebenfalls eine wichtige Rolle: Bei starker Hangneigung sowie steilem und engem Bachgerinne nimmt die Hochwassergefahr zu. In einem solchen Gelände fehlen meistens auch Seen, Auen oder Überflutungsflächen, welche das Wasser zwischenzeitlich speichern und somit die Abflussspitzen brechen könnten (SPREAFICO, WEINGARTNER 2005, S. 67, NAEF ET AL. 1999).

Ausgehend vom fachwissenschaftlichen Kontext der Hydrologie lassen sich **verschiedene Folgerungen für die vorliegende Dissertation** ziehen. So wird deutlich, dass sich in der Hydrologie komplexe Herausforderungen im Umgang mit Gewässern und der Ressource Wasser stellen mit vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Gesellschaft, Wirtschaft und Naturraum, beispielsweise bei der Entstehung von Hochwasser oder dem Umgang mit Hochwasser. Ein zukunftsorientierter Umgang mit solch komplexen Herausforderungen verlangt von der Bevölkerung ein korrektes, anschlussfähiges und transferierbares hydrologisches Grundwissen und ein Bewusstsein für die Ressource Wasser bezogen auf eine soziale, wirtschaftliche und ökologische Entwicklung. Bei Jugendlichen und Erwachsenen zeigen Studien jedoch ein nur lückenhaft vorhandenes Wissen über hydrologische Zusammenhänge auf. Damit ist ein Unterrichtsmodell gefordert, das die Vermittlung komplexer Inhalte der Natur- und Sozialwissenschaften so unterstützt, dass diese übergreifend verstanden werden und auf andere Situationen anwendbar sind (Transfer).

3 Lernpsychologische und fachdidaktische Grundlagen zu Lernen und Transfer

In diesem Kapitel werden aktuelle fachdidaktische und lernpsychologische Forschungserkenntnisse vorgestellt, welche sich schwerpunktmäßig auf eigenständiges Denken, Wissenskonstruktion und Transferleistung in Lernprozessen beziehen. Aus dieser Sichtung sollen wissenschaftsbasierte Hinweise zur Förderung der Transferleistung im Unterricht gewonnen werden, um darauf aufbauend ein flexibel einsetzbares Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung bei Lernenden zu entwickeln (Kapitel 5).

3.1 Lernpsychologischer Konstruktivismus

Der **lernpsychologische Konstruktivismus** geht von der Position aus, dass menschliches Erleben und Lernen Konstruktionsprozessen unterworfen ist, mit dem Zweck der Welt und sich selbst über Bedeutungskonstruktionen einen Sinn zu geben (SEEL 2016, S. 24). Konstruktivistische Ansätze gehen daher von der These aus, dass Lernende im Lernprozess eine individuelle Repräsentation der Welt schaffen, wobei *Wissen* als eine individuelle Konstruktion und *Lernen* als ein aktiver, selbstgesteuerter, konstruktiver, emotionaler und sozialer Prozess innerhalb eines bestimmten Handlungskontextes betrachtet wird (REINMANN, MANDL 2006, S. 629). Nach dem lernpsychologischen Konstruktivismus ist bedeutungserzeugendes Lernen (eigene Zusammenstellung nach REINFRIED 2007, S. 19; Reinfried 2015, S. 56; RIEMEIER 2007, S. 70; SEEL 2016, S. 24):

- eine **aktive** Konstruktion von Wissen und mentalen Modellen, die nur über die aktive Beteiligung der Lernenden möglich ist.
- ein **konstruktiver** Prozess, der ausgehend vom Vorwissen durch schlussfolgerndes Denken zu neuem Wissen führt.
- eine **zielgerichtete** Bewältigung von Anforderungen, welche deklaratives und prozedurales Wissen verlangt.
- ein **kumulativer** Prozess, der anschlussfähige Wissensstrukturen und Fertigkeiten schafft, damit diese in neuen Situationen angewendet und weiterentwickelt werden (Transfer).
- **individuell**, da Lernprozesse an Individuen gebunden sind mit unterschiedlichen motivationalen, emotionalen, sozialen, gesellschaftlichen und kulturellen Einflüssen.
- **sozial**, da Wissen und mentale Modelle auch in der Klasse diskutiert, externalisiert, kontextualisiert, differenziert, korrigiert, modifiziert, angereichert, gefestigt, und bedeutungshaltig gemacht werden (soziale Interaktionen).
- **situiert**, da aktives Lernen in kontextgebunden Situationen stattfindet, d. h. das Wissen ist mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden

3.1.1 Kognitives Lernen – Lernen durch Einsicht

Die Lernpsychologie verwendet den Begriff **kognitives Lernen**, wenn das Lernen bei der Informationsverarbeitung durch folgende Aspekte charakterisiert ist (nach Seel 2016, S. 22f):

- Konstruktion von Wissen durch das Verarbeiten von Informationen
- Vorwissen bezogene Wissenskonstruktion und -verarbeitung
- Produzieren von neuem Wissen aufgrund schlussfolgernden Denkens
- Herausbildung spezifischer Fähigkeiten und Fertigkeiten
- Anwendung und Übertragung (Transfer) von Wissen und Fertigkeiten auf neuartige Situationen

Kognitives Lernen wird also verbunden mit der bewussten Informationsauswertung in höheren Anforderungsbereichen, der Veränderung von Denkgewohnheiten und sozialem Verhalten sowie der Problemlösungsfähigkeit. Ausgehend von diesem Verständnis wird kognitives Lernen in der Lernpsychologie auch als Merkmal intelligenten Verhaltens angesehen (SEEL 2016, S. 22). „**Intelligentes Verhalten**“ wird im Allgemeinen mit der menschlichen Fähigkeit verknüpft, sich an dynamische Veränderungen der jeweiligen Umgebung mit ihren spezifischen sozio-kulturellen Bedingungen anzupassen und sie zugleich im eigenen Sinne beeinflussen zu können. In einem engeren Sinn wird Intelligenz mit der Fähigkeit verbunden, neuartige Aufgaben erfolgreich zu bearbeiten“ (SEEL 2016 S. 22). Dieses Verständnis von kognitivem Lernen als intelligentes Verhalten ist für die Entwicklung des Unterrichtsmodells in der vorliegenden Dissertation bedeutsam, da es einerseits Verbindung mit Transferleistungen herstellt und andererseits Bezüge zu den grundlegenden Leitzielen des Geographieunterrichts schafft: „Leitziele des Geographieunterrichts sind die Einsicht in die Zusammenhänge zwischen natürlichen Gegebenheiten und gesellschaftlichen Aktivitäten in verschiedenen Räumen der Erde und eine darauf aufbauende raumbezogene Handlungskompetenz“ (DGFG 2017, S. 5). Aufschlussreiche Bezüge zwischen Informationsverarbeitungsprozessen und intelligentem Verhalten zeigt STERNENBERG (1985) mit der Unterscheidung von **drei Komponenten intelligenten Verhaltens** (HÜBNER 2000 S. 45):

- Die *Wissenserwerbskomponenten* dienen dem Erlernen von deklarativem Wissen (Begriffswissen) und prozeduralem Wissen (Verfahrenswissen). Hierzu werden relevante Informationen aus der Umgebung extrahiert, sinnvoll miteinander verbunden und mit dem Vorwissen verglichen, um neue Informationen in das bestehende Wissen zu integrieren.
- Die *Performanzkomponenten* umfassen die basalen kognitiven Prozesse, die zur Bearbeitung von Aufgaben notwendig sind. Hierzu zählen das Abrufen des passenden Vorwissens, die Erkennung relevanter Faktoren und Wechselbeziehungen, die Anwendung und der Transfer des Gelernten, der Vergleich

und die Bewertung von Lösungsmöglichkeiten, d. h. spezifische Denkfähigkeiten wie beispielsweise deduktives und induktives Schlussfolgern, produktives und kritisches Denken.

- Die *Metakomponenten* dienen beim Aufgabenlösen dem Erkennen des Problems sowie der bewussten, planvollen, aufmerksamen, selbstkritischen, partizipativen und strategischen Vorgehensweise bei den Denk- und Lernprozessen. Ihnen wird ein Einfluss auf den Transfer von Fertigkeiten zugeschrieben.

3.1.2 Konstruktivistische Auffassung von Lernen

Der **kognitive Konstruktivismus** geht davon aus, dass Lernen den Zweck hat, Bedeutungen zu konstruieren, um der Welt und sich selbst einen Sinn zu geben (REINFRIED 2015a, S. 56). Dabei bilden Personen ihre mentalen Modelle (vgl. S. 14), welche ihr subjektives Wissen aus Erfahrungen und Denkprozessen repräsentieren. Diese mentalen Modelle sind keine Abbilder der Realität, sondern vereinfachte, idealisierte, schematisierte und subjektiv plausible Abstraktionen (WILD, MÖLLER 2015, S. 125). Was jemand unter bestimmten Bedingungen lernt, hängt somit stark vom Lernenden selbst und seinen Erfahrungen ab.

Der **Sozio-Konstruktivismus** erweitert den kognitiven Konstruktivismus mit motivationalen, emotionalen, sozialen, gesellschaftlichen und kulturellen Faktoren (z. B. Interesse, Werte, Normen), welche die Wissenskonstruktion und das individuelle Lernen in sozial bestimmten Handlungsfeldern beeinflussen (PINTRICH ET AL. 1993). Neben den mentalen Modellen führen auch diese Faktoren dazu, dass die Lernprozesse im Unterricht individuell unterschiedliche verlaufen, d. h. an die Individuen gebunden sind.

Nach dem Sozio-Konstruktivismus findet im Unterricht Lernen aber auch über soziale Interaktionen statt, indem Ideen, Gedanken, Vorstellungen, Meinungen o.ä. in der Klasse diskutiert, ausgetauscht, externalisiert, kontextualisiert, differenziert, korrigiert, modifiziert, angereichert und gefestigt werden. So führen Diskussionen zu problemorientierten Fragestellungen im Klassenverband letztendlich immer auch zu Aushandlungsprozessen von subjektiven Deutungen der Lernenden, welche wiederum ihre individuellen mentalen Modelle beeinflussen, bereichern, festigen und schließlich bedeutungshaltig machen. In diesem Sinn können sich kognitive und sozio-konstruktivistische Prozesse beim Lernen in einem konstruktivistisch geprägten Unterricht gegenseitig beeinflussen und bereichern.

Aktives Lernen findet in kontextgebundenen, authentischen Situationen statt, d. h. das Wissen ist mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden und damit situiert (LAVE 1988). Aus dieser Sichtweise heraus verspricht

man sich von Lernsituationen, welche ähnlich den Anwendungssituationen gestaltet sind, dass die Lernenden das erworbene Wissen später in ihrer Lebenswelt besser anwenden können. Situiertes Lernen entspricht im Wesentlichen dem pädagogischen Prinzip der Lebensnähe: Wissen und Fertigkeiten sollen in Zusammenhängen vermittelt werden, welche eine größtmögliche Ähnlichkeit mit Gegebenheiten des realen Lebens aufweisen (Collins et al. 1989).

Der kognitive Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus zum Lernen wurden in vielen pädagogisch-didaktischen Konzepten mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufgenommen und so für den Unterricht zugänglich gemacht, beispielsweise die Konzepte zum situierten Lernen, problembasierten Lernen, erfahrungsbasierten Lernen, forschend-entdeckenden Lernen oder handlungszentrierten Lernen. Reusser (2008, S. 7) fasst die Konsequenzen aus dem kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus zum Lernen für Schulunterricht und Lernmedien wie folgt übergreifend zusammen: „Je aktiver und selbstmotivierter, je problemlösender und dialogischer, aber auch je bewusster und reflexiver Wissen erworben, (ko-)konstruiert wird, desto besser wird es verstanden und behalten (Transparenz, Stabilität), desto beweglicher kann es beim Denken und Handeln genutzt werden (Transfer, Mobilität) und als desto bedeutsamer werden die mit dessen Erwerb verbundenen Lernerträge erfahren (Motivationsgewinn, Zugewinn an Lernstrategien, Selbstwirksamkeit).“ Die Einordnung von Reusser (2008) zeigt deutlich, dass die Grundsätze des kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus des Lernens bei einem Unterrichtsmodell zur Transferförderung zu berücksichtigen sind.

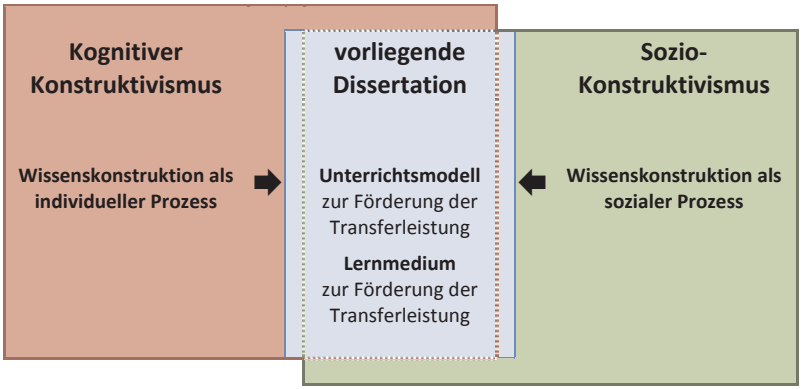


Abb. 5 | Positionierung der vorliegenden Dissertation zur Transferförderung im Überschneidungsbereich des kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus (eigene Zusammenstellung nach Reinfried 2007, S. 19, 2015, S. 56, Riemeier 2007, S. 70, Seel 2016, S. 24)

3.1.3 Verschiedene Typen von Wissen

Lernen steht auch in unauflösbarer und enger Beziehung zum Denken und zum Wissen. So wird **Wissen** nach lernpsychologischem Verständnis durch Wahrnehmungen, Vorstellungen, Denken, Urteilen und Sprache über kognitive und affektive Vorgänge im Gehirn erworben und erfahrungsbegründet für wahr gehalten (SEEL 2016, S. 23). Häufig findet jedoch kein völliges Neulernen, sondern ein Umlernen vorhandener Strukturen statt (REINFRIED 2015a, S. 56). Beim kognitiven Lernen bauen sich die beiden Grundformen des Wissens, das deklarative Wissen und das prozedurale Wissen auf. Unter **deklarativem Wissen** wird das Sach- und Faktenwissen (Wissen was) verstanden, es umfasst bewusste und sprachlich erklärbare, thematische Strukturen. Das **prozedurale Wissen** meint Handlungswissen (Wissen wie), welches häufig implizit ist („wissen, wie etwas geht, ohne es erklären zu können") und den Menschen befähigt mit dem deklarativen Wissen umzugehen und komplexe kognitive Prozesse durchzuführen wie beispielsweise Verfahrensstrukturen für das Problemlösen und Handeln. **Kognitive Prozesse** bauen Wissensstrukturen bestehend aus deklarativem und prozeduralem Wissen auf und führen zu Kenntnissen über die eigene Umwelt (REINFRIED 2015a, S. 56).

Aus dem lernpsychologischen Konstruktivismus ergeben sich verschieden **Folgerungen für die vorliegende Dissertation**. Das lernpsychologische Verständnis von „kognitivem Lernen" und „intelligentem Verhalten" gibt einerseits Hinweise zu Transferleistungen in Lernprozessen, d. h. zu kognitiven Prozessen beim Bearbeiten von Aufgaben wie dem Abrufen von Vorwissen, dem schlussfolgernden Denken oder dem bewussten Vorgehen bei Denk- und Lernprozessen. Andererseits weisen beide Begriffe auch Bezüge zu den Leitzielen des Geographieunterrichts (DGFG 2017, S. 5, 9) auf, indem sie den bewussten Umgang mit Veränderungen in der jeweiligen Umgebung oder die Anwendung von Wissen und Fertigkeiten auf neuartige Situationen umfassen. Aufgrund dieser Bezüge zu Transferleistungen und geographischen Leitzielen sollen die zentralen Aspekte kognitiven Lernens und die drei Komponenten intelligenten Verhaltens bei der Entwicklung des Unterrichtsmodells zur Transferförderung mitberücksichtigt werden.

Aus dem kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus des Lernens lassen sich ebenfalls wichtige Konsequenzen für die Entwicklung eines Unterrichtsmodells und eines Lernmediums zur Förderung der Transferleistung ableiten (vgl. Abb. 5). Denn sollen hydrologische Sachverhalte von den Lernenden später in anderen Situationen angewendet und weiterentwickelt werden (Transfer), so müssen die Lernenden die Inhalte verstehen, beständig behalten, kontextualisieren sowie in neuen Situationen mit dem Gelernten beweglich denken und handeln können.

Nach der Entwicklung des Unterrichtsmodells wird dieses bezüglich zentraler Aspekte des „kognitiven Lernens“, des „intelligenten Verhaltens“, des „kognitiven Konstruktivismus“ und des „Sozio-Konstruktivismus“ analysiert, um es im lernpsychologischen Konstruktivismus differenziert einzuordnen (vgl. Kapitel 5.3.1).

3.2 Vorstellungen und *Conceptual Change*

Die kognitiven Theorien des Lernens schreiben dem Vorwissen eine zentrale Funktion für das Lernen zu (AUSUBEL 1968, EDELMANN 2000, RAPP und KURBY 2008). Viele Studien zeigen, dass die vorunterrichtlichen Vorstellungen oftmals mit den im Unterricht zu lernenden, wissenschaftlichen Inhalten nicht übereinstimmen (z. B. BEELING 2017; DUIT, TREAGUST 2003 und 2013; DRIELING 2005; REINFRIED 2006 und 2010; FELZMANN 2013; SCHUBERT 2013; SCHULER 2002, 2004 und 2005). Da dieses Vorwissen das Deutungs- und Interpretationsschema der Lernenden für die Unterrichtsinhalte darstellt, bleiben Lernfortschritte häufig teilweise oder gänzlich aus. Die vorunterrichtlichen Vorstellungen zeigen sich auch bei Unterrichtsinterventionen erstaunlich robust, da sie durch eigene Erfahrungen gebildet und daher subjektiv als plausibel erachtet werden. Die erwähnten Studien kommen übereinstimmend zum Schluss, dass Unterricht die Schülervorstellungen zwingend einbeziehen muss, damit eine Vorstellungsänderung überhaupt stattfinden kann.

Der **Begriff „Vorstellungen“** wird in der lernpsychologischen und didaktischen Literatur je nach Sichtweise mit verschiedenen Fachbegriffen bezeichnet, beispielsweise mit Präkonzepte, intuitive oder naive Konzepte, Fehlvorstellungen, Vorwissen, Vorkenntnisse, Alltagstheorien, Alltagskonzepte, Alltagsvorstellungen, subjektive Theorien, vorunterrichtliche Vorstellungen, Schülervorstellungen, mentale Modelle (REINFRIED 2015a, S. 64; Schuler 2011, S. 14; SEEL 2016, S. 253). Hinter den Begriffen stehen leicht unterschiedliche Gewichtungen. So bezieht sich der Begriff „Alltagsvorstellungen“ auf alle Menschen und „Schülervorstellungen“, „vorunterrichtliche Vorstellungen“ und „Präkonzepte“ auf die Lernenden vor dem Unterricht oder einer spezifischen Unterrichtseinheit (SCHUBERT 2012, S. 4). Viele der aufgeführten Begriffe lassen sich jedoch nicht scharf voneinander abgrenzen und werden daher häufig als Synonyme betrachtet (REINFRIED 2015a, S. 64; SCHUBERT 2012, S. 4). In der vorliegenden Dissertation werden vorwiegend die Begriffe „Vorstellungen“, „Vorwissen“, „Präkonzepte“ und „mentale Modelle“ verwendet.

Die **Entstehung von Vorstellungen** beruht auf vielfältigen Alltagserfahrungen (z. B. Sinneserfahrungen, Handlungen) und Informationen aus dem sozialen Umfeld (z. B. Medien, Gespräche in Familie oder im Freundeskreis) oder dem vorangegangenen Unterricht (REINFRIED 2015a, S. 64; DUIT 1992, S. 47). Die Kognitionspsychologie geht von der Annahme aus, dass intuitiv subjektive Erfahrungen, Vorstellungen, Gedanken und Gefühle sogenannte kognitive **Schemata** erzeugen (SEEL 2016,

S. 51 und 54). Schemata repräsentieren das aus vielfältigen Einzelerfahrungen mit Objekten, Personen, Situationen und Handlungen erworbene verallgemeinerbare und abstrakte Wissen einer Person (ANDERSON 1984 in SEEL 2016, S. 54 und 57). Beispielsweise können Alltagserfahrungen mit Gewittern das Schemata „Regen versickert im Boden" intuitiv erzeugen. Den unterschiedlichen Lernerfahrungen entsprechend können verschiedenartige Schemata unterschieden werden, beispielsweise Objektschemata und Handlungsschemata (SCHANK, ABELSON 1977 in SEEL 2016, S. 54). Diese Schemata spielen eine große Rolle beim Wissenserwerb, bei der Aufmerksamkeitssteuerung, bei der Interpretation neuer Informationen, beim schlussfolgernden Denken, beim Integrieren von neuen Informationen und der Organisation des Wissens (REINFRIED 2015a, S. 66; SEEL 2016 S. 52; SELZ 1913; MANDL ET AL. 1988 in SEEL 2016 S. 56). Schemata sind die Grundlage für die Konstruktion von **mentalen Modellen** (vgl. auch S. 12), welche in idealisierter, schematisierter und vereinfachter Form das „Modell" der Welt einer Person abbilden (REINFRIED 2015a, S. 66; SEEL 2016, S. 52). Ein mentales Modell ist ein subjektives, anschauliches, mentales (d. h. inneres) Vorstellungsbild von Ausschnitten der Realität mit funktionalem Charakter, das zur Bewältigung von Aufgaben und Problemen innere Simulation von äußeren Vorgängen erlaubt (REINFRIED 2006, S. 40). Beispielsweise wäre die modellhafte Vorstellung des Wasserkreislaufes ein mentales Modell, das Erklärungen zur Niederschlagsbildung ermöglicht. Personen konstruieren mentale Modelle, um spezifischen Anforderungen von Situationen und Aufgaben zu genügen, die an sie herangetragen werden. Dabei integrieren sie sprachliches, bildhaftes und handlungsbezogenes Wissen aus den kognitiven Schemata. Die so entwickelten mentalen Modelle repräsentieren dann das Wissen der Personen in subjektiv plausibler Form (SEEL 2016, S. 43 und 51).

Schemata und mentale Modelle spielen beim **Wissenserwerb** eine große Rolle. Im Unterschied zu Schemata operieren mentale Modelle unter der Kontrolle des Bewusstseins. So lange die zu verarbeitenden Informationen beim Wissenserwerb in den bestehenden Wissensstrukturen (Schemata) assimiliert werden können, besteht keine Notwendigkeit für die Konstruktion eines mentalen Modells (SEEL 2016, S. 58). **Assimilation** bedeutet das Einfügen von Wahrgenommenem in bereits vorhandene kognitive Strukturen (Schemata). Passen beim Lernen die neuen Informationen jedoch nicht zum mentalen Modell, löst diese beim Lernenden Unzufriedenheit mit seiner bisherigen Problemlösung oder Weltsicht aus, ein sogenannter kognitiver Konflikt oder kognitive Dissonanz (REINFRIED 2015a, S. 66). Als Reaktion können Lernende durch **Akkommodation** ihr mentales Modell so verändern, dass es der Realität (wieder) entspricht und zukünftig einer verbesserten und differenzierteren Problemlösung dient (MONTADA 2003, S. 436). Akkommodation ist die Anpassung eines mentalen Modells an eine wahrgenommene Situation, die mit dem vorhandenen mentalen Modell nicht bewältigt werden kann (SEEL 2016, S. 58).

Beim Wissenserwerb interagieren kognitive Schemata und mentale Modelle ständig miteinander. Mentale Modelle werden konstruiert, indem im Gedächtnis das jeweils benötigte Wissen aktiviert wird, das in Form von kognitiven Schemata gespeichert ist. Umgekehrt werden an einem mentalen Modell ständig neue Informationen und Zusammenhänge erschlossen, die dann den kognitiven Schemata wieder hinzugefügt werden (nach SCHNOTZ 1996, 24ff). Aufgrund dieser individuellen Vorgänge beim Wissenserwerb sind bei allen Menschen die Schemata und mentalen Modelle zum gleichen Sachverhalt unterschiedlich (REINFRIED 2015a, S. 64f). Diesen Aspekt gilt es bei der Entwicklung des Unterrichtsmodells zur Transferförderung zu berücksichtigen, da die Transferleistung möglichst aller Lernenden gefördert werden soll.

Lernen kann als die **Veränderung von Vorstellungen** verstanden werden, was zur Konzeptentwicklung (hier Schemata und mentale Modelle) bei den Lernenden beiträgt und allgemein als ***Conceptual Change*** bezeichnet wird. Diese Vorstellungsänderungen können im Lernprozess wie oben beschrieben in kleinen Schritten und kontinuierlich über Assimilation erfolgen oder eher grundlegend und diskontinuierlich über Akkommodation. Bei beiden Vorgängen wird das Vorwissen jedoch nicht aus dem Gedächtnis gelöscht, da es das subjektive Weltwissen eines Menschen repräsentiert, welches in einer bestimmten Lebenssituation und in einem spezifischen sozialen Umfeld konstruiert wurde. Das Vorwissen ist damit Teil der Biographie mit einem eigenen Wert und einer emotionalen Tiefe, das sich nicht einfach so widerlegen und verändern lässt (REINFRIED 2015a, S. 67f). DI SESSA (2002, 2008) spricht im Zusammenhang von *Conceptual Change* von „*P-prims*“, die sich durch Hinzufügen und Systematisieren von neuen Wissenselementen verändern. Sein Verständnis von „*P-prims*“ ist vergleichbar mit dem von kognitiven Schemata (REINFRIED 2015b, S. 110). In der vorliegenden Dissertation wird davon ausgegangen, dass Denken und Verstehen auf der Grundlage von kognitiven Schemata und mit Hilfe von mentalen Modellen erfolgen (vgl. oben) und demnach ein *Conceptual Change* durch die Veränderung der kognitiven Schemata und der mentalen Modelle eintritt.

Damit ein *Conceptual Change* überhaupt erfolgt, sind laut POSNER ET AL. (1982) vier Bedingungen notwendig: 1) Unzufriedenheit mit einer vorhandenen Vorstellung (kognitiver Konflikt), 2) Verständlichkeit der neuen Vorstellung, d. h. sie muss Sinn machen, 3) Glaubwürdigkeit der neuen Vorstellung, d. h. sie muss einleuchten, 4) Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung, d. h. sie muss neue Einsichten oder die Herleitung weiterer Hypothesen ermöglichen. Kognitive Konflikte (1. Bedingung) müssen aber nicht unbedingt zu *Conceptual Change* führen. Aus diesem Grund werden ausgehend von Studienbefunden verschiedene kognitive und affektive Faktoren für die **Förderung eines *Conceptual Change* im Unterricht** vorgeschlagen (eigene Zusammenstellung nach DUIT, TREAGUST 2003; PINTRICH ET AL. 1993; REINFRIED 2007,

S. 22; REINFRIED 2015a, S. 69; SCHUBERT 2013, S. 10; KRÜGER 2007 S. 89; SCHNOTZ 2006, S. 81):

- Die Lernenden werden für das Thema motiviert.
- Präkonzepte werden den Lernenden bewusst gemacht sowie deren Erfahrungsgrundlagen reflektiert.
- Die Diskrepanz zwischen wissenschaftlichen und subjektiven Theorien wird offengelegt, um falsche Annahmen zu revidieren und die metakognitiven Fähigkeiten zu fördern.
- Die Lernenden denken über ihre Vorstellungsänderungen nach, indem sie ihr Vorwissen mit ihrem neuen Wissen vergleichen.
- Die Auseinandersetzung mit gesichertem Wissen, seiner Entstehung und der fachspezifischen Terminologie wird in dem zu behandelnden Kontext vertieft.
- Anforderungen an die Lernenden sollen unterschiedlich, in variablen Kontexten eingebunden, authentisch und für die Lernenden persönlich bedeutsam sein.
- Das neue Konzept wird praktisch angewendet und erprobt in einem sinnvollen, nützlichen und motivierenden Kontext mit geringfügig höherer Komplexität, um das Wissenssystem schrittweise weiter zu entwickeln.
- Eine ermutigende Lernkultur soll vorherrschen, Kompetenzen sollen kooperativ erworben werden und die Lernenden sollen den eigenen Wissenserwerb als kontrollierbar erkennen.

Aus den Befunden der Vorstellungs- und *Conceptual Change*-Forschung ergeben sich verschiedene **Folgerungen für die vorliegende Dissertation.** Einerseits weisen die Forschungsergebnisse darauf hin, dass sich beim Wissenserwerb zum gleichen Sachverhalt aufgrund individueller Lernprozesse unterschiedliche kognitive Schemata und mentale Modelle bei den Lernenden bilden. Andererseits wird deutlich, dass Schülervorstellungen und deren Veränderung im Unterricht explizit berücksichtigt werden müssen, um überhaupt wirksames Lernen hin zu anschlussfähigem und transferierbarem Wissen zu ermöglichen. Diese Erkenntnisse der Vorstellungs- und der *Conceptual Change*-Forschung gilt es bei der Entwicklung des Unterrichtsmodells und des hydrologischen Lernmediums zur Transferförderung zu beachten, da die Anwendung von erworbenem hydrologischem Wissen nur mit subjektiv plausiblem, fachlich korrektem und damit anschlussfähigem Wissen möglich ist.

Nach der Entwicklung des Unterrichtsmodells wird dieses bezüglich zentraler Erkenntnisse der Vorstellungs- und *Conceptual Change*-Forschung analysiert und eingeordnet, u.a. auch bezüglich der acht Faktoren zur Förderung des *Conceptual Change* im Unterricht (vgl. Kapitel 5.3.2).

3.3 Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Vorstellungen sind bei Schülerinnen und Schülern eng verknüpft mit persönlichen Sinneserfahrungen, Erklärungen von Eltern, Geschwistern und Freunden, vermittelten Bildern aus den Medien, alltagssprachlichen Begriffen und Kultur. Studien zu Schülervorstellungen über Grundwasser (REINFRIED 2006; RITTER, REINFRIED 2008), Überschwemmungen (REINFRIED, KIENZLER 2012) und Quellen (REINFRIED ET AL. 2013, REINFRIED 2015 und 2016) zeigen, dass die vorunterrichtlichen Vorstellungen zu hydrologischen Sachverhalten sehr unterschiedlich sind und oft stark von wissenschaftlichen Vorstellungen und den geplanten Unterrichtsinhalten abweichen.

Bei 43 Gymnasiastinnen und Gymnasiasten im Alter von 13 Jahren ergab eine Erhebung der **Vorstellungen zu Überschwemmungen** vor der erstmaligen Behandlung dieses Themas, dass dem Einfluss des Menschen auf Überschwemmungen wenig Bedeutung beigemessen wird, die Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Böden, Gesteinen und Abflussverhalten der Flüsse mehrheitlich nicht bekannt sind sowie Fließgewässer und stehende Oberflächengewässer im Zusammenhang mit Überschwemmungen nicht unterschieden werden (REINFRIED, KIENZLER 2012). Dementsprechend werden Gewässer oftmals als ein geschlossenes Gefäß betrachtet, in das es so lange hineinregnet, bis das Wasser überläuft, unabhängig davon, ob es sich dabei um einen See, Bach oder Fluss handelt. Offensichtlich nehmen Jugendliche ein Gewässer nicht unbedingt als dynamisches System wahr, das bestimmt wird durch sein Volumen, den Zufluss, den Abfluss, die Verdunstung, die Geologie, die Böden, die Vegetation und den Menschen in einem Einzugsgebiet, sondern vielmehr als geschlossene „Badewanne“, die mit Wasser gefüllt ist und überlaufen kann (REINFRIED, KIENZLER 2012).

Solch naive Vorstellungen können im Unterricht von Lehrpersonen vorschnell als Unsinn abgetan werden, verbunden mit der Erwartung, dass die Lernenden diese **Vorstellungen im Unterricht** durch wissenschaftliches Wissen ersetzen. Vorunterrichtliche Vorstellungen erweisen sich in Studien jedoch als zäh und widerständig, da sie meistens unbewusst entstehen und bestehen bleiben, denn sie sind in vielen alltäglichen Situationen hilfreich (z. B. REINFRIED ET AL. 2010, 2013). Aus solchen Gründen kann ein Unterricht, der Schülervorstellungen nicht berücksichtigt, diese kaum verändern (REINFRIED 2016, 135f; REINFRIED 2007, S. 23; DRIELING 2005, S. 208f). Die Schülervorstellungen bleiben sogar häufig neben wissenschaftlichen Konzepten bestehen, ohne dass dies vom Individuum als Widerspruch empfunden wird (REINFRIED 2006, S. 40). Die erwähnten Studien deuten zudem darauf hin, dass das theoretisch vorhandene Wissen zwar abstrakt verstanden ist, jedoch nicht auf neue Situationen übertragen wird. Solche Formen von Wissen werden in der Kognitions- und der Lernpsychologie als träges Wissen bezeichnet (RENKL 1996) (vgl. hierzu Kapitel 3.4.2).

Das **Modell der didaktischen Rekonstruktion** (MDR) ist ein methodisch-didaktischer Rahmen, der eine systematisch aufeinander bezogene Klärung von Schülervorstellungen und fachlichen Inhalten verlangt (KATTMANN ET AL. 1997). Das Ziel des MDR ist es, die wissenschaftlichen Vorstellungen lern- und lehrbar zu machen, um so das Vorwissen der Lernenden zu modifizieren und anzureichern sowie Perspektivenwechsel zu erzeugen. Das MDR ist breit erprobt und wird in verschiedenen Fächern für die Unterrichtsplanung, für die Lehrmittelentwicklung, für die fachdidaktische Forschung und für die Reflexion von Unterricht eingesetzt.

Das MDR beruht auf einem konstruktivistischen Lernverständnis und kann nachweislich vorunterrichtliche Vorstellungen verändern (REINFRIED ET AL. 2013). Im MDR werden vorunterrichtliche Vorstellungen nicht als Hindernisse für das fachliche Lernen, sondern als Lernvoraussetzungen und potenzielle Lernhilfen aufgefasst (BAALMANN ET AL. 2005). Die fachlichen Inhalte und die Schülervorstellungen werden im MDR gleichwertig behandelt, da für die jeweilige Person die persönliche Vorstellung dieselbe Kohärenz und Stimmigkeit besitzt, wie die wissenschaftlichen Konzepte innerhalb des jeweiligen Faches (KATTMANN 2005). Wissenschaftliche Kenntnisse sollen durch den Einbezug der Schülervorstellung jedoch nicht in ihrer Bedeutung eingeschränkt, sondern auf eine für das Lernen bedeutsame Basis gestellt werden. In diesem Sinn umfassen im MDR die drei Bereiche für die **Unterrichtsplanung** (vgl. Abb. 6) folgende Aspekte (nach REINFRIED 2015a, S. 80; LABUDDE 2013, S. 46ff):

- *Fachliche Klärung:* Der fachliche Inhalt wird aus didaktischer Perspektive auf seine elementaren Konzepte, Begriffe, Prozesse, Theorien und Methoden analysiert. Davon ausgehend wird eine inhaltliche Sachstruktur für den Unterricht entwickelt.
- *Erfassung der Lernendenperspektive:* Die Voraussetzungen der Lernenden zum jeweiligen Sachverhalt (z. B. Vorstellungen, Interessen, Einstellungen oder Lernvoraussetzungen) werden analysiert und dabei kognitive und affektive Aspekte sowie sich verändernde Perspektiven der Lernenden berücksichtigt. Lehrpersonen erfahren über die Jahre Schülervorstellungen im Unterricht, bei Prüfungskorrekturen und aus fachdidaktischer Literatur. Berufseinsteigende Lehrpersonen stehen nur die fachdidaktische Literatur zur Verfügung, welche jedoch viele Unterrichtsinhalte nicht abdeckt. Mit der Kenntnis der Schülervorstellungen eröffnet sich erfahrenen Lehrpersonen eine neue Sicht auf fachwissenschaftliche Inhalte.
- *Didaktische Strukturierung:* Bei der Konzeption von Unterricht und Lernmaterial wird die elementarisierte Sachstruktur aus der fachlichen Klärung unter Einbezug der Lernendenperspektiven didaktisch rekonstruiert. Dabei sollen fachliche, zwischen- und überfachliche Aspekte einbezogen werden, sowie die Einbettung der Sachverhalte in lebensweltliche, individuelle, gesellschaftliche, wissenschaftliche und ethische Zusammenhänge.

Die drei Bereiche stehen in gegenseitiger Beeinflussung zueinander, d. h. jeder Bereich hängt von den Erkenntnissen des anderen ab. Deshalb werden die drei Bereiche nicht schrittweise nacheinander analysiert, sondern in einem zyklischen Prozess bearbeitet. Die entscheidende Leistung des MDR besteht darin, systematisch Schülervorstellungen und fachlich geklärte Vorstellungen aufeinander zu beziehen und für die Konstruktion von Unterricht, Lernmaterialien und die fachdidaktische Forschung zu nutzen (KATTMANN ET AL. 1997; DUIT ET AL. 2005; VAN DIJK, KATTMANN 2007).

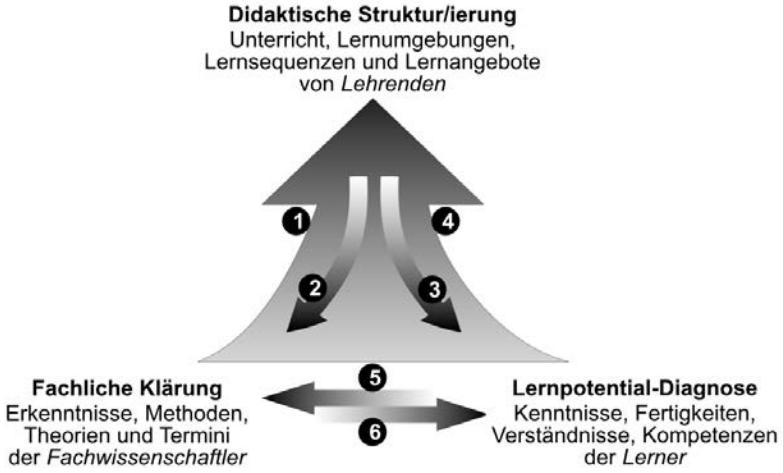


Abb. 6 | Modell der Didaktischen Rekonstruktion (GROPENGIEßER, KATTMANN, 2009)

Legende (nach GROPENGIEßER, KATTMANN 2009, S. 159ff):
❶ Bei der fachlichen Klärung wird die fachdidaktische Sicht einbezogen, d. h. es werden für die Vermittlung wichtige Inhalte und Modelle der Fachwissenschaft bezogen auf gesellschaftliche, individuelle und fachliche Zusammenhänge bestimmt, um so ihre Bedeutung aufzuzeigen.
❷ Bei der Planung und didaktischen Strukturierung von Unterricht kann sich zeigen, dass zusätzliche und allenfalls grundlegende fachliche Theorien, Modelle und Begriffe für eine verständliche Vermittlung einzubeziehen sind. Der Umfang der fachlichen Klärung bestimmt sich damit auch aus der Vermittlungsperspektive.
❸ Die Planung und didaktischen Strukturierung von Unterricht wird bezogen auf Lernpotentiale und Schülervorstellungen vorgenommen, wobei diese nicht als Hindernisse, sondern als Schlüssel (Ausgangs- und Bezugspunkt) für einen erfolgreichen Lernprozess angesehen werden.
❹ Bei der Erfassung der Lernpotentiale und Schülervorstellungen werden Lernbedingungen und -voraussetzungen bestimmt, die für die didaktische Strukturierung leitend sind.

❺ Die Schülervorstellungen werden auf die fachlichen Vorstellungen bezogen, wobei Übereinstimmungen und Unterschiede bestimmt werden und die Lernendenperspektive auch eine kritische Sicht zu fachlichen Darstellungen fördert.
❻ Die fachliche Klärung hilft auch die Schülervorstellungen besser zu verstehen sowie Übereinstimmungen und Unterschiede besser einzuordnen.

Das MDR kann auch zur **Reflexion von bereits durchgeführtem Unterricht** oder **erstellten Lehrmitteln** verwendet werden. Bei der fachlichen Klärung werden verwendete fachliche Konzepte, Prozesse und Begriffe, die inhaltliche Struktur und die fachliche Verständlichkeit beurteilt. Bei der Lernendenperspektive werden das explizit einbezogene Vorwissen, mögliche Hintergründe zum vorgefundenen Vorwissen sowie der fach- und schülerbezogene Umgang mit Schülervorstellungen diskutiert. Die Reflexion der didaktischen Strukturierung richtet sich schließlich auf die lernzielgerichtete, lernfördernde, situationsangepasste und fachlich korrekte Vernetzung von Vorwissen und fachlichen Ansprüchen.

Das MDR wird auch häufig für die **fachdidaktische Forschung**, insbesondere in den Naturwissenschaften eingesetzt. Forschungs- und Entwicklungsfragen zum MDR beziehen sich hauptsächlich auf drei Bereiche, erstens die Vorstellungen von Lernenden zum jeweiligen Sachverhalt und ihre Lernwege, zweitens die systematische Gegenüberstellung von Schülervorstellungen und wissenschaftlicher Vorstellung und drittens die Entwicklung von Unterrichtssequenzen nach dem MDR und deren Überprüfung bezüglich der Konsequenzen aufs Lernen. Zu solchen und ähnlichen Forschungsfragen wurden im Fach Geographie verschiedene Dissertation und Forschungsprojekte zu folgenden Themen durchgeführt: Landwirtschaft im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (Hamann 2004), Treibhauseffekt (Reinfried et al. 2008, 2010), Meteoriteneinschlag (Müller 2009), Klimawandel (Schuler 2011), Wüsten (Schubert 2012), Passatzirkulation (Basten 2013), Gletscher (Felzmann 2013), Grundwasser und Quellen (Reinfried et al. 2013), Plattentektonik (Conrad 2014), Boden (Drieling 2015), Illegale Migration (Hoogen 2015) und Demographischer Wandel (Belling 2017).

Exkurs: Herausforderungen mit der Lernendenperspektive
Als Dozent der Fachdidaktik Geographie und Betreuungsperson von Fachpraktika im Fach Geographie an Gymnasien erfahre ich immer wieder, dass für angehende Lehrpersonen bei der praktischen Umsetzung des MDR insbesondere die Schülervorstellungen prospektiv nur schwierig antizipierbar und erschließbar sind. Die Schülervorstellungen sind zu einigen Themen zwar erforscht (vgl. Forschung zum MDR und zu Präkonzepten oben), zu vielen geographischen Unterrichtsinhalten und Teilthemen fehlen solche Untersuchungen und damit Hinweise zu möglichen Schülervorstellungen. Aus dieser Situation heraus versuchen angehende Lehrpersonen von ihrem eigenen Vorwissen ausgehend hypothetische Rückschlüsse zum

erwartbaren Schülerwissen abzuleiten. Demgegenüber erfahren berufstätige Lehrpersonen vorherrschende Schülervorstellungen im Unterricht und bei Prüfungskorrekturen. Der Zugang zum Schülervorwissen, dessen Einbezug bei der Unterrichtsplanung und -durchführung stellen aber auch erfahrene Lehrpersonen immer wieder vor große Herausforderungen. Die Fragen einer seit rund 20 Jahren berufstätigen Lehrperson bei einer Weiterbildungsveranstaltung zu Präkonzepten und zum MDR zeigen dies eindrücklich: „Wie gelangt eine Lehrperson zu relevanten Schülervorstellungen von verschiedenen Unterrichtsthemen? Wie kann man als einzelne Lehrperson 20 verschiedenen Schülervorstellungen in einer Klasse innerhalb der begrenzten Unterrichtszeit gerecht werden? Welche Unterrichtsmethoden eignen sich für den Umgang mit Schülervorstellungen? Haben Schülerinnen und Schüler zu allen human- und physisch-geographischen Themen für den Unterricht Vorstellungen?“ Diese Fragen zu zeitlichen, ressourcenbezogenen, methodischen und inhaltlichen Aspekten geben konkrete Hinweise zu den Herausforderungen und Vorstellungen von Lehrpersonen bei der Umsetzung des MDR und beim Einbezug von Schülerwissen in ihrem Unterricht.

Das MDR eignet sich in der **vorliegenden Dissertation** als didaktisch-methodischer Rahmen für die Entwicklung eines Unterrichtsmodells zur Transferförderung und des Lernmediums zur Hydrologie, da es im kognitiv-konstruktivistischen Sinn Schüler- und Fachwissen aufeinander bezieht, vertieftes Lernen durch anvisierte Vorstellungsänderungen hin zu wissenschaftlichen Sichtweisen explizit angeht und damit anschlussfähiges Wissen für fachlich korrekte Transferleistungen fördert.

Die Herausforderungen zur Lernendenperspektive bei der Unterrichtsvorbereitung und -durchführung (vgl. Exkurs, oben) sollen im Unterrichtsmodell zur Transferförderung mitberücksichtigt werden, damit eine Lehrperson unter den bestehenden schulischen Rahmenbedingungen bei möglichst allen Lernenden anschlussfähiges Wissen für Transferleistungen fördern kann.

In Kapitel 5.3.3 wird gezeigt, wie das entwickelte Unterrichtsmodell zur Transferförderung das MDR berücksichtigt und die Herausforderungen zur Lernendenperspektive aufnimmt.

3.4 Transfer – lernpsychologischer und geographiedidaktischer Forschungsstand

Vom modernen Geographieunterricht wird aus Forschungs- und Bildungskreisen immer wieder gefordert, dass die Kenntnisse so vermittelt werden, dass die Lernenden diese in anderen Situationen und Aufgaben anwenden und weiterentwi-

ckeln können (vgl. Kapitel 1 und 2). Diese Anforderungen setzen von den Lernenden **Transferleistungen** voraus, da sie erworbenes Wissen auf andere Situationen übertragen müssen.

In diesem Kapitel werden ausgehend vom Transferbegriff und von verschiedenen Transferarten (Kapitel 3.4.1) Erklärungen für ausbleibenden und erfolgreichen Transfer (Kapitel 3.4.2 und 3.4.3) sowie der Stand der geographiedidaktischen Forschung zu Transfer (Kapitel 3.4.4) analysiert und zusammengestellt. Ziel ist es, Konsequenzen aus der bisherigen Transferforschung für das zu entwickelnde Unterrichtsmodell und Lernmedium zur Transferförderung abzuleiten.

3.4.1 Begriff „Transfer“ und verschiedene Transferarten

In der Lernpsychologie bezeichnet Transfer die erfolgreiche Anwendung von angeeignetem Wissen oder erworbener Fertigkeiten im Rahmen einer neuen Anforderung, welche in der Situation der Wissens- oder Fertigkeitsaneignung noch nicht vorgekommen war (HASSELHORN, GOLD 2014, S. 142; MÄHLER, STERN 2018, S. 842). Im Geographieunterricht verlangen die Anforderungen an die Lernenden (DGFG 2017, S. 31) einen Transfer von Gelerntem, um Aufgaben zum Anforderungsbereich II „Anwendung“ und III „Weiterentwicklung“ zu bewältigen (vgl. Tab. 1). Ausgehend vom lernpsychologischen Begriffsverständnis und den geographischen Anforderungen im Unterricht (vgl. Kapitel 1 und Tab. 1) wird in der vorliegenden Dissertation unter **Transfer** (lat.-engl.; „Übertragung, Überführung“) die Fähigkeit verstanden, erworbenes Wissen oder erlernte Fertigkeiten in anderen Situationen und Aufgaben mit neuen Anforderungen anzuwenden.

Verschiedene Autoren weisen auf die grundsätzlich schwierige Unterscheidung von „Lernen“ und „Transfer“ hin (Voss 1987; HASKELL 2001). So stellt SCHMID (2006, S. 228) fest, dass beide Konstrukte auf Effekte und Ergebnisse, auf Fähigkeiten und Fertigkeiten, auf konsolidiertes Wissen oder flexibles Können zur Bewältigung bestimmter Aufgaben und Situationen hinweisen. Die vorliegende Dissertation geht von einer engen Verschränkung und gegenseitigen Abhängigkeit der beiden Konstrukte aus, da ohne Transfer Lernen ebenso wenig vorstellbar ist wie Transfer ohne Lernen. Fokussiert auf Lernprozesse im Unterricht, wird bei der vorliegenden Arbeit jedoch die Perspektive eingenommen, dass beim Lernen die Erwerbsphase stärker akzentuiert ist und beim Transfer eher die flexible und vielfältige Anwendung von Erfahrungen und erworbenem Wissen.

An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass der Begriff Transfer in der lernpsychologischen, pädagogischen und fachdidaktischen Literatur höchst unterschiedlich verwendet wird (SCHMID 2006, S. 203; KLAUER 2011; SEEL 2016, S. 311). Um die unterschiedlichen Qualitäten von Transfer zu bestimmen, hat es immer

wieder Versuche gegeben verschiedene **Arten von Transferleistungen** voneinander abzugrenzen. Im Folgenden werden die am häufigsten verwendeten Transferarten kurz ausgeführt. Von *positivem Transfer* spricht man, wenn Lernen oder Problemlösen durch vorangegangenes Lernen erleichtert wird. Wirkt sich das früher Gelernte jedoch hemmend auf die Lösung neuer Aufgaben aus, wird dies als *negativer Transfer* bezeichnet. Dies kann auftreten, wenn es beispielsweise zu einer Übergeneralisierung oder zu einer unpassenden Analogiebildung und damit zu Fehlschlüssen bei neuen Aufgaben kommt. Zum positiven Transfer gibt es eine Reihe weiterer Differenzierungen von Transferleistungen. Der *vertikale Transfer* (GAGNÉ 1965) meint, dass die erlernten Fertigkeiten und Kenntnisse auf einem höheren Anforderungsniveau im gleichen Fachbereich angewendet werden und weiterführendes Lernen unterstützen. Es geht also um die Steigerung der Kompetenz und um die Weiterentwicklung erworbener Kenntnisse und Fertigkeiten in komplexeren Zusammenhängen (SCHMID 2006, S. 206). Im Gegensatz dazu bezeichnet der *laterale bzw. horizontale Transfer* die Anwendung erworbener Kenntnisse und Fähigkeiten in verwandten und ähnlichen Situationen auf gleichem Komplexitätsniveau, wodurch eine Verallgemeinerung und Generalisierung des Gelernten erreicht wird (GAGNÉ 1965). Unter *literalem Transfer* versteht ROYER (1979) die Übertragung einer erworbenen Fertigkeit oder Kenntnis auf neue Lernaufgaben des gleichen Typs, beispielsweise die Übertragung der schriftlichen Multiplikation einstelliger Zahlen auf mehrstellige Zahlen. Demgegenüber bezeichnet *figuraler Transfer* die Übertragung erworbener Fertigkeiten oder Kenntnisse per Analogie-Schluss auf neue Problemstellungen, beispielsweise das Ableiten der Regeln zur Multiplikation auf die Division (MÄHLER, STERN 2018, S. 843; HASSELHORN, GOLD 2014, S. 144). Beim *spezifischen Transfer* werden eng umgrenzte erworbene Fähigkeiten oder Kenntnisse auf eine neue Situation übertragen, beispielsweise topographisches Wissen zu Gewässern Europas in einem Kreuzworträtsel einsetzen. Im Gegensatz dazu meint *unspezifischer Transfer* die Anwendung bereichsübergreifender, inhaltsunabhängiger Kompetenzen wie Problemlösestrategien, Prinzipien und Einstellungen auf andere Aufgaben und Probleme. SALOMON und PERKINS (1989) fokussieren auf zwei unterschiedlich steinige Wege des Lerntransfers. Aus ihrer Sicht erfolgt der *„Low-road"-Transfer* automatisiert ohne bewusste Aufmerksamkeit oder zusätzliche Anstrengung. Beispielsweise werden beim Lesen Worte und Sätze erkannt und gleichzeitig auch der Inhalt erfasst, also automatisch eine Transferleistung erbracht. Im Unterschied dazu verlangt der *„High-Road"-Transfer* eine bewusste Anstrengung, d. h. es muss aktiv und bewusst über Unterschiede und Gemeinsamkeiten oder über Verknüpfungen zwischen einer aktuellen Aufgabenanforderung und den bisherigen Lernerfahrungen nachgedacht werden. SCHMID (2006, S. 204ff) hat bei seiner umfassenden Recherche der pädagogischen und psychologischen Literatur rund fünfzig verschiedene Transferformen erfasst, welche sich unterscheiden bezüglich Inhalt (was wird transferiert), Effekt (förderliche

oder hemmende), Lernprozess (automatisieren oder abstrahieren), Ort und Dauerhaftigkeit des Transfers. Bei seiner Analyse stellt Schmid fest, dass begriffliche Überlappungen bestehen, der Begriff Transfer und dessen Subformen relativ unpräzis fassbar bleiben und eine überzeugende und stringente Klassifikation der Transferphänomene sowie eine Taxonomie der Transferformen fehlt. Auf die Erläuterung weiterer Transferformen wird an dieser Stelle verzichtet, mit dem Verweis auf die Analyse von SCHMID (2006, S. 204ff).

Wie bereits erwähnt, wird in der **vorliegenden Dissertation** unter „Transfer" die Fähigkeit verstanden, erworbenes Wissen oder erlernte Fertigkeiten in anderen Situationen und bei Aufgaben mit neuen Anforderungen anzuwenden. Diese Definition schließt positiven und „High-Road"-Transfer ein, und überwiegend auch den vertikalen Transfer. Die anderen Transferarten sind von der konkreten Anwendungssituation und Aufgabe abhängig und lassen sich der Definition nicht generell zuordnen.

Neben den verschiedenen Transferformen bestehen in der Lernpsychologie und Pädagogik auch unterschiedliche Ansprüche zur **Distanz zwischen Lern- und Anwendungssituation**, um überhaupt von Transfer sprechen zu können. Die einzige vorliegende Taxonomie von BARNETT und CECI (2002) unterscheidet sechs Dimensionen für die Beurteilung von möglichen Transfereffekten und Transferdistanzen, die auf dem Kontinuum zwischen nahem und weitem Transfer eingeschätzt werden sollen. SCHMID (2006, S. 225) kritisiert an dieser Taxonomie eine eigenwillige und vage begriffliche Festlegung. So werde bei der Weite des Transfers generelle oder spezifische Effekte nicht berücksichtigt und die Angaben fehlen, wie stark und in wie vielen Dimensionen sich naher und weiter Transfer unterscheiden. Zudem sind sich SCHMID (2006, S. 225) und KLAUER (2011, S. 30) einig, dass die vielen Kombinationsmöglichkeiten der Dimensionen (64 Kategorien) die empirische Fass- und Messbarkeit überschreiten und damit das Problem der Transferdistanzen mit der Taxonomie von BARNETT und CECI (2002) nicht gelöst sei. KLAUER (2011, S. 33) hält fest, dass eine allgemein anwendbare Methode zur Messung von Transferdistanzen noch zu entwickeln sei. „Bislang helfen sich die Forscher damit, innerhalb eines Versuchs zwei oder mehr Bedingungen zu schaffen, die klar verschieden weiten Transfer erfordern. Transferdistanzen innerhalb eines Experiments lassen sich dann unterscheiden. Zwischen verschiedenen Experimenten sind die so ermittelten Transferdistanzen jedoch in der Regel nicht vergleichbar" (KLAUER 2011, S. 33). In der vorliegenden Dissertation wird die Transferdistanz fach- und unterrichtsbezogen mit den Anforderungsbereichen (DGFG 2017, S. 5, 9) bestimmt, d. h. eine Situation oder Aufgabe im Anforderungsbereich II „Anwendung" und III „Weiterentwicklung" verlangt von den Lernenden eine Übertragung des erworbenen Wissens auf einen höheren, anspruchsvolleren Anwendungsbereich. Diese eher allgemeine, aber fach- und unterrichtsbezogene Festlegung der Transferdistanz ist nur

bei konkreten Aufgabenstellungen präziser bestimmbar, beispielsweise ob mehrere Zusammenhänge neu erkannt und abgeleitet werden müssen, etc.

Aufgrund des unterschiedlichen Begriffsverständnisses in Lernpsychologie, Pädagogik, Didaktik und Fachdidaktik können Ergebnisse aus **empirischen Studien zum Lerntransfer** kaum miteinander verglichen werden und besteht trotz der rund 100jährigen Forschung in diesem Bereich bis heute kein Konsens darüber, ob und unter welchen Bedingungen Transfer überhaupt auftritt (MÄHLER und STERN 2018, S. 843). Trotzdem ist man sich in der Lernpsychologie, Pädagogik, Didaktik und Fachdidaktik einig, dass Lerntransfer ein wichtiges, wenn nicht sogar das wichtigste Thema in diesen Fachbereichen sei (RESNICK 1989; HASKELL 2001; LOHMANN 1993, S. 48). Würde es den Lerntransfer nicht geben, müssten wir unendlich viele hochspezifische Verhaltensweisen im Einzelnen erlernen (HASSELHORN, GOLD 2014, S. 142).

ANDERSON ET AL. (1996) weisen zudem darauf hin, dass es schwierig oder sogar unmöglich sei, die Ergebnisse aus hochspezialisierten experimentellen Untersuchungen der lernpsychologischen Transferforschung auf reale Unterrichtssituationen des Schullalltags zu übertragen. In diesen experimentalpsychologischen Studien würden die verwendeten Transferaufgaben eher Rätselaufgaben gleichen als realen Bedingungen und Anforderungen des schulischen Lernens. Bei ihren Aussagen beziehen sie sich u.A. auf Studien, welche wegen der unzureichenden Anwendbarkeit von mathematischem Schulwissen die Legitimität des Mathematikunterrichts in Frage stellten. Gegenüber diesen Studien geben ANDERSON ET AL. (1996) zu bedenken, dass im Alltag hinreichend zu beobachten sei, wie beispielsweise in der Schule erworbenes Lesen, Schreiben und Rechnen in unterschiedlichen Kontexten und Situationen erfolgreich benutzt werde. SEEL (2016, S. 310) stimmt dieser Sicht zu, bemerkt aber auch kritisch: „Andererseits ist empirisch hinreichend gesichert, dass es Schülerinnen und Schülern oft schwer fällt, im Unterricht erworbenes deklaratives und prozedurales Wissen auf ähnliche Aufgabenstellungen desselben Inhaltsbereichs anzuwenden – ganz zu schweigen von ihrer unzureichenden Fähigkeit, Probleme des Alltagslebens unter Zuhilfenahme des in der Schule Gelernten zu lösen. Die Übertragung und Anwendung des Gelernten auf neuartige Situationen mit Aufgabencharakter ist und bleibt offenkundig der neuralgische Punkt des Handlungsfeldes Schule.“ Für die **vorliegende Dissertation** zeigen diese empirisch belegten Positionen einerseits, dass der Transferleistung in der Unterrichtspraxis und in der bildungsbezogenen Forschung eine große Bedeutung zukommt. Andererseits wird aber auch deutlich, dass bezüglich der Transferleistung im Unterricht wie auch in der Forschung noch vieles zu tun ist. Die vorliegende Dissertation deckt damit eine Lücke in der geographiedidaktischen Forschung ab.

3.4.2 Träges Wissen – Erklärungen für ausbleibenden Transfer

Wie im vorangehenden Kapitel angesprochen, ist es nicht ungewöhnlich, dass lernende Personen das erworbene Wissen in einer realen Problemsituation im Alltag nicht anwenden können. Theoretisch vorhandenes Wissen, das in der Praxis nicht angewendet werden kann, wird in der Kognitions- und Lernpsychologie als **träges Wissen** bezeichnet (WHITEHEAD 1929). Dieses Wissen ist zwar abstrakt verstanden worden, kann jedoch nicht auf neue Situationen übertragen und nicht konstruktiv (z. B. zu einer Problemlösung) eingesetzt werden (RENKL 2018, S. 838). Der Begriff des trägen Wissens geht damit von der konstruktivistischen Position aus, nach welcher Wissen vom Lernenden selbst konstruiert werden muss und daher nur bedingt vermittelbar ist. Das träge Wissen wird auch als Grund für die Kluft zwischen Wissen und Verhalten angesehen (RENKL 2018, S. 838). Demzufolge kann Wissen, das intelligentes Verhalten ermöglicht, als das Gegenteil von trägem Wissen verstanden werden (vgl. Kapitel 3.1). Für die Entstehung von trägem Wissen gibt es zahlreiche Erklärungen, welche sich in drei Kategorien gliedern lassen:

- **Strukturdefiziterklärungen** sehen den Grund im anzuwendenden Wissen selbst, welches ungenügend abrufbar und strukturiert ist. Es wird angenommen, dass Wissen, welches in verschiedenen Kontexten (z. B. Schule und Alltag) erworben wird, in unterschiedlichen Kompartimenten („Schubladen“) abgespeichert und nicht miteinander in Verbindung gebracht wird (RENKL 2018, S. 839). Eine andere Art der Strukturdefiziterklärung ist, dass erworbene theoretische Prinzipien (z. B. Modelle, Regeln) zwar bekannt sind, dieses Wissen aber nicht mit multiplen Anwendungsbeispielen in Bezug steht (RENKL 2014).
- **Metaprozesserklärungen** sehen den Grund außerhalb des anzuwendenden Wissens, indem metakognitive Strategien (z. B. Überwachung, Steuerung und Regulation des Lernprozesses) für die erfolgreiche Anwendung des erworbenen Wissens fehlen. Effektive metakognitive Strategien unterstützen die Wissensnutzung, indem sie beispielsweise die Kenntnis über das „Wann“ und „Warum“ des Zugriffs auf bestimmte Wissensbereiche umfassen. Bei Varianten der Metaprozesserklärung werden auch motivationale und volitionale Faktoren beigezogen (RENKL 2018, S. 839).
- **Situiertheitserklärungen** gehen von der Annahme aus, dass Wissen prinzipiell mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden ist und daher ein mangelnder Wissenstransfer auf neue Situationen eher der Normalfall ist. Radikale Positionen dieser Erklärung stellen den traditionellen Wissens- und Transferbegriff sogar grundsätzlich in Frage, da Wissen nicht als „Substanz“ in Köpfen von Individuen angesehen wird, sondern vielmehr *in situ* als Relation zwischen Personen und Situation angesiedelt wird (GREENO ET AL. 1993).

Um trägem Wissen im Schulunterricht entgegenzutreten, werden einerseits kognitiv- und sozio-konstruktivistische Ansätze vorgeschlagen, die in Kapitel 3.1 ausgeführt sind (vgl. Abb. 5). So geht *beispielbasiertes Lernen* (RENKL 2014) davon aus, dass das Wissen zu theoretischen Prinzipien für andere Situationen anschlussfähig wird, wenn Lernende diese an verschiedenen Beispielen anwenden und dabei auch die Prinzipienanwendung explizit kennenlernen. Andererseits wurden auch Instruktionsmodelle nach dem Konzept *situierten Lernens* entwickelt, um gegen träges Wissen zu wirken. Ein Beispiel hierfür ist das Konzept *cognitive apprenticeship* (COLLINS ET AL. 1989), wo ausgehend von einem komplexen, realitätsnahen Ausgangsproblem der Meister (Lehrperson) modellhaft und anwendungsbezogen den Lernenden die Problemlösung lehrt. Diese Lernsituation entspricht möglichst der nachfolgenden Anwendungssituation, wo die Lernenden zunächst noch begleitet vom Coach (Lehrperson) das erworbene Wissen einsetzen.

Grundsätzlich muss bedacht werden, dass die festgestellte Trägheit bei Lernenden auch vorteilhaft sein kann, da sie vor übereiltem Handeln und negativem Transfer schützt. Hierbei unterscheiden sich Experten von Lernenden, da sich erstere nicht nur durch vertiefte inhaltliche Kenntnisse von Laien unterschieden, sondern vor allem auch durch das Bewusstsein für vertraute Routinen beim Problemlösen (GRUBER 1994).

Für die **vorliegende Dissertation** weist die Forschung zum trägen Wissen darauf hin, dass gewisse kognitiv- und sozio-konstruktivistischen Ansätze (Kapitel 3.1) ausbleibenden Transfer im Schulunterricht vermindern können. Weil diese explizit Aspekte des situierten Lernens und implizit auch Aspekte des beispielbasierten Lernens enthalten (vgl. Abb. 5), sollte mit deren Berücksichtigung im Unterrichtsmodell für Transferförderung die Entstehung von trägem Wissen weitestgehend vermieden werden. Nach der Entwicklung wird das Unterrichtsmodell bezüglich Maßnahmen zur Verminderung von trägem Wissen diskutiert, gegliedert nach den drei Kategorien Strukturdefizit-, Metaprozess- und Situiertheitserklärung (vgl. Abb. 18 in Kapitel 5.3.4). Ziel dieses Vorgehens ist es, den Stellenwert des Unterrichtsmodells bezüglich der Verminderung von trägem Wissen einzuordnen sowie seinen Beitrag an diesen Forschungsbereich darzulegen.

3.4.3 Transfertheorien – Erklärungen für erfolgreichen Transfer

Das Auseinanderklaffen von schulischem Wissen und Alltagswissen hat bereits im 19. Jahrhundert zu Kontroversen zwischen Anhängern materieller Bildungstheorien und formaler Bildungstheorien geführt (MÄHLER, STERN 2018, S. 845). Nach den Anhängern von **materiellen Bildungstheorien** muss in der Schule alles Wissen erworben werden, das im Erwachsenenalter benötigt wird. Vertreter der **formalen Bildungstheorie** waren dagegen überzeugt, dass im Unterricht das Denkvermögen

als solches gefördert werden könne, wenn man das Richtige in der rechten Weise lerne (WEINERT, SCHRADER 1997).

Bereits vor hundert Jahren hat THORNDIKE (1924) mit seiner **Theorie der identischen Elemente** eine Gegenposition zur formalen Bildungstheorie eingenommen. In mehreren Studien konnte er zeigen, dass Lerntransfer nur dann erfolgen kann, wenn in der Anwendungssituation Wissenselemente vorhanden sind, die in identischer Weise in der Lernsituation bereits enthalten waren. In seinen Untersuchungen wies er nach, dass Schülerinnen und Schüler, die sich besonders intensiv mit Latein und/oder Mathematik beschäftigten, in Intelligenztests und bei allgemeinen Denkaufgaben keine besseren Leistungen erzielten als Schülerinnen und Schüler mit anderen Fächerschwerpunkten. Ausgehend vom Mathematik- und Lateinunterricht waren keine fächerübergreifenden Transfereffekte, Leistungssteigerungen oder Verbesserungen im logischen Denken oder der Lernfähigkeit in anderen Fächern nachweisbar. Mit neueren Untersuchungsmethoden an deutschen Gymnasien konnten HAAG und STERN (2000, 2003) und ORTNER ET AL. (2008) die Befunde von Thorndike bestätigen. Übereinstimmend mit der Theorie der identischen Elemente zeigten sich teils positive und teils negative Transfereffekte auf Fertigkeiten anderer Sprachen, nicht aber auf allgemeine Denkfähigkeiten. Ungeachtet dieser empirischen Befunde beeinflusst jedoch die Idee der formalen Bildung, die auf der Vorstellung vom unspezifischen Lerntransfer beruht, weiterhin unsere Schulkultur (MÄHLER, STERN 2018, S. 846). Aus diesen Befunden lässt sich auch folgern, dass allgemeine Lern- und Denkfähigkeiten (bereichsübergreifende Kompetenzen) durch Latein- und Mathematikunterricht zumindest nicht nachhaltiger gefördert werden als durch einen beliebigen anderen (anspruchsvollen) Unterricht (HASSELHORN, GOLD 2017, 146)

Inzwischen gehört es zu den häufigsten replizierten Befunden in der kognitiven Psychologie, dass der Lerntransfer ausbleibt, wenn die Übereinstimmung der Wissenselemente fehlt (BELENKY, SCHALK 2014). Obwohl auch moderne Transfertheorien den Vorteil identischer Elemente anerkennen, erweitern sie die begrenzte Sicht auf „objektiv“ identische Merkmale mit dem Fokus auf übereinstimmende Tiefenstrukturen und allgemeine Prinzipien. Mit der **Theorie des Erkennens von Prinzipien** vertritt JUDD (1939) die Ansicht, dass Lerntransfer nicht nur von identischen Elementen abhängig sei, sondern vorwiegend von allgemeinen Prinzipien oder Verallgemeinerungen, die beim Lernen als solche erkannt und in neuen Anforderungssituationen wieder angewandt werden. Je nach erworbenen Prinzipien und Regeln eröffnen sich breite und flexible Anwendungsmöglichkeiten. Erfolgreiches Lernen und bedeutsame Transferwirkungen erfolgen demzufolge nicht durch Auswendiglernen von Wissenselementen, sondern durch verstehensorientierte Methoden, die das Abstrahieren sowie das Generieren von Regelwissen und Prinzipien ermöglichen. Nach aktueller lernpsychologischer Sicht spielt Thorndikes

Orientierung an festen Reiz-Reaktionsverbindungen keine Rolle mehr, da nicht die objektive Ähnlichkeit von Lern- und Anwendungssituationen den Lerntransfer ermöglichen, sondern die subjektiv wahrgenommene Ähnlichkeit. D. h. ob Elemente der Lern- und späteren Anwendungssituation identisch sind, muss primär von den Lernenden aktiv erkannt werden. Entsprechend den Erkenntnissen zur Theorie der identischen Elemente soll im Unterrichtsmodell der vorliegenden Dissertation auf die Berücksichtigung relevanter Wissenselemente und Tiefenstrukturen sowie grundlegender Prinzipien in Lern- und Anwendungssituationen geachtet werden.

Nach GENTNER und SMITH (2012) wird der Erfolg von Transfer durch **Analogiebildung** bestimmt. Der analoge Transfer tritt ein, wenn Lernende gemeinsame Tiefenstrukturen zwischen der aktuellen Anwendungssituation und dem erworbenen Wissen erkennen und durch Analogiebildung auf die aktuelle Anforderung übertragen. Der Transfer durch Analogiebildung lässt sich mit den vier Stufen der Informationsverarbeitung charakterisieren (HASSELHORN, GOLD 2017, S. 149): zuerst findet die *Kodierung* der Anforderungsmerkmale statt, anschließend der *Abruf* von erworbenem Wissen, dann die *Auswahl* von passendem Wissen und das *Abbilden* dieses Wissens auf die Anwendungssituation und schließlich kommt es zum *Abstrahieren* der gemeinsamen Wissensstrukturen von Lern- und Transferanforderung und damit zur Wissensintegration (HOLYOAK 1985). Studien zur Analogiebildung von HOLYOAK und THAGARD (1998) zeigen, dass vorwiegend Lernende mit einem guten inhaltlichen Verständnis ihre abgeleiteten Prinzipien auf ein neues Gebiet übertragen. GENTNER (2010) betont, dass bei vielen Schülerinnen und Schülern ein effizienter analoger Transfer eher die Ausnahme als die Regel sei. Häufig ist das verfügbare Wissen nicht so organisiert, dass die entscheidenden strukturellen Gemeinsamkeiten zwischen zwei Situationen erkannt werden. Bei der Analogiebildung können auch unangebrachte Gemeinsamkeiten zwischen Situationen abgeleitet werden und damit ein negativer Transfer eintreten. Dies passiert vor allem bei Lernenden, die sich bei Aufgabenstellungen von Oberflächenmerkmalen leiten lassen, wie Studien in der Mathematik und Physik zeigen (BASSOK, HOLYOAK 1989; WHITE 1993). Ausgehend von den Befunden aus der Forschung zur Analogiebildung soll das Unterrichtsmodell zur Transferförderung ein tiefgründiges Verständnis des Inhalts und der abgeleiteten Prinzipien fördern sowie das erworbene Wissen klar strukturiert und anwendungsorientiert organisieren.

Verschiedene Studien zeigen, dass systematisches Vergleichen zweier Situationen bezüglich Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Erwerb von flexibel transferierbarem Wissen führen kann (KURTZ ET AL. 2001; GENTNER ET AL. 2003). Bei der **Strategie des Vergleichens** geht es nicht nur darum, gelernte Inhalte ganz oder teilweise auf neue Probleme zu übertragen, sondern die Strategie des Vergleichens zu erwerben, um diese an neuen Situationen wiederum einzusetzen. Nach KLAUER (2011) fördern Vergleiche das induktive Denken und führen zur Entdeckung von

Regelhaftigkeiten. Beim Vergleichen werden damit nicht nur Inhalte tiefgründig erlernt, sondern auch Handlungspläne für spätere Analysen erworben (KLAUER 2011, S. 98). Das Unterrichtsmodell zur Transferförderung soll das Prinzip des Vergleichens explizit berücksichtigen, weil dabei nicht nur inhaltliche, sondern auch metakognitive Fähigkeiten für spätere Transfersituationen erworben werden.

Im Rahmen der Analysen von Informationsverarbeitungsprozessen in den 1960er Jahren bildeten sich neue theoretische Konzeptionen des Transfers. Dabei spielt vor allem die **metakognitive Kontrolle** eine wichtige Rolle, d. h. die Überwachung, Steuerung und Regulation des bewussten Lernens und der Informationsverarbeitung. Wichtige metakognitive Prozesse umfassen beispielsweise die Anforderungen, ein Problem zu erfassen, ein angemessenes Lösungsvorgehen auszuwählen und den Lösungsprozess zu überwachen und gegebenenfalls zu modifizieren. Untersuchungen haben wiederholt gezeigt, dass die bloße Vermittlung metakognitiver Fertigkeiten zu sehr bescheidenen Effekten führt, weshalb dieses Vorgehen mittlerweile als überholt eingestuft wird (DIGNATH, BÜTTNER 2008). Allerdings steigt die Wahrscheinlichkeit eines Transfers auf neue Aufgaben, wenn metakognitive Fertigkeiten in Kombination mit fachlichem Lernen gezielt und explizit eingeübt werden (VEENMANN ET AL. 2004). Ein solches Vorgehen berücksichtigt die Tatsache, dass sich Experten nicht nur durch vertiefte inhaltliche Kenntnisse von Laien unterschieden, sondern vor allem auch durch das Bewusstsein für vertraute Routinen beim Problemlösen (GRUBER 1994). Ausgehend von den Befunden zur metakognitiven Kontrolle soll das Unterrichtsmodell zur Transferförderung eine tiefgründige fachliche Auseinandersetzung fördern und dabei bewusst auch metakognitive Fertigkeiten fachbezogen einbeziehen.

Eine kognitionsbezogene Weiterentwicklung der Transfertheorien bildet auch der theoretische Ansatz von GREENO, wo der **Umgang mit mentalen Werkzeugen** als eine Grundlage für erfolgreichen Wissenstransfer angesehen wird (GREENO ET AL. 1993; GREENO und HALL 1997). Seine Theorie unterscheidet die drei Kommunikationsmittel natürliche Sprache, formal-mathematische Sprache und bildlich-graphische Darstellungsformen, welche als Werkzeuge für die mentale Modellierung bedeutend sind. Die mentalen Werkzeuge werden als Hilfsmittel erachtet, um eine kognitive Anforderungssituation zu bewältigen und damit Problemlösung und Wissenstransfer zu ermöglichen. Will ein Unterricht Transferleistungen fördern, so muss der Umgang mit diesen drei mentalen Werkzeugen im Mittelpunkt stehen (MÄHLER, STERN 2018, S. 847). Die beiden Autoren gehen beispielsweise davon aus, dass durch häufige und intensive Auseinandersetzung mit Texten eines bestimmten Inhaltes sich auch Strategiewissen zum Lesen von Texten entwickelt, das bei der Einarbeitung in andere Themen Vorteile bringt. Auch graphisch-visuelle Darstellungsformen und mathematische Symbolsysteme dienen nicht nur der Kom-

munikation von Wissen, sondern bilden darüber hinaus die Grundlage für die Konstruktion von neuen Inhalten. Beispielsweise kann die graphisch-visuelle Veranschaulichung von linearen Funktionen (Steigung von Graphen in einem Diagramm) zum Verständnis und zur Strukturierung neuer Inhalte herangezogen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die bewusste Förderung der Kompetenzen im Umgang mit den drei mentalen Werkzeugen auch den Wissenstransfer fördert (MÄHLER, STERN 2018, S. 848). Entsprechend den Erkenntnissen zum Umgang mit mentalen Werkzeugen sollen das Unterrichtsmodell sowie die Unterrichtsmaterialien zur Förderung der Transferleistung die drei Werkzeuge natürliche Sprache, formal-mathematische Sprache und bildlich-graphische Darstellungsformen berücksichtigen.

Die erläuterten Transfertheorien decken die grundlegenden und verbreitet diskutierten Ansätze in der Transferforschung ab. In der Literatur bestehen jedoch noch eine Vielzahl weiterer Transfertheorien. SCHMID (2006, S. 281) kommt nach seiner umfassenden Recherche dieser Theorien zum Schluss, dass deren Reichweite, Abstraktheit, Präzision und Operationalisierbarkeit sehr unterschiedlich ist und bisher keine überzeugende Transfertheorie gelungen ist. Aus seiner Sicht sind auch die Erklärungsschwerpunkte und -perspektiven sehr unterschiedlich gewählt: Aufgaben- und Kontextmerkmale, Interaktionen, Eigenschaften des Individuums. „*Die* Transfererklärung gibt es ebenso wenig wie *den* Transfer oder *das* Lernen“ (SCHMID 2006, S. 281). Aus seiner Durchsicht der neueren pädagogischen und psychologischen Fachliteratur zum Transferproblem folgert SCHMID (2006, S. 282): „Notwendig und noch nicht verfügbar sind Bereichstheorien, die Lernen und Transfer nicht künstlich trennen und spezifische Lern- bzw. Transferphänomene verstehbar machen können. Die in allgemeinen Erklärungen häufig implizierte Vorstellung, es gebe den Lernprozess, den Transferprozess, den kognitiven Prozess schlechthin, führt in die Irre. Lern- und damit Transferprozess sind eher über mannigfaltige inhalts- und domänenspezifische Aktivitäten und Prozesse auf unterschiedlichen Ebenen des Verhaltens oder Handelns in spezifischen Kontexten verstehbar als über die Fiktion allgemeiner inhalts- und kontextblinder kognitiver Prozesse.“ Seine Schlussfolgerungen zeigen für die vorliegende Dissertation, dass es durchaus zielführend und auch theoriebezogen sinnvoll ist, einen fach- und stufen bezogenen Lernansatz zur Förderung der Transferleistung zu hydrologischen Fragestellungen zu entwickeln.

In der Lernpsychologie besteht inzwischen Übereinstimmung darüber, dass Transferleistungen nicht ohne gezielte Intervention zu erwarten sind, auch bei intelligenten Schülerinnen und Schülern. „Der menschliche Geist lernt anforderungsspezifisch und ist bei der Bewältigung neuer Anforderungen eher zurückhaltend“ (MÄHLER, STERN 2018, S. 848). Diese Trägheit kann vorteilhaft sein, da sie vor über-

eiltem Handeln und negativem Transfer schützt, aber sie erschwert auch schulisches Lernen. Die Konsequenz dieser lernpsychologischen Einsichten ist, dass bestehendes Wissen nicht automatisch zur Bewältigung neuer Anforderungen herangezogen wird, sondern nur dann, wenn es speziell im Unterricht dafür aufbereitet wird. In der Literatur findet sich eine unbegrenzte Anzahl von Variablen, die auf den Transfer einen Einfluss haben. Eine umfassende und nicht abschließende Zusammenstellung von **Transfervariablen** gegliedert nach drei Bereichen legt SCHMID (2006, S. 356ff) vor:

- *Lernende (Personenvariablen):* Lernzielorientierung, emotional-motivationale Aspekte, Transferbedürfnisse und -einstellung, Interesse, metakognitive Aspekte (Steuerung und Regulation des Lernens), Wertschätzung für Lernstoff, Lernsituation und Lehrperson, positive affektiv-motivationale Besetzung von Begriffen, Grundwissen, Vorwissen, kognitive Strukturen, Intelligenz, Alter, Gender, Problemlösekompetenz, Kreativität
- *Kontext, Umgebung, Situation:* Begleitung des Lernprozesses, Lernklima, Kontext der Lern- und Anwendungssituation, Interaktionen zwischen Lehrperson und Lernenden
- *Instruktion, Trainingsdesign, Aufgaben, Probleme:* identische Elemente, Reiz- und Reaktionsähnlichkeiten, Abstraktion von Problemen, Feedback-Kultur, Üben, Automatisieren, Lernen an vielfältigen Beispielen, Kontextvariation, problemorientiertes Lernen, kooperatives Lernen, eigenständiges Lernen, forschend-entdeckendes Lernen

Zusammenfassend beurteilt SCHMID (2006, S: 379) die Theorien und Empfehlungen zur Transferförderung als mehrheitlich zu abstrakt formuliert, ihr Geltungsbereich sei in der Regel zu wenig spezifiziert und, für welche Transferformen, Lernende, Lerninhalte und Fertigkeiten sie gelten, bleibe häufig ebenso vage wie deren Operationalisierung. Zudem zeigten Untersuchungen spezifischer Lernprozesse in spezifischen Domänen und mit unterschiedlichen Probanden, dass nicht alle vorgeschlagenen Förderbedingungen über Personen und Aufgaben hinweg generalisierbar sind (z. B. GOLDSTONE, SAKAMOTO 2003).

Diese Kritikpunkte und **Folgerungen sollen in der vorliegenden Arbeit** berücksichtigt werden, indem bei der Entwicklung des Unterrichtsmodells Praxis-, Stufen-, Fach-, Kompetenz- und Theoriebezüge möglichst konkret ausgewiesen werden (vgl. Kapitel 5.1.2 und 5.3) und in erster Linie nicht ein allgemeingültiges Modell zur Transferförderung das Ziel ist. Vielmehr soll der Lernansatz Transferleistungen im Geographieunterricht der Sekundarstufe II in physisch- und humangeographischen Themen übergreifend fördern. Die Anwendbarkeit des Lernansatzes zur Förderung der Transferleistung auf anderen Stufen und in anderen Fächern kann im Anschluss an diese Arbeit durchaus diskutiert werden, dies ist jedoch nicht ein explizites Ziel der vorliegenden Dissertation.

Nach der Entwicklung soll das Unterrichtsmodell zur Transferförderung nachweislich bedeutsame Aspekte folgender Transfertheorien berücksichtigen: Theorie der identischen Elemente, des Erkennens von Prinzipien, der Analogiebildung, der Strategie des Vergleichens, der metakognitiven Kontrolle und der mentalen Werkzeuge. Bezüglich zentraler Aspekte dieser Transfertheorien wird das entwickelte Unterrichtsmodell in Kapitel 5.3.4 diskutiert, mit dem Ziel, den Stellenwert des Unterrichtsmodells bezüglich dieser Transfertheorien einzuordnen sowie seinen Beitrag an diesen Forschungsbereich darzulegen.

3.4.4 Geographiedidaktische Forschung zu Transfer

Die Bedeutung der **Transferleistung im Geographieunterricht** wird in verschiedenen geographiedidaktischen Forschungsbeiträgen immer wieder aufgegriffen und indirekt durch Studien mit anderen Forschungsschwerpunkten gestützt (TILLMANN 2014; REINFRIED, TEMPELMANN 2014). Explizit mit der Transferleistung befasst sich im geographiedidaktischen Kontext jedoch nur die Studie von KLAUER, PHYE (2008). Sie untersuchten die Auswirkungen eines fünfwöchigen Trainings zu induktivem Denken auf das selbständige Erarbeiten eines anspruchsvollen Lehr-Lern-Pakets zum Thema „Höhenstufen in den Alpen und den Anden". Trainierte Schülerinnen und Schüler zeigten eine klare Verbesserung ihrer intellektuellen Leistungen sowie einen deutlich höheren Lernerfolg an geographischem Wissen. Obschon man sich in der Geographiedidaktik über die Wichtigkeit der Transferleistung beim „Geographie-Lernen" einig ist (DGFG 2017; SCHMIDTKE 2012; REINFRIED, HAUBRICH 2015; HAVERSATH 2012 u.a.) und man an Gymnasien bereits kompetenzorientierte (Maturitäts-)Prüfungen durchführt, konnten in der vorgenommenen Literaturrecherche keine weiteren Studien gefunden werden, welche Transferleistungen im Geographieunterricht untersuchen.

In benachbarten Fachdidaktiken untersuchen je eine Studie in der Physik und Biologie die Transferleistungen von Schülerinnen und Schülern. In einer Interventionsstudie im Fach **Physik** untersuchten WATZKA und GIRWIDZ (2012) mit 170 Lernenden im Alter von 15 Jahren die Effekte von Aufgabenformaten und Kontextorientierung auf Wissenserwerb, Transferleistung und Motivation. Bei den verschiedenen Aufgabenformaten zeigte sich interessanterweise und zur Überraschung der Autoren, dass rein bildbasierte Lernaufgaben zu einem signifikant besseren Erwerb von deklarativem Wissen führen als textbasierte oder variable Aufgabenformate. Die Aufgabenformate zeigten auf die Motivation keine Effekte und zur Transferleistung fehlen in der Studie Aussagen. Die Effekte der Kontextorientierung wurden nach dem *„Anchored-Instruction"*-Ansatz (CTGV 1997) mit sogenannten Lernankern untersucht. Dabei führte die Experimentalgruppe die Messung der CO_2-Konzentration im Klassenzimmer durch und die

Kontrollgruppe behandelte die Messmethode ohne reale Messung. Die Kontextorientierung wirkte sich in der Experimentalgruppe positiv auf die Motivation und die Transferleistung aus. Auf den Erwerb von deklarativem Wissen hatte die Kontextorientierung keinen nachweisbaren Einfluss. In einer ähnlich angelegten Studie bestätigten WATZKA und GIRWIDZ (2013) den Effekt von bildbasierten Lernaufgaben auf den Erwerb von deklarativem Wissen. Zudem zeigte sich, dass bildbasierte Lernaufgaben (Schemazeichnungen) zu einer signifikant besseren Transferleistung führen.

ZOHAR und PELED (2008) untersuchten im Fach **Biologie** mit 41 Kindern der 5. Klasse den Transfer von metakognitiven Strategien an Beispielen zu „Kausale Zusammenhänge nachweisen". Am Computer trainierten die Kinder an Aufgabenstellungen der Biologie den Einfluss von fünf Variablen (z. B. Größe der Samen, Dünger, Tiefe der Samen im Boden) auf die Keimung von Samen. Anschließend mussten sie eine analoge Aufgabe zu Kartoffeln (naher Transfer) und eine Ballaufgabe (weiter Transfer) ebenfalls am Computer lösen. Die Experimentalgruppe wurde beim Trainieren von einem Trainer in ein Gespräch einbezogen, mussten ihre Vorüberlegungen begründen, erhielten Anregungen und diskutierten die Resultate. Die Kontrollgruppe führte ohne Trainer die gleichen Aufgaben am Computer aus. Die Ergebnisse zeigten eindeutig, dass die Kombination von aktivem Handeln und verbaler Diskussion zu besseren Leistungen bezüglich des nahen und weiten Transfers führte. Zudem stellten die Autoren fest, dass besonders die schwachbegabten Kinder viel von der Intervention profitierten.

In der **Pädagogischen Psychologie** wird in jüngster Zeit der Transfer von kognitiven Strukturen, von Strategien und metakognitiven Kompetenzen vermehrt erforscht (KLAUER 2011). Diese Studien zeigen vielfach, dass für die Transferleistung die Strategie des Vergleichens und der Einbezug des Vorwissens bedeutend sind (KURTZ und LOEWNSTEIN 2007; SHFTO, COLY 2003; YMAUCHIE, MARKMAN 1998 u.a.). So gehen Erkenntnisse der Studien immer wieder dahin, dass das Training der Strategie des Vergleichens einen nachhaltigen Effekt auf induktives Denken, Intelligenz, Problemlösen, Transferleistung und das schulische Lernen hat. Die Erforschung des Transfers wird in der Pädagogischen Psychologie an sehr unterschiedlichen Anwendungsfeldern und in teilweise sehr spezifischen Versuchsanordnungen durchgeführt. Die folgende Zusammenstellung soll nur einen Einblick hierzu geben:

- Training mit Flugsimulatoren (DENNIS, HARRIS 1998; MACCHIARELLA ET AL. 2006; u.a.)
- Simulatoren in der Medizin (TORKINGTON ET AL. 2001; LEHMANN 2005, u.a.)
- Motorisches Lernen im Sport (PRINZ, SANDERS 1984; BHUSHAN ET AL. 2000)
- Analoges Problemlösen (REED ET AL. 1974; GICK, HOLYOAK 1983)
- Relationaler Transfer in der Entwicklungspsychologie (GOSWAMI, PAUEN 2005;

MUTAFCHIEVA, KOKINOV 2007, u.a.)
- Asymmetrischer Transfer in der Physik und Mathematik (BASSOK, HOLYOAK 1989, u.a.)
- Transfer durch Demonstration der Lösung in der Physik und Mathematik (RENKL ET AL. 2003, u.a.)
- Lern- und Lesestrategien in Sprachfächern (CARVER 1990; TACKE 2005; SPÖRER ET AL. 2009, u.a.)
- Training und Transfer von Verhandlungs- und Führungsstrategien in Wirtschaft (LOEWENSTEIN ET AL. 1999; BARLING ET AL. 1996, u.a.)
- Training und Transfer von Fußballstrategien (MEMMERT 2004)
- Strategien des selbstregulierten Lernens und Problemlösens in Lerntechnik, Sprache, Mathematik und Informatik (BANNERT 2003; NÜCKLES ET AL. 2009, u.a.)

Die drei vorgestellten Studien in den Fächern Geographie, Physik und Biologie weisen mit der in der **vorliegenden Dissertation** geplanten Wirksamkeitsstudie zu Hochwasser methodische und fachliche Berührungspunkte auf. Diese Studien wurden daher bei der Entwicklung des Studiendesigns sowie bei der Einordnung von Resultaten berücksichtigt. Die Studien der Pädagogischen Psychologie zum Transfer unterscheiden sich thematisch und methodisch stark vom Studiendesign der vorliegenden Arbeit, da sie sich auf sehr spezifische Aspekte des Transfers beziehen, welche nur wenig mit der Realität von schulischem Lernen im Unterricht zu tun hat.

3.5 Fazit: Transferleistung im Lernprozess fördern

Für die Entwicklung des Unterrichtsmodells, des hydrologischen Lernmediums und der Wirksamkeitsstudie zur Förderung der Transferleistung lassen sich aus den lernpsychologischen und fachdidaktischen Theorien zu Lernen und Transfer verschiedene Folgerungen ableiten:

Beim **lernpsychologischen Konstruktivismus** (Kapitel 3.1) wird die enge Verschränkung der beiden Konstrukte „Lernen“ und „Transfer“ deutlich. So zeigt sich beim lernpsychologischen Verständnis zu kognitivem Lernen, intelligentem Verhalten, kognitivem Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus, dass bedeutungshaltiges Lernen immer auch die nachfolgende Anwendung und Übertragung (Transfer) des erworbenen Wissens anstrebt, resp. einschließt. Aufgrund dieser engen Verschränkung sind die lernpsychologischen Grundlagen zu den aufgeführten Theorien und Modellen auch für die Entwicklung des Unterrichtsmodells zur Transferförderung bedeutsam.

Die Analyse der Forschung zum lernpsychologischen Konstruktivismus (Kapitel 3.1), zu Vorstellungen und *Conceptual Change* (Kapitel 3.2) sowie zum Modell der

Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) zeigt deutlich, dass bei der Entwicklung eines Unterrichtsmodells und eines hydrologischen Lernmediums zur Transferförderung die **Schülervorstellungen** zu berücksichtigen sind, da sie ein entscheidender Bestandteil von Lernprozessen sind und damit für den Lernerfolg und die Transferleistung eine bedeutende Rolle spielen.

Das **Modell der Didaktischen Rekonstruktion** (MDR) (Kapitel 3.3) erweist sich als geeigneter didaktisch-methodischer Rahmen für die Entwicklung eines Unterrichtsmodells zur Transferförderung und des Lernmediums zur Hydrologie, da es im kognitiv-konstruktivistischen Sinn das Schüler- und Fachwissen aufeinander bezieht, vertieftes Lernen durch Vorstellungsänderungen hin zu wissenschaftlichen Sichtweisen explizit angeht und damit für fachlich korrekte Transferleistungen anschlussfähiges Wissen schaffen will. In der Praxis hat sich das MDR als Instrument für die Unterrichtsvorbereitung bewährt und insbesondere in naturwissenschaftlichen Fächern etabliert. Das MDR stellt Lehrpersonen aber auch vor praktische Herausforderungen, beispielsweise bei der fachlichen Klärung aus didaktischer Sicht, der prospektiven Erschließung von Schülervorstellungen oder dem Umgang mit 20 verschiedenen Schülervorstellungen im Unterricht. Bei der Entwicklung des Unterrichtsmodells und des Lernmediums zur Transferförderung soll das MDR als didaktisch-methodischer Rahmen einbezogen werden, wobei auch die Herausforderungen von Lehrpersonen mit dem MDR möglichst praxisorientiert zu berücksichtigen sind.

Aus der Analyse der **lernpsychologischen und pädagogischen Transferforschung** wird für die vorliegende Dissertation einerseits deutlich, dass eine fachdidaktische Forschung zu Transferleistungen in realen Schulsituationen verlangt ist, um auch praxis- und fachbezogene Erkenntnisse zum Lerntransfer in realen Schulsituationen zu erhalten. Andererseits erweist sich als sinnvoll, wenn die verschiedenen Fachdidaktiken den Transferbegriff und die Transferdistanz ausgehend vom allgemeinen lernpsychologischen Verständnis und bezogen auf ihre fachlichen Anforderungsbereiche definieren, um lernpsychologisch abgestützte und fachspezifisch relevante Forschung und Entwicklung zum Lerntransfer im Unterricht zu betreiben. In der vorliegenden Dissertation wird die Transferdistanz fach- und unterrichtsbezogen mit den Anforderungsbereichen II und III bestimmt – Aufgaben im Anforderungsbereich II „Anwendung“ und III „Weiterentwicklung“ (Tab. 1) verlangen von den Lernenden eine Übertragung des erworbenen Wissens auf einen anspruchsvolleren Anwendungsbereich (DGFG 2017, S. 5, 9). Diese eher allgemein festgelegte Transferdistanz kann bei konkreten Aufgabenstellungen präziser umschrieben werden.

In der Lernpsychologie, Pädagogik, Fachdidaktik und in den Fachwissenschaften wird dem **Transfer** beim Lernen insgesamt eine große Bedeutung zugemessen.

Wenn Lernen sinnvoll sein soll, muss das Gelernte anwendbar und übertragbar sein, um so späteres Lernen oder Problemlösen zu beeinflussen. Trotz dieser übereinstimmenden Einschätzung bestehen kaum geographiedidaktische Studien, welche die Transferleistung unterrichtsbezogen untersuchen. Dieses **Forschungsdefizit** wird noch grösser, wenn man einbezieht, dass es schwierig oder sogar unmöglich ist, die Ergebnisse aus hochspezialisierten experimentellen Untersuchungen der lernpsychologischen Transferforschung auf reale Unterrichtssituationen des Schullalltags zu übertragen. Die vorliegende Dissertation deckt damit eine Lücke in der geographiedidaktischen Forschung ab und gibt Hinweise auf die weitere Erforschung von Transferleistungen im Geographieunterricht.

In Kapitel 5.3 werden konkrete Bezüge vom entwickelten Unterrichtsmodell für die Transferförderung zu den lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen aus Kapitel 3 analysiert und zusammengestellt.

4 Zielsetzungen und Vorgehen

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass sich auf der einen Seite in der Hydrologie **komplexe Herausforderungen im Umgang mit Gewässern und der Ressource Wasser** stellen mit vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Gesellschaft, Wirtschaft und Naturraum, beispielsweise bei der Sicherung der Wasserversorgung in dicht besiedelten Gebieten und gleichzeitig klimabedingt zunehmenden Trockenphasen im Sommer. Ein zukunftsorientierter Umgang mit solch komplexen Herausforderungen verlangt von der Bevölkerung ein korrektes, anschlussfähiges und transferierbares hydrologisches Grundwissen und ein Bewusstsein für die Ressource Wasser bezogen auf eine soziale, wirtschaftliche und ökologische Entwicklung.

Auf der anderen Seite wird vom **modernen Geographieunterricht** immer wieder gefordert, dass die Kenntnisse so vermittelt werden, dass diese von den Lernenden an anderen Sachverhalten und in anderen geographischen Räumen angewendet und weiterentwickelt werden können. Ein solcher kompetenzorientierter Fachunterricht verlangt von den Lernenden, dass sie ihre erworbenen Kenntnisse bei anderen Problemstellungen anwenden und weiterentwickeln können. Diese Anforderungen setzen eine Transferleistung bei den Lernenden voraus.

Obschon damit aus gesellschaftlicher, fachlicher und fachdidaktischer Sicht Unterrichtskonzepte gefordert sind, welche die **Transferleistung** fördern und man sich in der Geographiedidaktik über deren Bedeutung einig ist (DGFG 2017; KLAUER 2011; SCHMIDTKE 2012, u.a.), gibt es im Fach Geographie kaum Studien zur Transferleistung (vgl. Kapitel 3.4.4). Die vorliegende Dissertation stellt sich diesem Forschungsdesiderat. Ausgehend vom verlangten anschlussfähigen hydrologischen Wissen der Bevölkerung, den Anforderungen an den modernen Geographieunterricht und vorliegenden geographiedidaktischen und lernpsychologischen Forschungskenntnissen geht die Dissertation der **Leitfrage** nach: Wie kann im Geographieunterricht die Transferleistung so gefördert werden, dass die Lernenden ihre erworbenen Kenntnisse im Raum auf neue Situationen und Aufgaben übertragen, zur Anwendung bringen und weiterentwickeln?

Geleitet von dieser Forschungsfrage sollen ein theorie- und praxisbezogenes Unterrichtsmodell zur Transferförderung sowie davon ausgehend Lernmaterialien zu Hochwasser entwickelt und in einer quantitativen Wirksamkeitsstudie in gymnasialen Klassen untersucht werden. Die Ergebnisse liefern erstmals theoriebasierende, praxisbezogene und statistisch überprüfte Grundlagen zur Transferleistung im Geographieunterricht der Sekundarstufe II. Einen Überblick zum Vorgehen in dieser Forschungsarbeit gibt die Abbildung 7.

Die Analyse der fachdidaktischen und lernpsychologischen Forschung zu Wissenskonstruktionen und Transferleistungen in Lernprozessen in Kapitel 3 zeigt, dass das zu entwickelnde **Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung** aktuelle Erkenntnisse des lernpsychologischen Konstruktivismus sowie der Vorstellungs- und *Conceptual Change*-Forschung berücksichtigen muss, damit die Lernenden im Unterricht ihr Vorwissen differenzieren, anreichern und für den Transfer in neuen Situationen weiterentwickeln können. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (MDR) eignet sich als didaktisch-methodischer Rahmen für die Entwicklung eines so ausgerichteten Unterrichtsmodells zur Transferförderung, da es im kognitiv-konstruktivistischen Sinn das Schüler- und Fachwissen systematisch aufeinander bezieht, vertieftes Lernen durch anvisierte Vorstellungsänderungen hin zu wissenschaftlichen Sichtweisen explizit angeht und damit für fachlich korrekte Transferleistungen anschlussfähiges Wissen schaffen will. Beim Unterrichtsmodell zur Transferförderung ist auch wichtig, dass es das eigenständige und analytische Denken der Lernenden explizit fördert, um eigenständige Transferleistungen in anderen Situationen und Aufgaben überhaupt erst zu ermöglichen. Bei der Entwicklung des Lernansatzes zur Förderung der Transferleistung (Kapitel 5) werden einerseits solche geographiedidaktischen und lernpsychologischen Forschungskenntnisse einbezogen. Andererseits wird der Lernansatz im eigenen Geographieunterricht auf der Sekundarstufe II auch immer wieder eingesetzt, überprüft, reflektiert und weiterentwickelt. Dieses Vorgehen ermöglicht die Entwicklung eines theorie- und praxisbasierten Unterrichtsmodells, welches Anschluss finden kann an die aktuelle lernpsychologische und geographiedidaktische Transferforschung sowie an die Unterrichtspraxis.

Der Lernansatz zur Transferförderung dient als didaktisches Konzept für die **Entwicklung eines Lernmediums zur Hydrologie**, welches die Forderungen nach anschlussfähigem und transferierbarem Wissen zur Bewältigung von zukünftigen Herausforderungen an konkreten Beispielen umsetzen soll (Kapitel 6). Das Lernmedium wird in Zusammenarbeit mit der Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern und dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES) entwickelt. Mit dem Hydrologischen Atlas der Schweiz stehen dem Lernmedium hydrologische Grundlageninformationen und Forschungswissen in Form von Karten, Texten und Grafiken der vergangenen 26 Jahre zur Verfügung. Ziel des Lernmediums ist es, das bestehende Forschungswissen zur Hydrologie in der Schweiz für die Bildung so aufzubereiten, dass das benötigte hydrologische Grundlagenwissen für zukunftsorientierte Entwicklungsfragen in der eigenen Lebenswelt anschlussfähig zur Verfügung steht. Da das neu entwickelte Lernmittel den Lernansatz umsetzt, dient es auch als Praxis-Beispiel für die Förderung der Transferleistung im Unterricht.

Der Lernansatz und das Lernmedium werden schließlich auf ihre Wirksamkeit bezüglich der Wissenskonstruktion und Transferleistung in einer **quantitativen Studie** im gymnasialen Geographieunterricht geprüft (Kapitel 7). In einer Experimental- und einer Vergleichsgruppe wird eine Intervention zum Thema Hochwasser von je 90 Minuten durchgeführt und die Veränderung des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser mit einem *Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design* in beiden Gruppen untersucht. Mit spezifisch entwickelten Erhebungsinstrumenten wird die Wirksamkeit des Lernansatzes und des Lernmediums auf die Bereiche Wissenszuwachs, Beständigkeit des Wissens, Transferleistung und Beständigkeit der Transferleistung gemessen.

Erkenntnisse aus der Entwicklung des Lernmediums und der Durchführung der quantitativen Wirksamkeitsstudie unterstützen zudem das Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung während den Arbeiten zu überprüfen, zu reflektieren und weiterzuentwickeln. So werden in einer kontinuierlichen Auseinandersetzung mit fachdidaktischen und lernpsychologischen Kenntnissen zu Wissenskonstruktionen und Transferleistungen in Lernprozessen (Kapitel 3 und 5.3), der Entwicklung von Lernmedien und verschiedenen Unterrichtsumsetzungen (Kapitel 6 und 5.2) und der Wirksamkeitsstudie (Kapitel 7) das Unterrichtsmodell zur Transferförderung (später „**Analytisch-erkenntnisorientierter Lernansatz AEL**“) konkretisiert und konsolidiert.

Das **Thema Hochwasser** eignet sich für die Wirksamkeitsstudie, weil diese Naturgefahr mit 70 – 80 Prozent der Schadenssummen aller Naturereignisse weltweit und in der Schweiz sehr bedeutend ist, ihre Auswirkungen auf den Menschen, die Wirtschaft und die Umwelt zugenommen haben (Abb. 3), Naturgefahren in den Lehrplänen der Geographie auf der Sekundarstufe II zu einem wichtigen Thema geworden sind (Fachrelevanz) und dieses Thema eine hohe Komplexität aufweist (vgl. oben). Zudem sind Kenntnisse zu Hochwasser weltweit anwendbar (exemplarische Relevanz, Transferleistung) und ist eine vertieft integrative Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen (z. B. Klima, Boden, Vegetation) und sozioökonomischen Faktoren (z. B. Siedlungswachstum im Gefahrengebiet) gefordert.

Mit dem Lernansatz, dem Lernmedium und der Wirksamkeitsstudie liegen **erstmals im Verbund theoriebasierte, praxisbezogene und statistisch überprüfte Grundlagen** zur Transferleistung im Geographieunterricht vor. Damit bietet die Studie Grundlagen zum Lerntransfer für unterrichtende Lehrpersonen, für die Ausbildung von Lehrpersonen, für die geographiedidaktische und lernpsychologische Forschung und für die Lernmedienentwicklung.

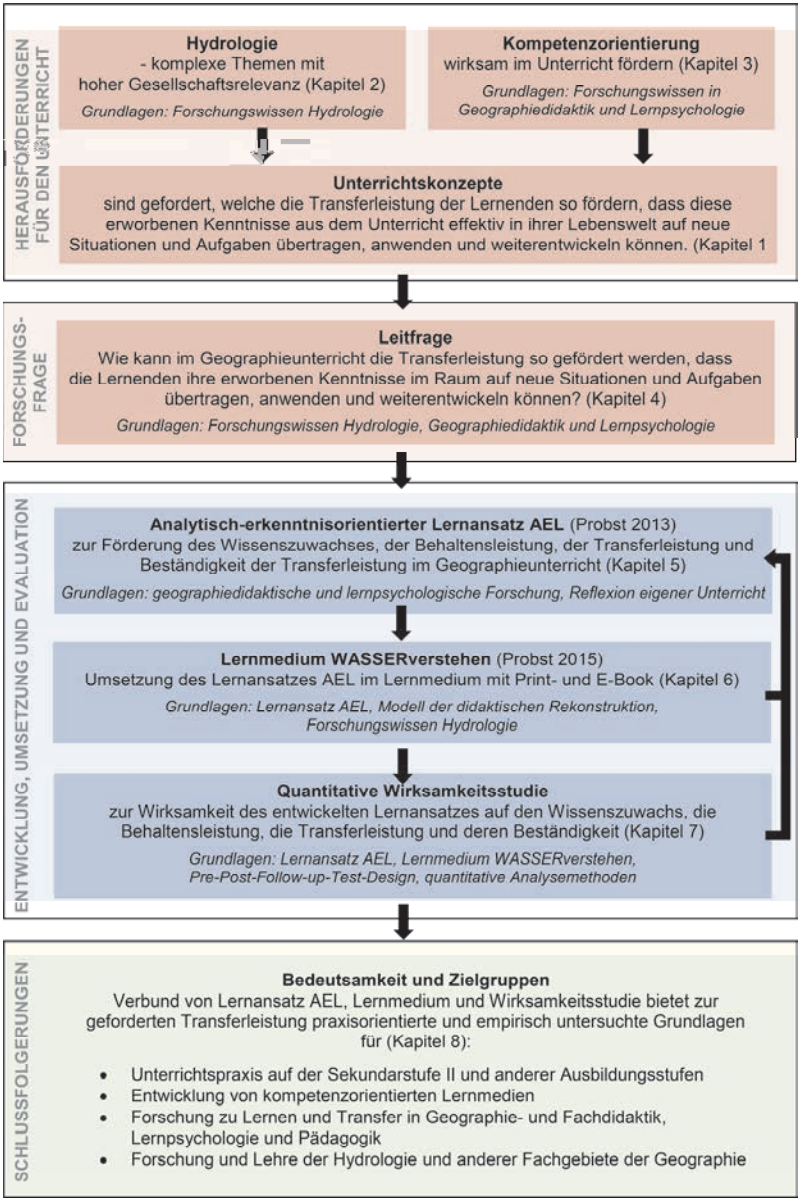


Abb. 7 | Detaillierter Überblick zum Dissertationsprojekt (allgemeiner Überblick in Abb. 1)

5 Entwicklung des Lernansatzes AEL – ein Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung

Ein Geographieunterricht, der die Lernenden befähigen soll, das Gelernte in anderen Situationen, Lebensräumen und an neuen Aufgaben anzuwenden und weiterzuentwickeln, setzt ein Unterrichtskonzept voraus, das auf diese Herausforderung spezifisch vorbereitet. Mit dem **analytisch-erkenntnisorientierten Lernansatz** (kurz **Lernansatz AEL**) (PROBST 2013) habe ich im Rahmen der Dissertation ein didaktisches Unterrichtsmodell entwickelt, das explizit dieser Forderung nachgeht. In Kapitel 5.2 wird der entwickelte Lernansatz AEL zur Transferförderung erläutert sowie die Bedeutung der Lernaufgabe, des Erklärungsansatzes und der Lehrperson bei der Umsetzung im Unterricht ausgeführt (Kapitel 5.1.3 bis 5.1.5.

Das Kapitel 5.2 zeigt konkrete Umsetzungsbeispiele des Lernansatzes AEL zu verschiedenen physisch- und humangeographischen Themen, welche ich im eigenen Geographieunterricht mit gymnasialen Klassen durchgeführt habe. Diese Beispiele dienen einerseits der Erprobung und Weiterentwicklung des Lernansatzes AEL, andererseits helfen sie verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten des Lernansatzes AEL auszuloten. Die Erkenntnisse aus den Fallbeispielen werden im Kapitel 5.2.7 schlussfolgernd zusammengefasst.

In Kapitel 5.3 wird der Lernansatz AEL in die lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen aus Kapitel 3 eingeordnet. Dabei werden die Position und der Kontext des Lernansatzes AEL innerhalb dieser Theorien und Modelle geklärt und sein Beitrag diskutiert.

5.1 Analytisch-erkenntnisorientierter Lernansatz AEL

5.1.1 Theorie- und praxisgeleitete Entwicklung

Im Rahmen der Dissertation wurde mit dem **analytisch-erkenntnisorientierten Lernansatz** (kurz **Lernansatz AEL**) (PROBST 2013) ein allgemein und flexibel einsetzbares Konzept entwickelt, das im Unterricht die Lernenden befähigen soll, das Gelernte in neuen Aufgaben anzuwenden und weiterzuentwickeln.

Bei der Entwicklung des Lernansatzes AEL wurden einerseits geographiedidaktische und lernpsychologische Forschungsergebnisse einbezogen (Kapitel 3). Insbesondere die Erkenntnisse aus der Forschung zum lernpsychologischen Konstruktivismus, zu Vorstellungen und *Conceptual Change*, zur didaktischen Rekonstruktion und zum Lerntransfer waren wichtige Grundlagen für den Lernansatz zur Förderung der Transferleistung. Andererseits wurde der Lernansatz AEL im eigenen Unterricht auf der Sekundarstufe II mehrfach überprüft, reflektiert und angepasst. So

konnten im Unterricht und auf Exkursionen immer wieder Faktoren, welche die Transferleistung der Schülerinnen und Schüler beeinflussen, beobachtet und in die Weiterentwicklung des Lernansatzes AEL einbezogen werden (Kapitel 5.2).

Der konzipierte Lernansatz AEL geht von der kognitiv- und sozio-konstruktivistischen Position aus (Kapitel 3.1), die den lernenden Menschen als zielgerichtet Handelnden auffasst, der von Problemen herausgefordert lernt, aktiv nach Informationen und Lösungen sucht, diese mit seinem Vorwissen verknüpft und über soziale Interaktionen differenziert und daraus neue Konzepte und Auffassungen über die Wirklichkeit ableitet (HASSELHORN und GOLD 2014). So soll mit dem Lernansatz AEL (Abb. 8) zu einem Unterrichtskonzept angeregt werden, das in jeder Unterrichtsphase analytisches und eigenständiges Denken fördert. Ausgehend von Kenntnissen sollen in jeder Lernphase durch analytische Denkprozesse eigene Erkenntnisse entwickelt werden (vgl. Abb. 8). Unter einer **Analyse** (griechisch análysis = Auflösung, Zergliederung) wird eine systematische Untersuchung verstanden, bei der das Objekt in verschiedene Bestandteile zerlegt wird, welche untersucht, geordnet und über festgestellte Wechselwirkungen zueinander in Bezug gebracht werden. Der Lernansatz AEL eignet sich daher für den Geographieunterricht mit seinen komplexen Sachverhalten, wo stets aus unterschiedlichen Perspektiven das dynamische Verhältnis von Gesellschaft und Raum, Kultur und Natur sowie Mensch und Umwelt im Raum erkannt und verstanden werden müssen.

KÖCK (2004) hat sich umfassend mit erkenntnisleitenden Ansätzen auseinandergesetzt und dabei den Standpunkt eingenommen, dass Kenntnisse die Voraussetzung für Erkenntnisse sind. Kenntnisse definiert er als zweistellige Relation (z. B. Person A kennt die Gerinneaufweitung am Alpenrhein) und die Erkenntnis als eine dreistellige Beziehung (z. B. Person A erkennt die Gerinneaufweitung am Alpenrhein *als* Maßnahme gegen Hochwasser). Das „als“ macht deutlich, dass Transferleistungen zu Erkenntnissen führen und daher ebenso Kenntnisse voraussetzen. Beim Lernansatz AEL wird ausgehend vom Begriffsverständnis von Köck unter **Kenntnis** das Wissen über einen bestimmten Sachverhalt verstanden. Demgegenüber sind mit **Erkenntnissen** gewonnene Einsichten und damit angereichertes und differenzierteres Wissen gemeint, zu welchen es bei der Verarbeitung von Eindrücken und Erfahrungen unter Einbezug von Kenntnissen kommt. Bezüglich dem Lernansatz AEL wird damit deutlich, dass in jeder der drei Lernphasen Transferleistungen verlangt werden, welche jeweils von Kenntnissen ausgehen, die in den Lernprozess eingebracht werden und bei der Konfrontation mit einem Sachverhalt zu Einsichten, den Erkenntnissen führen. Das Verständnis dieser Begrifflichkeiten und des Lernprozesseses nach dem Lernansatz AEL beruht auf der mehrfach nachgewiesenen Tatsache, dass Wissen grundsätzlich ein Entwicklungsprozess ist (ARTELT, WIRTH 2014, S. 191).

5.1.2 Lernansatz AEL – kurz erklärt

Der analytisch-erkenntnisorientierte Lernansatz (kurz: Lernansatz AEL) gliedert den Lernprozess in die drei Phasen Fokus, Wissen und Transfer (Abb. 8).

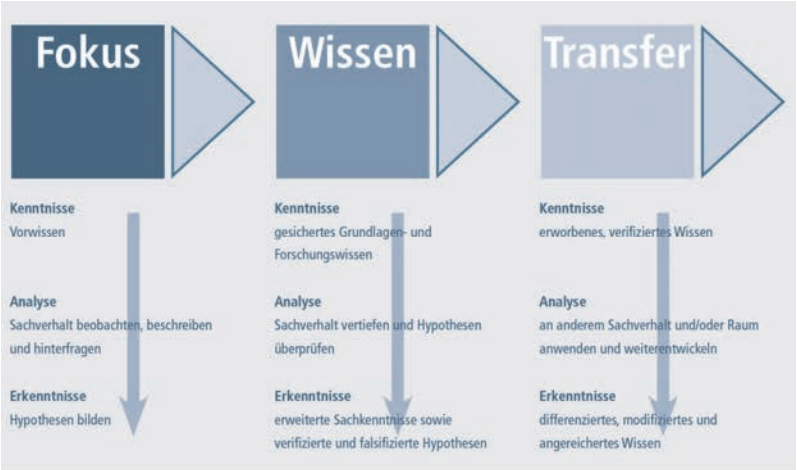


Abb. 8 | Lernansatz AEL – eigenständig analytisch Denken in allen Lernphasen, d.h. in den Phasen Fokus, Wissen und Transfer (PROBST 2015)

Phase Fokus

In der Phase **Fokus** (lateinisch focus „Herd“, „Feuerstelle“) soll eine **fokussierende Lernaufgabe** zu einer realitätsnahen Problemstellung den Schülerinnen und Schülern einen Zugang zum anspruchsvollen und komplexen Thema und zu ihrem Vorwissen verschaffen, um so eigenständiges Denken zum Sachverhalt im Lernprozess von Beginn an auszulösen. Bei der **Hinführung** zur Lernaufgabe baut die Lehrperson eine möglichst realitätsnahe, authentische und komplexe Problemsituation auf, um die Relevanz des Themas aufzuzeigen und die Vorstellungen der Lernenden sachbezogen zu aktivieren. Unterstützt von Medien stellt die Lehrperson bei der Hinführung affektive und kognitive Bezüge zur Lebenswelt der Lernenden her, um ihr Vorwissen und ihre Erfahrungen für das Thema anschlussfähig zu machen. Die Lehrperson verwickelt Schülerinnen und Schüler so in die Fragestellung der **fokussierenden Lernaufgabe**, dass diese anschließend in der Plenumsdiskussion schlussfolgernd verschiedene Hypothesen zur Problemsituation entwickeln, ausgehend von ihrem Vorwissen, ihren Erfahrungen und ihrer sachbezogenen Beobachtung und Analyse.

Indem die Schülerinnen und Schüler in der Phase Fokus zur **Analyse eines Sachverhalts** ausgehend von ihrem **Vorwissen,** ihren Erfahrungen und ihren sachbezogenen Beobachtungen und Überlegungen angeleitet werden, lernen sie bereits zu Beginn des Lernprozesses realitätsbezogen und analytisch zu denken, Wissen zu entwickeln und zu überprüfbaren Erkenntnissen (Hypothesen) zu gelangen (Probst 2013). Mit diesem Vorgehen ergibt sich die Möglichkeit, dass „neue" Ideen und Ansichten von den Jugendlichen geschaffen und in den Unterricht einbezogen werden oder sie zumindest die Vorgehensweise, die zu „neuen" Erkenntnissen führen, erfahren und üben können. Insgesamt wird also eine wissenschaftliche Vorgehensweise angewendet und eingeübt, die als überfachliche Kompetenz zur Erlangung der Hochschulreife und Studierfähigkeit in der Schweiz immer wieder gefordert wird (SCHWEIZERISCHE KONFERENZ DER KANTONALEN ERZIEHUNGSDIREKTOREN (EDK) 1995 und ARBEITSGRUPPE HOCHSCHULE UND GYMNASIUM (HSGYM) 2008).

Die **fokussierende Lernaufgabe** ist beim Lernansatz AEL sehr bedeutend. Sie soll die zentrale (wissenschaftliche) Perspektive zur Erschließung des Sachverhalts von Beginn weg aufzeigen, damit die ausgelösten Lernprozesse zu schülerbezogenen Verstehensprozessen und korrekt anwendbarem Wissen (Transferleistung) führen. Damit dies gelingen kann, fokussiert die Lernaufgabe das Vorwissen der Lernenden auf die entscheidenden wissenschaftlichen Zugänge an realitätsnahen Situationen. Die Bedeutung und Entwicklung von herausfordernden fokussierenden Lernaufgaben wird in Kapitel 5.1.3 ausführlicher dargelegt.

Für die Bearbeitung von komplexen geographischen Themen hat sich in der Unterrichtspraxis bewährt, wenn in der Phase Fokus ein inhaltlich passender, **wissenschaftlicher Erklärungsansatz (Modell, Konzept, Begriff)** für die Analyse und Hypothesenentwicklung beigezogen wird. Bei der Analyse von Hochwasserfaktoren im Bildausschnitt von Sedrun (Abb. 11) dient beispielsweise der Erklärungsansatz „Dispositionsmodell zu Hochwassergefahren" als Analyseinstrument und „Brille" für die strukturierte, zielorientierte und multiperspektivische Hypothesenentwicklung. Im Kapitel 5.2 sind mehrere Beispiele für die Bearbeitung komplexer geographischer Themen mit dem Lernansatzes AEL und passenden wissenschaftlichen Erklärungsansätzen zusammengestellt.

In der Phase Fokus kommt der **Lehrperson** eine zentrale Rolle zu. Sie führt das Unterrichtsgespräch so, dass möglichst viele verschiedene Überlegungen fokussiert zum Sachverhalt zusammenkommen. Das Ziel ist, dass die vorunterrichtlichen Vorstellungen einerseits für die Lernenden und andererseits aber auch für die Lehrperson transparent und zugänglich werden. Die Lehrperson führt dabei nicht nur die Diskussion, sondern richtet die Aufmerksamkeit besonders darauf, wie Schülerinnen und Schüler ihre Überlegungen und Hypothesen erklären und begründen, damit sie deren Vorstellungen und Perspektiven zu verstehen beginnt.

Aus diesem Grund sollen in der Phase Fokus die Überlegungen der Schülerinnen und Schüler nicht als falsch oder richtig beurteilt werden. Die Lehrperson muss aber dafür sorgen, dass die Hypothesen und deren Begründung (Erkenntnisse der Phase Fokus) für alle einsehbar und transparent festgehalten werden, z. B. auf Flipchart, Wandtafel. Damit möglichst viele verschiedene Schülervorstellungen und sachbezogene Aspekte in der konstruktiven und zugleich **kontroversen Diskussion** zusammen kommen, nimmt die Lehrperson folgende Rolle ein; Sie leitet das Unterrichtsgespräch, zeigt die Relevanz der Fragestellung auf, regt eine sachgerechte Argumentation zwischen Schülerinnen und Schülern an, integriert zielbewusst Fotos, Grafiken, Filme und andere Medien, gibt Zeit zum Überlegen, geht auf Anregungen und Ideen ein, aktiviert und integriert gezielt Vorwissen und Erfahrungen, fasst Gedankengänge zusammen, weist auf scheinbare Widersprüche hin, zeigt andere Denkmuster auf und regt zu Perspektivenwechseln an. Die Diskussion gleicht damit einem kooperativen und konstruktiven Aushandlungsprozess über plausible Wissenskonstruktionen, welche mögliche Erklärungen zum komplexen und realitätsnahen Ausgangsproblem liefern. Die Lehrperson kann so lernzielorientiert Denkprozesse auslösen, die für das Verstehen der Thematik wichtig sind und sachbezogene, persönliche und emotionale Bezüge bei den Lernenden ermöglicht. Die Lehrperson soll nicht deskriptiv lehren, sondern leiten, die geistige Selbständigkeit nicht behindern, sondern fördern. Eine gewisse „Reibung" zwischen Lernenden, Lehrperson und Unterrichtsgegenstand ist in dieser Phase unabdingbar, damit tiefes Lernen ermöglicht und damit tiefe kognitive Strukturen erreicht und erweitert werden.

Der passende Einsatz von **Medien** kann in der Phase Fokus den notwendigen Realitäts-, Aktualitäts- und Raumbezug herstellen und die Transferleistung aufgrund analog vorkommender Sachverhalte und Zusammenhänge im Lebensraum unterstützen (KLAUER 2011).

Phase Wissen

In der Phase **Wissen** vergleichen die Lernenden ihre eigenen Hypothesen mit wissenschaftlichen Kenntnissen. Die Lernenden werden damit in die Lage eines Forschenden versetzt, der seine Überlegungen mittels **Verifizierung und Falsifizierung** überprüft. Die Vermittlung von Grundlagen- und Forschungswissen wird dadurch zu einer **zielorientierten Analyse** bezüglich der Problemstellung, der eigenen Hypothesen und des eigenen Vorwissens (PROBST 2013). Damit unterscheidet sich die Vermittlungsform der Inhalte deutlich von verbreiteten Vorgehensweisen, die zuerst Wissen vermitteln und dann zu Übungs- und Anwendungsaufgaben übergehen.

Mit dem Überprüfen ihrer Hypothesen können die Lernenden ihre **vorunterrichtlichen Vorstellungen modifizieren, bereichern und differenzieren**. Ein solcher ***Conceptual Change*** (KATTMANN 2005) wird unterstützt, wenn sich die Lernenden mit den wissenschaftlichen Kenntnissen selber aktiv auseinandersetzen (in Einzel- oder Gruppenarbeit) sowie in einem Plenumsgespräch geleitet von der Lehrperson die Hypothesen der Schülerinnen explizit mit den wissenschaftlichen Kenntnissen bestätigend, korrigierend und differenzierend verglichen werden. Auch hier sollte ein kooperativer und konstruktiver Aushandlungsprozess zwischen allen Beteiligten stattfinden, um Vorbehalte sowie Lücken und Barrieren zwischen Vorwissen und gesichertem Fachwissen abzubauen. Hierzu muss die Lehrperson einerseits eine kontroverse Diskussion ermöglichen, andererseits muss sie aber auch deutlich und klar die Differenzen und Übereinstimmung zwischen den Hypothesen (vorunterrichtliche Vorstellungen) und den wissenschaftlichen Kenntnissen aufzeigen. Von der Lehrperson verlangt eine solche Rückmeldung zu den Hypothesen, dass sie ein Verständnis sowohl von vorunterrichtlichen Schülervorstellungen (aus der Phase Fokus) als auch von angestrebten wissenschaftsbasierten Vorstellungen hat.

Nach HATTIE (2014, S. 132ff) sind Rückmeldungen (Feedback) u. a. dann lernförderlich, wenn sie sich auf situativ beobachtbare Schülervorstellung, auf zeitnahe, konkrete Lernprozesse sowie auf transparente und herausfordernde Lernziele beziehen. Zusammenfassend ist das Ziel der kooperativen Verifizierung und Falsifizierung der Hypothesen im Plenum, dass Übereinstimmungen und Unterschiede zwischen Hypothesen und Forschungswissen („Lücken“) deutlich werden, um bei den Lernenden einen *Conceptual Change* zu unterstützen und so korrektes und anschlussfähiges Wissen für die Anwendung in anderen Situationen (Transfer) zu schaffen. Das Gelingen des *Conceptual Change* wird zudem unterstützt, wenn in der Diskussion mit den Lernenden auch die affektive Dimension mit Bezügen zu Überlegungen der Lernenden aus der Fokus-Phase einbezogen wird (REINFRIED und KIENZLER 2012, 47). Insgesamt achtet die Lehrperson in dieser Phase auf eine sachgerechte Vertiefung der Inhalte sowie die richtige Erfassung der inhaltlichen Struktur und Wechselwirkungen, damit die Schülerinnen und Schüler auf die Aufgaben der Anwendung und Weiterentwicklung in der nächsten Phase vorbereitet sind.

Phase Transfer

Bis zur **Phase Transfer** (lat. transferre „hinübertragen“) haben die Lernenden durch den analytischen Lernprozess das Selbstverständnis und die Fähigkeit erworben, bezogen auf den Themenbereich eigenständig zu denken. In der Phase Transfer können sie ihre gewonnenen Kenntnisse an neuen Aufgaben, in anderen Situationen und Lebensräumen nun explizit anwenden und weiterentwickeln. Dadurch wird die Relevanz der Inhalte für die Lernenden von neuem offenkundig

– ihre erworbenen Kenntnisse sind bei anderen Sachverhalten anwendbar und helfen ihnen beim Weltverstehen. Die Schülerinnen und Schüler gewinnen somit Selbständigkeit und Selbstvertrauen im Umgang mit dem Gelernten und mit neuen herausfordernden Problemsituationen in ihrer Lebenswelt. In dieser Lernphase werden aber auch die im Lernprozess erworbenen, modifizierten und angereicherten Kenntnisse (*Conceptual Change*) bestätigt und gefestigt. Dies ist aus Sicht von KATTMANN (2005) sehr wichtig, da viele Lernenden sonst wieder in ihre alten und gewohnten Konzepte „zurückfallen". Der Lernansatz AEL zeigt den Lernenden auch, wie „neues" Wissen über die Entwicklung von Hypothesen aus verschiedenen Perspektiven entsteht. Zudem werden die Lernenden auf Aufgabenstellungen zu den Anforderungsbereichen I, II und III explizit vorbereitet, die bei kompetenzorientierten Prüfungen und dem Bildungsabschluss von ihnen gefordert werden. Auf der anderen Seite erhalten die Lehrpersonen zu ihrem Unterricht aufschlussreiche Rückmeldungen darüber, ob die Schülerinnen und Schüler die vermittelten Kenntnisse in anderen Situationen und Aufgaben anwenden können und eigenständig denkend zu weiterführenden Erkenntnissen gelangen (Transferleistung).

Tab. 3 | Vier Transferarten des Geographieunterrichts: Räumlicher, inhaltlich-kognitiver, methodischer und aktionaler Transfer (nach RINSCHEDE 2007, S. 445; ergänzt mit Beispielen zu Hochwasser)

Art des Transfers	Ziel	Beispiel
räumlicher Transfer	von einem erlernten Sachverhalt in einem Raum auf andere ähnliche Sachverhalte in anderen Räumen schließen	in einem anderen Raumbeispiel erkennen, dass Hochwassergefahr besteht
inhaltlich-kognitiver Transfer	erworbene Kenntnisse auf andere Themenbereiche übertragen	mit Kenntnissen zu Ursachen von Hochwasser bestehende Maßnahmen beurteilen (Wirkung, Grenzen)
methodischer Transfer	gewonnene instrumentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten in andere Situationen übertragen	eine Gefahrenkarte (Methode, Instrument) zu einer anderen Naturgefahr (z. B. Rutschung) erstellen
aktionaler Transfer	Übertragung von Einstellungen und Haltungen auf andere Situationen und die eigene Situation bis hin zu veränderten Verhaltensweisen und Handlungen	Kenntnisse zum Umgang mit Hochwassergefahr und -risiko führt zu Verhaltensveränderungen an und in Gewässern

In der Phase Transfer kann die Lehrperson je nach Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung die Schülerinnen und Schüler selbständig analysieren lassen oder eine ähnliche Rolle wie im Fokus einnehmen und das eigenständige Denken der Lernenden mit passenden Medien, Diskussionsfragen und Methoden unterstützen. Die vier Transferarten – räumlicher, inhaltlich-kognitiver, methodischer und aktionaler Transfer (RINSCHEDE 2007, S. 445) – eröffnen den Lehrpersonen in dieser Phase vielfältige Varianten für Transfer-Lernaufgaben, damit die Lernenden aus verschiedenen Perspektiven ihr erworbenes Wissen anwenden, festigen, kontextualiseren, differenzieren, anreichern und bedeutungshaltig machen können (Tab. 3).

5.1.3 Bedeutung und Entwicklung fokussierender Lernaufgaben

Die herausfordernd **fokussierende Lernaufgabe** übernimmt beim Lernansatz AEL in den Phasen Fokus und Wissen eine zentrale und leitende Funktion. Die fokussierende Lernaufgabe setzt sich aus einer Hinführung, Frage- und Aufgabenstellung zusammen. Sie hat das Ziel das Vorwissen der Lernenden fokussiert auf eine realitätsnahe herausfordernde Problemsituation zugänglich zu machen sowie grundlegende (wissenschaftliche) Perspektiven zur Erschließung des Sachverhalts von Beginn weg aufzuzeigen.

Damit die fokussierende Lernaufgabe diese Bedeutung erhalten kann, muss die Lehrperson bei der **Hinführung** die Relevanz des Themenbereichs für Gesellschaft und Individuen problemorientiert aufzeigen und dabei Bezüge zu den Lernenden und ihren Vorstellungen herstellen. Ziel ist es, die Lernenden mit dem Thema so zu verwickeln, dass dieses zu „ihrem“ Problem wird.

Die nun folgende **Fragestellung** muss fokussiert sein, um eine konkrete und vertiefte Auseinandersetzung zur realitätsnahen Problemsituation auszulösen und fassbare Bezüge zu den Lernenden und ihrem Vorwissen herzustellen. Gelingt dies, können in den folgenden Lernphasen die Schülervorstellungen und das Fachwissen entsprechend dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion so aufeinander bezogen werden, dass die Lernenden ihr Vorwissen differenzieren, modifizieren und erweitern. Korrektes und anschlussfähiges Wissen ist die Voraussetzung für späteren erfolgreichen Transfer. Unter einer fokussierenden herausfordernden Fragestellung wird beim Lernansatz AEL eine Fragestellung verstanden, die sich auf eine realitätsnahe Problemsituation bezieht, zentrale wissenschaftliche Zugangs- und Sichtweisen berücksichtigt, die den Einbezug verschiedener Faktoren, Wechselwirkungen und Perspektiven verlangt und so konkret fassbare Vorstellungen tiefgründig erschließt (vgl. Abb. 9). Im Unterricht wird die Fragestellung häufig mit einer **Aufgabenstellung** kombiniert, welche das Vorgehen kompetenzorientiert präzisiert. Die Formulierung der Aufgabenstellung mit Operatoren (vgl.

Tab. 5) ermöglicht die Anforderungsbereiche I, II und III und damit die eingeforderten Kompetenzen für Lernende, aber auch Lehrpersonen transparent zu machen. Zudem können in der Aufgabenstellung nötige Hinweise zur Bearbeitung (z. B. Vorgehen, Zeit), zur Organisation (z. B. Einzel-, Partner oder Gruppenarbeit, Methode) zu Hilfsmittel (z. B. Buch, Atlas, Internet) und zum erwarteten Produkt (z. B. Notizen, Vortrag, Poster) angebracht werden.

Die Abbildung 9 dient der **Entwicklung von fokussierenden Lernaufgaben**, welche eine vertiefte vorwissens- und fachbezogene Auseinandersetzung mit einem komplexen Sachverhalt fördern. Die Darstellung ist nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion gegliedert, da die Entwicklung solcher Lernaufgaben eine fachliche und schülerbezogene Klärung verlangt:

- Bei der *fachlichen Klärung* dienen die Fragen dazu, fachlich zentrale, erklärende, aktualitätsbezogene und gesellschaftsrelevante Aspekte für die Fokussierung der Lernaufgabe zu finden.
- Die Fragen zur *Erfassung der Lernendenperspektive* können Lehrpersonen über die Erfahrung aus dem Unterricht, aus Prüfungskorrekturen und aus fachdidaktischer Literatur annährungsweise erschliessen. Diese Fragen können aber durchaus auch aus der eigenen Perspektive beantwortet werden – oftmals weisen eigene Erfahrungen und Vorstellungen auch Berührungspunkte mit der Lernendenperspektive auf.
- Für die *Entwicklung der fokussierenden Lernaufgabe* fließen schließlich die Ergebnisse der fachlichen Klärung und der Erfassung der Lernendenperspektive gleichberechtigt ein. Abschließend wird die entwickelte Lernaufgabe bezüglich ihrer Herausforderung, Fokussierung und geographischen Fachlichkeit mit der Tabelle 4 überprüft und entsprechend angepasst.

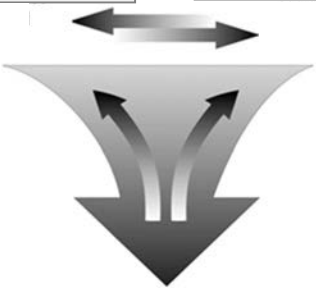
Die Abbildung 9 verdeutlicht auch, dass bei der Entwicklung einer fokussierenden Lernaufgabe nicht die Frage- und Aufgabenstellung im Zentrum steht, sondern die zu erwartende Antwort. Aus diesem Grund beziehen sich die Aspekte zur Überprüfung und Anpassung der Lernaufgaben in Tabelle 4 vorwiegend auf die zu erwartende Antwort. Abhängig von der Lernaufgabe nehmen die Aspekte in Tabelle 4 eine unterschiedliche Bedeutung ein, d. h. eine Lernaufgabe muss nicht alle Aspekte berücksichtigen.

Fachliche Klärung

- Welche fachlichen Konzepte, Erklärungsansätze, Zugangs- und Sichtweisen sind zentral und fördern ein grundlegendes und korrektes Fachverständnis?
- Welche inhaltliche Struktur ist erklärend und fördert das fachliche Verständnis?
- Über welche Aspekte zum Sachverhalt berichten Medien (Zeitungen, Radio, etc.), mit welchen Perspektiven und welchen Schwerpunkten?
- In Diskussionen mit Kolleginnen und Fachpersonen werden welche Aspekte zum Sachverhalt besonders aufgegriffen?

Erfassung der Lernendenperspektive

- Welche Erfahrungen, Vorstellungen und Kenntnisse habe ich, resp. die Lernenden zum Thema?
- Welche Hypothesen, Erklärungen und Wertungen habe ich, resp. die Lernenden zum Sachverhalt?
- Welche Erfahrungen liegen meinen Vorstellungen und Erklärungen, resp. der Lernenden zugrunde?
- Zu welchen Aspekten des Sachverhalts habe ich, resp. die Lernenden eine diffuse Vorstellung und unbefriedigende Erklärungen?
- Welche Fragen zum Sachverhalt stelle ich mir und erscheinen mir interessant und grundlegend?



Entwicklung fokussierender Lernaufgaben

- Welches sind die wichtigsten Vorstellungen der Lernenden und der Wissenschaft und wie korrespondieren sie zusammen (Unterschiede, Gemeinsamkeiten, Lücken)?
- An welcher realitätsnahen Situation mit welcher Lernaufgabe können zentrale Vorstellungen der Wissenschaft und der Lernenden möglichst authentisch diskutiert werden?

Abb. 9 | Entwicklung von fokussierenden Lernaufgaben (eigene Darstellung)

Tab. 4 | Überprüfung und Anpassung von Lernaufgaben bezüglich ihrer Fokussierung, Herausforderung und geographischen Fachlichkeit (eigene Darstellung)

Aspekte zur Überprüfung und Anpassung fokussierender Lernaufgaben
a) Die Lernaufgabe ist klar verständlich und herausfordernd, d. h. nicht die Frage- und Aufgabenstellung müssen komplex sein, sondern deren Beantwortung. b) Die Beantwortung verlangt eine komplexe und differenzierte Auseinandersetzung, d. h. die Frage kann nicht durch Aufzählung oder mit Ja oder Nein beantwortet werden. c) Die Beantwortung verlangt den Einbezug von Vorwissen und Erfahrungen. d) Die Beantwortung stellt für die Lernenden eine realitätsnahe Herausforderung und ist für die Altersstufe subjektiv sinnvoll, relevant und bewältigbar. e) Die Beantwortung verlangt den Einbezug verschiedener Faktoren, Wechselwirkungen, Ursachen, Folgen und Lösungsstrategien in Gegenwart und Zukunft. f) Die Beantwortung verlangt den Einbezug verschiedener Perspektiven (z. B. Sicht verschiedener Akteure, Fachbereiche, Denkweisen) und deren gegenseitiges Abwägen, Verknüpfen und in Beziehung setzen. g) Die Beantwortung verlangt das Verständnis von Prozessen im Raum und auf verschiedenen Maßstabsebenen (global, national, regional, lokal). h) Die Beantwortung verlangt, unterschiedliche gesellschaftliche Interessen zu erkennen, kritisch zu beurteilen und daraus mögliche Konflikte und Synergien abzuleiten. i) Die Beantwortung unterstützt die persönliche Meinungsbildung.

Tab. 5 | Operatoren zu den drei Anforderungsbereichen (DGFG 2017, S. 32–33)

Anforderungsbereich I

beschreiben	Materialaussagen und Kenntnisse (unter einem vorgegebenen Aspekt) mit eigenen Worten zusammenhängend, geordnet und fachsprachlich angemessen wiedergeben
durchführen	Untersuchungen, Experimente, Erkundungen, Befragungen nach genauen Anleitungen vollziehen
lokalisieren	Die Lage eines Ortes, Flusses o. Ä. auf einer Karte verorten/eintragen oder mit Bezug auf andere räumliche Gegebenheiten beschreiben
nennen	Informationen und Sachverhalte aus vorgegebenem Material oder Kenntnisse ohne Kommentierung wiedergeben
protokollieren	Beobachtungen oder die Durchführung von Experimenten detailgenau, zeichnerisch einwandfrei bzw. fachsprachlich richtig wiedergeben

Anforderungsbereich II

analysieren	Materialien oder Sachverhalte systematisch und gezielt untersuchen, auswerten und Strukturen herausarbeiten

darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden und Bezüge in angemessener Kommunikationsform strukturiert wiedergeben
ein-/zuordnen	Sachverhalte und Räume begründet in einen vorgegebenen Zusammenhang stellen oder in ein Ordnungsraster einordnen
erklären	Informationen und Sachverhalte (z. B. Erscheinungen, Entwicklungen) so darstellen, dass Bedingungen, Ursachen, Folgen und Gesetzmäßigkeiten verständlich werden
erläutern	Sachverhalte im Zusammenhang beschreiben und Beziehungen deutlich machen
erstellen	Sachverhalte inhaltlich und methodisch angemessen graphisch darstellen und mit fachsprachlichen Begriffen beschriften (z. B. Fließschema, Diagramm, Kartenskizze, Mind map)
planen	Zu einem Problem, einer Fragestellung z. B. eine Experimentieranleitung, Befragung, Raumanalyse erstellen; eine Vorgehensweise planen
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede gewichtend einander gegenüberstellen und ein Ergebnis/Fazit formulieren

Anforderungsbereich III

begründen	Komplexe Grundgedanken argumentativ schlüssig entwickeln und im Zusammenhang darstellen
beurteilen	Aussagen, Behauptungen, Vorschläge oder Maßnahmen im Zusammenhang auf ihre Stichhaltigkeit bzw. Angemessenheit prüfen und dabei die angewandten Kriterien nennen, ohne persönlich Stellung zu beziehen
bewerten	Aussagen, Behauptungen, Vorschläge oder Maßnahmen beurteilen unter Offenlegung/Reflexion der angewandten Wertmaßstäbe und persönlich Stellung nehmen
entwickeln	Sachverhalte und Methoden zielgerichtet miteinander verknüpfen, z. B. eine Hypothese erstellen, Untersuchungspläne aufstellen, ein Modell entwerfen
erörtern	Zu einer vorgegebenen Problemstellung durch Abwägen von Pro- und Contra-Argumenten ein begründetes Urteil fällen/eine begründete Meinung formulieren; Synonym: diskutieren
überprüfen	Vorgegebene Aussagen bzw. Behauptungen, Darstellungsweisen an konkreten Sachverhalten auf ihre innere Stimmigkeit und Angemessenheit hin untersuchen

In der fachdidaktischen Forschung besteht ein breiter Konsens, dass Lernaufgaben eine zentrale Rolle beim Lernen und Unterrichten spielen. Beispielsweise bezeichnet REUSSER (2013, S. 4) Lernaufgaben als „das Substrat der Lerngelegenheiten im Unterricht“ und nach LASKE (2012) findet das Lernen an Beispielen und Aufgaben statt. Für den Geographieunterricht bieten sich herausfordernde Lernaufgaben geradezu an, um eine tiefgründige Auseinandersetzung mit aktuellen und komplexen Themen des Faches zu erreichen. Ein Geographieunter-

richt, dem solche Lernaufgaben zugrunde liegen, unterscheidet sich von Vorgehensweisen, die Wissen deskriptiv vermitteln.

5.1.4 Bedeutung wissenschaftlicher Erklärungsansätze

Bei komplexen geographischen Themen hat sich in der Unterrichtspraxis mit dem Lernansatz AEL der Einbezug von **wissenschaftlichen Erklärungsansätzen (Modell, Konzept, Begriff)** bewährt. Der Erklärungsansatz gibt eine wissenschaftsorientierte Struktur vor, um die Schülervorstellungen auf das Fachwissen zu beziehen und das erworbene Wissen strukturiert und analytisch in andere Problemsituationen zu übertragen (Transferleistung).

In der Phase Fokus helfen Erklärungsansätze als **Analyseinstrument** die Vorstellungen, Beobachtungen, Überlegungen und die Hypothesenentwicklung zu strukturieren. So unterstützt der Erklärungsansatz „Dispositionsmodell zu Hochwassergefahren“ die Analyse der Hochwasserfaktoren im Bild von Sedrun (Abb. 11) und die strukturierte, zielorientierte, differenzierte und multiperspektivische Hypothesenentwicklung. Ein so eingesetzter Erklärungsansatz schränkt die Überlegungen der Lernenden bei der Analyse nicht ein, sondern regt dazu an, verschiedene Perspektiven einzubeziehen. Damit werden vielfältige Schülervorstellungen zum Inhalt aktiviert und kreatives und eigenständiges Denken unterstützt.

In der Phase Wissen ermöglicht der wissenschaftliche Erklärungsansatz einen **strukturierten Vergleich der eigenen Hypothesen mit dem Fachwissen**, was den Aufbau einer organisierten und anschlussfähigen Wissensstruktur unterstützt. Der bewusste Vergleich von Vorwissen mit Fachwissen fördert die Überwachung, Steuerung und Regulation des eigenen Lernens und der Informationsverarbeitung. Zudem unterstützen Erklärungsansätze in allen Lernphasen das **Abstrahieren und Generieren von Prinzipien und Regelwissen**, was insbesondere bei komplexen Inhalten das Verständnis und damit auch die Transferleistung der Lernenden fördert. Insgesamt wird mit der Kombination von Lernansatz AEL und wissenschaftlichem Erklärungsansatz der Erwerb von metakognitiven Fertigkeiten (z. B. Validierung von Hypothesen) gezielt und explizit mit fachlichem Lernen verbunden.

In der Phase Transfer erhalten die Lernenden mit dem wissenschaftlichen Erklärungsansatz ein **„Analyse- und Denk-Instrument“**, um ihr strukturiert erworbenes Wissen in anderen Situationen und Aufgaben anzuwenden und weiterzuentwickeln. So hilft der Erklärungsansatz neue Probleme zu erfassen sowie das passende erworbene Wissen abzurufen und eigenständig denkend bei der Problemlösung anzuwenden.

Im Kapitel 5.2 sind mehrere Beispiele für die Bearbeitung komplexer geographischer Themen mit dem Lernansatzes AEL und passenden wissenschaftlichen Erklärungsansätzen zusammengestellt.

5.1.5 Rolle der Lehrperson

Lehrpersonen sind im Unterricht grundsätzlich herausgefordert, Fachinhalte so zur vermitteln, dass die Lernenden ihr Vorwissen aktivieren, differenzieren, modifizieren und anreichern und so ein korrektes und für Transfersituationen anschlussfähiges Wissen aufbauen. Der Lernansatz AEL will die Vorbereitung und Durchführung eines so ausgerichteten Unterrichts unterstützen.

Ein Unterricht nach dem Lernansatz AEL verlangt von der Lehrperson insgesamt eine aufmerksame, offene und interessierte **Haltung** gegenüber den Schülerinnen und Schülern und ihren Vorstellungen sowie gegenüber fachlichen Fragen, aktuellen Erkenntnissen und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen. Diese Haltung ist eine Grundvoraussetzung für das entsprechende Engagement bei der Unterrichtsvorbereitung, für die verlangte Präsenz im Unterricht und für eine konstruktive Nachbereitung des Unterrichts, wo stets Schüler- und Fachwissen aufeinander bezogen werden müssen und die Anwendung des Wissens an realitätsnahen Problemsituationen angestrebt wird.
Ausgehend von dieser Haltung der Lehrperson geht der Lernansatz AEL von einer **Schülerorientierung** aus, welche die Lernenden unabhängig von ihrer Lernleistung als Ansprechpartner ernst nimmt sowie in allen Lernphasen auf ihre Vorstellungen bezogen ist. Dies entspricht einerseits dem geographiedidaktischen Verständnis von Schülerorientierung, das die Berücksichtigung von Vorstellungen, Vorwissen, Erfahrungen, Lebensbedingungen, Lernfähigkeit und Lernstand der Lernenden als qualitätsbeeinflussenden Faktor im Lernprozess erachtet (Otto 2012, S. 51). Andererseits nimmt der Lernansatz AEL auch die Forderung der allgemeinen Pädagogik nach einer schülerorientierten Differenzierung des Unterrichts auf; Unterricht muss an die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen, um den zentralen Kriterien nach Passgenauigkeit und Individualisierung zu entsprechen (Helmke 2013, S. 35 und 2017, S. 248ff).

Bei der **Unterrichtsvorbereitung** nach dem Lernansatz AEL müssen im Besonderen folgende Aspekte beachtet werden:

- Entwicklung einer fokussierenden Lernaufgabe zu einer realitätsnahen authentischen Problemsituation für die Phase Fokus (vgl. Kapitel 5.1.3)
- Wahl eines wissenschaftlichen Erklärungsansatzes (vgl. Kapitel 5.1.4)
- Zusammenstellung von klar strukturiertem wissenschaftsorientiertem Fachwissen (z. B. Texte, Filme), von Recherche-Aufträgen für die Phase Wissen und von Anwendungsaufgaben für die Phase Transfer

- Planung der Lernschritt-Abfolge für die Passung von Schüler- und Fachwissen, d. h. wann und wie wird mit Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen das Schülerwissen zugänglich gemacht und wann und wie wird dieses mit dem Fachwissen geklärt

Bei der **Unterrichtsdurchführung** nach dem Lernansatz AEL kommen der Lehrperson in den drei Phasen Fokus, Wissen und Transfer unterschiedliche Rollen zu. In der **Phase Fokus** führt sie das Unterrichtsgespräch so, dass möglichst viele verschiedene Überlegungen (Schülervorstellungen) begründet und fokussiert auf den Sachverhalt zusammenkommen (vgl. Kapitel 5.1.2). Dabei beurteilt die Lehrperson die Überlegung der Lernenden explizit nicht. Sie verlangt aber Begründungen zu den Hypothesen (mentale Modelle), damit diese für alle nachvollziehbar und verständlich sind. In dieser Phase besteht die Gefahr einer unübersichtlichen Ansammlung von Überlegungen, die alle Beteiligten gleichermaßen überfordert. Insbesondere Lehrpersonen sind bei deren weiteren Verarbeitung vor große fachliche und methodische Herausforderungen gestellt. Um gerade in komplexen geographischen Themen solche Situationen im Unterricht zu vermeiden, hat sich beim Lernansatz AEL der Einbezug einer fokussierenden Lernaufgabe für eine fachlich zielführende Eingrenzung und eines wissenschaftlichen Erklärungsansatzes für die Einordnung und Entwicklung von Hypothesen bewährt (vgl. Kapitel 5.1.3. und 5.1.4). Die fokussierende Lernaufgabe und der wissenschaftliche Erklärungsansatz unterstützen den Lernprozess und die Lehrperson, indem die Lernenden vorwiegend fachlich zielführende Hypothesen in überschaubarer Zahl einbringen, welche im folgenden Unterricht auch vertieft verfolgt werden können. Die Hypothesen und deren Begründung sollen für alle einsehbar und transparent festgehalten werden (z. B. auf Flipchart, Wandtafel), damit in der folgenden **Phase Wissen** die Schülervorstellungen mit dem Fachwissen explizit und tiefgründig verglichen, diskutiert, differenziert, modifiziert und angereichert werden können. In der Phase Wissen sorgt die Lehrperson dafür, dass die Validierung der Hypothesen sowohl eigenständig als auch in einer Plenumsdiskussion stattfinden kann, damit individuell gewonnene Erkenntnisse in einem konstruktiven Aushandlungsprozess im Plenum gefestigt und allfällige Unklarheiten und Vorbehalte geklärt werden können. Ziel ist es, Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Schülervorstellungen und Fachwissen transparent und deutlich aufzuzeigen, um bei den Lernenden einen *Conceptual Change* zu erzeugen. Insgesamt achtet die Lehrperson in dieser Phase auf eine sachgerechte und schülerbezogene Vertiefung der Inhalte sowie die korrekte Erfassung relevanter Aspekte, Sichtweisen, Wechselwirkungen und der inhaltlichen Struktur, um anschlussfähiges Wissen für die Anwendung in anderen Situationen (Transfer) zu schaffen. In der **Phase Transfer** kann die Lehrperson je nach Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung die Schülerinnen und Schüler selbständig analysieren lassen oder wie in der Phase Fokus das eigenständige Denken

der Lernenden mit passenden Medien, Diskussionsfragen und Methoden unterstützen (vgl. Kapitel 5.1.2). Die vier Transferarten räumlicher, inhaltlich-kognitiver, methodischer und aktionaler Transfer (vgl. Tab. 3) ermöglichen der Lehrperson vielfältige Transferaufgaben, so dass die Lernenden aus verschiedenen Perspektiven ihr erworbenes Wissen anwenden, festigen, kontextualisieren, differenzieren, anreichern und bedeutungshaltig machen können.

Das **Unterrichtsklima** ist sehr bedeutend für eine lern- und transferförderliche Umsetzung des Lernansatzes AEL. Das Lernen sollte in einem respektvollen und wertschätzenden Rahmen stattfinden. Dabei ist es wichtig, dass Fehler von allen Beteiligten als selbstverständlicher Teil des Unterrichts aufgefasst und als Anregung für den weiteren Lernprozess genutzt werden. Eine solche Fehler- und Feedbackkultur ist die Basis, damit Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler für alle zugänglich und diskutierbar sind, ein schüler- und wissenschaftsbezogenes Überprüfen der Hypothesen möglich wird und tiefgründige Lernsituationen (*Conceptual Change*) entstehen.

Nach konstruktivistischen Ansätzen sind die **Steuerungs- und Strukturierungshilfen der Lehrperson** oft notwendig, um einen konstruktiven und aktiven Aufbau von kognitiven Schemata überhaupt zu ermöglichen. Diese Rolle übernimmt die Lehrperson in allen drei Phasen des Lernansatzes AEL, ausgeprägt in der Phase Fokus und Wissen. „Trotz“ dieser einflussreichen Rolle der Lehrperson besteht die **Selbstbestimmtheit der Lernenden** mit den möglichen individuellen Lernwegen, Fehlern und Umwegen und der Verantwortung für den eigenen Lernprozess. Auch in diesem Punkt stimmt der Lernansatz AEL mit den konstruktivistischen Positionen überein (vgl. Erläuterungen zu Instruktion und Konstruktion in Kapitel 5.3.1). Die Lehrperson muss beim Lernansatz AEL offen sein für die Vorstellungen der Lernenden, diese aufmerksam, transparent und respektvoll in den Lernprozess einbeziehen, deren Plausibilität fachbezogen mit den Lernenden diskutieren, abwägen und schließlich mit wissenschaftlichen Kenntnissen vergleichen, modifizieren und anreichern.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die **Unterrichtsdurchführung** nach dem Lernansatz AEL von der Lehrperson hohe Aufmerksamkeit und Präsenz verlangt sowie einen flexiblen Umgang mit fachlichen Fragen, um Schülervorstellungen und Fachwissen situativ angepasst aufeinander zu beziehen und die Anwendung des erworbenen Wissens an realitätsnahen Beispielen im Unterricht zu festigen.

5.2 Erprobung des Lernansatzes AEL – Fallbeispiele aus der Unterrichtspraxis

Den Lernansatzes AEL habe ich im eigenen Geographieunterricht in gymnasialen Klassen zu verschiedenen physisch- und humangeographischen Themen und Unterrichtsformen (z. B. Plenum, Geländepraktikum, Strategiespiel) erprobt (Tab. 6). Dabei habe ich durch Beobachtung und praxisbezogene Reflexion den Lernansatz AEL weiterentwickelt sowie grundlegende wichtige Aspekte für die Umsetzung dieses Unterrichtsmodells herausgearbeitet, beispielsweise die Rolle der Lernaufgabe, des Erklärungsansatzes und der Lehrperson (vgl. Kapitel 5.1).

Tab. 6 | Erprobte Fallbeispiele zum Lernansatz AEL
Bemerkung: Der zeitliche Umfang wird nur für die beiden Phasen Fokus und Wissen angegeben, da die Phase Transfer je nach Umsetzung und Tiefgründigkeit zeitlich stark variieren kann.

Fallbeispiel (Kapitel)	**Geographische Einordnung**	**Lernort**	**Aktionsform**	**Unterrichtszeit** (Fokus & Wissen)
Hochwasser (5.2.1)	Physische Geographie, Integrale Geographie, Thema Naturgefahren	Schulzimmer, im Freien	Kontroverse Diskussion	~ 65 Minuten
Boden (5.2.2)	Physische Geographie, Integrale Geographie, Thema Boden	Im Freien	Kontroverse Diskussion, Geländepraktikum	~ 35 Minuten
Verstädterung (5.2.3)	Humangeographie, Thema Stadtgeographie	Schulzimmer	Rätsel	~ 10 Minuten
Nachhaltige Entwicklung (5.2.4)	Humangeographie, Integrale Geographie, Thema Nachhaltige Entwicklung	Schulzimmer	Kontroverse Diskussion	~ 10 Minuten
Aufeinandertreffen von Kulturen (5.2.5)	Humangeographie, Thema Kulturen und Integration	Schulzimmer	Kontroverse Diskussion	~ 30 Minuten
Bougouni – ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung im Sahel (5.2.6)	Humangeographie, integrale Geographie, Thema Sahelzone, Entwicklungsländer, nachhaltige Entwicklung	Schulzimmer	Gruppendiskussion, Strategiespiel im Plenum	~ 135 Minuten

In diesem Kapitel werden einige dieser erprobten Fallbeispiele kurz dargelegt, um verschiedene Einsatzmöglichkeiten des Lernansatzes AEL im Unterricht herauszuarbeiten und dabei das Potenzial des Lernansatzes AEL für kompetenzorientierten

Fachunterricht im Allgemeinen und für die Förderung der Transferleistung im speziellen praxisbezogen aufzuzeigen. Die Erkenntnisse aus diesen Erprobungsbeispielen werden im Kapitel 5.2.7 schlussfolgernd zusammengefasst.

5.2.1 Fallbeispiel Hochwasser

Das Fallbeispiel zum Thema Hochwasser nach dem Lernansatz AEL wurde im eigenen Unterricht in drei gymnasialen Klassen des Ergänzungsfaches Geographie im 11. Schuljahr mit den Themenblatt „Hochwasser“ des Lernmediums WASSERverstehen (Probst 2015) erprobt. Dieses Fallbeispiel wurde schließlich für die Intervention bei der quantitativen Wirksamkeitsstudie in der vorliegenden Dissertation mit vier Klassen in einer Doppellektion (90 Minuten) eingesetzt (vgl. Kapitel 7). D. h. für die Phasen Fokus und Transfer wurden ca. 65 Minuten eingeräumt, für die Phase Transfer ca. 25 Minuten.

Im Folgenden wird die Erprobung des Themas Hochwasser nach den Phasen des Lernansatzes AEL kurz erläutert, um anschließend Beobachtungen aus dem Unterrichtsverlauf nachvollziehbar darzulegen und Erkenntnisse abzuleiten.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe:
Hinführung: Hochwasser verursachen 70–80 Prozent der Schadenssummen aller Naturgefahren weltweit und in der Schweiz (vgl. Abb. 5). Ausgewählte Fotos zu Hochwasser in der Region der Lernenden veranschaulichen Hochwassersituationen, zeigen deren wirtschaftliche und gesellschaftliche Relevanz und aktivieren eigene Erfahrungen und Vorstellungen zu Hochwasser (z. B. Abb. 10). Die Feststellung "Trotz erhöhter Wetter-Prognosequalität bleibt die Vorhersage von Hochwasser schwierig" von Rolf Weingartner (Professor für Hydrologie) zeigt, dass entgegen vieler Vorstellungen nicht der Niederschlag alleiniger Grund für Hochwasser ist, d. h. auch andere Faktoren eine bedeutende Rolle spielen. Dies führt zur folgenden herausfordernden fokussierenden Leitfrage.
Leitende Fragestellung: Welche weiteren Faktoren beeinflussen die Hochwassergefahr in einer Region?
Aufgabenstellung: Stellen Sie Hypothesen zu Ursachen von Hochwasser zusammen unter Einbezug der Abbildungen.

Abb. 10 | Aare in Bern beim Hochwasserereignis am 24. August 2005 (© AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Foto: Beat Baumann)

Abb. 11 | Sedrun mit drei Wildbächen Strem, Drun und Drun da Bugnei, von links nach rechts (© VBS)

Entwicklung von Hypothesen: Die Entwicklung von Hypothesen zur leitenden Fragestellung erfolgt in der Plenumsdiskussion ausgehend von den Schülervorstellungen zu Hochwasser und der Analyse des Bildes zu Sedrun (Abb. 11), wo sich durch den Vergleich von drei unterschiedlichen Tälern verschiedene Hochwasserfaktoren analysieren lassen. Das Foto zu Sedrun ist für eine solche Analyse sehr geeignet, da die Einzugsgebiete der drei Wildbäche sich bezüglich Gefälle, Vegetation, Böden, Felsflächen und Höhenlage unterscheiden und daher zu einer vertieften Auseinandersetzung anregen. Mit dem Vergleich der drei Täler lässt sich das Prinzip des Vergleichens aus den Transfertheorien bestens umsetzen (vgl. Kapitel 3.4.3).

Nachdem die Lernenden zwei bis drei Hochwasserfaktoren begründet eingebracht haben (z. B. Schneeschmelze, Boden nimmt wie ein

Schwamm Wasser auf), führt die Lehrperson das Dispositionsmodell zu Hochwasser (vgl. Abb. 4) kurz ein, um schließlich im Plenum die bisher genannten Hochwasserfaktoren als Beispiele zuzuordnen (z. B. Schneeschmelze ist eine variable Disposition). Anschließend unterstützt das Dispositionsmodell zu Hochwasser die Entwicklung weiterer Hypothesen, beispielsweise die Suche weiterer saisonaler Hochwasserfaktoren im Foto von Sedrun.

Die Entwicklung von Hypothesen wird situativ angepasst mit den Medien des E-Books (vgl. Themenblatt Hochwasser S. 1 unter www.wasserverstehen.ch) unterstützt. Beispielsweise können mit dem dort abgelegten Film zu einem Hochwasserereignis die Hypothesen realitätsbezogen ergänzt, korrigiert und präzisiert werden. Die Lehrperson protokolliert die Hypothesen für alle einsehbar an der Wandtafel, Hellraumprojektor o.Ä. und die Lernenden halten alles auf ihrem Arbeitsblatt (Abb. 38) fest.

Wissen

Validierung der Hypothesen: Die Schülerinnen und Schüler vergleichen ihre Hypothesen mit dem aktuellen Fach- und Forschungswissen zu Hochwasserfaktoren im Themenblatt Hochwasser von WASSERverstehen auf den Seiten 2 bis 3. In der anschließenden Plenumsdiskussion werden die Erkenntnisse aus dieser eigenständigen Analyse im (Wandtafel-)Protokoll zusammengetragen, d. h. die Hypothesen werden explizit bestätigt, korrigiert, differenziert und ergänzt (vgl. Tab. 6).

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Schülerinnen und Schüler wenden ihr erworbenes Wissen bei der Analyse des letzten Hochwassers in ihrer Region an, indem sie Grunddispositionen, variable Dispositionen und das auslösende Ereignis beobachten und zusammentragen.

Tab. 7 | Grunddispositionen, variable Dispositionen und auslösendes Ereignis bei Hochwasser (eigene Darstellung)
Bemerkung: In den Erprobungen häufig genannte Hypothesen der Lernenden sind in blauer Schrift aufgeführt, die Gutzeichen markieren deren Richtigkeit. In roter Schrift sind die Korrekturen angegeben, d. h. die fehlenden und schliesslich ergänzten Aspekte.

	Validierte Hypothesen
Grund-disposition	**Topographie**: • steiles und enges Gerinne **(✓)** • keine Überflutungsflächen, Auen, Seen **(✓)** • Form des Einzugsgebietes: Stärkere Konzentration des Abflusses in rundem als in länglichem Einzugsgebiet **Geologie:** • Gesteinsart und dessen Verwitterungsgrad: in Lockermaterial und

	verwittertem Fels mit Klüften kann Wasser besser versickern und zwischengespeichert werden als in festem Fels. **Boden:** • Bodenart: Wasser versickert in kaum durchlässigen Böden (z. B. lehmige Böden) schlecht, was zu Oberflächenabfluss führt. In gut durchlässigen, lockeren Waldböden versickert Wasser besser. **(✓)** • Bodenmächtigkeit: flachgründige Böden haben ein geringeres Speichervermögen als tiefgründige Böden und sind daher schneller gesättigt (⇨ beeinflusst Zwischenspeicherung von Wasser und Oberflächenabfluss) **Vegetation:** • tiefgründige Durchwurzelung erhöht den Porenraum und verbessert so die Versickerung von Regenwasser ✓ • Durchwurzelung von Boden und Lockermaterial vermindert Geschiebeanteil im Bach und Rutschung in Gerinne ✓ • Interzeption ist nur bei einzelnem und kurzem Niederschlagsereignis relevant • Transpiration ist bei Starkniederschlag kaum relevant, danach führt sie Wasser aus dem Bodenspeicher ab und macht ihn so für nächstes Ereignis wieder aufnahmefähiger. **(✓)** **Mensch:** • Bodenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen vermindern Versickerung und erhöhen Oberflächenabfluss • Flussbegradigung im Unterlauf erhöht die Fließgeschwindigkeit, Hochwasserspitze und Erosion **(✓)**
Variable Disposition	**Witterung:** • langanhaltender Niederschlag ✓ • hohe Nullgradgrenze führt zu Niederschlägen über großem Gebiet in Form von Regen anstatt Schnee • Schneeschmelze nach schneereichem Winter ✓ **Boden:** • Wassersättigung der Böden ✓ • Boden nimmt wie ein Schwamm Wasser auf, außer bei gefrorenen oder sehr trockenen Böden **(✓)**
Auslösendes Ereignis	• intensives Niederschlagsereignis ✓ • starke Schneeschmelze ✓ • Verklausung des Bach- oder Flusslaufes durch mitgerissenes Holz und Geröll an Verengungen oder Brücken • Stauung des Bach- oder Flusslaufes durch Erdrutsch oder Steinschlag von seitlichen Hängen

Bei den Erprobungen entwickelten die verschiedenen Klassen in der Phase Fokus häufig ähnliche Hypothesen (vgl. Tab. 7). Alle Klassen brachten Hochwasserfaktoren zu den vier Kategorien Topographie, Boden, Vegetation und Witterung in die Diskussion ein und erfassten mindestens zwei Hochwasserfaktoren je Dispositionsart[2]. Zu den beiden Kategorien Geologie und Mensch wurden selten oder nur am Rande Hochwasserfaktoren diskutiert. Dies ist überraschend, da auf dem Foto von Sedrun (Abb. 11) sowie in den anderen Fotos (z. B. Abb. 10) des Themenblattes Hochwasser zum Fokus auf Seite 1 beide Faktoren deutlich und explizit vorkommen. In den Diskussionen zeigte sich jeweils, dass die Schülerinnen und Schüler nur ungenaue Vorstellungen vom Untergrund haben. So bestanden kaum Vorstellungen über die Tiefgründigkeit von Böden in der Schweiz, d. h. ab welcher Tiefe der geologische Untergrund beginnt und er die Versickerung des Wassers beeinflusst. Zudem wurde die Geologie häufig mit festem, wasserundurchlässigem Fels gleichgesetzt, d. h. die Vorstellung von geologischem Lockermaterial (z. B. Schotter, Moräne), klüftigem oder porösem Fels im Untergrund fehlte mehrheitlich. Bezüglich Hochwasserfaktoren zur Kategorie Mensch wurden vereinzelt die Auswirkungen von Begradigungen, resp. „Flusseinengungen“ durch den Menschen als hochwasserbeeinflussend diskutiert. Nach den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler scheint Hochwasser primär ein physischer Prozess ausgelöst durch physischgeographische Faktoren zu sein. In den Diskussionen zu den Hypothesen zeigte sich interessanterweise auch, dass die Lernenden Hochwasser nur mit dem Element Wasser verbinden. Bei ihren Überlegungen zu Hochwasserfaktoren kommen daher mittransportiertes Geröll und Holz nur selten vor, womit Brücken und baulich verengte Flussstellen einzig für den Wasserdurchfluss ein Problem darstellen, nicht aber für Geröll und Holz. Der Prozess der Verklausung und Schäden durch Geröll- und Sedimentablagerungen scheinen in den vorunterrichtlichen Vorstellungen zu Hochwasser kaum vorhanden zu sein.

Die Analyse der Hochwassergefahr nach Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis kann entsprechend dem hier vorgestellten Vorgehen auch im Gelände auf einer Exkursion, im Rahmen einer Hausaufgabe zum eigenen Lebensraum, etc. vorgenommen werden. D. h. für die Phase Transfer ergeben sich mit dieser fokussierenden Lernaufgabe und dem wissenschaftlichen Erklärungsansatz (Dispositionsmodell zu Hochwasser, Abb. 4) vielfältige Möglichkeiten.

[2] Im Rahmen der Dissertation wurden die folgenden sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren definiert: Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch (vgl. Abb. 48).

5.2.2 Fallbeispiel Geländepraktikum Boden

Das Fallbeispiel zum Thema Bodenbildung nach dem Lernansatz AEL habe ich in sechs Kursdurchführungen der Fachdidaktik Geographie Sekundarstufe II mit angehenden gymnasialen Lehrerinnen und Lehrern mit dem Lehrmittel „Bodenlehrpfad Engehalbinsel – ein Geländepraktikum für die Sekundarstufe II“ (PROBST, WILCKE, wird publiziert bis Ende 2019 unter www.wwf-be.ch/bodenlehrpfad und www.hep-verlag.ch) erprobt, sowie mit einer gymnasialen Klasse des Grundlagenfaches Geographie im 9. Schuljahr. Die folgende Unterrichtssequenz fand direkt beim drei Meter breiten Bodenprofil am Keltenwall beim Zehendermätteli in Bern statt. Für die Phasen Fokus und Wissen wurden ungefähr 35 Minuten eingesetzt, für die Phase Transfer rund 55 Minuten.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe:
Hinführung: Direkt beim Bodenprofil (vgl. Abb. 12) leiten folgende Fragen die Hinführung zur Problemsituation ein: „War dieser Boden immer hier? Wie sind die Böden auf die Engehalbinsel gekommen?“. Je nach Vorwissen der Lernenden kann darauf verwiesen werden, dass man sich die Gegend der Engehalbinsel vor rund 18 000 Jahren ähnlich der Situation in Abbildung 13 vorstellen kann. Die Diskussion führt nun dahin, dass nach der Würmeiszeit vor 18 000 Jahren der Aaregletscher und der Rhonegletscher im Gebiet der Engehalbinsel abschmolzen und sich bis vor 14 000 Jahren auf den gegenwärtigen Gletscherstand in den Alpenraum zurückzogen (WIRSIG ET AL. 2016; Ivy-ochs et al 2006). Nach dem Gletscherrückzug wird die Landschaft im Schweizer Mittelland von Schmelzwasserabflüssen sowie Schotter- und Moränenablagerungen geprägt. Damit wird deutlich, dass vor 18 000 Jahren in dieser Gegend keine Böden vorhanden waren, die Bodenbildung auf einer steinigen Oberfläche begonnen hat und der vorliegende Boden von rund einem Meter Mächtigkeit über tausende von Jahren entstanden ist. Diese Hinführung macht die zeitliche Dimension der Bodenbildung bewusst, stellt einen Raumbezug zum Mittelland und zur Engehalbinsel her und verdeutlicht die Verantwortung heutiger und zukünftiger Generationen im Umgang mit dem begrenzten und sich nur langsam bildenden Rohstoff Boden. Diese Ausgangslage unterstützt die weitere Plenumsdiskussion zur folgenden herausfordernden fokussierenden Leitfrage.
Leitende Fragestellung: Wie haben sich die Böden auf der Engehalbinsel seit dem Gletscherrückzug vor 18 000 Jahren gebildet?
Aufgabenstellung: Stellen Sie Hypothesen zur Bildung des Bodens auf der Engehalbinsel zusammen unter Einbezug der Situation nach dem Gletscherrückzug (Abb. 13) und von heute (Bodenprofil).

Abb. 12 | Bodenprofil einer sauren Braunerde am Keltenwall beim Zehendermätteli in Bern (Foto: Guy Jost, 2013)

Abb. 13 | Schotterkörper des Ørkendalen-Gletschers, Grönland (Knoch, 2009)

Entwicklung von Hypothesen: Die Entwicklung von Hypothesen zur leitenden Fragestellung erfolgt in der Plenumsdiskussion ausgehend vom Vorwissen zur Bodenbildung und dem analytischen Vergleich der Ausgangssituation der Bodenbildung (Abb. 13) und der aktuellen Situation beim Bodenprofil auf der Engehalbinsel (Abb. 12). Am Schluss der Diskussion fasst die Lehrperson die Hypothesen kurz zusammen und leitet zu deren Validierung in der Phase Wissen über.

Wissen

Validierung der Hypothesen: Die Lernenden vergleichen ihre Hypothesen mit dem aktuellen Fach- und Forschungswissen zur Bodenbildung mit dem Lernmedium „Bodenlehrpfad Engehalbinsel – ein Geländepraktikum für die Sekundarstufe II“ (Probst, Wilcke, in Erarbeitung). Die folgenden beiden Abbildungen 14 und 15 zeigen die inhaltlichen Schwerpunkte des Kapitels zur Bodenbildung in diesem Lernmedium.

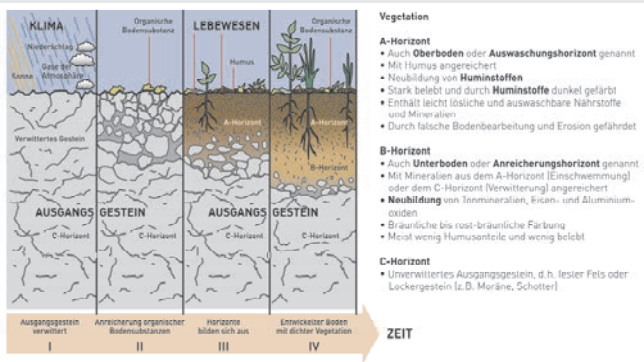


Abb. 14 | Verlauf der Bodenbildung im schweizerischen Mittelland nach der letzten Eiszeit (PROBST 2016a)

Abb. 15 | Bodenbildung durch Abbau- und Aufbauprozesse von mineralischer und organischer Bodensubstanz sowie Verlagerung und Gefügebildung (eigene Darstellung)

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Lernenden wenden ihr erworbenes Wissen an, indem sie direkt im Bodenprofil die über mehrere tausend Jahre stattgefundenen bodenbildenden Prozesse, d. h. die Bildung der mineralischen und organischen Bodensubstanz sowie Prozesse der Verlagerung und Gefügebildung (Abb. 15) mit pedologischen Experimenten untersuchen, erkennen und einordnen.

Bei den Erprobungen entwickelten alle Klassen Hypothesen zur Verwitterung von Gestein, zur Ansiedelung von Pionierpflanzen und zu Verwesungsprozessen organischer Substanz, welche zur Bodenbildung beitragen. Bei den Gymnasiastinnen

und Gymnasiasten zeigten sich die Vorstellungen zu Abbauprozessen von Gesteinen und organischer Substanz in sehr allgemeiner und alltagssprachlicher Form, z. B. „die Blätter fallen ab, verfaulen und werden zu Boden“. Demgegenüber formulierten die angehenden Lehrerinnen und Lehrer Hypothesen unter Verwendung von Fachbegriffen und stellten diese in Bezug zu klimatischen, geologischen und hydrologischen Bedingungen. So wurden beispielsweise chemische und physikalische Verwitterungsformen diskutiert und in Bezug zum Ausgangsgestein, zu Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen gestellt. Zudem war man sich mehrheitlich einig, dass die Verwitterung von oben nach unten voranschreitet. Ausgehend von diesen Hypothesen hatten die angehenden Lehrpersonen jedoch Mühe, das Vorhandensein von Steinen mitten im Bodenprofil, d. h. über dem Ausgangsgestein (Horizont C) zu erklären (vgl. Abb. 12). Während bei den angehenden Lehrpersonen und bei den Schülerinnen und Schülern Vorwissen zu Abbauprozessen vorlagen, fehlten in beiden Gruppen Vorstellungen zu Aufbauprozessen (Mineralneubildung und Humifizierung) sowie auch zu Verlagerungs- und Gefügebildungsprozessen (vgl. Abb. 15).

In der Phase Wissen wurden die Hypothesen mit Fachwissen zu Abbau-, Verlagerungs- und Gefügebildungsprozessen bei der Bodenbildung ergänzt und direkt im Bodenprofil eingeordnet. Dabei wurden auch aufgeworfene Fragen (z. B. das Vorhandensein von Steinen mitten Im Bodenprofil) geklärt und bezogen auf geäußerte Vorstellungen differenziert.

Die Analyse der Bodenentwicklung mit den entsprechenden Erklärungsansätzen (Abb. 14 und 15) und den dazu passenden Bodenexperimenten kann an anderen Böden in allen Regionen der Schweiz an bestehenden Profilen oder mit Bohrstöcken vorgenommen werden. Für die Phase Transfer ergeben sich mit der fokussierenden Lernaufgabe und den wissenschaftlichen Erklärungsansätzen zur Bodenbildung (Abb. 14 und 15) vielfältige Möglichkeiten das erworbene Wissen anzuwenden, praxisbezogen zu festigen und weiterzuentwickeln, beispielsweise mit der Beurteilung der ökologischen und sozio-ökonomischen Funktionen eines untersuchten Bodens.

5.2.3 Fallbeispiel Verstädterung

Das Fallbeispiel zum Thema Verstädterung nach dem Lernansatz AEL ist geprägt von einer Rätselaufgabe und wurde im eigenen Unterricht in drei Klassen des Ergänzungsfaches Geographie im 11. Schuljahr mit der Tabelle 8 und der Abbildung 16 erprobt. Diese Unterrichtssequenz setzte die Phasen Fokus und Wissen in rund 10 Minuten um und veranschaulicht damit, dass der Lernansatz AEL auch für Teilschritte im Unterricht flexibel einsetzbar ist. Der zeitliche Umfang für die Phase Transfer hängt stark vom Vorgehen und der Tiefgründigkeit der Recherche ab.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe:
Hinführung: In den Agrargesellschaften im 19. Jahrhundert stagnierte die Bevölkerungszahl bei hohen Geburten- und hohen Sterberaten. Der Verstädterungsgrad war weltweit gering: von den etwa 900 Millionen Menschen lebten nur 2–3 % in den Städten mit mehr als 20'000 Einwohnerinnen und Einwohnern. Während 1950 noch knapp 30 % der Weltbevölkerung von damals rund 2,5 Milliarden in Städten lebten, waren es 2008 erstmals in der Geschichte der Menschheit mehr als 50 % der Weltbevölkerung und werden es im Jahre 2025 über 60 % von geschätzten 8,5 Milliarden Menschen sein (Abb. 16).
Der *Verstädterungsgrad* ist definiert als der Anteil der Stadtbevölkerung an der Gesamtbevölkerung. Demgegenüber meint die *Verstädterungsrate* den Zuwachs des Anteils der Stadtbevölkerung an der Gesamtbevölkerung. Allgemein ist davon auszugegangen, dass in Regionen mit hoher Verstädterungsgrad die Verstädterungsrate tief ist, und umgekehrt.
Leitende Fragestellung: Verläuft der Verstädterungsprozess weltweit gleich?
Aufgabenstellung: Ordnen Sie die sechs Kontinente Europa, Asien, Afrika, Ozeanien, Nordamerika, Lateinamerika der folgenden Tabelle 8 zu.

Tab. 8 | Verstädterungsgrad und -rate in verschiedenen Regionen der Erde (eigene Darstellung)

Verstädterungsgrad	Verstädterungsrate	Regionen
80 %	0.1 %	.....
45 %	1.7 %	.....

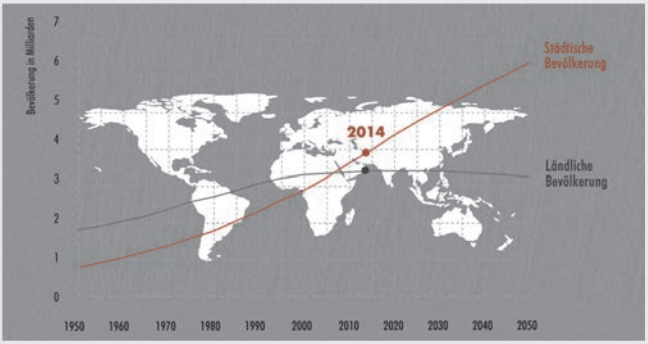


Abb. 16 | Stadt- und Landbevölkerung von 1950 bis 2050 (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (DSW) 2014)

Entwicklung von Hypothesen: Die Lernenden ordnen die sechs Kontinente entsprechend ihrem Vorwissen der Tabelle 8 eigenständig zu.

Wissen

Validierung der Hypothesen: Die hypothetische Zuordnung der sechs Kontinente wurde bei der Unterrichtsdurchführung im Jahre 2014 mit den damals aktuellen Datengrundlagen von Le monde diplomatique (Abb. 17) und der UN World Urbanization Prospects (Abb. 18) im Plenum überprüft.

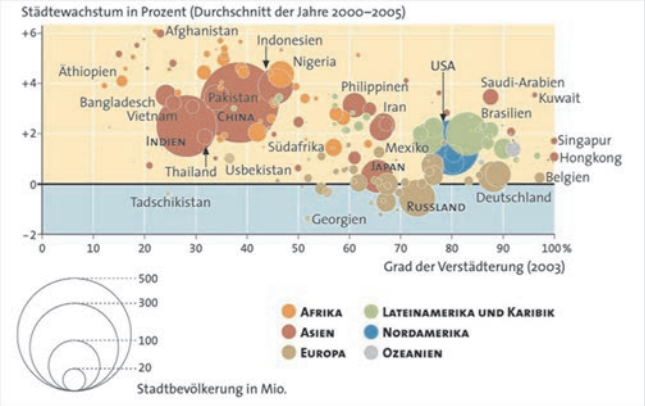


Abb. 17 | Verstädterungsrate und Verständerungsgrad in Regionen der Erde (Le monde diplomatique 2007)

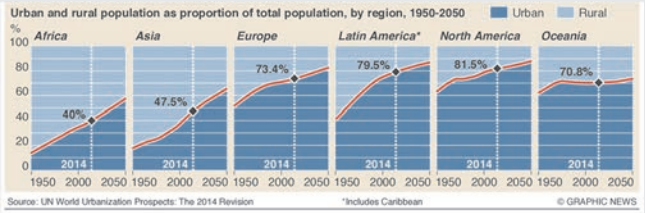


Abb. 18 | Verstädterungsgrad nach Regionen im Jahr 2014 (www.eng-techmag.files.wordpress.com/2014/07/global-urban-population.jpg)

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Lernenden wenden ihre Erkenntnisse zu Verstädterungsgrad und -rate verschiedener Regionen der Erde auf die drei Kategorien von Verstädterungsprozessen nach URBAN 21 (Hall, Pfeiffer 2000) an.

Bei der Validierung der Hypothesen (Abb. 17, Abb. 18 und Tab. 9) waren die Schülerinnen und Schüler sehr überrascht bezüglich der aktuellen Verstädterungssituation in Asien. Sie waren der festen Meinung, dass in Asien und insbesondere in

China der Verstädterungsgrad mindestens so hoch liegt wie in der Schweiz (74 % im Jahr 2014), da Medienberichte immer wieder *Megacities* mit mehr als 10 Millionen Einwohnern an der Küste Chinas und in anderen asiatischen Regionen zeigen. Diese Medienberichte prägen die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu China und anderen asiatischen Regionen offenbar so stark, dass sie das Größenverhältnis zum ruralen Bevölkerungsanteil (vgl. Abb. 17 und 18) nicht mehr einbeziehen. Die Lernenden ließen sich erst nach eingehender Diskussion und weiterer Datenüberprüfung vom Verstädterungsgrad in Asien überzeugen. Bei diesem kooperativ ausgehandelten und schließlich vollzogenen *Conceptual Change* realisierten die Lernenden auch, mit welcher Dynamik die Verstädterung in den nächsten Jahrzehnten in China sich fortsetzen wird. Da die aktuelle Verstädterung an der Küste Chinas bereits jetzt sehr beeindruckt, waren die Schülerinnen und Schülerinnen und Schüler sichtlich emotionell bewegt und fachlich fasziniert von dieser neuen Erkenntnis.

Tab. 9 | Verstädterungsgrad und Verstädterungsrate in verschiedenen Regionen der Erde, in Blau die Schülervorstellungen und in Rot die Korrekturen mit ✓ für korrekt und ☒ für falsch (eigene Darstellung)

Verstädterungsgrad	Verstädterungsrate	Regionen
80 %	0.1 %	**Europa ✓, Nordamerika ✓, Ozeanien ✓, ~~Asien~~ ☒**
45 %	1.7 %	**Afrika ✓, Lateinamerika ✓, Asien**

Diese Unterrichtssequenz dauert knapp 10 Minuten und zeigt, dass der Lernansatz AEL flexibel auch bei Teilthemen in kurzen Zeitfenstern eingesetzt werden kann und tiefgründiges Lernen ermöglicht. Es ist davon auszugehen, dass das Lesen und Interpretieren der beiden Diagramme (Abb. 17 und 18) ohne vorherigen Einbezug von Schülervorstellungen nicht zum beobachteten kognitiven Konflikt und tiefgründigen Lernen geführt hätte.

In der Phase Transfer können die Erkenntnisse aus der Analyse mit den erklärenden Variablen Verstädterungsgrad und -rate auf die Verstädterungsprozesse nach URBAN21 (Hall, Pfeiffer 2000) angewendet werden. Dieser Transfer ermöglicht verschiedene Muster und Herausforderungen von Städten weltweit einzuordnen (nach den drei Kategorien: Städte mit Hyperwachstum, dynamisch wachsende Städte und reife Städte) und davon ausgehend Maßnahmen und Strategien für die Zukunft dieser Städte zu entwickeln.

5.2.4 Fallbeispiel Nachhaltige Entwicklung

Das Fallbeispiel zur nachhaltigen Entwicklung nach dem Lernansatz AEL habe ich im eigenen Unterricht in vier Klassen des Grundlagenfaches Geographie im 10. Schuljahr anhand des Beispiels der Entsorgung von U-Bahnwagen (Abb. 19) und dem Erklärungsansatz „Modell der nachhaltigen Entwicklung“ (Abb. 20) und verschiedenen Medienberichten zum Fallbeispiel erprobt. Auch bei diesem Fallbeispiel umfassten die Phasen Fokus und Wissen rund 10 Minuten. Die Phase Transfer benötigt je nach Anwendungsbeispiel und Vorgehen unterschiedlich viel Zeit.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe:
Hinführung: Rund 2500 ausgemusterte Wagen der New Yorker U-Bahn werden von 2001 bis 2017 im Atlantik vor der amerikanischen Ostküste bei New Jersey, North Carolina und Virginia versenkt. Medien haben von dieser Entsorgung berichtet (vgl. Abb. 19).
Leitende Fragestellung: Welche Hintergründe und Folgen erwarten Sie bei der Entsorgung von U-Bahnwagen im Atlantik?
Aufgabenstellung: Beurteilen Sie diese Form der Entsorgung mit dem Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung (Abb. 19 und 20).

Abb. 19 | Entsorgung ausrangierter U-Bahn Waggons im Atlantik (www.spiegel.de, 29.1.2012, © Keystone)

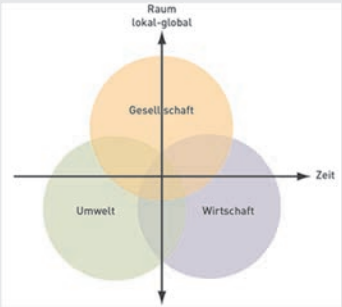


Abb. 20 | Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung (Probst und Piller 2016b)

Entwicklung von Hypothesen: Die Entwicklung von Hypothesen zur leitenden Fragestellung erfolgt in der Plenumsdiskussion ausgehend vom Schülervorwissen zur Abfallentsorgung und den Bildern zur Entsorgung der U-Bahnwagen im Atlantik (z. B. Abb. 19), strukturiert nach dem Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung (Erklärungsansatz). Die Hypothesen können direkt im Schnittmengenmodell protokolliert werden, z. B. Einbußen beim Fischfang zur Dimension „Wirtschaft“ oder Abnahme der Wasserqualität im Schnittbereich „Umwelt“, „Wirtschaft“ und „Gesellschaft“.

Wissen

Validierung der Hypothesen: Die Schülerinnen und Schüler vergleichen ihre Hypothesen mit dem bestehenden Fach- und Forschungswissen zu diesem Entsorgungsprojekt nach Medienberichten in Spiegel-Online, www.umweltnetz-schweiz.ch und www.wienerzeitung.at (letzter Zugriff 21.9.2018).

In der anschließenden Plenumsdiskussion werden die protokollierten Hypothesen im Schnittmengenmodell nachhaltige Entwicklung (Abb. 20) explizit bestätigt, korrigiert, differenziert und ergänzt.

Medienbericht*: Die ausrangierten Wagen der New Yorker Untergrundbahn werden kurzerhand im Atlantik versenkt. Das* ***ist*** *nicht nur billiger als eine Verschrottung. Es ist auch ökologisch sinnvoll, denn die Wagen bilden eine Art künstliches Riff, das vielen Lebewesen im Meer einen Lebensraum bietet. Eine Zwischenbilanz 2011 zeigte, dass die lokale Biomasse nach 10 Jahren um das 400-fache zugenommen hat. Der Erfolg* ***soll*** *uns jedoch nicht dazu animieren, unbedacht den Abfall in einem Gewässer zu entsorgen.*
(nach Medienberichten von www.spiegel.de vom 29.1.2012, www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/umweltschutz/1780-ausrangierten-u-bahnwagen-neues-leben-einhauchen.html vom 20.02.2015 und www.wienerzeitung.at vom 14.04.2008, letzter Zugriff 21.9.2018)

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Schülerinnen und Schüler wenden ihr erworbenes Wissen bei der Analyse anderer Situationen (z. B. Landwirtschaft in der Schweiz, Ökobilanz von Smartphones) mit Hilfe des Schnittmengenmodells der nachhaltigen Entwicklung an.

Bei der Erprobung waren sich die Klassen jeweils einig, dass die Entsorgung von U-Bahnwagen gravierend negative Auswirkungen auf die Wasserqualität, die Meeresfauna und -flora an der amerikanischen Ostküste hat und diese sich allenfalls auch über Meeresströmungen und Fischwanderungen großräumiger auswirken kann.

Beim Vergleich der Hypothesen mit den Medienberichten wurden sich die Schülerinnen und Schüler bewusst, dass sie die Entsorgung der U-Bahnwagen im Meer vorwiegend emotionell, gefühlsbetont und voreilig beurteilt haben und diese Position eine sachbezogene, objektive und mehrperspektivische Beurteilung beeinträchtigt hat. Hintergrund dieser Haltung ist, dass wir bereits in der Grundschule lernen, dass man Abfälle nicht in Gewässern entsorgt. Das Projekt aus den USA zeigt jedoch, dass die Entsorgung von U-Bahnwagen im Atlantik zu einem Zuwachs an Biomasse führt, da künstliche Riffe den Muscheln und Austern einen vielfältigen Lebensraum bieten. Zudem ist diese Form der Entsorgung wirtschaftlicher als die Verschrottung. Der Vergleich mit dem aktuellen Forschungswissen zeigt in diesem Beispiel, dass wir bei normativ behafteten Themen geneigt sind, aus einer Perspektive der Gefühle voreilig zu urteilen, anstatt aus einer vernunftbasierenden rationalen Perspektive die Situation sachlich und mehrperspektivisch zu erfassen, mit dem Ziel, Hintergründe und Wechselwirkungen zu verstehen.

Diese metakognitive Erkenntnis beim Umgang mit normativ behafteten Themen verdeutlichen auch die Formulierungen im Medienbericht (vgl. oben), indem Fakten mit dem Verb „ist“ beschrieben werden und Meinungen mit dem Verb „soll“. Mit dem Vergleich von Hypothesen und Fachwissen lassen sich in diesem Beispiel die Erkenntnisse ableiten, dass bei normativ behafteten Themen (z. B. nachhaltige Entwicklung, Kulturen und Integration, politische Bildung) stets eine Perspektive der Vernunft verlangt ist, Fakten und Meinungen möglichst zu trennen sind und dies bei Formulierungen mit den Verben „ist“ und „soll“ auch sprachlich transparent gemacht werden kann.

Bei diesem Fallbeispiel verteidigten die Lernenden in der Phase Wissen wiederum ihr unterrichtliches Vorwissen, indem sie beispielsweise kritische Fragen bezüglich chemisch bedenklicher Stoffe in den U-Bahnwagen äußerten. Eine solche kontroverse Auseinandersetzung in der Phase Wissen trotz vorliegender wissenschaftlicher Fakten zuzulassen ist für den *Conceptual Change* wichtig, da die Lernenden nur plausibel erscheinende Erklärungen in ihren bisherigen Konzepten integrieren (Posner et al. 1982). Die kritischen Fragen sind jedoch auch fachlich durchaus berechtigt, da es in normativ behafteten Themen selten eindeutige Lösungen gibt und diese daher stets zu differenzieren sind. So muss auch beim vorliegenden Fallbeispiel differenziert werden, denn vor der Entsorgung im Meer wurden den U-Bahnwagen umweltschädliche Materialien wie Asbest aufwendig entfernt. Mit dieser Differenzierung wird auch die falsche und pauschalisierende Schlussfolgerung zerschlagen, dass sämtliche Abfälle von nun an unbedacht im Gewässer entsorgt werden dürfen.

In der Phase Transfer ermöglichen die Erkenntnisse zur gefühlsbezogenen und vernunftsbasierten Erfassung einer Situation und zum Erklärungsansatz „Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für sachbezogene Analysen zur Nachhaltigkeit, z. B. Landwirtschaft in der Schweiz, *Food Waste*, Trinkwasser, Ökobilanz Smartphone.

5.2.5 Fallbeispiel Aufeinandertreffen von Kulturen

Das Fallbeispiel zum Thema Aufeinandertreffen von Kulturen habe ich nach dem Lernansatz AEL im eigenen Unterricht in sechs Klassen des Ergänzungsfaches Geographie im 12. Schuljahr am Beispiel einer Fußballmannschaft (Abb. 21), dem Erklärungsansatz „Akkulturationsstrategien“ von Berry (1990) und weiteren Medien (z. B. Radiosendung, vgl. unten) in einer Lektion von 45 Minuten erprobt. Dabei wurden für die Phasen Fokus und Wissen rund 30 Minuten eingesetzt, für die Phase Transfer ca. 15 Minuten.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe:
Hinführung: Treffen Menschen aus unterschiedlichen Kulturen aufeinander, wie im Beispiel der Fußballmannschaft aus Esslingen in Abbildung 21, resultieren daraus Prozesse, die in der Migrationsforschung als Akkulturation verstanden werden. Nach Berry (1990) haben Kulturen oder deren Mitgliederinnen und Mitglieder Vorstellungen davon, in welcher Beziehung sie mit anderen Kulturen stehen wollen. Dabei lassen sich vier Akkulturationsstrategien unterscheiden, je nachdem, wie stark die Minderheitengruppe die eigene Kultur beibehalten will und wie intensiv der Kontakt zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur erwünscht wird: Integration, Assimilation, Segregation/ Separation, Marginalisierung/Exklusion (vgl. Tab. 10).
Die Diskussion im Plenum bezüglich der beobachtbaren Form der Akkulturation im Foto zur Fußballmannschaft (Abb. 21) führte meistens zu Integration oder Assimilation. Mit der Begründung, dass der gemeinsame Sport den Kontakt zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur fördern kann. Diese Auseinandersetzung mit Akkulturationsstrategien am Beispiel der Fußballmannschaft aus Esslingen führen zur herausfordernden fokussierenden Leitfrage.
Leitende Fragestellung: Welche Faktoren beeinflussen den Kontakt zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur in einem multikulturellen Staat?
Aufgabenstellung: Beurteilen Sie die Form der Akkulturation, die in der Abbildung 21 beobachtet werden kann.
Stellen Sie ausgehend von Ihren Überlegungen Faktoren zusammen, die den Kontakt zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur fördern und zu Integration und Assimilation führen, resp. erschweren und zu Segregation oder Marginalisierung führen.

Tab. 10 | Akkulturationsstrategien (nach BERRY 1990)

	Kontakt zwischen Minderheit und Mehrheit	kein Kontakt zwischen Minderheit und Mehrheit
Kultur beibehalten	Integration	Segregation, Separation
Kultur nicht beibehalten	Assimilation	Marginalisierung, Exklusion

Abb. 21 | Aufeinandertreffen von Kulturen im Sport: Fußballmannschaft SV 1845 Esslingen (Foto: Wolfgang Walter)

Entwicklung von Hypothesen: Die Entwicklung von Hypothesen zur leitenden Fragestellung erfolgt in der Plenumsdiskussion ausgehend von den Schülervorstellungen zu kontaktfördernden, resp. kontakterschwerenden Faktoren zwischen Minderheits- und Mehrheitskultur, dem Foto zur Fußballmannschaft SV 1845 Esslingen (Abb. 21) und den Akkulturationsstrategien von Berry (Erklärungsansatz).

Wissen

Validierung der Hypothesen: Die Lernenden vergleichen ihre Hypothesen mit der aktuellen Einwanderungspolitik in europäischen Staaten im Radiobeitrag „Die Krux mit der Integration“ (SRF, Echo der Zeit, 12.01.2015).

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Lernenden entwickeln Maßnahmen gegen die Bildung von Parallelgesellschaften in Europa und wenden dabei ihr erworbenes Wissen zu Akkulturationsstrategien und zu relevanten Einflussfaktoren an.

Bei den Erprobungen entwickelten die Klassen in der Phase Fokus häufig ähnliche Hypothesen (vgl. Tab. 11). Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler umfassen mehrheitlich soziale, wirtschaftliche und kulturelle Faktoren bezüglich des

Kontaktes zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur. Vorwissen und Vorstellungen zu politischen, juristischen und räumlichen Faktoren fehlten hingegen. Diese Beobachtung ist wenig überraschend, da die ersten drei Faktoren in der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler präsent sind, d. h. in ihrer Ausbildung, bei Gelegenheitsarbeiten und in Diskussionen zur Überfremdung in Medien, Familien- und Freundeskreis. Mit politischen, juristischen und räumlichen Faktoren kommen die Schülerinnen und Schüler jedoch kaum in Berührung. Diese Bereiche liegen eher im Tätigkeitsbereich von Beamten und Politikern. Trotzdem ist die Anreicherung der Schülervorstellungen mit diesen Aspekten wichtig, da viele Volksabstimmungen in der Schweiz solche Fragen betreffen (Raumplanung, Migration, Integration, etc.) und dieses Wissen damit bedeutend für die demokratische Handlungsfähigkeit der Jugendlichen ist. Dies verdeutlicht auch, dass die fokussierende Fragestellung und der Erklärungsansatz „Akkulturationsstrategien" von BERRY (1990) vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für die Phase Transfer im Unterricht ermöglichen.

In PROBST und PILLER (2017) finden sich weitere wissenschaftliche Erklärungsansätze zu den Themen Kulturen, Migration und Integration, welche zusammen mit dem Lernansatz AEL einen mehrperspektivischen Umgang mit fremden Denkschemen und Wertesystemen ermöglichen und zu neuen Einsichten über die eigene Kultur und Gesellschaft führen. Wie das vorliegende Beispiel zu den Akkulturationsstrategien zeigt, lassen sich diese Erklärungsansätze aus der Wissenschaft mit dem Lernansatz AEL im Unterricht so integrieren, dass im Lernprozess das Vorwissen fassbar wird sowie *Conceptual Change*, eigenständiges Denken und damit auch die Transferleistung explizit unterstützt werden.

Tab. 11 | Kontaktfördernde und kontakterschwerende Faktoren zwischen Mehrheitskultur und Minderheitskultur (eigene Darstellung) Bemerkung: In den Erprobungen häufig genannte Hypothesen sind in blauer Schrift aufgeführt, die Gutzeichen markieren deren Richtigkeit. In roter Schrift sind die Korrekturen angegeben, d. h. die fehlenden, und schliesslich ergänzten Aspekte.

	Fördern den Kontakt zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur und führen zu Integration oder Assimilation	**Vermindern den Kontakt** zwischen Mehrheits- und Minderheitskultur und führen zu Segregation oder Marginalisierung
Soziale Faktoren:	- *Bildung* ✓ - *Sprache* ✓	- *hohe Bedeutung der Enkulturation* - *Rückzug aus der Mehrheitsgesellschaft* ✓
Wirtschaftliche Faktoren:	- *Beschäftigung, Arbeit* ✓ - *Wirtschaftswachstum*	- *Arbeitslosigkeit* ✓ - *Wirtschaftskrise*
Politische Faktoren:	- *Pflichten der Migranten durchsetzen* - *Rechte der Migranten garantieren* - *Partizipation, Einbürgerung*	- *doppelte Standards, d. h. ethisch unterschiedliche Bewertung von gleichem Verhalten*
Juristische Faktoren:	- *Verfassung des Staates gilt für alle* - *Recht anwenden und Unrecht ahnden*	- *kulturrelativistische Rechtsauffassung* - *andere Rechte für Minderheiten*
Räumliche Faktoren:	- *soziale Durchmischung in Siedlungen durch unterschiedliches Wohnangebot innerhalb von Quartieren* - *funktionale Durchmischung in Quartieren durch kurze Wege zwischen Wohnen, Arbeiten, Erholen und Versorgen*	- *Mangelhafte Integrationspolitik der Mehrheitskultur in Siedlungen* - *freiwilliger oder unfreiwilliger Rückzug aus der Mehrheitskultur* - *soziale und kulturelle Aus- und Abgrenzung, Bildung von Parallelgesellschaften*
Kulturelle Faktoren:	- *Kultur des Hinschauens* - *Bereitschaft aufeinander zuzugehen, d. h. Offenheit, Dialog, Toleranz* ✓	- *Kultur des Wegschauens* - *Angst vor Überfremdung und Verlust der eigenen (nationalen) Identität* ✓ - *Vorurteile dominieren* ✓*, wegen mangelndem Kontakt*

5.2.6 Fallbeispiel Bougouni – ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung im Sahel

Das Fallbeispiel zum Thema nachhaltige Entwicklung im Sahel nach dem Lernansatz AEL habe ich im eigenen Unterricht mit vier Klassen des Ergänzungsfaches Geographie im 12. Schuljahr mit dem Lernmedium „Bougouni – ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung im Sahel“ (Probst et al. 2013) erprobt. Mit der Hinführung der Lernenden in die Situation eines Entwicklungslandes im Sahel, der Spieldurchführung und der Spielauswertung umfasste diese Unterrichtssequenz für die Phasen Fokus und Wissen 3–4 Lektionen, d. h. diese Erprobung fand während eines halben Schultages statt. Der zeitliche Umfang für die Phase Transfer hängt stark vom Vorgehen und von der Tiefgründigkeit dieser Arbeiten ab.

Das Spiel Bougouni wird im Klassenverband mit 4 Haushalten (Schülergruppen) von je 3 bis 6 Personen gespielt – den Großfamilien Cissé, Ouattara, Maiga und Touré. In der Rolle eines kleinbäuerlichen Haushalts im Sahel setzen die Schülerinnen und Schüler ihre begrenzten Mittel situativ angepasst ein, um ihren Lebensunterhalt zu sichern und ihre Lebensbedingungen zu verbessern. Dabei werden sie mit gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen konfrontiert und erfahren so die Lebensrealität von Entwicklungsländern.
Für den Geographieunterricht eignet sich das Spiel Bougouni wegen den inhaltlichen Bezügen zum Sahel, zur Thematik der Entwicklungsländer und der nachhaltigen Entwicklung. In der Begleitbroschüre zum Spiel Bougouni (Probst et al. 2013) und in einem fachdidaktischen Artikel (Probst 2015) finden sich verschiedene Hintergrundinformationen zum Strategiespiel, d. h. zur Entwicklung des Spiels in Mali, zu den wissenschaftlich erforschten Haushaltsstrategien im Sahel, zum passenden Unterrichtseinsatz und zur Spieldurchführung.

Fokus

Fokussierende Lernaufgabe
Hinführung: Die Spielsituation ist in den Savannengebieten am Rand der Sahelzone angesiedelt, beispielsweise im Süden Malis. Dieser Raum ist durch ein semiarides Klima mit hoher räumlicher und zeitlicher Niederschlagsvariabilität geprägt. Wirtschaftlich dominierend ist die Subsistenzwirtschaft, basierend auf Ackerbau, Viehhaltung und vereinzelten Cash Crops (v.a. Baumwolle). Die vier kleinbäuerlichen Haushalte in Bougouni (vier Schülergruppen) entscheiden selber, wie sie mit den begrenzten Mittel ihren Lebensunterhalt langfristig sichern, dabei Chancen nutzen und sich gleichzeitig auch auf mögliche Risiken (z. B. Trockenheit, Korruption, Preiszerfall) vorbereiten. Ziel ist es, den Wohlstand der Familie und die Lebensumstände der Haushaltmitglieder zu sichern und möglichst zu verbessern.
Beim Spiel Bougouni wird von den Lernenden ein Perspektivenwechsel

verlangt, d. h., sie müssen die Problemstellung aus der Sicht der Menschen im Sahel betrachten, sich in ihre Lage und Alltagssituation versetzen und aus dieser Sicht angepasste Werte, Haltungen und Lebensstrategien aufbauen. Um in der Hinführung diese Perspektive bei den Lernenden möglichst realitätsnah aufzubauen, sind in der Begleitbroschüre zum Spiel Bougouni (PROBST ET AL. 2013) verschiedene Vorschläge mit Film- und Bildmaterial zusammengestellt. Beispielsweise dient die Abbildung 22 für eine Plenumsdiskussion zu Fragen wie „Lebt die Familie Natomo in Armut?", „Was ist der wertvollste Besitz und sehnlichste Wunsch der Familie Natomo?" etc. Diese Auseinandersetzung mit der Situation der Menschen im Sahel führt zur herausfordernden fokussierenden Leitfrage.
Leitende Fragestellung: Mit welcher Strategie kann sich eine kleinbäuerliche Großfamilie im ökologisch, gesellschaftlich und wirtschaftlich herausfordernden Umfeld der Sahelzone behaupten?
Aufgabenstellung: Investieren Sie als Kleinbauernfamilie in Mali Ihre begrenzten Mittel so, dass Sie sich Ihren Lebensunterhalt langfristig sichern können und gleichzeitig auf Risiken wie Preisschwankungen, Dürren, politische Unruhen oder Krankheiten vorbereitet sind.

Abb. 22 | Familie Natomo aus Kouakourou in Mali (Peter Menzel, © Agentur Focus, Hamburg)

Entwicklung von Hypothesen: Die vier kleinbäuerlichen Familien Cissé, Ouattara, Maiga und Touré (vier Schülergruppen) entwickeln eigenständig Haushaltsstrategien (Hypothesen) und halten diese schriftlich fest.
Mit den Haushaltsstrategien entscheiden die Familien, wie sie ihren Lebensunterhalt sichern und ihre Lebensbedingungen verbessern wollen. Dazu stehen Ihnen unterschiedliche einkommensgenerierende Aktivitäten in den Bereichen „Ackerbau", „Tierproduktion" und „Nicht-landwirt-

schaftliches Einkommen“ zur Auswahl. Mit Investitionen in “Vorsorge, soziale Sicherheit“ können sich die Haushalte zudem vor möglichen Risiken (z. B. Trockenheit, Korruption, Preiszerfall) schützen.

Wissen

Validierung der Hypothesen: Beim Spielverlauf werden die Haushalte mit einer ganzen Reihe von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Ereignissen (Ereigniskarten) konfrontiert. Diese beeinflussen die wirtschaftliche Entwicklung und die Lebensumstände der Familien entscheidend, d. h. während des Spielverlaufs erfahren die Lernenden inwiefern sich ihre entwickelten Haushaltsstrategien bewähren oder Lücken aufweisen. Erfolgreich sind Haushalte, welche sich über mehrere Jahre (Spielrunden) mit ihrer Strategie möglichst gut vor Risiken schützen, bestehende Chancen nutzen und damit ihre Lebensumstände verbessern.

In der direkt ans Spiel anschließenden Auswertungs- und Diskussionsrunde vergleichen, analysieren und reflektieren die vier Schülergruppen im Plenum den Spielverlauf, die Ursachen und Folgen der Ereignisse sowie die Strategien der verschiedenen Haushalte. D. h. nachdem die Lernenden ihre Hypothesen (Haushaltsstrategien) direkt im Spielverlauf an realitätsnahen Situationen getestet haben, validieren und reflektieren sie ihre Strategien nun auch noch vergleichend und diskutierend mit anderen Familien, resp. Gruppen.

Transfer

Anwendung des erworbenen Wissens: Die Lernenden wenden ihre erworbenen Kenntnisse aus dem Spiel bei der Entwicklung wirkungsvoller Maßnahmen für die Entwicklungszusammenarbeit an. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Spiel helfen den Lernenden die Entwicklungs*hilfe* vom Westen aus der Sicht der betroffenen Menschen im Sahel kritisch zu beurteilen und ablehnende Positionen von Afrikanerinnen und Afrikanern (z. B. Dambisa Moyo mit ihrem Buch „Entwicklungshilfe ist tödlich“, 2009) einzuordnen und zu verstehen.

Bei den Erprobungen entwickelten die Schülergruppen ausgehend von ihrem Vorwissen sehr unterschiedliche Haushaltsstrategien (Hypothesen). Einige Schülergruppen kalkulierten rein wirtschaftlich, indem sie das Verhältnis von Kosten und Ertrag für verschiedene Investitionsmöglichkeiten berechneten und daraus folgernd vorwiegend auf Baumwolle oder Rinder setzten. Andere Schülergruppen entwickelten risikominimierende Strategien, indem sie eine diversifizierte Produktion anstrebten und in Vorsorge investierten, obschon letztere keinen Ertrag abwirft. Während die erste monostrukturierte Strategie nach anfänglich hohen Einnahmen zu existenzgefährdenden Verlusten (z. B. durch Preiszerfall auf dem Weltmarkt, Kriege, Krankheiten) in den Folgejahren führte, erzielte die zweite Strategie weniger Gewinne, trug aber auch weniger Verluste bei unvorhersehbaren Krisen ein.

Die Spieldurchführungen und Auswertungsgespräche ergaben auch, dass die Lernenden kaum Vorstellungen hatten von der „versicherungslosen“ Situation der Familien in Entwicklungsländern. Beim Versuch, vorausschauend mit klimatischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Unsicherheiten umzugehen, zeigten sich daher viele Schülergruppen eher ratlos. Erst nach mehreren Spielrunden (Jahren) realisierten die Lernenden, dass in den Entwicklungsländern die „Solidarität“ eine wichtige „Versicherung“ der Menschen darstellt. Indem man andern in Problemsituationen hilft, sichert man sich deren Hilfe in eigenen nicht vorhersehbaren Notlagen. Durch diese Einsicht realisierten die Lernenden, dass das „unproduktiv erscheinende Herumsitzen und Diskutieren“ der Menschen in Entwicklungsländern auf dem Dorfplatz oder vor Wohnhäusern wichtig für diese „soziale“ Versicherung ist und Zugang zu elementaren Informationen ermöglicht. Diese Beispiele zeigen, dass während dem Spielverlauf und dem Auswertungsgespräch bei den Lernenden bewusste und unbewusste Wertvorstellungen zugänglich wurden und davon ausgehend ein *Conceptual Change* stattfinden konnte. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lernenden die so erworbenen Kenntnisse in der Phase Transfer zu Fragen der Entwicklungszusammenarbeit differenziert anwenden und auf andere Situationen transferieren.

5.2.7 Fazit: Mit dem Lernansatz AEL Transfer fördern und komplexe Themen erfassen

Die verschiedenen erprobten Fallbeispiele zeigen, dass der **Lernansatz AEL** flexibel und vielfältig einsetzbar ist bei physisch- und humangeographischen Themen, in unterschiedlich langen Unterrichtssequenzen (10 Minuten bis mehrere Lektionen), mit verschiedenen Medien (z. B. Bild, Film, Ton, originaler Gegenstand, Diagramm, Text) und unterschiedlichen Methoden (z. B. Bildanalyse, Geländepraktikum, Strategiespiel).

In all den verschiedenen Fallbeispielen ist es mit dem Lernansatz AEL gelungen, Schülervorwissen und Fachwissen aufeinander zu beziehen und dabei ein tiefgründiges Verstehen auszulösen. Dies äußerte sich in den kontroversen Diskussionen und kritischen Fragen der Lernenden in den Phasen Fokus und Wissen (vgl. Kapitel 5.2.1 bis 5.2.6) und bei den mehrheitlich erfolgreichen Anwendungen in der Phase Transfer.

Die erprobten Fallbeispiele zeigen auch, dass sich der Lernansatz AEL insbesondere bei komplexen geographischen Themen eignet, wo sich im Unterricht Herausforderungen stellen im Umgang mit:

- Perspektivenwechsel (vgl. Fallbeispiele in Kapitel 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 und 5.2.6)
- Zukunftsorientierung (vgl. Fallbeispiele in Kapitel 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5 und 5.2.6)
- Werten und Normen (vgl. Fallbeispiele in Kapitel 5.2.4, 5.2.5 und 5.2.6)

- Gefühlen und Emotionen (vgl. Fallbeispiele in Kapitel 5.2.4, 5.2.5 und 5.2.6)
- keinen eindeutigen Lösungen (vgl. alle Fallbeispiele in Kapitel 5.2)
- sichtbaren und unsichtbaren Elementen und Prozessen (vgl. alle Fallbeispiele in Kapitel 5.2)
- Komplexität, Wechselwirkungen und Wissenslücken (vgl. alle Fallbeispiele in Kapitel 5.2)
- zeitlichen und räumlichen Dimensionen (vgl. alle Fallbeispiele in Kapitel 5.2)

Der Lernansatz AEL ermöglicht den Umgang mit diesen Herausforderungen bezogen auf die fachlich gestellte Problemsituation, aber auch bezogen auf verschiedene Vorstellungen in der Klasse. Der Einbezug von Schüler- und Fachperspektiven ermöglicht mit dem Lernansatz AEL einen tiefgründigen Aushandlungsprozess von Wissenskonstruktionen, welcher sich stets an den Vorstellungen der Lernenden und an der Forschungssicht orientiert und damit anwendungsorientiert (Transfer) bleibt.

Für den Umgang mit den oben erwähnten Herausforderungen im Geographieunterricht hat sich in den Fallbeispielen bewährt, den **Lernansatz AEL** mit einer fokussierenden Lernaufgabe und einem wissenschaftlichen Erklärungsansatz zu kombinieren (Abb. 23). Die herausfordernde **fokussierende Lernaufgabe** macht

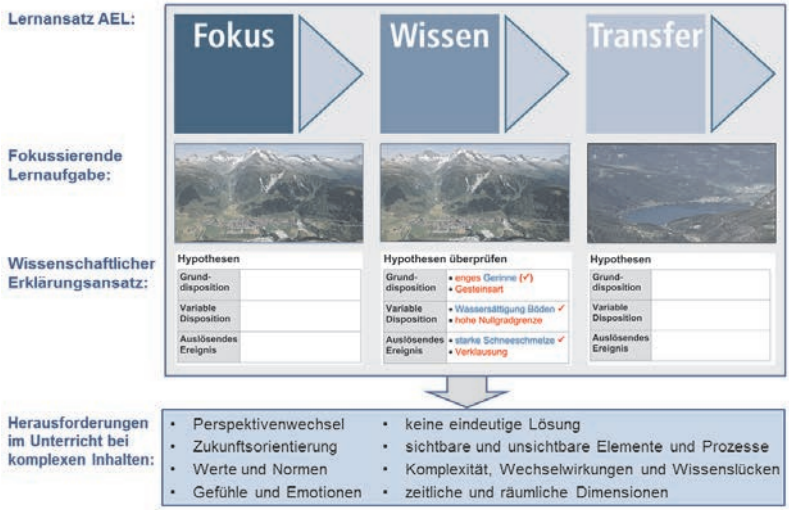


Abb. 23 | Mit dem Lernansatz AEL, fokussierenden Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen komplexe Themen erfassen und Transfer fördern (eigene Darstellung)

das Vorwissen der Lernenden bezogen auf eine realitätsnahe Problemsituation zugänglich, zeigt grundlegende (wissenschaftliche) Perspektiven zur Erschließung des Sachverhalts auf und fordert von den Lernenden von Beginn weg eigenständiges Denken ausgehend von ihrem Vorwissen und ihrer Analyse (vgl. auch Kapitel 5.1.3). Bei den erprobten Fallbeispielen hilft der **wissenschaftliche Erklärungsansatz** Vorstellungen, Beobachtungen, Überlegungen und Hypothesen der Lernenden anzuregen, zu schärfen und zu strukturieren. Die so erreichte wissenschaftsorientierte Struktur ermöglicht es, die Schülervorstellungen auf das Fachwissen zu beziehen und das erworbene Wissen strukturiert und analytisch in andere Problemsituationen zu übertragen (vgl. auch Kapitel 5.1.4).

Mit der Kompetenzorientierung werden von den Lernenden auch bei komplexen Themen Transferleistungen gefordert, d. h. die Lernenden müssen bei komplexen Themen eigenständig denken lernen, kreativ Maßnahmen, Szenarien und Visionen entwickeln und dabei verschiedene Perspektiven berücksichtigen, um Zielkonflikte und Synergien zwischen den Interessen verschiedener Akteure zu berücksichtigen. Die erprobten Fallbeispiele weisen darauf hin, dass der Lernansatz AEL kombiniert mit einem passenden wissenschaftlichen Erklärungsansatz (Modell, Konzept, Begriff) und einer fokussierten Lernaufgabe die Lernenden beim Umgang mit komplexen Themen unterstützt.

5.3 Einordnung des Lernansatzes AEL in lernpsychologische und fachdidaktische Grundlagen zu Lernen und Transfer

Bei der Entwicklung des Lernansatzes AEL wurden die in Kapitel 3 ausgeführten Theorien, Konzepte und Forschungsergebnisse der Lernpsychologie und Fachdidaktik zu Wissenskonstruktionen und Transferleistungen einbezogen. Im vorliegenden Kapitel werden nun die Bezüge zwischen dem Lernansatz AEL und diesen Theorien und Forschungsergebnissen aufgezeigt und diskutiert.

Das Ziel dabei ist es, die Position und den Kontext des Lernansatzes AEL innerhalb dieser Theorien und Modellen aus der Lernpsychologie und Fachdidaktik zu klären sowie den Beitrag des Lernansatzes AEL zu diesen Forschungsbereichen einzuordnen. Konkret wird der Lernansatz AEL in Bezug gesetzt zum lernpsychologischen Konstruktivismus in Kapitel 5.3.1, zur Vorstellungs- und *Conceptual Change*-Forschung in Kapitel 5.3.2, zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion in Kapitel 5.3.3 und zur Transferforschung in Kapitel 5.3.4.

5.3.1 Lernansatz AEL und lernpsychologischer Konstruktivismus

Das Verständnis des Konstruktivismus liegt in der Selbstbestimmtheit des Lernens als langfristige Zielsetzung, womit auch das Anwenden und die Weiterentwicklung des erworbenen Wissens in anderen Situationen und Aufgaben enthalten sind (vgl. Kapitel 3.1). Schülerinnen und Schüler sollen lernen selbst Interpretationen und Wissenskonstruktionen vorzunehmen und dabei eigene Lernwege zu gehen. Konstruktivistische Ansätze des Lehrens und Lernens bieten damit adäquate Grundlagen für die Entwicklung von Unterrichtsstrategien zur Förderung der Transferleistung.

Die Einordnung des Lernansatzes AEL in die **lernpsychologischen Theorien kognitiven Lernens** wird in der Tabelle 12 vorgenommen. Dabei zeigt sich, dass der Lernansatz AEL in allen Phasen verschiedene Aspekte des kognitiven Lernens berücksichtigt und damit eine praxisorientierte Möglichkeit bietet, diese theoretischen Ansätze den Lehrpersonen für den Unterrichtseinsatz zugänglich zu machen.

Tab. 12 | Lernansatz AEL und die Aspekte des kognitiven Lernens (vgl. Kapitel 3.1)

Aspekte des kognitiven Lernens (nach Seel 2016, S. 22f)	**Umsetzung im Lernansatz AEL**
• Konstruktion von Wissen durch das Verarbeiten von Informationen • Vorwissen bezogene Wissenskonstruktion und -verarbeitung • Produzieren von neuem Wissen aufgrund schlussfolgernden Denkens • Herausbildung spezifischer Fähigkeiten und Fertigkeiten • Anwendung und Übertragung (Transfer) von Wissen und Fertigkeiten auf neuartige Situationen	**Fokus:** Schülerinnen und Schüler lernen ausgehend von ihrem Vorwissen und einer problembezogenen Analyse von Informationen schlussfolgernd neues Wissen in Form von begründeten Hypothesen zu konstruieren. **Wissen:** Schülerinnen und Schüler lernen Informationen zielgerichtet und problemorientiert zu verarbeiten und analysieren, eigene Hypothesen und Vorstellungen mit Fachwissen zu vergleichen und validieren und dabei das Vorwissen zu differenzieren, zu modifizieren und anzureichern. **Transfer:** Schülerinnen und Schüler lernen in neuen Situationen und Aufgaben das erworbene Wissen anzuwenden, zu differenzieren, zu modifizieren und anzureichern sowie eigenständig analytisch und schlussfolgernd zu denken und dabei auch die erlernten Erklärungsansätze ziel- und problemorientiert einzusetzen.

Bei der Analyse wird deutlich, dass die drei Komponenten Überschneidungsbereiche aufweisen und durch diese fehlende Trennschärfe die Zuordnungen teilweise nicht eindeutig sind. Trotzdem zeigt die Einordnung des Lernansatzes AEL zu den

drei Komponenten **intelligenten Verhaltens** (vgl. Kapitel 3.1), dass die drei Komponenten in allen drei Lernphasen des AEL berücksichtigt sind (vgl. Tab. 13). Ein Lernprozess nach dem Lernansatz AEL kann demnach intelligentes Verhalten bei den Lernenden fördern, d. h. sie befähigen, neue Aufgaben erfolgreich zu bearbeiten (Transferleistung) und mit dynamischen Veränderungen im sozio-ökonomischen Umfeld situativ angepasst umzugehen durch bewusste Anpassung, Mitgestaltung oder Handlung.

Tab. 13 | Lernansatz AEL und die drei Komponenten des intelligenten Verhaltens (vgl. Kapitel 3.1)

Komponenten des intelligenten Verhaltens (nach STERNENBERG 1985; HÜBNER 2000; SEEL 2016)	**Umsetzung im Lernansatz AEL**
Die **Wissenserwerbskomponenten** dienen dem Erlernen von deklarativem und prozeduralem Wissen. Hierbei werden relevante Informationen aus der Umgebung extrahiert, sinnvoll miteinander verbunden und mit dem Vorwissen verglichen, um neue Informationen in das bestehende Wissen zu integrieren.	**Fokus:** Schülerinnen und Schüler lernen ausgehend von ihrem Vorwissen und einer problembezogenen Analyse von Informationen neues Wissen in Form von begründeten Hypothesen entwickeln. **Wissen:** Schülerinnen und Schüler lernen die eigenen Hypothesen zielorientiert mit relevantem Fachwissen zu vergleichen und dabei das Vorwissen zu differenzieren, zu modifizieren und anzureichern. **Transfer:** Schülerinnen und Schüler lernen das erworbene deklarative und prozedurale Wissen in neuen Situationen und Aufgaben anzuwenden, zu differenzieren und anzureichern.
Die **Performanzkomponenten** umfassen die basalen kognitiven Prozesse, die zur Bearbeitung von Aufgaben notwendig sind. Hierzu zählen das Abrufen des passenden Vorwissens, die Erkennung relevanter Faktoren und Wechselbeziehungen, die Anwendung und der Transfer des Gelernten, der Vergleich und die Bewertung von Lösungsmöglichkeiten, d. h. spezifische Denkfähigkeiten wie beispielsweise deduktives und induktives Schlussfolgern, produktives und kritisches Denken.	**Fokus:** Schülerinnen und Schüler lernen das passende Vorwissen zur fokussierenden Lernaufgabe abzurufen, in den Informationen relevante Faktoren und Wechselbeziehungen zu erkennen und analytisch denkend Hypothesen zu entwickeln. **Wissen:** Schülerinnen und Schüler lernen eigene Hypothesen mit relevantem Fachwissen zu vergleichen, kritisch zu überprüfen und dabei schlussfolgernd neues Wissen abzuleiten und einzuordnen. **Transfer:** Schülerinnen und Schüler lernen in neuen Situationen das passende erworbene Wissen abzurufen, das Gelernte anzuwenden, eigenständig analytisch zu denken und den erlernten wissenschaftlichen Erklärungsansatz für deduktives Schlussfolgern einzusetzen.

Die **Metakomponenten** dienen beim Aufgabenlösen dem Erkennen des Problems sowie der bewussten, planvollen, aufmerksamen, selbstkritischen, partizipativen und strategischen Vorgehensweise bei den Denk- und Lernprozessen. Ihnen wird ein Einfluss auf den Transfer von Fertigkeiten zugeschrieben.	**Fokus:** Die Schülerinnen und Schüler lernen Problemstellungen und Kontexte von Fragestellungen zu erfassen, passendes Vorwissen abzurufen, relevante Informationen in der Umgebung und in Medien zu analysieren und eigene Erkenntnisse partizipativ im Plenum zu diskutieren, d. h. sie lernen individuelle und kooperative Vorgehensweisen zur Gewinnung von neuen Erkenntnissen. **Wissen:** Schülerinnen und Schüler lernen eigene Hypothesen mit relevantem Fachwissen aufmerksam, selbstkritisch und zielorientiert zu vergleichen und daraus neues Wissen abzuleiten. **Transfer:** Schülerinnen und Schüler lernen andere Probleme zum Themenbereich zu erfassen, das erworbene Wissen bewusst und passend bei der Problemlösung anzuwenden.

Beim Lernansatz AEL werden in jeder Lernphase ausgehend von Kenntnissen über eine eigenständige Analyse neue Erkenntnisse entwickelt, d. h. ausgehend von bestehendem Wissen wird über eigenständiges Denken neues Wissen konstruiert (vgl. Abb. 8). Damit nimmt der Lernansatz AEL das lernpsychologische Verständnis von „**Denken**“ und „**Wissen**“ auf (vgl. Kapitel 3.1), da ein Umlernen vorhandener Wissensstrukturen stattfinden kann, das zu Erkenntnissen über die eigene Umwelt führt. Beim Lernansatz AEL wird einerseits **deklaratives Wissen** aufgebaut (vgl. Kapitel 3.1), indem das Verstehen von Sach- und Faktenwissen bei der problemorientierten Auseinandersetzung mit der fokussierenden Lernaufgabe verlangt wird. Andererseits erfahren die Schülerinnen und Schüler in jeder Lernphase, wie sie neues Wissen über eigenständig analytisches Denken selber erzeugen können, d. h. sie lernen eine Vorgehens- und Handlungsweise (**prozedurales Wissen**) für die Entwicklung von neuen Ideen und neuem Wissen.

Die Einordnung des Lernansatzes AEL in die **Auffassung des kognitiven Konstruktivismus und des Sozio-Konstruktivismus zum Lernen** wird in der Abbildung 24 vorgenommen. Beim Lernansatz AEL sind Aushandlungsprozesse zwischen Schülervorstellungen und Fachwissen an komplexen und realitätsnahen Problemen so angelegt, dass der Lernprozess im Schulzimmer zu einer individuellen, sozialen und situativen Erfahrung werden kann und so ein langfristiges Lernen unterstützt. Situierte Lernumgebungen, welche kognitive und affektive Dimension einbeziehen, verändern die Schemata und mentalen Modelle der Lernenden hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen signifikant stärker, als dies bei lehrerzentriertem Unterricht der Fall ist (Reinfried 2007, S. 23ff). Da der Lernansatz AEL die Auffassung

von Lernen nach dem kognitiven Konstruktivismus und dem Sozio-Konstruktivismus übergreifend berücksichtigt sowie fokussiert auf eine realitätsnahe authentische Problemstellung Denkprozesse auslöst, bestehen gute Voraussetzungen dafür, mit diesem Unterrichtsmodell die Vorstellungen wissenschaftsorientiert zu differenzieren und zu modifizieren. Mit dem Lernansatz AEL nehmen die Lernenden ihre Interpretationen, Hypothesenbildungen und Wissenskonstruktionen unterstützt durch den kooperativen Aushandlungsprozess in der Klasse selbst vor und gehen dabei eigene Lernwege – die Hoffnung besteht, dass sie diese Erfahrungen und das dabei erworbene Wissen nach dem Unterricht mitnehmen und in Situationen der eigenen Lebenswelt erfolgreich anwenden.

Um in der **Phase Fokus** ausgehend vom Vorwissen eigenständiges Denken zum Sachverhalt bereits auszulösen und in der anschließenden Phase Wissen einen *Conceptual Change* durch den analytischen Vergleich von Vorwissen und Fachwissen explizit zu erzeugen, sieht der Lernansatz AEL verschiedene Hilfestellungen vor (vgl. Abb. 24), ausgehend von der **fokussierenden Lernaufgabe** bestehend aus Hinführung, Frage- und Aufgabenstellung. So ist die kurze, pragmatische, medial unterstützte, realitäts- und schülerbezogene **Hinführung** zur leitenden Problem- und Fragestellung äußerst wichtig, damit der Unterrichtsinhalt möglichst zum Problem der Schülerinnen und Schüler werden kann. Die **leitende Frage- und Aufgabenstellung** zum komplexen und realitätsnahen Ausgangsproblem fokussiert schließlich bewusst einen elementaren Inhalt, um eine fachlich vertiefte und konkrete Auseinandersetzung zu erreichen sowie kognitive und affektive Bezüge zu den Schülervorstellungen und -erfahrungen herzustellen. Von radikalen Konstruktivisten könnte hier der Vorwurf angebracht werden, dass mit der eingrenzenden Fragenstellung der Lernprozess zu stark konstruiert und manipuliert wird. Dem muss entgegengehalten werden, dass ein Lernprozess nicht über die ausgehende Fragestellung zu beurteilen ist, sondern über die möglichen Antworten und deren Komplexität. In diesem Sinn ist die Plenumsdiskussion zur leitenden Fragestellung beim Lernansatz AEL überaus bedeutend, da hier die verschiedenen Sichtweisen, die Komplexität, insbesondere aber auch die eigenen Vorstellungen zum Sachverhalt erst richtig bewusst werden. Der **kooperative Austausch- und Aushandlungsprozess** in der Klasse ermöglicht schließlich die eigenen Vorstellungen an komplexen realitätsnahen Problemstellungen zu überprüfen und zu modifizieren. Die Plenumsdiskussion erhält dadurch den Charakter von kooperativem Lernen (Helmke 2017, S. 216), wo soziale Interaktionen wie wechselseitiges Erklären, Erproben, Fragen und Verändern wichtig sind. Das Vorgehen mit dem Lernansatz AEL unterstützt bedeutungserzeugende Wissenskonstruktionen, da Vorwissen im Unterricht einbezogen, zugänglich, aushandelbar und in der anschließenden Phase mit wissenschaftlichem Wissen vergleichbar wird. In der Phase Fokus steht es der Lehrperson frei die Diskussion mit allgemein bekannten Fehlvorstellungen zu ergänzen und die Schülerinnen und Schüler damit zu konfrontieren, um so ihre

Denk- und Lernprozesse zu vertiefen und unbewusste Vorstellungen zu aktivieren. KOURILSKY und WITTROCK (1992) beurteilen es beispielsweise als effektiv, den Lernenden allgemein bekannte Fehlkonzeptionen vorzustellen, damit sie diese bewusst mit den eigenen Konzeptionen vergleichen und entsprechend modifizieren.

In der **Phase Wissen** vergleichen die Lernenden ihr Vorwissen dann explizit mit dem Fach- und Forschungswissen. Diese Analyse verlangt von den Lernenden die eigenen Vorstellungen in einer anderen Situation, d. h. im Kontext mit den wissenschaftlichen Kenntnissen anzuwenden (Transferleistung) und schlussfolgernd zu verifizieren und zu falsifizieren. Auch in dieser Phase scheint es wichtig, die gewonnenen Erkenntnisse aus der Hypothesenprüfung in einer Plenumsdiskussion an Beispielen zu kontextualisieren, differenzieren, modifizieren und dadurch zu festigen. Auch hier kann die Diskussion einem Aushandlungsprozess von Wissenskonstruktionen nahekommen, insbesondere, wenn es um das Einordnen und Reflektieren von Werten und Normen geht.

In der Phase **Transfer** wird das erworbene Wissen analytisch in einer anderen Situation angewendet, gefestigt, weiterentwickelt, modifiziert und differenziert. Dies ermöglicht eine formative Rückmeldung an die Lernenden sowie an die Lehrperson, d. h. es wird für alle erfahrbar, ob das erworbene Wissen so verstanden ist, dass es auf andere Situationen angewendet werden kann und eigenständiges Denken zum behandelten Sachverhalt ermöglicht. Zudem wird den Lernenden die Bedeutsamkeit und Alltagstauglichkeit der erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten bewusst.

Alle drei Phasen des Lernansatzes AEL weisen Aspekte des **situierten Lernens** auf. Beispielsweise soll das komplexe und authentische Ausgangsproblem die Motivation und den Anwendungskontext erhöhen und der Einbezug verschiedener Perspektiven will die Flexibilität im Thema steigern. Der Austausch- und Aushandlungsprozess im Plenum soll zudem die Artikulation und Reflexion fördern sowie die kritische Analyse und die Tiefe der Verarbeitung erhöhen. Der Lernansatz AEL ergänzt situiertes Lernen, indem in jeder Lernphase der Transfer von Wissen und die Verschränkung von Vorwissen und Fachwissen den Lernprozess entscheidend leiten. D. h. in jeder Lernphase des AEL findet in komplexen und authentischen Situationen ein Transfer von Ausgangswissen zu neuem Wissen statt, wobei im Lernprozess stets Schülervorwissen auf Fachwissen bezogen wird. Ziel ist es, ein bedeutungshaltiges und beständiges Wissen aufzubauen, das die Lernenden bei Problemen in ihrer Lebenswelt zukunfts- und lösungsorientiert anwenden können.

Der Lernansatz AEL weist in allen Lernphasen Aspekte eines **fremd- und selbstgesteuerten Lernprozesses** auf. *Fremdsteuerung* durch die von der Lehrperson aus-

Kognitiver Konstruktivismus [1)]	Bezüge vom Lernansatz AEL zum kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus	Sozio-Konstruktivismus [1)]
Lernen ist: • eine **aktive** Konstruktion von Wissen und mentalen Modellen, die nur über die aktive Beteiligung der Lernenden möglich ist. • ein **konstruktiver** Prozess, der ausgehend vom Vorwissen durch schlussfolgerndes Denken zu neuem Wissen führt. • eine **zielgerichtete** Bewältigung von Anforderungen, welche deklaratives und prozedurales Wissen verlangt. • ein **kumulativer** Prozess, der anschlussfähige Wissensstrukturen und Fertigkeiten schafft, damit diese in neuen Situationen angewendet und weiterentwickelt werden (Transfer).	**Fokus:** ➡ ausgehend von einer fokussierenden Lernaufgabe eine konkrete, relevante, realitätsnahe Situation analysieren (situiertes Lernen) ➡ ausgehend von Vorwissen einen Sachverhalt analysieren und Hypothesen entwickeln, d. h. Vorwissen auf eine neue Situation transferieren und dabei neues Wissen konstruieren (aktives, konstruktives, zielgerichtetes, kumulatives Lernen) ➡ Hypothesen (mentale Modelle) im Plenum diskutieren, externalisieren, kontextualisieren sowie Werte und Normen kommunizieren, einordnen und reflektieren (individuelles, soziales, situiertes Lernen) **Wissen:** ➡ in Einzelarbeit entwickelte Hypothesen analytisch mit den wissenschaftlichen Kenntnissen vergleichen, verifizieren und falsifizieren, bezogen auf die herausfordernde fokussierende Lernaufgabe (aktives, konstruktives, zielgerichtetes, kumulatives Lernen und individuelles, situiertes Lernen) ➡ aus der Hypothesenüberprüfung gewonnene Erkenntnisse (neues Wissen, angepasste mentale Modelle) im Plenum kontextualisieren, differenzieren, modifizieren, anreichern, festigen sowie Werte und Normen einordnen, reflektieren (aktives, konstruktives, zielgerichtetes, kumulatives Lernen und individuelles, soziales, situiertes Lernen) **Transfer:** ➡ erworbenes Wissen analytisch in einer anderen Situation und Aufgabe anwenden und weiterentwickeln d. h. erworbenes Wissen auf neue Situation transferieren (aktives, konstruktives, zielgerichtetes, kumulatives Lernen) ➡ erworbenes Wissen in Plenum, Einzel- oder Gruppenarbeit festigen, differenzieren, modifizieren, anreichern sowie Werte und Normen einordnen und reflektieren (individuelles, soziales, situiertes Lernen)	**Lernen ist:** • **individuell**, da Lernprozesse an Individuen gebunden sind mit unterschiedlichen motivationalen, emotionalen, sozialen, gesellschaftlichen und kulturellen Einflüssen. • **sozial**, da Wissen und mentale Modelle auch in der Klasse diskutiert, externalisiert, kontextualisiert, differenziert, korrigiert, modifiziert, angereichert, gefestigt, und bedeutungshaltig gemacht werden (soziale Interaktionen). • **situiert**, da aktives Lernen in kontextgebunden Situationen stattfindet, d. h. das Wissen ist mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden.

Abb. 24 | Bezüge vom Lernansatz AEL zum kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus (vgl. Kapitel 3.1) [1)]nach Reinfried 2007, S. 19; Reinfried 2015a, S. 56; Riemeier 2007, S. 70; Seel 2016, S. 24

gewählten Sachverhalte, konstruierte Lernaufgabe, ausgewählten Erklärungsansätze, eingesetzten Medien und geleiteten Diskussionen. *Selbststeuerung* indem die Lernenden selber verantwortlich sind für das Einbringen von Vorwissen, Hypothesen, Argumenten und deren Überprüfung und Anpassung, d. h. für die Steuerung und Kontrolle ihres Lernprozesses. Nicht die Reproduktion, sondern die Konstruktion von Wissen und seine Anwendung und Weiterentwicklung stehen im Mittelpunkt des Lernansatzes AEL. Nach konstruktivistischen Ansätzen sind die Steuerungs- und Strukturierungshilfen der Lehrperson oft notwendig, um einen konstruktiven und aktiven Aufbau von kognitiven Schemata überhaupt zu ermöglichen. Diese Rolle übernimmt die Lehrperson in allen drei Phasen des Lernansatzes AEL, ausgeprägt in der Phase Fokus. Trotz oder gerade wegen dieser beeinflussenden Rolle der Lehrperson ist der Lernprozess durch die Selbstbestimmtheit der Lernenden geprägt, mit individuell unterschiedlichen Lernwegen, Fehlern und Umwegen, inkl. der Verantwortung für den eigenen Lernprozess. Dies entspricht den Theorien kognitiven Lehrens, nach deren Auffassung es im schulischen Kontext keine Fremdsteuerung ohne Selbststeuerung und keine Selbststeuerung ohne Fremdsteuerung gibt (Müller 2001, S. 14). Der Lernansatz AEL bricht damit die Grenzen und Gegenpositionen zwischen **kooperativem Lernen** (Konstruktion) und **direkten Unterrichtsformen** (Instruktion) im Unterricht auf, da in den Lernphasen Fokus, Wissen und Transfer der Vorgang des Instruierens seitens der Lehrperson und der Vorgang des Konstruierens seitens der Lernenden zeitgleich stattfindet und eng miteinander verwoben sind (Abb. 25). Die Lehrperson muss dabei offen sein für die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, diese aufmerksam, transparent und auf Augenhöhe mit den Lernenden in den Lernprozess einbeziehen, deren Plausibilität fachbezogen mit den Lernenden diskutieren, abwägen und schließlich mit wissenschaftlichen Kenntnissen vergleichen, modifizieren und anreichern. Auch dieses Merkmal des Lernansatzes AEL entspricht der aktuellen Position konstruktivistisch geprägter Lehr-Lernauffassungen, insbesondere dem mo-

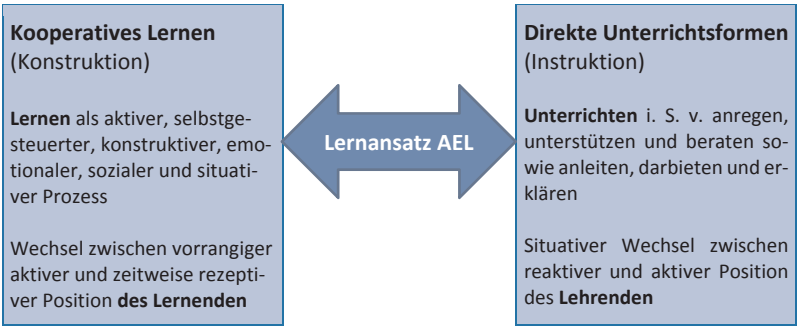


Abb. 25 | Position des Lernansatzes AEL bezüglich des kooperativen Lernens und direkter Unterrichtsformen (nach Reinfried 2007, S. 21)

deraten und wissensbasierten Konstruktivismus (SHUELL 1993; REINFRIED 2007, S. 20; REINMANN, MANDL 2006, S. 629).

Für die **vorliegende Dissertation** zeigt die Einordnung des Lernansatzes AEL in den lernpsychologischen Konstruktivismus, dass die Positionen des kognitiven Lernens, des intelligenten Verhaltens, des kognitiven Konstruktivismus, des Sozio-Konstruktivismus, des deklarativen und prozeduralen Wissens in allen Lernphasen (Fokus, Wissen, Transfer) explizit berücksichtigt sind (vgl. Tab. 12, 13, Abb. 24). Der Beitrag des Lernansatzes AEL zum lernpsychologischen Konstruktivismus ist ein praxisorientiertes und flexibel einsetzbares Unterrichtsmodell, welches diese Theorien in der Praxis zugänglich und umsetzbar machen. Zudem können in Zukunft mit Interventionsstudien nach dem Lernansatz AEL im Unterricht verschiedene Effekte des lernpsychologischen Konstruktivismus untersucht werden.

5.3.2 Vorstellungen im Unterricht einbeziehen und *Conceptual Change* ermöglichen

Wie in Kapitel 3.2 ausgeführt, erklären Theorien des kognitiven Konstruktivismus das Denken, Lernen und Behalten mit zwei Bausteinen der Kognition[3], den „**Schemata**“ und den „**mentalen Modellen**“ (SEEL 2016, S. 37). Der Lernansatz AEL geht in der Phase Fokus explizit von den verschiedenen Schülervorstellungen aus, macht diese transparent und vernetzt sie mit wissenschaftlichen Konzepten in den nachfolgenden Phasen Wissen und Transfer. Es besteht die Hoffnung, dass durch dieses Vorgehen die kognitiven Schemata der Lernenden zum hydrologischen Inhalt aktiviert werden und davon ausgehend auch ihre mentalen Modelle sich weiterentwickeln, um plausible Antworten zum komplexen, realitätsnahen Ausgangsproblem zu generieren.

In der **Phase Fokus** werden die vorunterrichtlichen mentalen Modelle der Schülerinnen und Schüler in Form von begründeten Hypothesen für Lernende und Lehrperson fassbar. Damit wird berücksichtigt, dass alle Lernenden zum gleichen Sachverhalt unterschiedliche Schemata und mentale Modelle haben (REINFRIED 2015a, S. 64f). Zudem werden mentale Modelle zugänglich und im Kontext mit wissenschaftlichen Modellen bewusst veränderbar. D. h. entsprechend dem kognitiven Konstruktivismus setzt der Lernansatz AEL einen Lernprozess in Gang, der in der **Phase Wissen** Vorstellungsänderungen (*Conceptual Change*) hin zu einer wissenschaftsbasierten Weiterentwicklung der mentalen Modelle ermöglicht. Dies ist für eine wirksame Förderung der Transferleistung wichtig, da angepasste, wissen-

[3] Die Lernpsychologie versteht unter Kognition die Gesamtheit der Prozesse, die mit der Aufnahme von Informationen, ihrer Verarbeitung und Speicherung im Gedächtnis sowie ihrer Nutzung und Anwendung in spezifischen Situationen mit Aufgabencharakter verbunden sind. (SEEL 2016, S. 382)

schaftsbasierte Wissensstrukturen die Basis für eine korrekte Anwendung in anderen Situationen und Aufgaben ist (MONTADA 2003, S. 436).

In der **Phase Transfer** wird das erworbene und verifizierte Wissen angewendet, um dessen Alltagstauglichkeit und Relevanz erfahrbar zu machen sowie die Beständigkeit der neuen Vorstellung zu erhöhen. Dies ist wichtig, da subjektive Schülervorstellungen nachweislich sehr robust sind und daher Lernende einige Wochen nach einem *Conceptual Change* wieder in die alte Vorstellung zurückfallen können (z. B. REINFRIED ET AL. 2010, 2013).

Die Einordnung des Lernansatzes AEL bezüglich kognitiver und affektiver Faktoren zur Förderung des *Conceptual Change* zeigt, dass diese Aspekte mehrheitlich und explizit in den drei Phasen Fokus, Wissen und Transfer berücksichtigt sind (vgl. Tab. 14). Daraus darf abgeleitet werden, dass der Lernansatz AEL Vorstellungsänderungen und damit *Conceptual Change* zu Sachverhalten im Unterricht fördern kann.

Tab. 14 | Lernansatz AEL und die kognitiven und affektiven Faktoren für die Förderung eines *Conceptual Change* im Unterricht (vgl. Kapitel 3.2)

Kognitive und affektive Faktoren für die Förderung eines *Conceptual Change* im Unterricht [1)]	**Umsetzung im Lernansatz AEL**
Die Lernenden werden für das Thema motiviert.	**Fokus:** Die herausfordernde fokussierende Lernaufgabe zu einer relevanten, realitätsnahen und medial veranschaulichten Problemsituation stellt aktivierende Bezüge zu den Vorstellungen der Lernenden her und fordert mit einer komplexen realitätsnahen Analyse heraus. **Wissen:** Eigene Vorstellungen und Hypothesen können mit aktuellem Fach- und Forschungswissen überprüft werden. **Transfer:** Die Relevanz und Anwendbarkeit des erworbenen Wissens wird in neuen Situationen erfahrbar.
Präkonzepte werden den Lernenden bewusst gemacht sowie deren Erfahrungsgrundlagen reflektiert. Die Diskrepanz zwischen wissenschaftlichen und subjektiven	**Fokus:** Bei der Hypothesenbildung wird das Vorwissen offengelegt und dessen Tauglichkeit in der realitätsnahen Problemsituation überprüft, dabei wird das eigenständige Denken für die Erzeugung von Hypothesen und neuem Wissen erfahrbar. **Wissen:** Bei der Überprüfung der eigenen Hypothesen

Theorien wird offengelegt, um falsche Annahmen zu revidieren und die metakognitiven Fähigkeiten zu fördern. Die Lernenden denken über ihre Vorstellungsänderungen nach, indem sie ihr Vorwissen mit ihrem neuen Wissen vergleichen.	mit dem Forschungswissen werden Unterschiede offengelegt, falsche Vorstellungen modifizierbar und die wissenschaftliche Vorgehensweise zur Überprüfung von Annahmen erfahrbar. **Transfer:** Das angepasste und differenzierte Wissen wird in neuen Situationen bewusst angewendet, überprüft und reflektiert und dabei als relevant und alltagstauglich erfahrbar, was deren beständige Integration in mentalen Modellen unterstützt.
Die Auseinandersetzung mit gesichertem Wissen, seiner Entstehung und der fachspezifischen Terminologie wird in dem zu behandelnden Kontext vertieft.	**Fokus:** Mit Hilfe eines wissenschaftlichen Erklärungsansatzes und der fachspezifischen Terminologie (z. B. Dispositionsmodell zu Hochwassergefahr) wird eine realitätsnahe Situation analysiert. **Wissen:** Die Überprüfung der eigenen Hypothesen verlangt eine vertiefte Auseinandersetzung mit gesichertem Fach- und Forschungswissen. **Transfer:** Die korrekte Anwendung des erworbenen Wissens in anderen relevanten Situationen verlangt erneut eine vertiefte Auseinandersetzung mit gesichertem Fachwissen.
Anforderungen an die Lernenden sollen unterschiedlich, in variablen Kontexten eingebunden, authentisch und für die Lernenden persönlich bedeutsam sein. Das neue Konzept wird praktisch angewendet und erprobt in einem sinnvollen, nützlichen und motivierenden Kontext mit geringfügig höherer Komplexität, um das Wissenssystem schrittweise weiter zu entwickeln.	**Fokus:** Lernende sind auf verschiedenen Ebenen gefordert, durch die realitätsnahe Problemsituation, die verschiedenen Sichtweisen und Hypothesenentwicklung auf der kognitiven Ebene, durch Bezüge zum Vorwissen auf der individuellen und affektiven Ebene und durch die Aushandlung von Hypothesen im Plenum auf der sozialen Ebene. **Wissen:** Die Auseinandersetzung mit dem persönlichen Vorwissen findet im Kontext mit wissenschaftlichen Kenntnissen und einer realitätsnahen Problemsituation statt und fordert auf kognitiver, individueller und affektiver Ebene heraus, sowie bei der Hypothesenüberprüfung im Plenum auf sozialer Ebene. **Transfer:** Das erworbene Wissen wird in neuen realitätsnahen und authentischen Problemsituationen mit neuen Anforderungen angewendet.
Eine ermutigende Lernkultur soll vorherrschen, Kompetenzen sollen kooperativ erworben werden und die Lernenden sollen den eigenen Wissenserwerb	**Fokus:** Die Diskussion zu Hypothesen findet auf Augenhöhe und in wertschätzender Form statt, es gibt keine „schlechten“ Fragen und falschen Hypothesen, scheinbare Widersprüche werden aber kooperativ ausdiskutiert.

als kontrollierbar erkennen.	**Wissen:** Bei der Validierung werden unstimmige Hypothesen und Fehler als selbstverständlicher Teil des gemeinsamen Lernens im Unterricht verstanden und explizit als Anregung für weitere Lernprozesse genutzt. **Transfer:** Die Anwendung des erworbenen Wissens in anderen Problemsituationen ermöglicht formative Rückmeldungen an Lehrende und Lernende und stärkt den eigenständigen Wissenserwerb.

[1)] nach DUIT, TREAGUST 2003; PINTRICH, MARX, BOYLE 1993; REINFRIED 2007, S. 22; REINFRIED 2015a, S. 69; SCHUBERT 2013, S. 10; KRÜGER 2007 S. 89; SCHNOTZ 2006, S. 81

Für die **vorliegende Dissertation** zeigt die Einordnung des Lernansatzes AEL in die Vorstellungs- und *Conceptual Change*-Forschung, dass diese Positionen breit abgestützt berücksichtigt sind (vgl. Tab. 14). Ein bedeutsamer Beitrag und Mehrwert des Lernansatzes AEL besteht darin, dass die Schülervorstellungen flexibel, praxis-, fach- und zielorientiert im Unterricht zugänglich werden. Dies ist sehr bedeutend, da viele Lehrpersonen immer wieder zeitliche, ressourcenbezogene, methodische und inhaltliche Bedenken zu einem praktikablen Einbezug von 20 verschiedenen Schülervorstellungen in einer Klasse sowie zu deren individualisierter Veränderung äußern (vgl. Fazit in Kapitel 3.3).

5.3.3 Lernansatz AEL – Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion

Wie in Kapitel 3.3 ausgeführt, ist das **Modell der didaktischen Rekonstruktion** MDR ein methodisch-didaktischer Rahmen, der eine systematisch aufeinander bezogene Klärung von Schülervorstellungen und fachlichen Inhalten verlangt (KATTMANN ET AL. 1997). Das MDR wird bisher für die Unterrichtsplanung, die Lehrmittelentwicklung, die fachdidaktische Forschung und die Reflexion von Unterricht eingesetzt.

Der **Lernansatz AEL erweitert das MDR**, indem die beiden Modelle kombiniert als Grundgerüst für einen adaptiven Unterrichtsablauf eingesetzt wird, wo Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen direkt in der Lernsituation systematisch, flexibel und situativ passend aufeinander bezogen werden. Unter **adaptivem Unterricht** wird ein Unterricht verstanden, der ausgehend von einer realitätsnahen Problemsituation und einer fokussierenden Lernaufgaben die Schülervorstellungen zugänglich und fassbar macht, diese Vorstellungen im weiteren Unterrichtsverlauf konsequent und situativ passend auf das entsprechende Fachwissen bezieht und sich damit von Schülervorstellungen und Fachbezügen leiten lässt. Das ursprünglich für die prospektive Unterrichtsplanung entwickelte MDR wird mit dem Lernansatz AEL zu einem Modell für einen **adaptiven Unterricht** erweitert,

der Schülervorstellungen adäquat und explizit einbezieht und im Unterrichtsverlauf immer wieder bezogen auf die fachlichen Kenntnisse diskutiert, korrigiert, modifiziert und anreichert. In der fachdidaktischen Literatur wurde das MDR als leitendes Modell für einen adaptiven Unterricht bisher kaum diskutiert. Teilweise wird einzig darauf verwiesen, dass auch im Unterricht die Schülervorstellungen und damit die Lernendenperspektive für das MDR (Abb. 26) erfasst werden können, beispielsweise mit Lernaufgaben, Reflexionsformen oder dem Auslösen eines kognitiven Konflikts (MÖLLER 2018).

Konkret können die drei Phasen des **Lernansatzes AEL** mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion wie folgt in Bezug gesetzt werden (Großbuchstaben und Nummerierung im folgenden Text beziehen sich auf die Abb. 26) |

Mit Hilfe einer realitätsnahen Problemstellung und einer fokussierenden Lernaufgabe (❸) werden in der **Phase Fokus** beim Entwickeln von Hypothesen die Schülervorstellungen **(A)** direkt im Unterricht für Lehrperson und Lernende zugänglich. Die Schülervorstellungen sind beim Lernansatz AEL Ausgangspunkt des Lernprozesses, aber auch Bezugspunkt (❹) für den weiteren Unterrichtsverlauf (**C)**, da in den folgenden Phasen Wissen und Transfer, die geäußerten Vorstellungen **(A)** und die fachlich geklärten Inhalte **(B)** stets aufeinander bezogen werden (❺ und ❻). Der weitere Unterrichtsverlauf **(C)** richtet sich daher an den geäußerten Schülervorstellungen **(A)**, den dazu passenden und für die verständliche Vermittlung bedeutenden (❶ und ❷) fachlichen Zugänge, Inhalte und Erklärungsansätze aus **(B)**.

Wenn die Lehrperson in der Phase Fokus die Hypothesen (Schülervorstellungen) zielführend strukturieren will, ist der Einbezug eines **wissenschaftlichen Erklärungsansatzes (B)** (Modell, Konzept, Theorie, etc.) oder einer inhaltlich erklärenden Struktur sinnvoll. Dies kann für Lernende und Lehrpersonen insbesondere bei komplexen Unterrichtsinhalten hilfreich sein. Denn ein wissenschaftlich gesicherter Erklärungsansatz (z. B. Dispositionsmodell für Hochwasser) ermöglicht einerseits der Lehrperson die Schülerbeiträge und -vorstellungen **(A)** im Unterricht flexibel und fachlich korrekt **(B)** einzuordnen (❺), z. B. „Schneeschmelze ist eine variable Disposition“. Andererseits dient der wissenschaftliche Erklärungsansatz der Lehrperson und den Lernenden auch als Analyseinstrument (z. B. „Gibt es im Bild von Sedrun auch Grunddispositionen zu Hochwasser?“), um das Ausgangsproblem systematisch und tiefgründig aus verschiedenen Perspektiven zu untersuchen und schlussfolgernd weiter zu denken (❻). Strukturiert erfasste Hypothesen unterstützen zudem ein systematisches und nachvollziehbares Aufeinanderbeziehen von Schülervorstellungen und Fachwissen (❺ und ❻) in nachfolgenden Unterrichtsverlauf **(C)** für Lernende und Lehrende. Ein strukturgeleitetes und systemisches Denken ist in den Phasen Fokus und Wissen daher auch wichtig, weil sonst die

Gefahr besteht, dass eine kaum fassbare Auslegeordnung von Schülervorstellungen die Lehrpersonen und die Lernenden gleichermaßen überfordert. Die Schülerfrage: „Müssen wir das alles für die Probe auswendig lernen?“ taucht in solchen Situationen symptomatisch als Folge des nicht überschaubaren gestapelten „Wissens“ auf. Demgegenüber helfen wissenschaftliche Erklärungsansätze komplexe Sachverhalte strukturiert zu analysieren, eigene Vorstellungen fachlich adäquat zu integrieren und auf die passenden fachwissenschaftlichen Kenntnisse zu beziehen, um so bedeutungserzeugende Verstehensprozesse zu initiieren und für die Anwendung in anderen Situationen anschlussfähiges Wissen zu schaffen. Beim Lernansatz AEL unterstützt der Einbezug von wissenschaftlichen Erklärungsansätzen damit auch den Transfer von Gelerntem auf neue Problemstellungen, indem diese Analyseinstrumente in anderen Situationen die eigenen Beobachtungen und Vorstellungen einordnen helfen und schlussfolgerndes Denken unterstützen.

Nach dem Lernansatz AEL werden in der **Phase Wissen** die Schülervorstellungen in Form von Hypothesen **(A)** mit dem Fachwissen **(B)** verglichen, verifiziert, differenziert, modifiziert und angereichert (❺ und ❻). Übereinstimmungen und Unterschiede zwischen den Schülervorstellungen und dem Fachwissen werden direkt im Unterricht **(C)** von der Lehrperson explizit gemacht und zusammen mit den Lernenden begründet und vertieft. Diese Passung von Schüler- und Fachvorstellung leitet den Unterrichtsverlauf in der Phase Wissen (❶, ❷, ❸ und ❹) und unterstützt einen *Conceptual Change* (vgl. Kapitel 3.2) bei den Lernenden.

In der **Phase Transfer** ist der Unterrichtsverlauf **(C)** durch die inzwischen angepassten und verifizierten Vorstellungen der Lernenden geprägt. Ziel ist es, das neu Gelernte in anderen realitätsnahen Situationen und Aufgaben zu festigen sowie dessen Alltagstauglichkeit und Relevanz erfahrbar zu machen (❶ und ❷). Dies ist wichtig, weil das Gelernte von den Schülerinnen und Schülern als plausibel, sinnvoll, verständlich und glaubhaft beurteilt werden muss, damit es in existierende Vorstellungen integriert wird (❸ und ❹). Andernfalls wird das Gelernte rasch so „verzerrt“, dass es wieder mit dem Vorwissen verträglich wird (Seel 2016, S. 255). In der Phase Transfer erfahren die Lernenden, wie Schulwissen zur eigenen Lebenswelt in Bezug gesetzt und dort angewendet werden kann. Dabei verinnerlichen sie auch das Vorgehen nach dem MDR, indem sie in einer neuen realitätsnahen Situation das Gelernte **(A)** bezogen auf das Fachwissen **(B)** anwenden (❺ und ❻) und dabei die eigenen Vorstellungen weiter differenzieren, modifizieren und anreichern. Insgesamt sollen die beschriebenen Lernerfahrungen in dieser Phase den Transfer des Gelernten fördern und Grundlagen für anschlussfähiges Wissen und ein lebenslanges Lernen aufbauen.

Die folgenden sechs Schritte finden *direkt im Unterricht* und in ständiger gegenseitiger Beeinflussung statt:

❶ Für die verständliche Vermittlung wichtig Inhalte und Erklärungsansätze im Unterrichtsverlauf einbeziehen und dabei ihre Bedeutung aufzeigen.

❷ Im Unterrichtsverlauf die für eine verständliche Vermittlung bedeutenden fachlichen Inhalte und Erklärungsansätze einbeziehen.

❸ Im Unterricht ausgehend von einer realitätsnahen Problemstellung und einer fokussierenden Lernaufgabe die Schülervorstellungen erfassen und zugänglich machen und im weiteren Unterrichtsverlauf darauf bezogen bleiben.

❹ Vorstellungen der Lernenden sind Ausgangspunkt und stetiger Bezugspunkt im Unterrichtsverlauf.

❺ Im Unterrichtsverlauf Schülervorstellungen systematisch und situativ angepasst auf fachliche Inhalte und Erklärungsansätze beziehen.

❻ Im Unterrichtsverlauf fachliche Inhalte und Erklärungsansätze systematisch und situativ passend auf geäußerte Schülervorstellungen beziehen, um diese zu differenzieren, anzureichern und für andere Situationen anschlussfähig zu machen (Transfer). ß

Abb. 26 | Adaptiver Unterricht nach dem Lernansatz AEL und dem Modell der Didaktische Rekonstruktion (eigene Darstellung, nach GROPENGIEßER, KATTMANN, 2009, verändert).

Der Lernansatz AEL erweitert das Modell der Didaktischen Rekonstruktion MDR, indem es einen Weg aufzeigt, mit dem MDR direkt im Unterrichtsgeschehen Schüler- und Fachwissen flexibel und situativ passend aufeinander zu beziehen. Die Unterrichtsgestaltung nach dem Lernansatz AEL und dem MDR verlangt folgende

spezifische Schritte bei der Unterrichtsvorbereitung:

A) *Erfassung der Lernendenperspektive:* die Entwicklung herausfordernder fokussierenden Lernaufgaben, welche das sachbezogene Schülerwissen im Unterricht zugänglich machen (vgl. Kapitel 5.1.3)

B) *Fachliche Klärung:* ein fundiertes und aktuelles Fachwissen sowie die Entwicklung einer erklärenden Sachstruktur zum Inhalt und/oder Auswahl eines wissenschaftlichen Erklärungsansatzes (z. B. wissenschaftliche Konzepte, Theorien, Modelle)

C) *Didaktische Strukturierung:* Planung der Abfolge von Lernschritten für die Passung von Schüler- und Fachwissen (z. B. wann und wie werden mit der Lernaufgabe und dem wissenschaftlichen Erklärungsansatz das Schülerwissen zugänglich gemacht und wann und wie wird dieses mit dem Fachwissen geklärt?)

Neben diesen Vorbereitungen verlangt der oben beschriebene adaptive Unterricht von einer **Lehrperson** eine aufmerksame, offene und interessierte Haltung gegenüber den Schülerinnen und Schülern und ihren Vorstellungen sowie gegenüber fachlichen Fragen, aktuellen Erkenntnissen und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen. Diese Haltung ist eine Grundvoraussetzung für das entsprechende Engagement bei der Unterrichtsvorbereitung, für die verlangte Präsenz im Unterricht und für eine konstruktive Nachbereitung des Unterrichts, wo stets Schüler- und Fachwissen aufeinander bezogen werden müssen.

Wie in Fazit zu Kapitel 3.3 ausgeführt, stehen viele Lehrpersonen mit dem MDR vor dem Problem, dass ihnen bei der Unterrichtsvorbereitung die Schülervorstellungen zu vielen geographischen Themen nicht wirklich bekannt sind und sie sich überfordert fühlen mit der hypothetischen Erschließung von rund 20 verschiedenen Lernendenperspektiven und dem Umgang mit so vielen verschiedenen Vorstellungen im Unterricht. Die Bedenken der Lehrpersonen beziehen sich vorwiegend auf die eigenen Ressourcen bei der Unterrichtsvorbereitung und -durchführung, auf den Umgang mit so vielen verschiedenen Vorstellungen innerhalb der begrenzten Unterrichtszeit und auf praxistaugliche Methoden zur Bewältigung dieser Herausforderungen. Zudem wird immer wieder in Frage gestellt, ob anschlussfähige Schülervorstellungen auch zu anspruchsvollen Themen vorhanden sind. Der Lernansatz AEL bietet ein praxisorientiertes und theoriebasiertes Konzept, um in der Unterrichtspraxis den angesprochenen **Herausforderungen mit dem MDR** zu begegnen:

- Mit dem Lernansatz AEL muss die Lehrperson bei der Unterrichtsvorbereitung nicht nach hypothetisch möglichen Schülervorstellungen suchen oder diese sogar aufwendig erfassen. Sie muss jedoch eine relevante Lernaufgabe zu einem komplexen, realitätsnahen Problem entwickeln, bei deren Beant-

wortung sich Schülervorstellungen zu elementaren Inhalten erschließen lassen.

- Der Lernansatz AEL bietet in der Phase Fokus eine pragmatische Möglichkeit, um verschiedene Schülervorstellungen zu einem komplexen, realitätsnahen Problem im Unterricht einzubeziehen. Die Lehrperson muss jedoch aufmerksam, flexibel und umsichtig mit den geäußerten Schülervorstellungen im Unterricht umgehen (Kapitel 5.1.5). Die langjährigen und zahlreichen Erfahrungen mit dem Lernansatz AEL zeigen, dass die verschiedenen Vorstellungen in einer Klasse mit einer herausfordernden fokussierenden Lernaufgabe und einem wissenschaftlichen Erklärungsansatz sich zielorientiert einordnen und fachbezogen gut modifizieren lassen. Der „Umweg“ über die Phase Fokus beim Lernprozess nimmt insgesamt nicht mehr Unterrichtszeit in Anspruch, insbesondere weil erfahrungsgemäß das Wissen in der anschließenden Phase rascher verarbeitet und verstanden wird – die so vermittelten Informationen werden durch die kognitiven und affektiven Bezüge zum Vorwissen bedeutungshaltig.
- Die Fallbeispiele in Kapitel 5.2 zeigen, dass sich der Lernansatz AEL zu jedem human- und physisch-geographischen Thema einsetzen lässt. Der Lernansatz AEL bewährt sich insbesondere bei komplexen, realitätsnahen Problemen, für deren Beantwortung verschiedene Faktoren, komplexe Wechselbeziehung und vielfältige Perspektiven einbezogen werden müssen und es keine eindeutigen Lösungen gibt (vgl. Fallbeispiel zu den Themen „Nachhaltige Entwicklung“ und „Kulturen“ in Kapitel 5.2.4 und 5.2.5). Mit dem Lernansatz AEL werden bereits zu Beginn des Lernprozesses verschiedene Perspektiven, Faktoren und Wechselbeziehungen einbezogen und mit dem Schülervorwissen verbunden, so dass der anschließende Vergleich mit wissenschaftlichen Kenntnissen und Überlegungen von betroffenen Personen zu einem bedeutungserzeugenden Lernen führen kann, trotz der hohen Komplexität des Themas.

Wie in der Praxis ein Unterricht und ein Lernmedium für die Durchführung eines adaptiven Unterrichts mit dem Lernansatz AEL und dem MDR aussehen könnten, zeigt die Unterrichtspräparation der Experimentalgruppe zum Thema Hochwasser in Kapitel 7.2.2 und das Lernmedium WASSERverstehen in Kapitel 6.3 und 6.4 sowie die verschiedenen Fallbeispiele in Kapitel 5.2.

Für die **vorliegende Dissertation** zeigt sich, dass der Lernansatz AEL sich stark auf das Modell der Didaktischen Rekonstruktion bezieht und dabei das MDR auch erweitert, indem dieses zusammen mit dem Lernansatz AEL als Grundstruktur für einen adaptiven Unterricht eingesetzt wird, wo Schüler- und Fachwissen direkt in der Lernsituation systematisch und situativ angepasst aufeinander bezogen werden. Der Lernansatz AEL zeigt damit, dass sich verschiedene Schülervorstellungen

in einer Klasse praxistauglich innerhalb der verfügbaren Unterrichtszeit berücksichtigen und weiterentwickeln lassen, insbesondere auch zu komplexen human- und physisch-geographischen Themen.

Die Erweiterung des MDR mit dem Lernansatz AEL ist bedeutend, da einerseits das MDR wichtige und mehrfach nachgewiesene, lernpsychologische Erkenntnisse in den Unterricht transportiert und andererseits der Lernansatz AEL die Herausforderungen von Lehrpersonen mit dem MDR praxisorientiert angeht und damit eine breite Umsetzung des MDR in der Unterrichtspraxis unterstützt.

5.3.4 Lernansatz AEL und Erkenntnisse der Transferforschung

Wie in Kapitel 3.4.2 ausgeführt, wird theoretisch vorhandenes Wissen, das in der Praxis nicht angewendet werden kann, in der Kognitions- und Lernpsychologie als **träges Wissen** bezeichnet (WHITEHEAD 1929). Die zahlreichen Erklärungen für die Entstehung von trägem Wissen werden nach den drei Kategorien „Strukturdefiziterklärungen“, Metaprozesserklärungen“ und „Situiertheitserklärungen“ gegliedert. In der Tabelle 15 sind verschiedene Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Verminderung von trägem Wissen gegliedert nach den drei Kategorien zusammengestellt. Diese Analyse zeigt, dass jede Lernphase des AEL Maßnahmen gegen träges Wissen explizit aufweist. Damit kann davon ausgegangen werden, dass der Lernansatz AEL die Entstehung von trägem Wissen zumindest vermindert.

Tab. 15 | Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Verminderung von trägem Wissen (vgl. Kapitel 3.4.2)

Erklärungen zur Entstehung von trägem Wissen (nach RENKL 2018, S. 838f)	**Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Verminderung von trägem Wissen**
Strukturdefiziterklärung: ungenügend abrufbares und strukturiertes Wissen (vgl. Kapitel 3.4.2)	**Fokus:** Der wissenschaftliche Erklärungsansatz hilft Vorwissen strukturiert zu aktivieren und Hypothesen einzuordnen, zudem wird der Erklärungsansatz an einem konkreten Beispiel anwendungsbezogen erworben. **Wissen:** Der wissenschaftliche Erklärungsansatz ermöglicht einen strukturierten Vergleich von Vorwissen mit Fachwissen, was den Aufbau einer organisierten und anschlussfähigen Wissensstruktur unterstützt. **Transfer:** Mit dem wissenschaftlichen Erklärungsansatz haben die Lernenden ein „Analyse- und Denk-Instrument“, um ihr strukturiert erworbenes Wissen in anderen Situationen und Aufgaben anzuwenden und weiterzuentwickeln.

Metaprozesserklärung: metakognitive Strategien wie die Überwachung, Steuerung und Regulation des Lernprozesses fehlen für die erfolgreiche Anwendung des erworbenen Wissens (vgl. Kapitel 3.4.2)	**Fokus:** Die fokussierende Lernaufgabe und die realitätsnahe Problemsituation helfen die Anforderung bewusst zu erfassen, passendes Vorwissen abzurufen, relevante Aspekte und Wechselwirkungen zu analysieren, um so bewusst angemessene Hypothesen zu entwickeln und neue Erkenntnisse zu konstruieren. **Wissen:** Der bewusste Vergleich von Vorwissen mit Fachwissen unterstützt die Überwachung, Steuerung und Regulation des eigenen Lernens und der Informationsverarbeitung, wobei metakognitive Fertigkeiten (z. B. Validierung von Hypothesen) gezielt und explizit mit fachlichem Lernen verbunden werden. **Transfer:** Schülerinnen und Schüler lernen andere Probleme zum Themenbereich zu erfassen, das erworbene Wissen und der erlernte wissenschaftliche Erklärungsansatz bei der Problemlösung bewusst und passend anzuwenden.
Situiertheitserklärung: Wissen ist mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen verbunden und nur *in situ* abrufbar (vgl. Kapitel 3.4.2)	**Fokus:** Ausgehend von einer realitätsnahen Problemsituation und einer relevanten Fragestellung werden das Vorwissen aktiviert und Hypothesen kontextgebunden im Plenum ausgehandelt (inhaltliche und soziale Erfahrung). **Wissen:** Das Vorwissen und die entwickelten Hypothesen werden mit aktuellem wissenschaftlichem Wissen individuell und im Plenum verglichen mit Bezug zur realitätsnahen Problemsituation. **Transfer:** In neuen realitätsnahen Situationen wird das erworbene Wissen angewendet und dessen Alltagstauglichkeit und Relevanz erfahren.

Die Einordnung des Lernansatzes AEL in die wichtigsten lernpsychologischen Theorien zur Transferförderung (vgl. Kapitel 3.4.2) wird in der Tabelle 16 vorgenommen. Diese Analyse zeigt, dass der Lernansatz AEL verschiedene Ansätze der Lernpsychologie zur Transferförderung berücksichtigt.

Tab. 16 | Maßnahmen des Lernansatzes AEL zur Förderung eines erfolgreichen Transfers (vgl. Kapitel 3.4.3)

Transfertheorien der Lernpsychologie	Bezüge des Lernansatzes AEL zu Transfertheorien der Lernpsychologie
Theorie der identischen Elemente: Lernsituation und Anwendungssituation enthalten übereinstimmende Wissenselemente und Tiefenstrukturen (vgl. Kapitel 3.4.3)	Die herausfordernde Lernaufgabe fokussiert in einer realitätsnahen Situation relevante Wissenselemente und Tiefenstrukturen eines Sachgebietes, die in der Phase Wissen vertieft werden und in späteren Anwendungssituationen bedeutend sind.
Theorie des Erkennens von Prinzipien: Beim Lernen allgemeine Prinzipien generieren, die flexible Anwendungsmöglichkeiten eröffnen (vgl. Kapitel 3.4.3)	Das analytische Vorgehen fördert in allen Lernphasen das Abstrahieren und Generieren von Prinzipien und Regeln. Bei komplexen Themen unterstützen der Einbezug und die Anwendung wissenschaftlicher Erklärungsansätze das Erlernen von Regelwissen und Prinzipien.
Analogiebildung: gemeinsame Tiefenstrukturen zwischen aktueller Situation und eigenem Wissen erkennen und durch Analogiebildung auf die aktuelle Anforderung übertragen (vgl. Kapitel 3.4.3)	**Fokus:** Die fokussierende Lernaufgabe, das analytische Vorgehen und der wissenschaftliche Erklärungsansatz helfen fachlich korrekte Analogien (Hypothesen) strukturiert zu bilden, bezogen auf eine realitätsnahe Situation. Der wissenschaftliche Erklärungsansatz unterstützt das Erkennen korrekter Analogien und Strukturen und fördert damit eine strukturierte Wissenskonstruktion. **Wissen:** Der wissenschaftliche Erklärungsansatz ermöglicht einen strukturierten und fachlich korrekten Vergleich von konstruierten Analogien (Hypothesen) mit Fachwissen und unterstützt so den Aufbau einer organisierten und anschlussfähigen Wissensstruktur. **Transfer:** Die Struktur des erworbenen Wissens und der wissenschaftliche Erklärungsansatz unterstützen bei neuen Situationen das korrekte Ableiten von entscheidenden strukturellen Gemeinsamkeiten (Analogiebildung).
Strategie des Vergleichens: systematisches Vergleichen von Situationen bezüglich Gemeinsamkeiten und Unterschiede	**Fokus:** Der Vergleich von Situationen und Perspektiven aktiviert das Vorwissen und die Hypothesenbildung und zeigt eine Vorgehensweise auf für die Bildung von neuem Wissen bei späteren Analysen. **Wissen:** Der Vergleich von Vorwissen und Fachwissen

(vgl. Kapitel 3.4.3)	ermöglicht ein bedeutungserzeugendes Erlernen der Inhalte und zeigt das Vorgehen für tiefgründiges Analysieren und Lernen auf. **Transfer:** Das erworbene Prinzip des Vergleichens (Vorgehensweise) unterstützt dabei in neuen Situationen das erworbene Wissen anzuwenden und eine tiefgründige Analyse vorzunehmen.
Metakognitive Kontrolle: Überwachung, Steuerung und Regulation des bewussten Lernens und Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel 3.4.3)	**Fokus:** Die Schülerinnen und Schüler lernen die realitätsnahe Problemsituation, die Lernaufgabe und deren Anforderung zu erfassen, das passende Vorwissen abzurufen, relevante Aspekte und Wechselwirkungen zu erkennen, angemessene Hypothesen zu entwickeln und neue Erkenntnisse zu konstruieren. **Wissen:** Die Schülerinnen und Schüler lernen Vorwissen mit Fachwissen bewusst zu vergleichen, womit eine Überwachung, Steuerung und Regulation der Informationsverarbeitung verbunden ist und metakognitive Fertigkeiten (z. B. Validierung von Hypothesen) verlangt sind. **Transfer:** Die Schülerinnen und Schüler lernen mit dem erworbenen Wissen neue Problemsituationen zu erkennen, angemessene Hypothesen zu entwickeln und dabei bewusst die Relevanz und Anwendbarkeit des Gelernten zu überprüfen und weiterzuentwickeln.
Umgang mit mentalen Werkzeugen: mentale Modellierung mit den drei Werkzeugen natürliche Sprache, formal-mathematische Sprache und bildlich-graphische Darstellungsformen (vgl. Kapitel 3.4.3)	**Fokus:** Die Schülerinnen und Schüler lernen eigene Vorstellungen und Beobachtungen in Worte zu fassen und so neues Wissen zu konstruieren, unterstützt durch die Analyse von Informationen in der Umgebung und in Medien (graphisch-visuelle Darstellung), in Texten (natürliche Sprache), in Datentabellen und Diagrammen (formal-mathematische Sprache). **Wissen:** Die Schülerinnen und Schüler lernen analytisch und zielorientiert Texte, Grafiken und Diagramme zu lesen beim Vergleich der Hypothesen mit dem Fachwissen. **Transfer:** Die Schülerinnen und Schüler lernen an neuen Texten, Grafiken, Daten oder Diagrammen ihr erworbenes und verifiziertes Wissen zum Themenbereich anzuwenden, weiterzuentwickeln und zu differenzieren.

Die Einordnung des Lernansatzes AEL in die lernpsychologischen Transfertheorien zeigt, dass insbesondere die **Kombination vom Lernansatz AEL mit einer fokussierenden Lernaufgabe und einem wissenschaftlichen Erklärungsansatz** den Transfer von Vorwissen auf neue Situationen und Aufgaben bedeutend unterstützen kann. In diesem Verbund dient der wissenschaftliche Erklärungsansatz:

- als Instrument für die Erfassung und Analyse der Problem-, Frage- und Aufgabenstellung in der Phase Fokus und Wissen.
- als Instrument, um das eigene Vorwissen zur Problem-, Frage- und Aufgabenstellung in der Phase Fokus zu strukturieren (Phase Fokus) und so einen tiefgründigen Vergleich mit dem wissenschaftlichen Wissen zu ermöglichen (Phase Wissen).
- als flexibel einsetzbares Instrument für die Analyse neuer Situationen und Aufgaben, d. h. als Hilfsmittel, um das erworbene Wissen in anderen Situationen anzuwenden (Phase Transfer).

Der wissenschaftliche Erklärungsansatz hilft den Lernenden auch, weniger „riskante“ Analogien, Vergleiche und Erklärungsversuche eingehen zu müssen, die zu übereiltem und unangepassten Handeln oder negativen Transfer führen könnten.

Für die **vorliegende Dissertation** zeigt sich, dass der Lernansatz AEL zentrale Aspekte der lernpsychologischen Transfertheorien aufnimmt und dabei diesen Forschungsbereich ergänzt mit einem praxisorientierten Unterrichtsmodell zur Transferförderung. Zudem wird bei der Einordnung des Lernansatzes AEL in die Transfertheorien deutlich, dass die Kombination des kompetenzorientierten Lernansatzes AEL mit einer fokussierenden Lernaufgabe und einem wissenschaftlichen Erklärungsansatz für die Förderung der Transferleistung in der Unterrichtspraxis sehr bedeutend zu sein scheint (vgl. Tab. 15 und 16).

5.3.5 Fazit: Theoriebezogene Einordnung des Lernansatz AEL

Die Einordnung des entwickelten Lernansatzes AEL in die lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen zu Lernen und Transferleistungen aus dem Kapitel 3 zeigt, dass der Lernansatz AEL in allen Lernphasen (Fokus, Wissen und Transfer) deutlich erkennbare Bezüge aufweist zum lernpsychologischen Konstruktivismus, zur Vorstellungs-, *Conceptual Change*- und Transferforschung sowie zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion (vgl. Tab. 12 bis 16, Abb. 24 und 26) und sich damit in diesen theoretischen Grundlagen des Lernens und des Transfers begründet verankern lässt.

Der Beitrag des Lernansatzes AEL zu allen aufgeführten lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen zu Lernen und Transferleistungen liegt einerseits im

praxisorientierten und flexibel einsetzbaren Unterrichtsmodell, das diese Theorien der Praxis zugänglich und im Unterricht umsetzbar macht. In diesem Sinn werden die erwähnten Theorien praxisbezogen erweitert, was letztendlich deren Reflexion und Weiterentwicklung im Fachunterricht unterstützt. Andererseits ermöglicht der Lernansatz AEL aber auch Aspekte dieser Theorien quantitativ und qualitativ im Fachunterricht zu beforschen, indem Interventionsstudien nach dem Lernansatz AEL im Unterricht angelegt werden.

5.4 Fazit: Lernansatz AEL – Praxis- und Theoriebezug

Mit dem analytisch-erkenntnisorientierten **Lernansatz AEL** wurde im Rahmen der Dissertation ein flexibel einsetzbares Unterrichtsmodell praxis- und theoriebezogen entwickelt, das in jeder Phase des Lernprozesses eigenständiges Denken fördert, Schülervorstellungen explizit einbezieht und ihre Weiterentwicklung ermöglicht (*Conceptual Change*), um so Transferleistungen bei den Lernenden zu unterstützen.

Die verschiedenen Erprobungen (Kapitel 5.2) zeigen, dass der Lernansatz AEL **flexibel und vielfältig einsetzbar** ist bei physisch- und humangeographischen Themen, in unterschiedlich langen Unterrichtssequenzen sowie mit verschiedenen Medien und Methoden. In der Praxiserprobung wird auch deutlich, dass der **Verbund von Lernansatz AEL, fokussierender Lernaufgabe und wissenschaftlichem Erklärungsansatz** einerseits sehr bedeutend für die Umsetzung eines adaptiven Unterrichts ist, wo Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen direkt in der Lernsituation systematisch, flexibel und situativ passend aufeinander bezogen werden. Andererseits unterstützt dieser Verbund die verständliche und transferbezogene Vermittlung komplexer geographischer Themen, wo der Umgang mit verschiedenen Perspektiven, Werten und Normen, vielfältigen Wechselwirkungen, sichtbaren und unsichtbaren Elementen und nicht eindeutigen Lösungen herausfordernd ist (Kapitel 5.2.7).

Die gleichwertig theorie- und praxisbezogene Entwicklung des Lernansatzes AEL ermöglicht einerseits dessen klare Verankerung in den lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen zu Lernen und Transfer. Andererseits konnte so auch ein flexibel einsetzbares Unterrichtsmodell zur Transferförderung in der Schulpraxis entwickelt werden.

6 Umsetzung des Lernansatzes AEL – das Lernmedium WASSERverstehen

6.1 Ausgangslage

Das Lernmedium **WASSERverstehen** verwendet den Lernansatz AEL als didaktisches Konzept, mit dem Ziel, das Aufeinanderbeziehen von Schülervorwissen und hydrologischem Fachwissen im Lernmedium und damit auch im Unterricht zu integrieren, eigenständig analytisches Denken zu hydrologischen Sachverhalten zu fördern und so die Anwendung des erworbenen hydrologischen Wissens in anderen Situationen zu unterstützen (Transfer).

Das neu entwickelte Lernmedium WASSERverstehen soll damit eine transferorientierte Vermittlung von hydrologischem Wissen im Geographieunterricht der Sekundarstufe II unterstützen. Zudem kann das Lernmedium als Grundlage für die geplante Wirksamkeitsstudie zum Lernansatz AEL in gymnasialen Klassen in der vorliegenden Dissertation beigezogen werden. Und schließlich soll mit WASSERverstehen auch die Entwicklung eines Lernmediums nach dem Konzept des Lernansatzes AEL exemplarisch aufgezeigt werden.

Die Module zum Lernmedium WASSERverstehen werden in Zusammenarbeit mit der Gruppe für Hydrologie vom Geographischen Institut der Universität Bern und dem Hydrologischen Atlas der Schweiz entwickelt. Der **Hydrologische Atlas der Schweiz** (HADES) ist ein Gemeinschaftswerk der Schweizer Hydrologie und wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) herausgegeben. Der HADES stellt seit rund 30 Jahren hydrologische Grundlageninformationen und Forschungswissen mittels Karten, Grafiken und Texten zur Verfügung. Der Atlas umfasst ein gedrucktes Kartenwerk, thematische Exkursionsführer sowie eine Webseite mit Downloadmöglichkeiten, *WebGIS*-Anwendungen und dem Lernmedium WASSERverstehen (Print- und E-Book) für die Sekundarstufe II.

Das **Lernmedium WASSERverstehen** macht das umfassende, im HADES wissenschaftlich aufgearbeitete Forschungswissen der Hydrologie auch für die Lernenden an Mittelschulen zugänglich. Mit der Einbettung in das Projekt HADES erhalten das Lernmedium, der Lernansatz AEL und die Wirksamkeitsstudie der vorliegenden Dissertation eine wissenschaftsbasierte Plattform im Umfeld der Gruppe für Hydrologie an der Universität Bern und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Die Realisation der Module von WASSERverstehen erfolgt in Zusammenarbeit mit der Gruppe des Hydrologischen Atlasses, insbesondere mit Felix Hauser, Rolf Weingartner, Tom Reist, Jan Schwanbeck, Alexander Hermann und Alain Bühlmann. Über die Website www.wasserverstehen.ch ist das gesamten Lernmedium

WASSERverstehen (Print- und E-Book) frei zugänglich. Das E-Book wurde von LerNetz AG aufgesetzt. Beide Module sind auch über den Buchhandel erhältlich, in Deutsch über den hep-Verlag in Bern und in Französisch über Editions Loisirs et Pédagogie in Le Mont-sur-Lausanne.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation verfasste ich als Autor die beiden **Module „Hydrologische Extremereignisse“** (Kapitel 6.3) und **„Wallis – Wassernutzung im Wandel“** (Kapitel 6.4) für den Geographieunterricht der Sekundarstufe II. In gedruckter und elektronischer Form will das Lernmedium eine inhaltlich und didaktisch durchdachte Lernumgebung anbieten, welche eine aktive Auseinandersetzung mit aktuellen Fragestellungen der Hydrologie fördert. Die Jugendlichen sollen so verschiedene relevante hydrologische, wasserwirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Aspekte der Gewässer verstehen, Herausforderungen erkennen und Handlungsoptionen entwickeln.

Entsprechend diesen Zielen ist auch der Einstieg zur **Website** von www.wasserverstehen.ch gestaltet (Abb. 27). In der Karte mit den vier Haupt-Entwässerungsgebieten der Schweiz sind über die roten Icons die aktuellen Abflusswerte der Flüsse Rhein, Rhone, Inn und Ticino an der Schweizer Grenze abrufbar. So ist jederzeit die Wassermenge bestimmbar, welche aktuell über die wichtigsten Fließgewässer aus dem Wasserschloss Schweiz abfließt. Die Abflussdiagramme zu den vier Messstellen ermöglichen zudem einen Vergleich des aktuellen Abflusses (blau) mit dem größten, dem kleinsten, dem 90 %igen, dem mittleren und einem frei wählbaren Tagesabfluss der letzten 150 Jahre. Die Diagramme ermöglichen so den aktuellen Abflusswert hydrologisch einzuordnen und zu beurteilen. Beispielsweise zeigt das Abflussdiagramm vom Rhein in Basel vom 26.9.2018 (Abb. 27), dass der Abfluss in den Sommermonaten Juni, Juli, August und September des Jahres 2018 ähnlich tiefe Werte aufweist wie im Hitzejahr 2003 (graue Linie) und der Abfluss vom Rhein in den Monaten Juli bis September 2018 beinahe die kleinsten Tagesabflüsse der Periode 1869 – 2012 erreicht hat. Das Foto der Messstation in Basel Rheinhalle vermittelt eine Vorstellung zum Abflusswert in Kubikmeter pro Sekunde im Diagramm. Das Konzept zu diesen Abflussdiagrammen wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Rolf Weingartner und Jan Schwanbeck entwickelt.

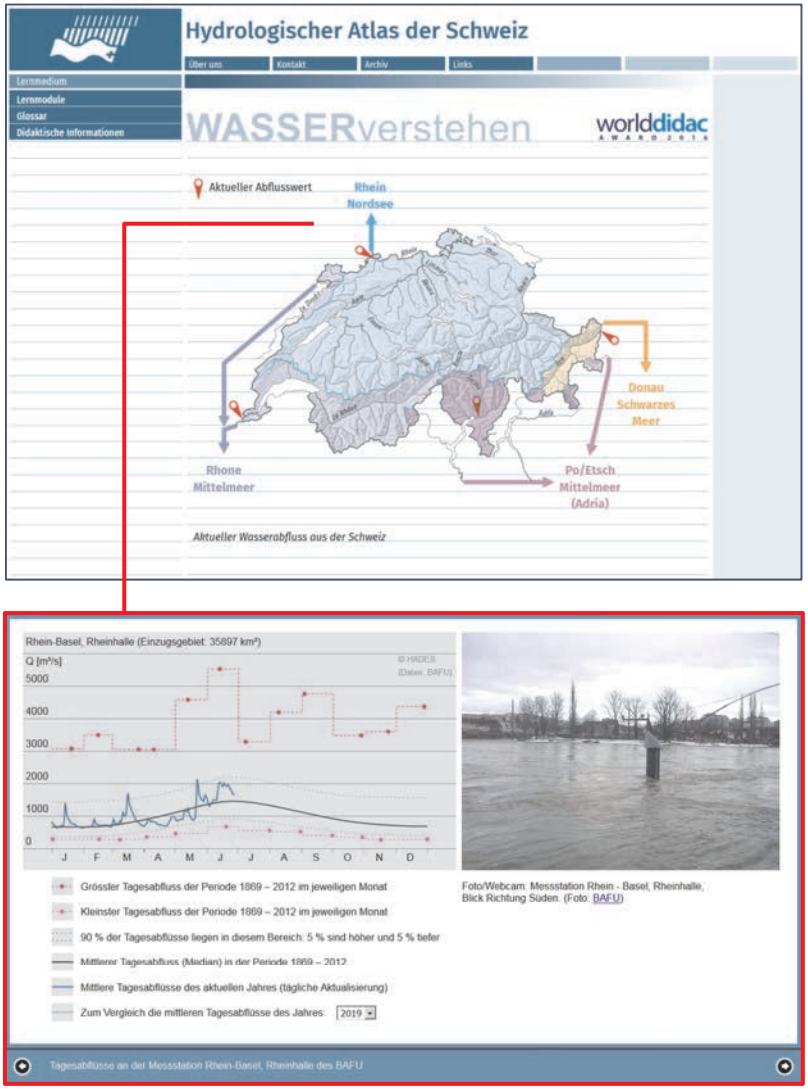


Abb. 27 | Einstiegsseite von WASSERverstehen.ch mit dem aktuellen Abfluss der Hauptentwässerungsgebiete der Schweiz über die Flüsse Rhein, Rhone, Inn und Ticino (www.wasserverstehen.ch, abgerufen am 26.9.2018)

6.2 Konzept des Lernmediums WASSERverstehen

Das Lernmedium WASSERverstehen besteht aus **Modulen** mit jeweils vier in sich geschlossenen **Themenblättern**. Der modulare Aufbau von WASSERverstehen ermöglicht einen flexiblen Einsatz im Unterricht, d. h. die Module und die Themenblätter sind unabhängig voneinander einsetzbar und können auch bezogen auf ein aktuelles Ereignis (z. B. Hochwasser, Trockenheit) oder ein regionalgeographisches Beispiel (z. B. Starkniederschlag im Wallis) im Geographieunterricht integriert werden. Die Inhalte des Lernmediums lassen sich durch den modularen Aufbau auch innerhalb der verschiedenen Lehrpläne der Sekundarstufe II der Schweiz und der verschiedenen Unterrichtskonzepte von gymnasialen Lehrpersonen umsetzen. Die ausgewählten Medien im E-Book unterstützen zudem die Lehrperson bei der Unterrichtsvorbereitung und der Gestaltung eines situativ an Fragen und Vorstellungen der Lernenden angepassten, adaptiven Unterrichts (vgl. Kapitel 5.3.3).

Das Konzept von WASSERverstehen ermöglicht **vielfältige Unterrichtsmethoden**. Beim Frontalunterricht lassen sich sämtliche Medien bildschirmgroß projizieren und so für Diskussionen zur fokussierenden Lernaufgabe, zu Schülerfragen oder für vertiefende Erläuterungen in der Klasse einbeziehen. Mit dem Lernmedium WASSERverstehen lassen sich auch verschiedene schülerzentrierte Unterrichtsformen realisieren, beispielsweise Gruppenpuzzle zu einem Themenblatt oder dem ganzen Modul oder eigenständige Recherchen zu weiterführenden Fragen.

Das Lernmedium WASSERverstehen setzt den **Lernansatz AEL** konsequent um und ist damit auch gegliedert in Fokus, Wissen und Transfer (Abb. 28 und 34–38). Für die Phase **Fokus** bietet die erste Seite des Themenblattes zusammen mit dem E-Book verschiedene Materialien für die Entwicklung von Hypothesen zur fokussierenden Lernaufgabe an. Für die Phase **Wissen** stellt die aufgefaltete Doppelseite das gesicherte Grundlagen- und Forschungswissen übersichtlich und klar strukturiert dar. Die klare Gliederung und Verwendung von Fachbegriffen und wissenschaftlichen Konzepten soll die analytische Überprüfung der eigenen Überlegungen unterstützen und die spätere Anwendung des erworbenen Wissens fördern. Auf der letzten Seite des Themenblattes können die Lernenden an einer anderen Situation die erworbenen Kenntnisse anwenden und weiterentwickeln (Phase **Transfer**). Dabei erfahren die Lernenden die Bedeutung und Alltagstauglichkeit der erworbenen Kenntnisse.

Abb. 28 | Die drei Phasen des Lernansatzes AEL umgesetzt im Lernmedium WASSERverstehen am Beispiel des Themenblattes Hochwasser; Phase Fokus ist die erste Seite des Faltblattes (links), Phase Wissen die mittlere Doppelseite (Mitte) und Phase Transfer die Rückseite (rechts) (PROBST 2015)

Jedes Themenblatt von WASSERverstehen wird von einem **Arbeitsblatt** begleitet. Dieses enthält die leitenden Lernaufgaben zu den drei Teilen Fokus, Wissen und Transfer, sowie Hinweise zu weiterführender Literatur (Abb. 38). Die fokussierenden Lernaufgaben weisen eine kurze Hinführung sowie eine Frage- und Aufgabenstellung auf (vgl. Tab 17). Diese Gliederung soll die Integration der Lernaufgaben im Unterricht entsprechend dem Lernansatz AEL wie folgt unterstützen:

- Die **Hinführung** zur Problemsituation soll die Relevanz des Themenbereichs verdeutlichen, Bezüge zum Vorwissen und den Erfahrungen der Lernenden herstellen und die leitende Lernaufgabe thematisch in den Unterrichtsverlauf einordnen.
- Die leitende **Fragestellung** fokussiert eine realitätsnahe Problemsituation, berücksichtigt zentrale wissenschaftliche Zugangs- und Sichtweisen, verlangt den Einbezug verschiedener Faktoren, Wechselwirkungen und Perspektiven und löst nach Möglichkeit einen kognitiven Konflikt aus, um konkret fassbare und tiefgründige Schülervorstellungen zur Problemsituation zu aktivieren (vgl. Kapitel 5.1.3).
- Die **Aufgabenstellung** zeigt mit den verwendeten Operatoren die verlangten Kompetenzen und gestellten Anforderungsbereiche (vgl. Tab. 5) transparent an und gibt Hinweise zur Bearbeitung der Lernaufgabe, zur Organisation, zu Hilfsmitteln und zum erwarteten Produkt.

Tab. 17 | Gliederung der Lernaufgaben in WASSERverstehen nach Hinführung, Fragestellung und Aufgabenstellung (eigene Darstellung)

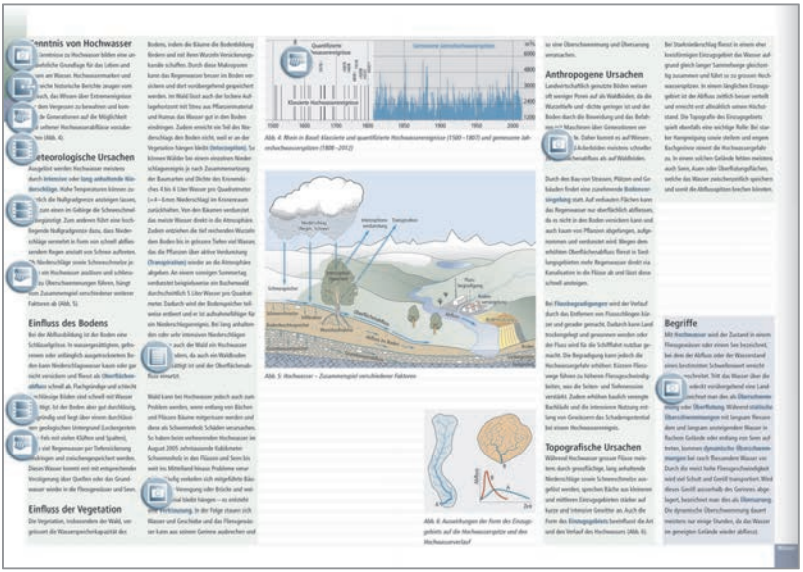
Gliederung der Lernaufgaben	Beispiel Themenblatt „Hochwasser“
Hinführung	Die erhöhte Wetter-Prognosequalität dürfte die Wochenendausflügler freuen. Eine präzise Vorhersage von Hochwassern und Überschwemmungen bleibt dagegen schwierig: „Eine Beurteilung der Hochwassersituation ist nicht nur davon abhängig, wie viel Niederschlag mit welcher Intensität fällt“, bemerkt Hydrologie-Professor Rolf Weingartner von der Universität Bern. (Zeitung Der Bund, 23. April 2007)
Leitende Fragestellung	Welche weiteren Faktoren beeinflussen die Hochwassergefahr in einer Region?
Aufgabenstellung	Stellen Sie anhand des Fotos von Sedrun eigene Hypothesen zu Anzeichen und Ursachen (Grunddisposition, variable Disposition, auslösendes Ereignis) von Hochwasser zusammen.

Die gedruckten Themenblätter dienen als Arbeitsgrundlage für Schülerinnen und Schüler. Das **E-Book** (www.wasserverstehen.ch) ergänzt die Themenblätter mit ausgewählten Medien (Foto, Film, Ton, Grafik und Text) für Lehrpersonen sowie Schülerinnen und Schüler. Mit dem Medienverbund will die Lernumgebung die Bedeutung hydrologischer Themen für Gesellschaft und Wirtschaft realitätsnah und aktualitätsbezogen aufzeigen, eine vertiefte und analytische Auseinandersetzung ermöglichen und Bezüge zu Vorstellungen und Vorwissen der Lernenden schaffen, um so verschiedene Anknüpfungspunkte für den angestrebten Transfer zu anderen hydrologischen Fragestellungen aufzubauen.

Die Medien des E-Books unterstützen den Lernprozess in allen Lernphasen. In der Phase **Fokus** dienen sie bei der sach- und schülerbezogenen Hinführung zur Problem- und Fragestellung sowie bei der Hypothesen bildenden Diskussionsführung, d. h. die Lehrperson kann mit den Medien zu genauer Beobachtung des Sachverhalts anleiten, Bezüge zum Vorwissen der Lernenden herstellen, verschiedene Perspektiven einbringen und die Relevanz des Themas für Gesellschaft und Wirtschaft verdeutlichen. In der Phase **Wissen** kann mit dem Medieneinsatz das Fach- und Forschungswissen veranschaulicht, konkretisiert, vertieft und schülerbezogen plausibilisiert werden. In der Phase **Transfer** dienen die Medien ähnlichen Aspekten wie in der Phase Fokus und Wissen.

Im E-Book sind die Medien mit Icons an der inhaltlich passenden Position im Themenblatt abgelegt (vgl. blaue Icon in Abb. 29). Dies ermöglicht einen raschen, benutzerfreundlichen und inhaltbezogenen Zugriff auf die Medien. Mit dem Verbund

von Themenblatt und E-Book nutzt WASSERverstehen die neuen technischen Möglichkeiten im Bereich der Lernmedien und setzt diese so ein, dass ein vertiefter, erkenntnis- und anwendungsorientierter Lernprozess im Unterricht unterstützt wird, um so Wissenskonstruktionen und die angestrebte Transferleistung möglichst optimal zu fördern.



Legende zu den Medien im E-Book:

Abb. 29 | Inhaltsbezogene Setzung der Medien mit blauen Icons im E-Book WASSERverstehen; E-Book und Medien sind frei zugänglich unter www.wasserverstehen.ch (PROBST, 2015)

6.3 Modul 1: Hydrologische Extremereignisse

Das erste Modul Hydrologische Extremereignisse (PROBST 2015) besteht aus den vier Themenblättern Starkniederschlag, Hochwasser, Umgang mit Hochwasser und Niedrigwasser und geht den Ursachen von hydrologischen Extremereignissen und einem integrativen Umgang mit solchen Gefahren nach.

Zum Modul 1 liegt das **Themenblatt Hochwasser** mit den Abbildungen 34 bis 39 vor. Die drei anderen Themenblätter zu Starkniederschlag, Umgang mit Hochwas-

ser und Niedrigwasser liegen mit Arbeitsblättern, Lösungsvorschlägen und didaktischen Informationen in den Abbildungen 66 – 89 im Anhang vor. Für die Übersicht zu Modul 1 werden im Folgenden die Ausrichtungen der vier Themenblätter kurz angegeben.

Beim **Themenblatt Starkniederschlag** (Abb. 66 – 71 im Anhang) lernen die Schülerinnen und Schüler die Entstehung von Starkniederschlägen in der Schweiz so kennen (Abb. 30), dass sie die erworbenen Kenntnisse mit typischen Wetterlagen in Mitteleuropa in Verbindung setzen können und Anzeichen für mögliche Starkniederschläge im Freien, aber auch bei Wetterprognosen (z. B. Westwindlage mit ausgeprägter Kaltfront, 5b-Wetterlage) eigenständig erkennen und einordnen.

Abb. 30 | Entstehung von Gewittern: Die Topographie der Schweiz mit verschiedenen Hangneigungen und Expositionen auf kleinem Raum begünstigt lokal unterschiedliche Erwärmungen durch die Sonneneinstrahlung und damit die Entstehung von Wärmegewittern. Blick von der Rigi nach Norden über den Vierwaldstättersee, 29.7.2007 (Foto: Andrew Bossi).

Mit dem **Themenblatt Hochwasser** (Abb. 34 – 38) sollen die Schülerinnen und Schüler lernen, die Hochwassergefahr einer Region begründet zu beurteilen, indem sie die vorhandenen Grunddispositionen, mögliche variable Dispositionen sowie mögliche auslösende Ereignisse in ihre Analyse einbeziehen. Eine Unterrichtsumsetzung zum Themenblatt Hochwasser zeigt das Fallbeispiel in Kapitel 5.2.1 und die Unterrichtspräparation zur Intervention in der Experimentalgruppe bei der Wirksamkeitsstudie in Kapitel 7.2.2.

Beim **Themenblatt Umgang mit Hochwasser** (Abb. 78 – 83 im Anhang) ist das Lernziel, dass die Schülerinnen und Schüler die Risiken aus Naturgefahren in Landschaften „lesen“ lernen und dabei naturräumliche, gesellschaftliche und wirtschaftliche Einflüsse im Raum erkennen (vgl. Abb. 31). Die differenzierte und realitätsnahe Auseinandersetzung mit den Begriffen „Gefahr“ und „Risiko“ soll die Lernenden dazu befähigen, die erworbenen Kenntnisse vom Umgang mit Naturgefahren im eigenen Lebensraum oder in anderen Räumen anzuwenden und weiterzuentwickeln.

Abb. 31 | Veränderung der Gefahren- und Risikosituation in Klosters Platz zwischen 1900 (links) und 2013 (rechts). (Foto: Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden)

Das **Themenblatt Niedrigwasser** (Abb. 84 – 89 im Anhang) verfolgt das Ziel, dass die Schülerinnen und Schüler die Gefahr von Niedrigwasser eines Gewässers eigenständig beurteilen können, indem sie die Eigenschaften des Einzugsgebietes sowie die anthropogene Einflussnahme auf den Abfluss berücksichtigen und mögliche saisonale Witterungsverhältnisse einbeziehen (Abb. 33). Obschon die Schweiz mit ihrer gebirgigen Landschaft und den vielen Seen, Flüssen und Gletschern als Wasserschloss Europas gilt, sind in der Vergangenheit verschiedene Trockenphasen mit Niedrigwasser aufgetreten. Insbesondere die Niedrigwasser von 2003, 2009, 2011 und 2018 haben die Auswirkungen von Trockenheit und Hitzewellen auf Gewässer und deren Bewirtschaftung drastisch aufgezeigt (Abb. 32). Die Bedeutung des hydrologischen Extremereignisses Niedrigwasser zu hat auch zugenommen, aufgrund des Klimawandels und der intensivierten Wassernutzung durch Stauseen, Kraftwerke und landwirtschaftliche Bewässerung.

Abb. 32 | Der Fluss Töss liegt zwischen Orüti und Bauma in niederschlagsarmen Perioden immer wieder trocken da das zufließende Wasser in diesem Abschnitt vorwiegend vom Grundwasser stammt, welches in Trockenzeiten unter das Bachniveau der Töss sinkt. (Foto: Christoph Schär, am 28. August 2003)

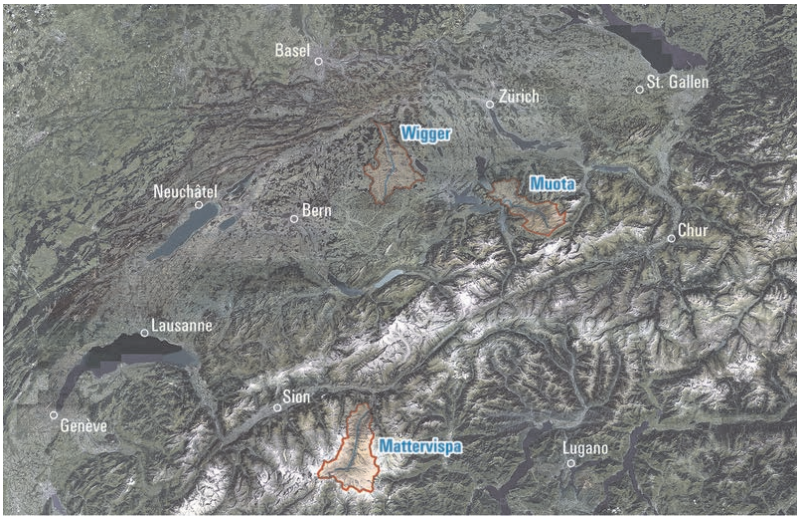


Abb. 33 | Einzugsgebiet und Trockenheit: Wie Trockenheit, Hitze und Niederschlagsmengen den Gewässerabfluss der Mattervispa, der Muota und der Wigger beeinflussen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes (z. B. Höhenlage, Klima, Geologie, Vergletscherung) ab. (Satellitenbild © swisstopo)

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Hochwasser

Über die Medien erreichen uns nach Hochwasserereignissen immer wieder erschütternde Bilder der Zerstörung. Hochwasser verursachen in der Schweiz jedes Jahr Schäden in der Höhe von durchschnittlich 340 Millionen Schweizer Franken. Um die Schäden durch wirkungsvolle Massnahmen zu minimieren, braucht es umfassende Kenntnisse der Ursachen von **Hochwasser**.

Gefahrenbeurteilung

Zur allgemeinen Gefahrenbeurteilung von Hochwasser, aber auch von Rutschungen, Felssturz, Lawinen und anderen Naturgefahren ist in einem ersten Schritt die Kenntnis der Grunddisposition notwendig. Unter **Grunddisposition** versteht man all jene Voraussetzungen für gefährliche Prozesse, welche über längere Zeit gleich bleiben, beispielsweise die Parameter Relief, Geologie, Boden und Klima. Falls es Aufzeichnungen von Schadensereignissen gibt (z.B. Hochwassermarken, historische Berichte), können auch diese zur Abschätzung der allgemeinen Gefahr herangezogen werden.

Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser und anderen Naturgefahren muss bekannt sein, wie häufig mit einer variablen Disposition und mit potentiell auslösenden Ereignissen zu rechnen ist.

Unter **variabler Disposition** versteht man die zeitlich variablen, von Tages- und Jahreszeit abhängigen Grössen, beispielsweise die vorherrschende Wetterlage oder den Zustand von Boden und Vegetation.

Ein **auslösendes Ereignis** setzt bei gegebener Disposition den gefährlichen Prozess in Gang. Auslösende Ereignisse sind beispielsweise intensive Gewitter.

Abb. 1: Sedrun GR mit den drei Wildbächen Strem, Drun und Drun da Bugnei (von links nach rechts) (© Schweizer Luftwaffe)

Abb. 2: Sarner Aa OW beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

Abb. 3: Aare in Bern beim Hochwasserereignis am 24. August 2005
(© AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Foto: Beat Baumann)

Fokus

Abb. 34 | WASSERverstehen, Phase Fokus beim Themenblatt Hochwasser (PROBST 2015, S. 1) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

Kenntnis von Hochwasser

Die Kenntnisse zu Hochwasser bilden eine unentbehrliche Grundlage für das Leben und Bauen am Wasser. Hochwassermarken und zahlreiche historische Berichte zeugen vom Versuch, das Wissen über Extremereignisse vor dem Vergessen zu bewahren und kommende Generationen auf die Möglichkeit sehr seltener Hochwasserabflüsse vorzubereiten (Abb. 4).

Meteorologische Ursachen

Ausgelöst werden Hochwasser meistens durch **intensive** oder **lang anhaltende Niederschläge**. Hohe Temperaturen können zusätzlich die Nullgradgrenze ansteigen lassen, was zum einen im Gebirge die Schneeschmelze begünstigt. Zum anderen führt eine hochliegende Nullgradgrenze dazu, dass Niederschläge vermehrt in Form von schnell abfliessendem Regen anstatt von Schnee auftreten. Ob Niederschläge sowie Schneeschmelze jedoch ein Hochwasser auslösen und schliesslich zu Überschwemmungen führen, hängt vom Zusammenspiel verschiedener weiterer Faktoren ab (Abb. 5).

Einfluss des Bodens

Bei der Abflussbildung ist der Boden eine Schlüsselgrösse. In wassergesättigtem, gefrorenem oder anfänglich ausgetrocknetem Boden kann Niederschlagswasser kaum oder gar nicht versickern und fliesst als **Oberflächenabfluss** schnell ab. Flachgründige und schlecht durchlässige Böden sind schnell mit Wasser gesättigt. Ist der Boden aber gut durchlässig, tiefgründig und liegt über einem durchlässigen geologischen Untergrund (Lockergestein oder Fels mit vielen Klüften und Spalten), kann viel Regenwasser per Tiefensickerung eindringen und zwischengespeichert werden. Dieses Wasser kommt erst mit entsprechender Verzögerung über Quellen oder das Grundwasser wieder in die Fliessgewässer und Seen.

Einfluss der Vegetation

Die Vegetation, insbesondere der Wald, vergrössert die Wasserspeicherkapazität des **Bodens, indem die Bäume die Bodenbildung** fördern und mit ihren Wurzeln Versickerungskanäle schaffen. Durch diese Makroporen kann das Regenwasser besser im Boden versickern und dort vorübergehend gespeichert werden. Im Wald lässt auch der lockere Auflagehorizont mit Streu aus Pflanzenmaterial und Humus das Wasser gut in den Boden eindringen. Zudem erreicht ein Teil des Niederschlags den Boden nicht, weil er an der Vegetation hängen bleibt (**Interzeption**). So können Wälder bei einem einzelnen Niederschlagsereignis je nach Zusammensetzung der Baumarten und Dichte des Kronendaches 4 bis 6 Liter Wasser pro Quadratmeter (= 4 – 6 mm Niederschlag) im Kronenraum zurückhalten. Von den Bäumen verdunstet das meiste Wasser direkt in die Atmosphäre. Zudem entziehen die tief reichenden Wurzeln dem Boden bis in grössere Tiefen viel Wasser, das die Pflanzen über aktive Verdunstung (**Transpiration**) wieder an die Atmosphäre abgeben. An einem sonnigen Sommertag verdunstet beispielsweise ein Buchenwald durchschnittlich 5 Liter Wasser pro Quadratmeter. Dadurch wird der Bodenspeicher teilweise entleert und er ist aufnahmefähiger für ein Niederschlagsereignis. Bei lang anhaltenden oder sehr intensiven Niederschlägen kann aber auch der Wald ein Hochwasser nicht verhindern, da auch ein Waldboden einmal gesättigt ist und der Oberflächenabfluss einsetzt.

Wald kann bei Hochwasser jedoch auch zum Problem werden, wenn entlang von Bächen und Flüssen Bäume mitgerissen werden und diese als Schwemmholz Schäden verursachen. So haben beim verheerenden Hochwasser im August 2005 zehntausende Kubikmeter Schwemmholz in den Flüssen und Seen bis weit ins Mittelland hinaus Probleme verursacht. Häufig verkeilen sich mitgeführte Bäume in einer Verengung oder Brücke und weiteres Material bleibt hängen – es entsteht eine **Verklausung**. In der Folge stauen sich Wasser und Geschiebe und das Fliessgewässer kann aus seinem Gerinne ausbrechen und

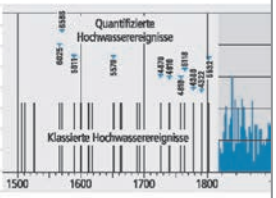


Abb. 4: Rhein in Basel: klassierte und quantifizierte Ho reshochwasserspitzen (1808 – 2012)

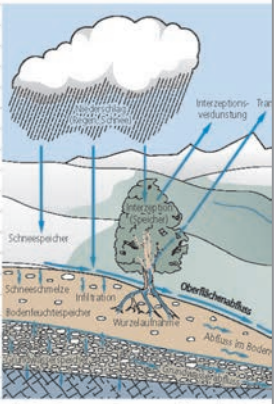
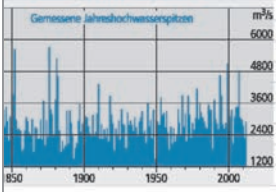


Abb. 5: Hochwasser – Zusammenspiel verschiedener Fa

Abb. 35 | WASSERverstehen, Phase Wissen beim Themenblatt Hochwasser (Probst 2015, S. 2) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]



hwassereignisse (1500–1807) und gemessene Jah-

ktoren

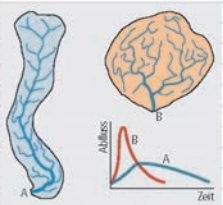


Abb. 6: Auswirkungen der Form des Einzugsgebiets auf die Hochwasserspitze und den Hochwasserverlauf

so eine Überschwemmung und Übersarung verursachen.

Anthropogene Ursachen

Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen oft weniger Poren auf als Waldböden, da die Wurzeltiefe und -dichte geringer ist und der Boden durch die Beweidung und das Befahren mit Maschinen über Generationen verdichtet wurde. Daher kommt es auf Wiesen-, Weiden- und Ackerböden meistens schneller zu Oberflächenabfluss als auf Waldböden.

Durch den Bau von Strassen, Plätzen und Gebäuden findet eine zunehmende **Bodenversiegelung** statt. Auf verbauten Flächen kann das Regenwasser nur oberflächlich abfliessen, da es nicht in den Boden versickern kann und auch kaum von Pflanzen abgefangen, aufgenommen und verdunstet wird. Wegen dem erhöhten Oberflächenabfluss fliesst in Siedlungsgebieten mehr Regenwasser direkt via Kanalisation in die Flüsse ab und lässt diese schnell ansteigen.

Bei **Flussbegradigungen** wird der Verlauf durch das Entfernen von Flussschlingen kürzer und gerader gemacht. Dadurch kann Land trockengelegt und gewonnen werden oder der Fluss wird für die Schifffahrt nutzbar gemacht. Die Begradigung kann jedoch die Hochwassergefahr erhöhen: Kürzere Fliesswege führen zu höheren Fliessgeschwindigkeiten, was die Seiten- und Tiefenerosion verstärkt. Zudem erhöhen baulich verengte Bachläufe und die intensivere Nutzung entlang von Gewässern das Schadenspotential bei einem Hochwasserereignis.

Topografische Ursachen

Während Hochwasser grosser Flüsse meistens durch grossflächige, lang anhaltende Niederschläge sowie Schneeschmelze ausgelöst werden, sprechen Bäche aus kleineren und mittleren Einzugsgebieten stärker auf kurze und intensive Gewitter an. Auch die Form des **Einzugsgebiets** beeinflusst die Art und den Verlauf des Hochwassers (Abb. 6).

Bei Starkniederschlag fliesst in einem eher kreisförmigen Einzugsgebiet das Wasser aufgrund gleich langer Sammelwege gleichzeitig zusammen und führt so zu grossen Hochwasserspitzen. In einem länglichen Einzugsgebiet ist der Abfluss zeitlich besser verteilt und erreicht erst allmählich seinen Höchststand. Die Topografie des Einzugsgebiets spielt ebenfalls eine wichtige Rolle: Bei starker Hangneigung sowie steilem und engem Bachgerinne nimmt die Hochwassergefahr zu. In einem solchen Gelände fehlen meistens auch Seen, Auen oder Überflutungsflächen, welche das Wasser zwischenzeitlich speichern und somit die Abflussspitzen brechen könnten.

Begriffe

Mit **Hochwasser** wird der Zustand in einem Fliessgewässer oder einem See bezeichnet, bei dem der Abfluss oder der Wasserstand einen bestimmten Schwellenwert erreicht oder überschreitet. Tritt das Wasser über die Ufer und bedeckt vorübergehend eine Landfläche, bezeichnet man dies als **Überschwemmung** oder **Überflutung**. Während **statische Überschwemmungen** mit langsam fliessendem und langsam ansteigendem Wasser in flachem Gelände oder entlang von Seen auftreten, kommen **dynamische Überschwemmungen** bei rasch fliessendem Wasser vor. Durch die meist hohe Fliessgeschwindigkeit wird viel Schutt und Geröll transportiert. Wird dieses Geröll ausserhalb des Gerinnes abgelagert, bezeichnet man dies als **Übersarung**. Die dynamische Überschwemmung dauert meistens nur einige Stunden, da das Wasser im geneigten Gelände wieder abfliesst.

Wissen

Abb. 36 | WASSERverstehen, Phase Wissen beim Themenblatt Hochwasser (PROBST 2015, S. 3) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

Hochwasserschäden

Hochwasser können je nach Gewässertyp ganz unterschiedliche Prozesse auslösen und in mehrfacher Hinsicht gefährlich sein. **Wildbäche** und **Gebirgsflüsse** weisen streckenweise ein hohes Gefälle auf, welches bei Starkniederschlägen einen rasch ansteigenden Abfluss hervorruft (Abb. 7–8). Die hohen Fliessgeschwindigkeiten erhöhen die **Seiten- und Tiefenerosion**, wodurch grosse Mengen an Feststoffen abgetragen, transportiert und in flacherem Gelände wieder abgelagert werden. Erreicht das fliessende Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Steine, Blöcke, Holz usw.) einen Feststoffanteil von 30 bis 60 Prozent, spricht man von einem **Murgang**. Wildbäche stellen durch den kurzzeitig stark wechselnden Abfluss und die hohen Feststoffumlagerungen für Mensch und Tier eine grosse Gefahr dar.

Gewässer im Tal können Landwirtschaftsflächen, Verkehrswege und Siedlungen überfluten (Abb. 9). Dabei kann neben dem Wasser auch das mitgeschleppte Geschiebe zu Schäden an Kulturland und Bauten führen und Menschenleben fordern. Zudem treten auch hier bei Hochwasser häufig Seiten- und Tiefenerosion auf, was zu Unterspülungen von Brücken, exponierten Gebäuden und Strassen führt.

In flachem Gelände steigt der Wasserspiegel von **Seen** und Fliessgewässern meist nur langsam an. Bei solchen statischen Überschwemmungen beschädigen Wasser und liegengebliebenes Geschiebe Erd- und Kellergeschosse von Bauwerken sowie Kulturland.

Abb. 7: Wildbach Glissibach in Brienz BE beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

In **Wildbächen** dominierende Prozesse:

- Dynamische Überschwemmung
- Verklausung
- Tiefen- und Seitenerosion
- Murgang, Übersarung

Abb. 8: Chärstelenbach im Reussgrund in Bristen UR beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Kanton Uri Tiefbauamt)

In **Gebirgsflüssen** dominierende Prozesse:

- Dynamische Überschwemmung
- Sohleneintiefung (Tiefenerosion)
- Seitenerosion
- Sohlenhebung (Auflandung)
- Geringneverlagerung

Abb. 9: Dammbruch an der Aare bei Meiringen BE beim Hochwasserereignis am 24. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

In **Talflüssen** dominierende Prozesse:

- Dynamische und statische Überschwemmung
- Sohleneintiefung (Tiefenerosion)
- Sohlenhebung (Auflandung)
- Seitenerosion
- Dammbruch

Abb. 10: Statische Überschwemmung mit Schwemmholz bei Ennetbürgen NW am Vierwaldstättersee am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

Bei **Seen** vorherrschende Prozesse:

- Statische Überschwemmung
- Akkumulation

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Transfer

Abb. 37 | WASSERverstehen Phase Transfer beim Themenblatt Hochwasser (PROBST 2015, S. 4) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Arbeitsblatt: Hochwasser

«Die erhöhte Wetter-Prognosequalität dürfte die Wochenendausflügler freuen. Eine präzise Vorhersage von Hochwassern und Überschwemmungen bleibt dagegen schwierig: ‹Eine Beurteilung der Hochwassersituation ist nicht nur davon abhängig, wie viel Niederschlag mit welcher Intensität fällt›, bemerkt Hydrologie-Professor Rolf Weingartner von der Uni Bern.» (Zeitung ‹Der Bund›, 23. April 2007)

Fokus

Welche weiteren Faktoren beeinflussen die Hochwassergefahr in einer Region?
Stellen Sie anhand der Bilder und des Films eigene Hypothesen zu Ursachen (Grunddisposition, variable Disposition, auslösendes Ereignis) von Hochwasser zusammen.

	Hypothesen	Wissenschaftliche Kenntnisse
Grunddisposition		
Variable Disposition		
Auslösendes Ereignis		

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu Ursachen von Hochwasser. Stellen Sie in der Tabelle die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

Transfer

Welche Ursachen haben zum letzten schadenreichen Hochwasser in Bern (Mai 2015) geführt?
Analysieren Sie zu diesem Hochwasserereignis die Grunddisposition, die variable Disposition und das auslösende Ereignis.

Grunddisposition:

Variable Disposition:

Auslösendes Ereignis:

Abb. 38 | WASSERverstehen, Arbeitsblatt zum Themenblatt Hochwasser, mit angepasster Fragestellung beim Transfer (nach Probst 2015, S. 1) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

Literatur

Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern AG NAGEF, 2011: Achtung Naturgefahr! Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004 – 2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992 – 2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2008: Hochwasser 2005 in der Schweiz – Synthesebericht. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005 Teil 1 und 2. Bern, Birmensdorf.

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, 2009: Strategie Naturgefahren Schweiz – Glossar. Bern.

Schwitter R., Bucher H., 2009: Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? In: Wald und Holz, Heft 6/2009: 31 – 34. Solothurn.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

Abb. 39 | WASSERverstehen, Arbeitsblatt mit Literatur zum Themenblatt Hochwasser (PROBST 2015, S. 2) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

6.4 Modul 2: Wallis – Wassernutzung im Wandel

Das zweite Modul von WASSERverstehen „Wallis – Wassernutzung im Wandel“ (PROBST 2017) geht folgenden aktuellen hydrologischen Fragen nach:

- Gibt es in der Schweiz am Ende dieses Jahrhunderts auch ohne Gletscher noch genügend Wasser für Trinkwasserversorgung, Wasserkraft, Bewässerung, Beschneiung und andere Nutzungen?
- Wie muss sich eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung an das verändernde Wasserdargebot anpassen?

Das Modul vertieft diese Fragestellungen und Herausforderungen am Beispiel der Region Crans-Montana-Sierre (Abb. 40) und zeigt dabei neue Forschungskenntnisse aus dem Projekt MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 „Nachhaltige Wassernutzung“ in dieser Region durchgeführt wurde.

Abb. 40 | Wasserversorgung Crans-Montana-Sierre: Für die Sicherstellung der Wasserversorgung bis zum Ende dieses Jahrhunderts müssen die acht Gemeinden von Crans-Montana-Sierre das vollständige Abschmelzen des Gletschers Plaine Morte und die sozioökonomischen Veränderungen miteinbeziehen. (Foto: VBS)

Die vier Themenblätter zum Modul 2 sowie die Arbeitsblätter, Lösungsvorschläge und didaktischen Informationen liegen in den Abbildungen 90 – 113 im Anhang vor. Für die Übersicht zu Modul 2 werden im Folgenden die Ausrichtungen diese

vier Themenblätter kurz erläutert.

Beim **Themenblatt Wasserdargebot** (Abb. 90 – 95 im Anhang) sollen die Lernenden für die Region Crans-Montana-Sierre (Abb. 40) die saisonale Wasserverfügbarkeit für heute und für die Zukunft unter Einbezug des Klimawandels begründet abschätzen, anhand von Überlegungen bezüglich Wasserspeicher (Gletscher, Schnee, Höhenlage), Lage und Relief (Niederschlag) sowie Geologie (Grundwasser). In der Phase Transfer beurteilen die Lernenden dann das Wasserdargebot aus einer anderen Perspektive, aus jener der ökologischen Verantwortung. Dabei lernen sie Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser kennen. Das Schnittmengenmodell zum nachhaltigen Umgang mit Wasser bietet eine ideale Überleitung und einen Ausblick zu den anderen Themenblättern.

Mit dem **Themenblatt Nutzung des Wassers** (Abb. 96 – 101 im Anhang) lernen die Schülerinnen und Schüler verschiedene Ansprüche an die Wassernutzung in einer Region zu erfassen (Abb. 40 bis 43) und den Einfluss von klimatischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen auf diese Ansprüche zu beurteilen. Daraus werden schlussfolgernd mögliche Wasserkonflikte, Synergien sowie Maßnah-

Abb. 41 | Bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen ist der Wasserverbrauch je nach Witterung sehr unterschiedlich; in vergleichsweise normalen Jahren beträgt er 1 bis 2 Millionen m^3 pro Jahr, in trockenen Jahren 5 bis 7 Millionen m^3 pro Jahr. (Foto: Hanspeter Liniger)

Abb. 42 | Der Trinkwasserverbrauch für die Bevölkerung und den Tourismus in der Region Crans-Montana-Sierre beträgt etwa 8 Millionen m^3 pro Jahr, davon wird rund 1 Million m^3 alleine für die Bewässerung der Gärten und Rasenflächen verbraucht. Mit der Vervierfachung der Bevölkerungszahl seit 1910 in der Region hat auch der gesamte Trinkwasserverbrauch zugenommen. (Foto: Mariano Bonriposi)

men abgeleitet, als Grundlage für die Diskussion einer nachhaltigen Wassernutzung in der Region. Im Transfer wenden die Lernenden ihre erworbenen Kenntnisse an, indem Sie die Nachhaltigkeit der Wassernutzung in der Region Crans-Montana-Sierre beurteilen.

Das **Themenblatt Wasserverteilung** (Abb. 102 – 107 im Anhang) verfolgt das Ziel, dass die Lernenden ausgehend von der aktuellen Wasserverteilung in der Region Crans-Montana-Sierre (Abb. 40 – 43) exemplarisch die Herausforderungen der Wasserverteilung und sicheren Wasserversorgung für die Zukunft erkennen. Im Transfer wenden die Lernenden die erworbenen Kenntnisse zur Wasserverteilung an, indem sie die gesellschaftliche Nachhaltigkeit beim Umgang mit Wasser in der Region beurteilen.

Beim **Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100** (Abb. 108 – 113 im Anhang) entwickeln die Lernenden ausgehend von ihren Kenntnissen aus den anderen Themenblättern Wasserdargebot, Wassernutzung und Wasserverteilung verschiedene Entwicklungsszenarien für die Region Crans-Montana-Sierre bis ins Jahr 2050. Dabei werden sie von der Frage geleitet: Welche Wasserbewirtschaftung ermöglicht in der Region auch in Zukunft wirtschaftliches und gesellschaftliches

Wohlergehen sowie eine intakte Umwelt? Die Lernenden vergleichen ihre Szenarien mit den vier Szenarien, welche von Betroffenen, Beteiligten und Forschenden für die Region Crans-Montana-Sierre entwickelt und untersucht wurden. Dabei erfahren die Schülerinnen und Schüler die Bedeutung und Realitätsnähe ihrer Überlegungen und Vorgehensweisen. Im Transfer beurteilen die Lernenden für die Schweiz die Vision, dass Stauseen als Mehrzweckspeicher in Zukunft die fehlenden Gletscher kompensieren könnten und so die Wasserversorgung sichern (Abb. 43).

Abb. 43 | Zukunft von Stauseen: Der Großteil des Wassers aus dem Lac de Tseuzier wird heute für die Produktion von elektrischer Energie verwendet. In Zukunft könnte der Speichersee aber auch helfen, die zurückgehenden Gletscherabflüsse in der Region Crans-Montana-Sierre zu kompensieren. (Foto: Tom Reist)

In vielen Regionen der Erde werden in den nächsten Jahrzehnten die wachsenden Siedlungsflächen, der Ausbau der Wasserkraftnutzung und die sich verändernden Ansprüche in Gesellschaft, Landwirtschaft und Tourismus die Herausforderungen um Nutzung und Schutz von Wasser und Gewässern erhöhen. Gleichzeitig wird der Klimawandel die Abflussmengen und die saisonale Wasserverfügbarkeit verändern. Für die Region Crans-Montana-Sierre bieten der im Forschungsprojekt MontanAqua angewendete Ansatz integriertes Wassermanagement IWM und die dabei ausgehandelten Entwicklungsszenarien vielversprechende Lösungsansätze. Diese bieten den Schülerinnen und Schüler vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für andere Regionen mit ähnlichen Entwicklungsfragen (Transfer).

6.5 Fazit: Lernansatz AEL als Konzept für Lernmedien

Am Beispiel des Lernmediums WASSERverstehen zeigt sich, dass der Lernansatz AEL auch als Konzept für ein kompetenzorientiertes Lernmedium eingesetzt werden kann. So sind die Bereiche Fokus, Wissen und Transfer im Lernmedium WASSERverstehen so aufgebaut, dass der Lehrperson für das Aufeinanderbeziehen von Schülervorstellungen und fachlichen Vorstellungen eine fokussierende Lernaufgabe, ein wissenschaftlicher Erklärungsansatz sowie passende Materialien in Print- und E-Book (Texte, Fotos, Filme etc.) zur Verfügung stehen.

Mit dem Konzept nach dem Lernansatz AEL will das Lernmedium WASSERverstehen einen kompetenzorientierten Unterricht unterstützen, der in jeder Lernphase eigenständiges Denken fördert, Schülervorstellungen explizit einbezieht und so einen *Conceptual Change* bei den Lernenden ermöglicht sowie ihre Transferleistungen unterstützt. Damit dies gelingen kann, erwiesen sich bei der Entwicklung des Lernmediums die fachlich klare Gliederung und Verwendung von Fachbegriffen und wissenschaftlichen Konzepten in den Themenblättern als äußerst wichtig, da nur so Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen flexibel, systematisch und situativ passend aufeinander zu beziehen sind.

Das Beispiel des Lernmediums WASSERverstehen zeigt auch, dass ein Lernmedium nach dem Konzept des Lernansatzes AEL die Unterrichtsumsetzung nicht eingrenzt, sondern vielfältige Vorgehens- und Einsatzmöglichkeiten bietet. So lassen sich die Themenblätter einerseits zu aktuellen Ereignissen oder verschiedenen Räumen flexibel einsetzen und andererseits mit verschiedenen Unterrichtsmethoden umsetzen (z. B. Frontalunterricht, Gruppenpuzzle, eigenständige Recherchen, etc.).

7 Evaluation des Lernansatzes AEL – quantitative Wirksamkeitsstudie zur Veränderung von Wissen und Transferleistung im Geographieunterricht

Mit dem Lernmedium WASSERverstehen (Kapitel 6) wurde im Rahmen der Dissertation die Grundlage geschaffen, um den Lernansatz AEL (Kapitel 5) auf seine Wirksamkeit bezüglich der Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser bei Lernenden im gymnasialen Unterricht zu untersuchen.

Entsprechend dem Verständnis der Begriffe „Kenntnis“ und „Erkenntnis“ beim Lernansatz AEL und deren Bedeutung für einen transferorientierten Lernprozess (Kapitel 5.1.1) müssen bei der Wirksamkeitsstudie neben der Transferleistung auch die Kenntnisse, d. h. das Wissen zu Hochwasser (Anforderungsbereich I) untersucht werden.

In diesem Kapitel wird die quantitative Wirksamkeitsstudie zum Lernansatz AEL und zum Lernmedium in vier gymnasialen Klassen vorgestellt. Das Kapitel 7.1 führt in die zentralen Forschungsfragen ein. Diese sind leitend für die Auswahl der Methoden in Kapitel 7.2 und 7.3, konkret für die Form des Studiendesigns (Kapitel 7.2.1), die Gestaltung der Intervention (Kapitel 7.2.2), die Entwicklung und die Güte der Erhebungsinstrumente (Kapitel 7.2.3) und die statistischen Analysen (Kapitel 7.3). Im Kapitel 7.4 werden die Ergebnisse der statistischen Analyse zur Veränderung des Wissens zu Hochwasser, in Kapitel 7.5 zur Transferleistung und in Kapitel 7.6 zu verschiedenen Umfeldfaktoren dargestellt.

Im Sinne der einfacheren Nachvollziehbarkeit werden in diesen Kapiteln die Interpretationen jeweils direkt bei der Darstellung der Teilergebnisse diskutiert. Kapitel 7.7 fasst die Schlussfolgerungen aus der Wirksamkeitsstudie abschließend zusammen und ordnet die Ergebnisse ein.

7.1 Ausgangslage und Fragestellungen

Das Lernmedium WASSERverstehen setzt den entwickelten Lernansatz AEL explizit um. Es stellt sich nun die Frage, ob der Lernansatz AEL und das Lernmedium in der Praxis das Wissen und die Transferleistung der Lernenden zu Hochwasser wirksam fördern. Für die quantitative Wirksamkeitsstudie zum Lernansatz AEL und Lernmedium stehen folgende Forschungsfragen im Zentrum:

- Wie groß sind der **Wissenszuwachs** und die **Behaltensleistung** zu Hochwasser mit der spezifisch entwickelten Lernumgebung nach dem Lernansatz AEL in einer Experimentalgruppe EG im Vergleich zu einer Vergleichsgruppe VG mit der gleichen Lernumgebung ohne Lernansatz AEL?

- Inwiefern unterscheiden sich die **Transferleistung** und **die Beständigkeit der Transferleistung** zu Hochwasser zwischen der Experimentalgruppe und Vergleichsgruppe?
- Welche **persönlichen, lernpsychologischen und didaktischen Aspekte** beeinflussen die Wissenskonstruktionsprozesse und die Transferleistung zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe?

Diese Fragestellungen sind leitend für das Studiendesign, die Intervention, die Erhebungsinstrumente, die Datenaufbereitung und die statistische Analyse, welche in den folgenden Kapiteln ausgeführt werden.

7.2 Methoden

In diesem Kapitel werden zur Wirksamkeitsstudie in vier gymnasialen Klassen das Studiendesign, der Ablauf der Intervention in Experimental- und in der Vergleichsgruppe sowie die entwickelten Erhebungsinstrumente und deren Güte erläutert. Die Entwicklung und Wahl dieser Methoden sind ausgerichtet auf die anschließend vorgenommene quantitative Analyse, welche in den folgenden Kapiteln erfolgt.

7.2.1 Studiendesign

Die Wirksamkeit des Lernansatzes AEL und der Lernumgebung wird in einer Interventionsstudie mit *Pre-, Post-Follow-up-Test-Design* mit Kontroll- und Experimentalgruppen in vier gymnasialen Klassen im 10. Schuljahr (Tertia) des Grundlagenfaches Geographie mittels Fragebogen und einer Bildanalyse quantitativ untersucht (Tab. 18). Das **Studiendesign** basiert auf Vorgehensweisen und Erfahrungen aus experimentellen Versuchsplänen der Transferforschung (KLAUER 2011) und den Lernprozessstudien zur Wirksamkeit von didaktisch rekonstruierten Lernumgebungen und zum Einfluss von Vorwissen auf die Wissenskonstruktion (nach REINFRIED ET AL. 2010, REINFRIED und TEMPELMANn 2014 und REINFRIED ET AL. 2013).

Tab. 18 | Design der quantitativen Wirksamkeitsstudie (eigene Darstellung, nach Reinfried, Aeschbacher, Kienzler und Tempelmann 2013)
EG = Experimentalgruppe, VG = Vergleichsgruppe, t = Messzeitpunkt, Erhebungsinstrumente: A Spontane Aufzählung zu Hochwasser, B Bildanalyse zu Hochwasser, C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser, D Standardisierter Fragebogen zur Motivation, E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen, F Personen und umfeldbedingte Faktoren

	Pretest t1 Ausgangszustand	**Intervention** 3 Wochen nach dem Pretest	**Posttest t2** direkt nach der Intervention	**Follow-up-Test t3** 8 Wochen nach der Intervention
Gruppe EG (N = 32)	Erhebungsinstrumente: A, B, C, D, E, F Dauer: 45 Minuten	90 Minuten Unterricht zu Hochwasser mit Lernmedium WASSERverstehen und Lernansatz AEL	Erhebungsinstrumente: A, B, C, E Dauer: 45 Minuten	Erhebungsinstrumente: A, B, C, E Dauer: 45 Minuten
Gruppe VG (N = 36)		90 Minuten Unterricht zu Hochwasser mit Lernmedium WASSERverstehen ohne Lernansatz AEL		
Erfassung	Vorwissen, Transferleistung, Motivation, Personen- und Umfeld bedingte Faktoren		Wissenszuwachs, Transferleistung, Lernpsychologische und didaktische Einflüsse	Behaltensleistung, Beständigkeit der Transferleistung, Lernpsychologische und didaktische Einflüsse

Das Design der Wirksamkeitsstudie (Tab. 18) baut auf folgenden vor- und nachgestellten Arbeitsschritten auf:

- Lernansatz AEL für die Unterrichtskonzeption der Intervention in den Klassen (Kapitel 5)
- Lernmedium WASSERverstehen für die Lernmaterialien in der Intervention (Kapitel 6)
- Unterrichtskonzeption zum Thema Hochwasser für die Intervention in EG und VG (Abb. 45 und 46)
- Organisation und Durchführung der quantitativen Wirksamkeitsstudie mit den drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3 und einer 90minütigen Intervention zum Thema Hochwasser in der Experimentalgruppe EG und Vergleichsgruppe VG, je zwei gymnasiale Klassen (Kapitel 7.2.2)
- Erhebungsinstrumente für die Messung der Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser und von personen- und umfeldbedingte Einflussfaktoren (Kapitel 7.2.3 und 7.2.4)
- Erfassung und Aufbereitung der Daten von 70 Probanden zu rund 60 Fragen an drei Messzeitpunkten (Kapitel 7.2.3)
- Statistische Analyse der erfassten Daten und Interpretation der Ergebnisse (Kapitel 7.3 bis 7.6)

Diese Arbeitsschritte berücksichtigend wurde in Absprache mit der Leiterin und dem Leiter der Dissertation eine Stichprobe von vier gymnasialen Klassen für die Wirksamkeitsstudie festgelegt. Diese Stichprobe erschien ein gutes Verhältnis zwischen Aufwand der Erhebung und Genauigkeit der Resultate zu gewährleisten. Die vorliegende Wirksamkeitsstudie ist damit eine explorative Studie, da ihre Ergebnisse erstmals Hinweise zur bisher kaum beforschten Transferleistung im Geographieunterricht geben. Ausgehend von diesem Verständnis ist eine qualitative Nachfolgestudie unter der Leitung von Matthias Probst angelaufen, welche die gewonnenen Hinweise zur Förderung der Transferleitung im Geographieunterricht kritisch vertiefen und erweitern sollen.

Für die vorliegende quantitative Wirksamkeitsstudie willigten auf die Anfrage zwei Geographielehrpersonen und Probanden aus vier gymnasialen Klassen freiwillig ein. Für die **Bildung der Experimental- und Vergleichsgruppen** wurde auf eine Randomisierung verzichtet, weil dadurch für die Intervention eine neue und ungewohnte Klassensituation entstanden wäre. Die Situation in den neugebildeten Klassen kann sich bei der Umsetzung des Lernansatzes AEL nachteilig auswirken, da dort die Lernenden Hypothesen und eigene Gedanken im Plenum austauschen und entwickeln müssen. In vertrauten Lerngruppen sind die Voraussetzungen dafür eher gegeben. Zudem sollen sich die Erkenntnisse aus der Wirksamkeitsstudie nicht auf eine künstliche Situation beziehen, sondern auf möglichst realen und natürlichen Unterrichtssituationen basieren. Aus diesen Gründen wurden zwei Lehrpersonen mit je zwei Klassen nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Lehrpersonen: die beiden Lehrpersonen haben gleiches Geschlecht, ähnliches Alter, nach meiner subjektiven Einschätzung eine ähnliche Unterrichtsweise und unterrichten in der Interventionsphase je eine Klasse der VG und der EG.
- Schulkultur: die beiden Lehrpersonen und die vier Klassen sind am gleichen Gymnasium tätig.
- Zusammensetzung der Klassen: die vier Klassen sind auf der gleichen Schulstufe und ähnlich bezüglich des Geschlechterverhältnisses und der Klassengröße.
- Leistungsstand der Klassen: die vier gymnasialen Klassen belegen das Grundlagenfach Geographie, sind im gleichen Ausbildungsjahr und weisen ähnliche Notendurchschnitte im Grundlagenfach Geographie in den letzten zwei Zeugnissen auf.
- Lernatmosphäre in den Klassen: die vier Klassen nehmen nach Einschätzung der Lehrperson ähnlich aktiv am Unterricht teil.

Die bestmögliche Einhaltung dieser Bedingungen für die Bildung der Experimental- und Vergleichsgruppe ist wichtig für die Objektivität der Untersuchung (BÜHNER 2011) und damit für die Entwicklung von aussagekräftigen Folgerungen. Um bei

kleinen Stichprobenumfängen trotzdem eine möglichst genaue Schätzung der „Varianz zwischen den Gruppen“ zu erhalten, sollten nach BAHRENBERG, GIESE, MEVENKAMP und NIPPER (2008) zudem die Stichprobenumfänge annähernd gleich sein. Mit dem Vorgehen bei der Bildung der Gruppen EG und VG wird diesen Anforderungen möglichst entsprochen und konnten an einem Gymnasium der Stadt Bern zwei Lehrpersonen mit je zwei gymnasialen Klassen im 10. Schuljahr (Tertia) im Grundlagenfach Geographie ausgewählt werden. Die vier Klassen wurden zufällig den Gruppen EG und VG zugelost.

7.2.2 Intervention zum Thema Hochwasser

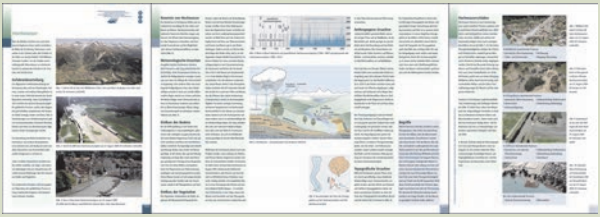
Die **Intervention** zum Thema Hochwasser fand in vier gymnasialen Klassen während einer Doppellektion von 90 Minuten im Juli 2016 statt. Von 79 Schülerinnen und Schülern konnten 68 Schülerinnen an allen drei Messzeitpunkten dabei sein, davon 32 in der Experimentalgruppe und 36 in der Vergleichsgruppe (Tab. 19). Das Durchschnittsalter der Probanden liegt bei 16,8 Jahren und das Geschlechtsverhältnis bei 38 Männern und 30 Frauen.

Tab. 19 | Anzahl Probanden an den einzelnen Messzeitpunkten und an allen drei Messzeitpunkten

Messzeitpunkt	**t1**	**t2**	**t3**	**t1, t2 und t3**
EG	41	36	32	32
VG	38	36	36	36
Gesamt	79	72	68	68

Die Intervention zum Thema Hochwasser umfasst eine Doppellektion von 90 Minuten. Für die EG wurde eine Intervention konzipiert, die explizit den Lernansatz AEL umsetzt. Die Lernmaterialien (Text, Bild, Film, Grafiken) sind in der EG und VG identisch und bestehen aus dem Themenblatt Hochwasser (Abb. 34 – 38) und den Medien des E-Books von WASSERverstehen.

Der Unterricht in den beiden Gruppen unterscheidet sich hauptsächlich bei der Phase Fokus, wo die Experimentalgruppe zu einer fokussierenden Lernaufgabe in einem Plenumsgespräch Hypothesen zu Ursachen von Hochwasser entwickelt (Abb. 44 und 45). Die Lehrperson leitet diese Diskussion, fordert zu genauer Beobachtung des Sachverhalts, aktiviert und integriert gezielt Vorwissen und Erfahrungen der Lernenden und protokolliert die Hypothesen an der Wandtafel. Bei der Vergleichsgruppe VG fehlt die Fokus-Phase (Abb. 44 – 46), womit nach der Einleitung zum Thema Hochwasser die Lernenden verschiedene Ursachen von Hochwasser mit Hilfe der Lernmaterialien tabellarisch zusammenstellen. Im Unterricht der VG wird damit das Vorwissen zu Hochwasser nicht explizit aktiviert und das

Intervention	Experimentalgruppe	Vergleichsgruppe
Lern-medium:	Themenblatt Hochwasser von WASSERverstehen: 	
Medien:	Texte, Filme, Foto, Grafiken	
Unterrichts-ablauf:	**1. Einleitung zu Hochwasser in der Schweiz (5 min)** Lehrervortrag mit PPT	**1. dito**
	2. Fokus – Hochwasserfaktoren (10 min) - fokussierende Lernaufgabe zu Ursachen von Hochwasser - Erarbeitendes Plenumsgespräch - Entwicklung von Hypothesen	–
	3. Wissen – Wissenschaftliche Kenntnisse zu Hochwasser (35 min) - Recherche zu Hochwasserfaktoren mit Themenblatt und Medien aus WASSERverstehen Recherche in Bezug zu eigenen Hypothesen (Vorstellungen)	**2. Wissenschaftliche Kenntnisse zu Hochwasser (40 min)** - Recherche zu Hochwasserfaktoren mit Themenblatt und Medien aus WASSERverstehen
	4. Sicherung (15 min) - Ergebnisse der Recherche zu Hochwasserfaktoren überprüfen Sicherung in Bezug zu Hypothesen	**3. Sicherung (20 min)** - Ergebnisse der Recherche zu Hochwasserfaktoren überprüfen
	5. Transfer – Hochwasserschäden (10 min) - Gelerntes in Bezug zu Hochwasserschäden anwenden	**4. dito**
	6. Transfer – Hochwasserereignis (15 min) - Gelerntes an aktuellem Hochwasserereignis in der der Schweiz anwenden	**5. dito**

Bei der Intervention in der EG und VG identisch ☐, unterschiedlich ☐

Abb. 44 | Vergleich der Intervention zwischen der Experimentalgruppe EG und Vergleichsgruppe VG (eigene Darstellung)

eigenständig analytische Denken zu Hochwasserfaktoren (Hypothesen durch Beobachtung und Analyse formulieren) nicht verlangt. Die Phase Wissen unterscheidet sich einzig darin, dass das Wissen in der EG bezogen auf die Lernenden und ihre Hypothesen vermittelt wird und in der VG dieser explizite Bezug zu den Lernenden fehlt.

Bei der Planung wurde davon ausgegangen, dass die Intervention in der VG wegen der fehlenden Phase Fokus um rund 10 Minuten kürzer ausfallen wird als in der EG. Bei der Intervention zeigte sich jedoch, dass die Klassen der VG mehr Zeit benötigten für die Erarbeitung des Wissens sowie für die Sicherung der Ergebnisse als die EG. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass für Lernende der Erwerb des Wissens zu Hochwasser aufwendiger ist und schwerer fällt, wenn explizite Bezüge zu eigenen Vorstellungen und Überlegungen (Hypothesen) fehlen.
Die Lernmaterialien und der Unterrichtsverlauf der EG habe ich vor der Intervention in drei gymnasialen Klassen des Ergänzungsfaches Geographie im 11. Schuljahr getestet und anschließend noch leicht angepasst. Die beiden Lehrpersonen erhielten bei einer Vorbesprechung allgemeine Informationen zur Intervention in EG und VG (vgl. Tab. 18) und den Unterrichtsverlauf für EG (Abb. 45) und VG (Abb. 46). Damit der Unterricht der EG und VG möglichst „normal“, d. h. authentisch und nicht aufgesetzt stattfinden kann, haben beide Lehrpersonen in einer eigenen Klasse die Intervention getestet. Nach den Testläufen wurden Unterrichtsablauf und -materialien nur noch formal angepasst. Nach der Intervention waren beide Lehrpersonen der Ansicht, dass es ihnen nicht schwergefallen sei, in die vorgegebenen Unterrichtsverläufe der EG und VG zu „schlüpfen“ und diese mit ihrem gewohnten Unterrichtsstil zu verbinden.

Der konzipierte Unterrichtsverlauf zum Thema Hochwasser für eine Doppellektion von 90 Minuten zeigt beispielhaft, wie der Lernansatz AEL mit dem Lernmedium WASSERverstehen umgesetzt werden kann. Die verwendeten Medien finden sich im E-Book des Lernmediums unter www.wasserverstehen.ch.

Unterrichtsablauf Experimentalgruppe EG				
Zeit (min)	**Inhalt**	**Methoden, Sozialform**	**Didaktischer Kommentar**	**Medien**
	Lernphase Fokus			
00 – 05	**1 Hochwasser in der Schweiz** **a) PPT Fotos zum Hochwasser im Jahr 2005** - schwerstes registriertes Einzelereignis in der Schweiz - Folgen: 6 Tote, ~3 Milliarden Schadenssumme CHF - Foto zeigen Matte-Quartier in Bern bei Hoch- und Niedrigwasser - in Bern ereignete sich das letzte Hochwasser im Jahr 2015	Frontal	**Hinführung**: Relevanz	PPT 1 – 4 E-Book S. 1, 2. Icon: Foto
	b) PPT Grafik zu Schadenskosten - Unwetterschäden in der Schweiz führen jährlich zu rund 344 Millionen CHF Kosten - 80 % der Schäden aller Naturereignisse werden durch Hochwasser verursacht - Verstehen der Ursachen von Hochwasser ist relevant (wirtschaftlich, gesellschaftlich)	Frontal	**Hinführung**: Relevanz	PPT 5 E-Book S. 1, 1. Icon: Grafik
05 – 20	**2 Ursachen von Hochwasser** **a) PPT Foto von Sedrun** - L: nach der Aussage von Rolf Weingartner ist der Niederschlag nicht der einzige Hochwasserfaktor. - L: Welche weiteren Faktoren beeinflussen Hochwassergefahr? - 2 –3 Faktoren von S nennen lassen	Erarbeitendes Gespräch	**Fokussierende Lernaufgabe:** Vorwissen, Beobachtung und Analyse ⇩ S entwickeln 2 – 3 Hypothesen L leitet Gespräch ohne S-Beiträge zu korrigieren	PPT 6 E-Book S. 1, Foto Sedrun
	b) Folie mit Dispositionsmodell für die Analyse von Hochwasser - L: Sind die genannten Faktoren (aus 2a) Grunddispositionen (über lange Zeit gleich bleibend) variable Dispositionen (saisonal verändernd) oder auslösende Ereignisse? - im Plenum Hochwasserfaktoren zuordnen, auf Folie und Arbeitsblatt eintragen	Erarbeitendes Gespräch	**Wissenschaftlicher Erklärungsansatz:** L erläutert Dispositionsmodell S ordnen Hochwasserfaktoren zu (Arbeitsblatt)	HP, Folie Arbeitsblatt
	c) Themenblatt Hochwasser S. 1 - S lesen Text, Themenblatt Seite 1 (Fokus)	Einzelarbeit		Themenblatt S. 1

	d) PPT Grafik Dispositionsmodell - L. Verständnisfrage zur Grafik „Dispositionsmodell“: Wann kommt es zum Hochwassereignis? Wie unterscheiden sich die Ereignisse? *- Ereignis d) variable Disposition stark (z. B. Schneeschmelze, langandauernder Niederschlag), auslösendes Ereignis eher klein (z. B. intensives Gewitter)* *- Ereignis f) umgekehrte Situation zu d)*	Erarbeitendes Gespräch	Dispositionsmodell erklären und anwenden	PPT 7 PPT 8 (Lösung) E-Book S. 1, 4. Icon Grafik
	e) PPT Foto Sedrun L stellt weitere Fragen und leitet zum Vergleich der 3 Täler an: - Welche weiteren Faktoren für Hochwasser sind im Foto von Sedrun erkennbar? Vergleicht die drei Täler im Foto von Sedrun. - In welchem Tal (Strem, Drun und Drun da Bugnei) ist die Hochwassergefahr grösser? Warum? - In welchem der drei Täler fließt bei Starkniederschlag das Wasser schneller ab? - etc.	Erarbeitendes Gespräch	Vorwissen, Beobachtung und Analyse ⇩ S entwickeln weitere **Hypothesen** L leitet Gespräch, verlangt Begründungen, fragt nach, ordnet ein, stellt gegenüber, etc. und protokolliert auf HP ohne zu korrigieren S protokollieren auf Arbeitsblatt	PPT 9 und HP Folie 1 Themenblatt S. 1 Arbeitsblatt E-Book, S. 1 Foto Sedrun
20 – 25	**g) Film „Ursachen von Hochwasser“, 3 min ohne Ton!** Auftrag: Welche weiteren Faktoren sind im Film erkennbar? Welche bestätigen sich? *- Starkniederschlag* *- Oberflächenabfluss, gesättigte Böden?* *- Bach verlässt sein Gerinne* *- Kanalisierung in Straßen*	Filmanalyse Erarbeitendes Gespräch	eigenständige Analyse, S entwickeln weitere Hypothesen, L leitet Gespräch ohne zu korrigieren	PPT 10 Film ohne Ton E-Book S. 1 6. Icon Film
	Lernphase Wissen			
25 – 45	**3 Wissen – Wissenschaftliche Kenntnisse zu Hochwasser** **a) PPT Foto Vierwaldstättersee** - Einflussfaktoren auf Hochwasser werden seit Generationen von der Bevölkerung beobachtet und dokumentiert.	Frontal	Überleitung	PPT 11 E-Book S. 1 1. Icon Foto und Abb. 4
	b) PPT Auftrag (vgl. auch Arbeitsblatt) L erläutert mündlich den Auftrag: - eigene Hypothesen überprüfen mit wissenschaftlichen Kenntnissen auf dem Themenblatt S. 2 – 3	Einzelarbeit	S überprüfen Hypothesen	PPT 12 Themenblatt S. 2 – 3

	- Arbeitsblatt die Spalte „Wissenschaftliche Kenntnisse“ stichwortartig ausfüllen.			Arbeitsblatt
	c) PPT Foto Verklausung (Vertiefung) L: Ursache für Überschwemmung? - *Phänomen: Verklausung* - *Ursache: Hochwasser, Schwemmholz und -material* L: Ist dieses Ereignis ein Hochwasser oder eine Überschwemmung? → *Überschwemmung, Wasser verlässt Gerinne*	Erarbeitendes Gespräch	S wenden Gelerntes an	PPT 13 E-Book S. 2 (Icon, Foto 2. Spalte, unten)
Pause 10 Minuten				
45 – 50	**d) PPT Sarner Aa beim Hochwasser 2005** L. Welche Ursachen für Hochwasser sind erkennbar? - *Begradigung ⇨ kurze Fließwege* - *Verengung ⇨ geringeres Abflussvermögen* - *evtl. Dammbruch*	Erarbeitendes Gespräch	L ergänzt allenfalls und leitet zur Sicherung über	PPT 14 Themenblatt S. 1
50 – 65	**4 Sicherung** **a) Folie: Hypothesen verifizieren, falsifizieren** L.: Welche Hypothesen waren korrekt? Welche sind falsch? Welche sind unpräzis? - Lösungsvorschlag verteilen - Auftrag: in Lösungsvorschlag alle Aspekte markieren, die in Hypothesen fehlten oder unpräzis waren. - Folie: Hypothesen mit anderer Farbe im Plenum korrigieren (richtig ✓, falsch o, unpräzis ≈) - Lehrperson macht dasselbe auf der Folie	Einzelarbeit	Sicherung	Kopie Lösungen verteilen
	b) Diskussion, Fragen, Unklarheiten? - L legt seine Folie mit Korrekturen auf und fasst korrekte, falsche und unpräzise Aspekte zusammen. - L: Fragen, Unklarheiten zu den verschiedenen Ursachen von Hochwasser?	Erarbeitendes Gespräch	Sicherung, Hypothesen bestätigen, korrigieren, differenzieren	**HP Folie 2** mit Lösung und markierten Aspekten von L
	Lernphase Transfer			
65 – 75	**5 Transfer – Hochwasserschäden** **a) PPT Foto – Einleitung** - 80 % der Schäden durch Naturgefahren sind durch Hochwasser. Wie kommt es zu so hohen Schadenssummen?	Frontal	Relevanz und Struktur	PPT 15 E-Book S. 4, Abb. 7 – 10

	- Foto von Brienz zeigt Schäden in Wildbächen (Oberlauf von Fließgewässer). L kommentiert kurz. - Andere Fotos zeigen dominierende Prozesse und Auswirkungen in nachfolgenden Flussabschnitten			
	b) Themenblatt Hochwasser S. 4 Auftrag: Themenblatt S. 4 (Transfer) studieren mit Bezug zu den vier Fotos.	Einzelarbeit	S studieren Themenblatt S. 4 und wenden dabei Gelerntes an	Themenblatt S. 4
75 – 90	**6 Transfer – Hochwasserereignis** Film „Kritische Hochwasserlage“ (SRF „Schweiz aktuell“, 4. Mai 2015, 1:33 – 4:05min) zu aktuellstem Hochwasser in der Schweiz. **Auftrag (Arbeitsblatt):** Analysieren Sie das Hochwasser in Bern von 2015 bezüglich Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis (nur stichwortartige Notizen). Nach Film in 3er Gruppen kurz austauschen. **Sicherung im Plenum** *Grunddisposition:* *- See, Zu- und Abflusssituation* *- Maßnahmen: Stollen und Schleusen* *- Abflusssituation in Bern Matte, enge Stelle und Schwemmholz (vgl. PPT Foto Bern)* *Variable Disposition:* *- langandauernder Niederschlag* *- Warme Luftmassen → Schmelzwasser* *- Schwemmholz* *- Boden haben Wasser aufgenommen, geben dieses aber über längere Zeit ab* *Auslösendes Ereignis:* *- intensiver Niederschlag* *- Warme Luftmassen → Schmelzwasser*	Filmanalyse S notieren stichwortartig Gruppendiskussion Plenumsdiskussion	S wenden Gelerntes an Sicherung	PPT 16 E-Book S. 2: 5. Icon Film 2

Abb. 45 | Unterrichtsverlauf der Intervention in der Experimentalgruppe EG (L = Lehrperson, S = Schülerinnen und Schüler, blau markiert sind die Unterrichtsphasen, welche sich vom Verlauf in der VG unterscheiden, resp. dort nicht vorkommen)

Unterrichtsablauf Vergleichsgruppe VG				
Zeit (min)	**Inhalt**	**Methoden, Sozialform**	**Didaktischer Kommentar**	**Medien**
00 – 05	**1 Hochwasser in der Schweiz** **a) PPT Fotos zum Hochwasser im Jahr 2005** - schwerstes registriertes Einzelereignis in der Schweiz - Folgen: 6 Tote, ~3 Milliarden Schadenssumme CHF - Foto zeigen Matte-Quartier in Bern bei Hoch- und Niedrigwasser - in Bern ereignete sich das letzte Hochwasser im Jahr 2015	Frontal	Hinführung, Relevanz	PPT 1 – 4 E-Book S. 1, 2. Icon: Foto
	b) PPT Grafik zu Schadenskosten - Unwetterschäden in der Schweiz führen jährlich zu rund 344 Millionen CHF Kosten - 80 % der Schäden aller Naturereignisse werden durch Hochwasser verursacht - Verstehen der Ursachen von Hochwasser ist relevant (wirtschaftlich, gesellschaftlich)	Frontal	Hinführung, Relevanz	PPT 5 E-Book S. 1, 1. Icon: Grafik
05 – 10	**2 Wissenschaftliche Kenntnisse zu Hochwasser** **a) PPT Grafik Dispositionsmodell** - L erklärt Dispositionsmodell: Grunddisposition, variable Disposition und auslösendes Ereignis - L erklärt Unterschiede zwischen Ereignis d) und f) - Ereignis d) variable Disposition stark (z. B. Schneeschmelze, langandauernder Niederschlag), auslösendes Ereignis eher klein (z. B. kurzes Gewitter) - Ereignis f) umgekehrte Situation zu d)	Frontal	L erklärt S notieren	PPT 6 und 7 E-Book S. 1, 4. Icon Grafik
10 – 35	**b) PPT Foto Vierwaldstättersee:** - Einflussfaktoren auf Hochwasser werden seit Generationen von der Bevölkerung beobachtet und dokumentiert.	Frontal	Überleitung	PPT 8 E-Book S. 1 1. Icon Foto & Abb. 4
	c) PPT Auftrag (vgl. auch Arbeitsblatt) - L erläutert den Auftrag: Themenblatt S. 1 – 3 studieren und auf dem Arbeitsblatt die Tabelle zu Hochwasserfaktoren stichwortartig ausfüllen.	Einzelarbeit	S stellen auf dem Arbeitsblatt Hochwasserfaktoren zusammen	PPT 9 Themenblatt S. 1 - 3 Arbeitsblatt
35 – 45	**d) Film „Ursachen von Hochwasser“, 3 min ohne Ton!**	Filmanalyse	Eigenständige Beobachtung und	PPT 10 Film ohne

	Auftrag: Was sind die Ursachen dieses Hochwassers? Lösung zum Film sichern: - *Starkniederschlag* - *Oberflächenabfluss, gesättigte Böden?* - *Bach verlässt sein Gerinne* - *Kanalisierung in Straßen*	Plenums-diskussion	Analyse Sicherung	Ton E-Book S. 1 6. Icon Film
Pause 10 Minuten				
45– 50	e) **PPT Sarner Aa beim Hochwasser 2005** L. Welche Ursachen für Hochwasser sind erkennbar? - Begradigung ⇨ kurze Fließwege - Verengung ⇨ geringeres Abflussvermögen - evtl. Dammbruch	Plenums-diskussion	L ergänzt allenfalls und leitet zur Sicherung über	PPT 11 Themenblatt S. 1
50 – 65	**3 Sicherung** **a) PPT und Kopie: Lösungsvorschlag** - Lösungsvorschlag mit eigenen Lösungen vergleichen	Einzelarbeit	Sicherung	PPT 12 – 13 Kopie Lösungen verteilen
	b) PPT Foto Verklausung (Vertiefung) - L erklärt: Ursachen für Verklausung und Überschwemmung ⇨ Niederschlag/Hochwasser, Schwemmholz und -material	Frontal	Bezug zum erworbenen Wissen	PPT 14 E-Book S. 2 (Icon, Foto 2. Spalte, unten)
	c) Diskussion, Fragen, Unklarheiten - Fragen, Unklarheiten zu den verschiedenen Ursachen von Hochwasser?	Plenums-diskussion		PPT 12 – 13
65 – 75	**4 Transfer – Hochwasserschäden** **a) PPT Foto – Einleitung** - L: 80 % der Schäden durch Naturgefahren sind durch Hochwasser. Wie kommt es zu so hohen Schadenssummen? - Foto von Brienz zeigt Schäden in Wildbächen (Oberlauf von Fließgewässer). L. kommentiert kurz. - Andere Fotos zeigen dominierende Prozesse und Auswirkungen in nachfolgenden Flussabschnitten	Frontal	Relevanz und Struktur	PPT 15 E-Book S. 4 Abb. 7 – 10
	b) Themenblatt Hochwasser S. 4 Auftrag: Themenblatt S. 4 studieren mit Bezug zu vier Fotos	Einzelarbeit	S studieren Themenblatt S. 4 und wenden dabei Gelerntes an	Themenblatt S. 4

75 – 90	**5 Transfer – Hochwasserereignis** Film „Kritische Hochwasserlage“ (SRF „Schweiz aktuell“, 4. Mai 2015, 1:33 – 4:05min) zu aktuellstem Hochwasser in der Schweiz. **Auftrag (Arbeitsblatt):** Analysieren Sie das Hochwasser in Bern von 2015 bezüglich Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis (nur stichwortartige Notizen). Nach Film in 3er Gruppen kurz austauschen. **Sicherung im Plenum** *Grunddisposition:* *- See, Zu- und Abflusssituation* *- Maßnahmen: Stollen und Schleusen* *- Abflusssituation in Bern Matte, enge Stelle und Schwemmholz (vgl. PPT Foto Bern)* *Variable Disposition:* *- langandauernder Niederschlag* *- Warme Luftmassen → Schmelzwasser* *- Schwemmholz* *- Boden haben Wasser aufgenommen, geben dieses aber über längere Zeit ab* *Auslösendes Ereignis:* *- Intensiver Niederschlag* *- Warme Luftmassen → Schmelzwasser*	Filmanalyse S notieren stichwortartig Gruppen diskussion Plenums-diskussion	S wenden Gelerntes der Lektion an Sicherung	PPT 16 E-Book S. 2 5. Icon Film 2

Abb. 46 | Unterrichtsverlauf der Intervention in der Vergleichsgruppe VG (L = Lehrperson, S = Schülerinnen und Schüler, blau markiert sind die Unterrichtsphasen, welche sich vom Verlauf in der VG unterscheiden, resp. dort nicht vorkommen)

7.2.3 Erhebungsinstrumente und Datenaufbereitung

Für die quantitative Wirksamkeitsstudie zum Lernansatz AEL und Lernmedium WASSERverstehen wurden sechs **Erhebungsinstrumente** zur Messung des Wissenszuwachses, der Transferleistung und verschiedener Umfeldfaktoren entwickelt sowie ein **Instrument zur Datenaufbereitung (Kategorisierung)** erstellt. Bei der Datenaufbereitung wurden alle Angaben der befragten Personen anonymisiert.

Sämtliche Instrumente wurden mit der entsprechenden Fachliteratur (BÜHNER 2011; PORST 2014, u.a.), der statistischen Beratung an der Universität Bern und der PHBern sowie der Dissertationsbetreuung (Prof. Dr. Rolf Weingartner und Prof. Dr. Sibylle Reinfried) überprüft und weiterentwickelt. Die fachliche Korrektheit und

die Validierung der Erhebungsinstrumente A, B und C wurde mit 20 Hydrologinnen und Hydrologen der Universität Bern in einem Testlauf überprüft. Schließlich wurden sämtliche Erhebungsinstrumente in einer gymnasialen Klasse getestet und stichprobenweise auch die Erfassung der Daten erprobt. Nach beiden Testläufen wurden die Erhebungsinstrumente weiterentwickelt und optimiert.

Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz

Beim Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz (Abb. 47) müssen die Probanden hochwasserfördernde und hochwasservermindernde Einflussfaktoren schriftlich nennen und aufzählen. Ziel dieses Erhebungsinstruments ist, die Bestimmung des Wissenszuwachses und der Behaltensleistung des Wissens an den drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3. Es wird nicht erwartet, dass alle sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskalen)[4] vorkommen, da bei der spontanen Aufzählung von den Lernenden keine systematischen Überlegungen zur Hochwasserentstehung verlangt werden.

Die offenen Antworten zum Erhebungsinstrument A und B wurde mit einem eigens entwickelten Kategorisierungsraster erfasst (Abb. 47). Der Raster wurde von 5 Hydrologinnen und Hydrologen validiert und bei einer Versuchsdurchführung in einer Klasse getestet und angepasst. Im Raster werden 40 Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien (Subskala) gegliedert. Jeder Hochwasserfaktor wird mit 0 für „nicht vorhanden“ und mit 1 für „vorhanden“ bei allen Probanden kodiert. Falsche Antworten werden mit 0 als „nicht vorhanden“ kodiert. Jede Antwort wird nur einmal und so präzis wie möglich kodiert, z. B. wird die Antwort „Regen“ nicht bei „Witterung“ sondern präziser beim „Niederschlag“ aufgenommen. Die Datenerfassung wurde von einer geschulten, unabhängigen Person durchgeführt (vgl. Kapitel 7.2.4). Die festgelegten sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala, vgl. Abb. 47) fließen ohne Gewichtung in die statistische Datenauswertung ein, weil der Wissenszuwachs und die Transferleistung differenziert nach diesen sechs Kategorien erfasst werden soll und nicht eine hydrologische Expertise im Zentrum steht.

Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser

Beim Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser müssen die Probanden die Einflussfaktoren von Hochwasser in einem konkreten Raum (Foto) möglichst realitätsnah, d. h. der Wirklichkeit entsprechend beurteilen und damit ihr Wissen zu Hochwasser in einer anderen Situation anwenden. Ziel der Fotoanalyse ist die

[4] Im Rahmen der Dissertation wurden die folgenden sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren definiert: Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch (vgl. Abb. 48).

Bestimmung der Transferleistung und der Beständigkeit der Transferleistung bezüglich der Intervention zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3.

An den drei Messzeitpunkten wurden je ein Foto mit nahem Transfer (Abb. 48) und je ein Foto mit weitem Transfer (Abb. 49) bezüglich des Fotos von Sedrun aus der Intervention eingesetzt. Dieser Untersuchungsaufbau soll Aussagen zur Transferleistung bezüglich eines nahen und eines weiten Transfers ermöglichen. Weil die Transferdistanz zwischen Lern- und Transfermaterial schwierig zu ermitteln ist, empfiehlt KLAUER (2011) sich innerhalb eines Versuches nur an den spezifischen Merkmalen zu orientieren, die für den Lern- und Lösungsprozess von Bedeutung sind. In der vorliegenden Studie wurden die sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) als spezifische Merkmale für die Bestimmung der Transferdistanz herangezogen.

Die Analyse des Bildes 1 (Abb. 48) verlangt einen nahen Transfer, da die sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala)[5] beim Bild von Sedrun der Intervention (Abb. 11) in ähnlicher Form vorkommen. Demgegenüber verlangt die Analyse des Bildes 2 (Abb. 49) einen weiten Transfer, da folgende drei Hochwasserfaktoren zu zwei Kategorien sich deutlich vom Bild zu Sedrun (Abb. 11) unterscheiden:

- **Kategorie Topographie:**
  - Der **See** kommt mit dem Lago die Poschiavo als hochwasserbeeinflussender Aspekt neu hinzu, entspricht dem Kriterium 6T im Kategorisierungsraster (Abb. 47).
  - Die **Höhendifferenz** unterscheidet sich zwischen dem Foto vom Val Poschiavo und dem Foto von Sedrun beträchtlich, entspricht dem Kriterium 2T im Kategorisierungsraster (Abb. 47).
  (Bem. im Foto vom Val Poschiavo beträgt die Höhendifferenz 3312 m (Pergola 684 m.ü.M. und Piz Zupo 3996 m.ü.M.), im Foto von Sedrun 1887m (Sedrun1441 m.ü.M. und Oberalpstock 3328 m.ü.M.) und im Foto zum Einzugsgebiet der Gürbe 1555m (Sägerei/Geschiebesammler 621 m.ü.M und Gantrisch 2176 m.ü.M))

- **Kategorie Witterung:**
  - Der **Gletscher** am Piz Zupo, 3996 m.ü.M. kommt im Foto vom Val Poschiavo neu hinzu, entspricht dem Kriterium 7W im Kategorisierungsraster (Abb. 47).

[5] Im Rahmen der Dissertation wurden die folgenden sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren definiert: Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch (vgl. Abb. 48).

Für die Bildanalyse wurden Fotos in der Sammlung der Luftwaffe Schweiz in Dübendorf mit rund 13‘000 Bildern gesucht. Die 20 ausgewählten Bilder wurden bezüglich der Transferdistanz zum Foto von Sedrun durch den Autor, einen Hydrologen, einer Fachdidaktikerin und einer Geographielehrperson beurteilt. Diese Experten bewerteten die Transferdistanz (naher und weiter Transfer) zwischen den ausgewählten Bildern von Sedrun, Gantrisch und Val Poschiavo übereinstimmend.

Die offenen Antworten aus den Bildanalysen wurden mit dem gleichen Kategorisierungsraster wie für das Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz erfasst. Eine unabhängige Person codierte die Antworten zu „Nennungen“, „Verortung im Foto“ und „Begründung“ mit „0“ für falsche Antworten und mit „1“ für richtige Antworten (Abb. 47). Eine vorangehende Test-Erfassung zeigte nur geringe Abweichungen zwischen der unabhängigen Person und dem Autor (vgl. Kapitel 7.2.4), weshalb auch hier unklare Zuweisungen besprochen und abschließend geklärt wurden.

Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz

Das Erhebungsinstrument C Standardisierte Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz will an den drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3 einerseits den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung mit fachlichen Fragen zum Anforderungsbereich I bestimmen (Abb. 50). Andererseits werden die Transferleistung und die Beständigkeit der Transferleistung mit fachlichen Fragen zum Anforderungsbereich II und III erhoben. Die Fragen zu den verschiedenen Anforderungsbereichen wurden ausgehend von den Inhalten im Themenblatt Hochwasser des Lernmediums WASSERverstehen erstellt, vgl. hierzu die Abbildung 51 mit Lösungen und kurzen Begründungen.

Die ursprünglich 26 entwickelten Fragen zu Hochwasser in der Schweiz wurden von 20 Hydrologie-Expertinnen und Experten der Universität Bern (Professoren, Post-Doktoranden, Doktoranden, Masterstudierende) überprüft sowie mit je zwei Gymnasiastinnen und zwei Gymnasiasten mit dem Verfahren des „Laut Denkens“ (Rogers, Sharp, Preece 2011) validiert. Dieses Vorgehen ermöglichte die Auswahl von 12 aussagekräftigen wissens- und transferbezogenen Fragen, welche als Einzelitems im standardisierten Fragebogen aufgenommen wurden.

Die 12 Items des standardisierten Fragebogens enthalten zu den sechs Kategorien (Subskala)[6] je eine Aussage zum Anforderungsbereich Wissen (AFB I) und eine Aussage zum Anforderungsbereich Anwendung und Weiterentwicklung (AFB II/III).

[6] Im Rahmen der Dissertation wurden die folgenden sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren definiert: Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch (vgl. Abb. 48).

Für die Probanden ist die Zugehörigkeit der Fragen zu den sechs Subskalen und zu den drei Anforderungsbereichen nicht ersichtlich. Zudem wurde an den drei Messzeitpunkten die Reihenfolge der 12 Items verändert, damit die Probanden den Fragebogen nicht aufgrund „gelernter“ Gesetzmäßigkeiten ankreuzen konnten.

Die Fragen werden von den Probanden nach der Vorlage aus der Studie von REINFRIED ET AL. (2013, S. 288) in einer mehrstufigen Skala (z. B. „Ja“, „Nein“, „weiß nicht“) beantwortet. Mit der Option „weiß nicht“ soll das Erraten der Antwort vermindert werden, da im Zentrum der Wissenszuwachs und die Transferleistung stehen und dabei eine gewisse Überzeugung bei der Beantwortung wichtig ist. So wurden die Probanden vor der Erhebung auch darauf hingewiesen, dass Sie „weiß nicht“ nur ankreuzen sollen, wenn sie keine Ahnung haben. Falls sie eine Tendenz und Vermutung haben, sollten sie ein „Ja“ oder „Nein“ ankreuzen. Bei der Datenaufbereitung werden mit 1 „richtige Antworten“ und mit 0 „falsche Antworten“ bei allen Probanden kodiert.

Im Fragebogen zu Hochwasser lassen sich die Aufgaben zum Anforderungsbereich II und III folgenden Transferarten (vgl. Kapitel 3.4.1) zuordnen:

- Vertikaler Transfer, da die erlernten Kenntnisse auf höherem Anforderungsniveau angewendet werden.
- Figuraler Transfer, da die erworbenen Kenntnisse per Analogie-Schluss auf neue Problemstellungen übertragen werden.
- Spezifischer Transfer, da eng umgrenzte Kenntnisse zu Hochwasser auf neue Situationen angewendet werden.
- „High-Road“-Transfer, da aktiv und bewusst über Unterschiede, Gemeinsamkeiten und Verknüpfungen zwischen der Aufgabenanforderung und dem erworbenen Wissen nachgedacht wird.

In der Bildanalyse zu Hochwasser lässt sich die Aufgabenstellung ebenfalls einem vertikalen, figuralen, spezifischen und High-Road-Transfer zuordnen. D. h. die Transferart entspricht den Aufgaben zum Anforderungsbereich II und III im Fragebogen zu Hochwasser (vgl. Begründungen dort).

Erhebungsinstrument D Standardisierter Fragebogen zur Motivation

Das Erhebungsinstrument D Standardisierte Fragebogen zur Motivation (Abb. 52) wurde in Anlehnung an den „Fragebogen zur aktuellen Motivation“ (FAM) von RHEINBERG, VOLLMEYER und BURNS (2001) an die gymnasiale Stufe leicht angepasst und einmalig zu Beginn des Pretests t1 eingesetzt. Die 18 Items erfassen vier Komponenten der aktuellen Motivation in Lern- und Leistungssituationen; die Misserfolgsbefürchtung (M), die Erfolgswahrscheinlichkeit (E), das Interesse (I) und die

Herausforderung (H). Für den FAM liegen aus verschiedenen Experimenten Validitätshinweise vor, dass die vier erfassten Motivationskomponenten mit dem nachfolgenden Lernverhalten und der Lernleistung im Zusammenhang stehen.

Die Probanden beantworteten die 18 Fragen in einer 5-teiligen Skala von „trifft zu“ bis „trifft nicht zu“ mit Bezug zur Aufgabenstellung der Bildanalyse 1 (Abb. 48). Vor dem Ausfüllen wurden die Probanden dazu angehalten, sämtliche Fragen bezogen auf die Aufgabenstellung zur Bildanalyse 1 zu beantworten. Die Aufgabenstellung zur Bildanalyse 1 wurde während der gesamten Beantwortungszeit über den Beamer projiziert.

Die Erhebung soll aufzeigen, ob die Motivation einen Zusammenhang mit dem Wissenszuwachs und der Transferleistung hat und zwischen der EG und VG unterschiedlich ausgeprägt ist. Bei der Datenaufbereitung werden die Werte für „Trifft zu (1)“, „Trifft eher zu (2)“, „Trifft einigermaßen zu (3)“, „Trifft eher nicht zu (4)“ und „Trifft nicht zu (5)“ bei allen Probanden addiert. Dabei mussten die Items 3 und 14 nach VOLLMEYER (2001, S. 5) umgepolt werden.

Erhebungsinstrument E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen

Mit dem Erhebungsinstrument E Standardisierten Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen (Abb. 53) werden Hintergründe zur Wissenskonstruktion und Transferleistung an allen drei Messzeitpunkten erfasst. Das Erhebungsinstrument soll subjektive Einschätzungen der Probanden zu Schlüsselmomenten im Lernprozess aus der Intervention Hochwasser (z. B. Betroffenheit, Unterrichtsform, Medieneinsatz), aber auch aus dem Alltag und vorangehenden Schulstufen an allen drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3 aufzeigen.

Der standardisierte Fragebogen wurde nach der Vorlage aus der Studie von REINFRIED u.a. (2010) entwickelt und mit drei Geographielehrpersonen und zwei Fachdidaktikern validiert. Die Fragen wurden direkt anschließend an die Bildanalyse und den standardisierten Fragebogen zu Hochwasser gestellt und können in einer 5-teiligen Skala von „trifft zu“ bis „trifft nicht zu“ beantwortet werden. Mit diesem Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen sollen Hintergründe zur erreichten Wissenskonstruktion und Transferleistung erfasst werden. Bei der Datenauswertung werden die Antworten nach Einflussbereichen zusammengefasst. Beispielsweise zeigt der Mittelwert aus den Fragen 5a und b den Einflussbereich „Eigene Erfahrungen an Gewässern und Hochwasser“ an. (vgl. Kapitel 7.6).

Erhebungsinstrument F Personen- und umfeldbedingte Faktoren

Das Erhebungsinstrument F Personen- und umfeldbedingte Faktoren (Geschlecht, Alter, Migrationshintergrund, Bildungsnähe der Eltern, Interessiertheit, Betroffenheit, Informiertheit zu Hochwasser, Vorwissen aus Unterricht) wurden mit einem standardisierten Fragebogen und skalierten Antworten (Likert-Skala) einmalig beim Pretest t1 erhoben (Abb. 54). Zusätzlich wurden von allen Probanden die anonymisierten Geographienoten aus dem Schuljahr 2015/2016 einbezogen, um Hinweise zum Leistungsstand im Geographieunterricht zu erhalten sowie deren Einfluss auf den Wissenszuwachs und die Transferleistung zu erfassen. Mit dem Erhebungsinstrument F und den Geographienoten sollen Hinweise zum Einfluss von personen- und umfeldbedingten Faktoren auf den Wissenszuwachs, die Behaltensleistung und die Transferleistung und deren Beständigkeit erfasst werden.

Bei der Datenaufbereitung werden die Antworten zu den Fragen 1–5 deskriptiv verwendet und fließen nicht in die statistische Analyse ein. Der Einflussbereich „Freizeit in der Natur“ wird mit der Frage 6 erfasst, „Informiertheit2 mit den Fragen 8 – 11, „Interesse“ mit der Frage 12 und „Erfahrung/ Betroffenheit“ mit den Fragen 13 und 14 (vgl. Kapitel 7.6).

Alle sechs Erhebungsinstrumente wurden mit einer Test-Erhebung in einer gymnasialen Klasse im 10. Schuljahr (Tertia), einer anschließenden Datenaufbereitung und einer statistischen Auswertung überprüft. In der Folge mussten nur noch formale Anpassungen vorgenommen werden.

Die **Instruktion zum Erhebungsablauf** wurde in allen Klassen an allen drei Messzeitpunkten, von den gleichen Personen (Matthias Probst und Hilfsassistentin), mit den gleichen Medien (PPT) und den gleichen Informationen zu folgenden Punkten vorgenommen:

- Kurze Übersicht zum Ablauf und zu den sechs Erhebungsinstrumenten aufzeigen.
- Die Probanden tragen ihren Namen auf allen Erhebungsformularen ein.
- Bildanalyse: Nummerierung im Foto mit beigelegten wasserfesten blauen Filzstiften vornehmen.
- Fragebogen Hochwasser: die Fragen möglichst mit „Ja“ oder „Nein“ beantworten, „weiß nicht“ nur ankreuzen, wenn keine Vorstellung einer korrekten Antwort vorhanden ist.
- Ablauf beim Messzeitpunkt t1:
  a) Erhebungsinstrument D Standardisierter Fragebogen zur Motivation (Abb. 53) mit Bezug zur Aufgabenstellung Bildanalyse Einzugsgebiet Gürbe (mit Beamer projizieren) ausfüllen und abgeben
  b) Erhebungsinstrumente A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der

Schweiz (Abb. 47) und B Bildanalyse zu Hochwasser (Abb. 49 und 50) ausfüllen und abgeben
c) Erhebungsinstrumente C Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz (Abb. 51), E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen (Abb. 54) und F Personen- und umfeldbedingte Faktoren (55) ausfüllen und abgeben

- Ablauf bei den Messzeitpunkten t2 und t3:
  a) Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz (Abb. 47) und B Bildanalyse zu Hochwasser (Abb. 49 und 50) ausfüllen und abgeben
  b) Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser (Abb. 51) in der Schweiz und E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen (Abb. 54) ausfüllen und abgeben

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

Name:..... Vorname:..... Klasse: .....

A) Hochwasser in der Schweiz

2. Nennen Sie fördernde und vermindernde Einflussfaktoren auf Hochwasser.

(+) Hochwasser fördernde Einflussfaktoren	(-) Hochwasser vermindernde Einflussfaktoren

Abb. 47 | Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz

Quantitative Wirksamkeitsstudie zu Wissen und Transferleistung
Matthias Probst 5.7.2016

Nr. ….. Name: ……

PHBern
Pädagogische Hochschule

Kategorisierungsraster: Spontane Aufzählung und Bildanalyse Hochwasser

		Frage 1		Bild 1 Gürbe						Bild 2 Val Posciavo					
Kategorien (=Subskala)	**Hochwasserfaktoren (+) hochwasserfördernd, (-) hochwasservermindernd**	**Aufzählung**		**Nennung**		**Verortung**		**Begründung**		**Nennung**		**Verortung**		**Begründung**	
		0	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**
Witterung (Temperatur, Niederschlag)	1W) Witterung allgemein erwähnt														
	2W) Niederschlag														
	3W) langanhaltender Niederschlag														
	4W) orografischer Niederschlag														
	5W) intensiver Niederschlag (kurz und heftig)														
	6W) Temperatur/Schneefallgrenze/Nullgradgrenze (z.B. bei hoher Nullgradgrenze vermehrt Regen anstatt Schnee.)														
	7W) Schnee- und/oder Gletscherschmelze														
	8W) Anderes korrektes Kriterium (z.B. Grosswetterlage)														
Topografie	1T) Topographie allgemein erwähnt (z.B. Gebirge, Hügel, Lage)														
	2T) Neigung der Hänge im Einzugsgebiet														
	3T) Form des Einzugsgebiet: (z.B. rundes Einzugsgebiet mit stärkerer Konzentration des Abflusses)														
	4T) Neigung von Gerinne (z.B. steiles Gerinne erhöht Konzentration von Abfluss, Fliessgeschwindigkeit, Hochwasserspitze, Erosion)														
	5T) Form von Gerinne (z.B.enges Gerinne hat geringe Abflusskapazität und Rückhaltevermögen)														
	6T) Überflutungsflächen, Auen, Seen, natürliche Fliessgewässer (z.B. Seen dämpfen Hochwasser in nachfolgendem Fliessgewässer)														
	7T) Anderes korrektes Kriterium (z.B. Rauigkeit des Gerinnes)														
Vegetation (Oberflächen-bedeckung)	1O) Oberflächenbedeckung/Vegetation allgemein erwähnt														
	2O) Wald allgemein erwähnt														
	3O) Wald/Vegetation: Wasseraufnahme														
	4O) Durchwurzelung beeinflusst Versickerung (z.B. tiefgründige Durchwurzelung erhöht den Porenraum Versickerung)														
	5O) Durchwurzelung beeinflusst Erosion (z.B. Durchwurzelung von Boden vermindert Geschiebeanteil im Bach)														
	6O) Interzeption im Blätterdach (ist nur bei einzelnem und kurzem Niederschlagsereignis relevant)														
	7O) Transpiration/Verdunstung														
	8O) Anderes korrektes Kriterium														

Quantitative Wirksamkeitsstudie zu Wissen und Transferleistung **Nr. ..... Name: .....** **PH**Bern
Matthias Probst 5.7.2016 Pädagogische Hochschule

		Frage 1		Bild 1 Gürbe						Bild 2 Val Posciavo					
Kategorien (=Subskala)	**Hochwasserfaktoren (+) hochwasserfördernd, (-) hochwasservermindernd**	**Aufzählung**		**Nennung**		**Verortung**		**Begründung**		**Nennung**		**Verortung**		**Begründung**	
		0	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**
Boden	1B) Boden allgemein erwähnt														
	2B) Bodenart und Versickerung/Durchlässigkeit (z.B. Wasser versickert in kaum durchlässigen Böden (z.B. lehmige Böden) schlecht, in gut durchlässigen Waldböden besser.)														
	3B) Bodenmächtigkeit und Speichervermögen/Verzögerung des Abflusses (z.B. flachgründige Böden haben ein geringeres Speichervermögen als tiefgründige Böden und sind daher schneller gesättigt, speichern weniger)														
	4B) Wassersättigung der Böden ⇨Oberflächenabfluss														
	5B) gefrorene oder sehr trockene Böden ⇨Oberflächenabfluss														
	6B) Anderes korrektes Kriterium (z.B. Vorhandensein von Poren)														
Geologie	1G) Geologie allgemein erwähnt														
	2G) Gesteinsart/Verwitterungsgrad und Versickerung/Zwischen-speicherung (z.B.in Lockermaterial und verwittertem Fels mit Klüften kann Wasser besser versickern und zwischengespeichert werden als in festem Fels)														
	3G) Gletscherabbruch, Erdrutsch oder Steinschlag: Stauung und/oder Flutwelle														
	4G) Anderes korrektes Kriterium (z.B. wasserundurchlässige Gesteinsschichten)														
Mensch	1M) Anthropogene Einflüsse allgemein erwähnt														
	2M) Bodenversiegelung, wenig Abflussmöglichkeiten (z.B. Siedlungs- und Verkehrsflächen vermindern Versickerung)														
	3M) Bodenverdichtung: landwirtschaftl. Flächen durch Maschinen														
	4M) Flussbegradigung (z.B. erhöht im Unterlauf Fliessgeschw, Hochwasserspitze und Erosion)														
	5M) Bauliche Verengungen, Verbauungsgrad und Brücken (z.B. Verklausung durch Holz und Geröll an Verengungen oder Brücken)														
	6M) Baulich-technische Hochwassermassnahmen (z.B.Schwellen, Dämme, Rückhaltebecken, Senklöcher, etc.)														
	7M) Anderes korrektes Kriterium (z.B. Aufforstung, Regulierung von See, Renaturierung, Aufweitung)														
Andere Skalen:	*Andere Kriterien*.....														
	Andere Kriterien:.....														
Total Skalen	*Anzahl genannter Kriterien:*														

Abb. 48 | Kategorisierungsraster mit sechs Kategorien (Subskala) und vierzig Hochwasserfaktoren für die Erfassung der Antworten zum Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz und B Bildanalyse zu Hochwasser

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

B) Bildanalyse zu Hochwasser in der Schweiz

3. **Bildanalyse Einzugsgebiet Gürbe**
   Beurteilen Sie die Hochwassergefahr im Einzugsgebiet der Gürbe (Abbildung 1) bei einem Niederschlag im Herbst, indem Sie
   - die fördernden und vermindernden Einflussfaktoren direkt in der **Abbildung 1** mit einer Nummer eintragen und
   - diese Einflussfaktoren in der Tabelle benennen und kurz begründen.

Abbildung 1: Einzugsgebiet der Gürbe (© Schweizer Luftwaffe)

Beurteilung der Hochwassergefahr im Einzugsgebiet der Gürbe:

Nummer	Einflussfaktor nennen	(+) Hochwasser fördernde Einflussfaktoren	(-) Hochwasser vermindernde Einflussfaktoren
1			
....			

Abb. 49 | Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser zum nahem Transfer (Bem. die Tabelle umfasste eine weitere Seite)

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

4. **Bildanalyse Val Posciavo**
Beurteilen Sie die Hochwassergefahr im Val Posciavo (Abbildung 2) bei einem Niederschlag im Herbst, indem Sie

a) die in der letzten Frage 3 zur Gürbe aufgeführten Faktoren, welche im **Val Posciavo** (Abbildung 2) wiederum vorkommen mit der entsprechenden Nummer in der **Abbildung 2** eintragen (ihre Nennung und Begründung ist hier nicht mehr nötig) und

b) in der **Abbildung 2** zusätzlich vorkommende Einflussfaktoren mit einer Nummer im Foto eintragen, in der Tabelle benennen und kurz begründen.

Abbildung 2: Val Poschiavo (© Schweizer Luftwaffe)

Beurteilung der Hochwassergefahr im Val Posciavo:

Nummer	Einflussfaktor nennen	(+) Hochwasser fördernde Einflussfaktoren	(-) Hochwasser vermindernde Einflussfaktoren
....			

Abb. 50 | Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser zum weiten Transfer (Bem. die Tabelle umfasste eine weitere Seite)

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

Name:..... Vorname:..... Klasse: .....

C) Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz

5. Fragen zum Ankreuzen (mit „Ja", „Nein", oder „weiss nicht" beantworten):

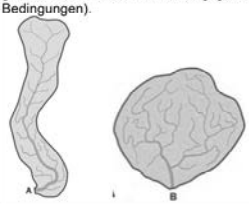
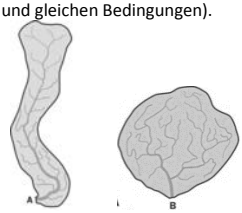
Item	Fragen	Ja	Nein	weiss nicht
B02	Nach lang anhaltendem Regen können Böden in der Regel kaum mehr Wasser aufnehmen und die Hochwassergefahr mindern.			
M01	In Fliessgewässern kann Schwemmholz und weiteres Material bei Brücken und Verengungen verkeilen und so zu einer Überschwemmung führen.			
T01	Seen können Hochwasser in Fliessgewässern dämpfen und verzögern.			
G01	In Waldgebieten hat der felsige Untergrund keinen Einfluss auf die Hochwasserbildung.			
T02	Bei starkem Regen ist bei Punkt A im Einzugsgebiet A die Hochwassergefahr grösser als bei Punkt B im Einzugsgebiet B (bei gleicher Fläche und gleichen Bedingungen). 			
B01	Bei Niederschlagsbeginn können trockene Böden mehr Niederschlagswasser aufnehmen als angefeuchtete Böden.			
G02	Lockergestein (z.B. Steine, Kies, Sand) kann starken Regen zwischenspeichern und die Hochwassergefahr so vermindern.			
W02	Die Höhe der Nullgradgrenze (z.B. auf 1'500 m ü.M.) hat Einfluss auf die Hochwassersituation in der Schweiz.			
V01	Nach lang anhaltenden Niederschlägen kann Wald in der Regel die Hochwassergefahr kaum mehr vermindern.			
M02	Bei gleicher Hangneigung fliesst in Siedlungsgebieten das Niederschlagswasser in der Regel direkter und schneller ab, als in landwirtschaftlich genutzten Gebieten.			
W01	In der Schweiz sind Hochwasser im Winter häufiger als im Sommer.			
V02	Laub und Humus auf dem Waldboden vermindern die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und erhöhen so Hochwasser.			

Abb. 51 | Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz

Item	Fragen	Ja	Nein	AFB	Begründung
W01	In der Schweiz sind Hochwasser im Winter häufiger als im Sommer.		x	I	Verlangt das Wissen zur Niederschlagsform und dessen Abflussverhalten im Winter. So wird der Niederschlag im Winter vermehrt in Form von Schnee zwischengespeichert ohne direkt abzufließen.
W02	Die Höhe der Nullgradgrenze (z. B. auf 1'500 m ü.M.) hat Einfluss auf die Hochwassersituation in der Schweiz.	x		II	Das Wissen zu Starkniederschlag muss auf die Situation in der Schweiz bei unterschiedlicher Höhe der Nullgradgrenze angewendet werden. So vermindert eine tiefe Nullgradgrenze zwischenzeitlich die Hochwassergefahr, da der Niederschlag auf einer größeren Fläche zwischengespeichert wird und nicht direkt abfließt.
T01	Seen können Hochwasser in Fließgewässern dämpfen und verzögern.	x		I	Verlangt das Wissen zum See als Zwischenspeicher von abfließendem Wasser.
T02	Bei starkem Regen ist bei Punkt A im Einzugsgebiet A die Hochwassergefahr größer als bei Punkt B im Einzugsgebiet B (bei gleicher Fläche und gleichen Bedingungen). 		x	II	Das Wissen zur Form des Einzugsgebiets muss auf den Abfluss beim Punkt A und B angewendet werden. Beim Punkt B fließt das Wasser aufgrund gleich langer Fließstrecken gleichzeitig zusammen. Beim Punkt A fließt das Wasser aufgrund unterschiedlich langer Sammelwege zeitlich verteilter ab.
V01	Nach lang anhaltenden Niederschlägen kann Wald in der Regel die Hochwassergefahr kaum mehr vermindern.	x		I	Verlangt das Wissen zur abnehmenden Wasseraufnahmefähigkeit des Waldes bei langanhaltenden Niederschlägen.
V02	Laub und Humus auf dem Waldboden vermindern die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens und erhöhen so Hochwasser.		x	II	Das Wissen zur Versickerung und Speicherung von Wasser im Boden muss auf die Situation von Laub und Humus beim Waldboden und deren Einfluss auf Hochwasser angewendet werden. Auflagehorizont und Humus sind im Wald locker und erleichtern das Versickern von Wasser.
B01	Bei Niederschlagsbeginn können trockene Böden mehr Niederschlagswasser aufnehmen als angefeuchtete Böden.		x	I	Verlangt das Wissen zur Versickerung von Wasser in trockenen Böden. Der Niederschlag kann in anfänglich ausgetrockneten Böden kaum versickern, das Wasser fließt oberflächlich ab.
B02	Nach lang anhaltendem Regen können Böden in der Regel kaum mehr	x		II	Das Wissen zur Wasseraufnahmefähigkeit

Item	Fragen	Ja	Nein	AFB	Begründung
	Wasser aufnehmen und die Hochwassergefahr mindern.				von Böden muss auf langanhaltenden Regen, den dadurch erhöhten Grundwasserspiegel und Oberflächenabfluss und die ansteigende Hochwassergefahr angewendet werden (gesättigter Boden ≠ Schwamm).
G01	In Waldgebieten hat der felsige Untergrund keinen Einfluss auf die Hochwasserbildung.		x	II–III	Das Wissen zum Einfluss des Waldbodens muss in Bezug zum felsigen Untergrund und zur Hochwasserbildung angewendet werden. Felsiger Untergrund ist auch mit Wald und Waldboden für die Tiefensickerung und Zwischenspeicherung von Wasser bedeutend.
G02	Lockergestein (z. B. Steine, Kies, Sand) kann starken Regen zwischenspeichern und die Hochwassergefahr so vermindern.	x		I	Verlangt das Wissen zur guten Tiefensickerung und Zwischenspeicherung von Wasser in Lockergestein.
M01	In Fließgewässern kann Schwemmholz und weiteres Material bei Brücken und Verengungen verkeilen und so zu einer Überschwemmung führen.	x		I	Verlangt das Wissen zur Verklausung in Fließgewässern. Dabei wird das Wasser durch das verkeilte Material gestaut und verlässt das Gerinne seitlich.
M02	Bei gleicher Hangneigung fließt in Siedlungsgebieten das Niederschlagswasser in der Regel direkter und schneller ab, als in landwirtschaftlich genutzten Gebieten.	x		II	Das Wissen zu Oberflächenabfluss muss auf unterschiedliche Oberflächen angewendet werden. So fließt in Siedlungsgebieten anteilmäßig mehr Wasser oberflächlich ab als in landwirtschaftlich genutzten Gebieten.

Abb. 52 | Lösungsraster mit Begründungen zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Schweiz (AFB = Anforderungsbereich, vgl. Tab. 1)

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

Name:..... Vorname:..... Klasse: .....

D) Fragebogen zur Motivation

1. Kreuzen Sie zu jeder Frage jene Zahl an, die auf Sie am besten zutrifft. Alle Fragen beziehen sich auf die Aufgabe 3 zur Bildanalyse.

Fragen	Trifft zu (1)	Trifft eher zu (2)	Trifft einiger-massen zu (3)	Trifft eher nicht zu (4)	Trifft nicht zu (5)
1. Ich mag Aufgaben wie die Bildanalyse, bei denen man etwas herausfinden kann. (I)					
2. Ich glaube der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein. (E)					
3. Wahrscheinlich werde ich diese Aufgabe nicht schaffen. (E)					
4. Bei dieser Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt. (I)					
5. Ich fühle mich unter Druck, bei dieser Aufgabe gut abschneiden zu müssen. (M)					
6. Diese Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich. (H)					
7. Nach dem Lesen der Instruktion scheint mir diese Aufgabe sehr interessant. (I)					
8. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde. (H)					
9. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte (M)					
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen. (H)					
11. Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spass. (I)					
12. Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen. (M)					
13. Ich glaube das kann jeder schaffen (E)					
14. Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht. (E)					
15. Wenn ich diese Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein. (H)					
16. Wenn ich an diese Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt. (I)					
17. Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten. (I)					
18. Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich. (M)					

Abb. 53 | Erhebungsinstrument D Standardisierter Fragebogen zur Motivation (angepasst nach RHEINBERG, VOLLMEYER und BURNS (2001) mit 18 Items zu den vier Komponenten der aktuellen Motivation in Lern- und Leistungssituationen: Misserfolgsbefürchtung (M), Erfolgswahrscheinlichkeit (E), Interesse (I) und Herausforderung (H)

E) Fragebogen zum Vorwissen und unterrichtsbezogenen und didaktischen Einflüssen

5. Welche Vorkenntnisse und Erfahrungen zu Hochwasser haben Ihnen beim Lösen der Fragestellungen geholfen?

Ja	Nein	Vorkenntnisse und Erfahrungen	Erklärung/Begründung kurz angeben
☐	☐	a) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse an Fliessgewässern und Seen im allgemeinen	
☐	☐	b) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse mit Hochwasser	
☐	☐	c) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus Medien (z.B. Zeitungen, Fernsehen, Internet, Radio)	
☐	☐	d) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus dem bisherigen Schulunterricht	
☐	☐	e) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus der Doppellektion Geografie zu Hochwasser	

6. Was hat Ihnen aus dem Unterricht für die Analyse der beiden Fotos sehr geholfen? Mehrere Möglichkeiten können angekreuzt werden:

Ja	Nein	Unterrichtsbezogene und didaktische Einflüsse	Erklärung/Begründung kurz angeben
☐	☐	a) Erklärungen im Text (Arbeitsblatt)	
☐	☐	b) Fotos auf Arbeitsblatt und PPT	
☐	☐	c) Foto von Sedrun	
☐	☐	d) Vergleich der verschiedenen Täler im Foto von Sedrun	
☐	☐	e) Erklärungen der Lehrperson	
☐	☐	f) Das Dispositionsmodell mit der Unterscheidung von Grunddisposition, variable Disposition und auslösendem Ereignis.	
☐	☐	g) Ihre aktive Beteiligung an der Diskussion zu Hochwasser ⇨ *Falls ja, für welche Phase des Unterrichts trifft das vorwiegend zu? (z.B. Einstiegsphase, Sicherungsphase):* ……	
☐	☐	h) Film zu Hochwasser	
☐	☐	i) Diskussionen in der Klasse zu Fragen der Lehrperson und Mitschülern. ⇨ *Falls ja, für welche Phase des Unterrichts trifft das vorwiegend zu? (z.B. Einstiegsphase, Sicherungsphase):* ……	

7. Fragen zur Schullektion mit der Lernumgebung

	trifft zu (1)	trifft eher zu (2)	trifft eher nicht zu (3)	trifft nicht zu (4)
a) Waren die Texte in den Unterlagen verständlich?				
b) War die Arbeit mit den Unterlagen interessant und hat zum Denken angeregt?				
c) Hat es Sie überrascht, wie viele Faktoren Hochwassersituationen beeinflussen?				
d) Haben Sie verstanden, wie Hochwasser entstehen?				
e) Ist das Verständnis der Hochwasserentstehung aus ihrer Sicht wichtig?				

Abb. 54 | Erhebungsinstrument E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen (Bem. Die Fragen 5 a bis d) wurden bei den drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3 gestellt, die Fragen 5e) und 6 wurden bei t2 und t3, die Frage 7 nur bei t2. Die Frage 6d) wurde nur in der EG gestellt)

Institut für Forschung, Entwicklung und Evaluation IFEE
Matthias Probst, Vorerhebung t1 Vers.C_A2.6.2016

PHBern
Pädagogische Hochschule

F) Fragen zur Person

1. Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich

2. Geburtsdatum: .....

3. a) Nationalität: .....

   b) Muttersprache: .....

   c) Seit wann leben Sie in der Schweiz? .... Jahren

5 Haushalt
   a) Wie viele Personen leben im Haushalt, ausser Ihnen? .....

   b) Sie wohnen in ☐ einem Haus mit Garten ☐ einer Wohnung ☐ anderes:.....

   c) Sie wohnen in ☐ der Stadt ☐ der Agglomeration ☐ einem Dorf ☐ anderes.....

6. Wie oft verbringen Sie mit Familie oder Freunden die Freizeit im Freien? (z.B. Skifahren, Wandern, Velofahren)	täglich (4)	1x wöchentlich (3)	1x monatlich (2)	nie (1)
7. Wie informieren Sie sich über tagesaktuelle Themen? (mehrere Ankreuzungen sind möglich)	Zeitungen (1)	Radio (2)	Fernsehen (3)	Internet (4)
8. Wie häufig informieren Sie sich in Zeitungen, Radio, Internet, Fernsehen über tagesaktuelle Themen?	täglich (4)	1x wöchentlich (3)	1x monatlich (2)	nie (1)
9. Wie häufig diskutieren Sie zu Hause oder mit Freunden tagesaktuelle Themen aus Politik, Gesellschaft oder Wirtschaft?	täglich (4)	1x wöchentlich (3)	1x monatlich (2)	nie (1)
10. In den Massenmedien lesen Sie Berichte zu Naturgefahren und Hochwasser	trifft zu (1)	trifft eher zu (2)	trifft eher nicht zu (3)	trifft nicht zu (4)
11. Wie gut fühlen Sie sich über das Thema Hochwasser informiert?	sehr gut (1)	gut (2)	mittel (3)	schlecht (4)
12. Der Themenbereich Naturgefahren und Hochwasser interessieren Sie.	trifft zu (1)	trifft eher zu (2)	trifft eher nicht zu (3)	trifft nicht zu (4)
13. Mit dem Thema Hochwasser verbindet Sie eine persönliche Betroffenheit durch eigene Erfahrungen/Erlebnisse oder in ihrem Bekanntenkreis.	trifft zu (1)	trifft eher zu (2)	trifft eher nicht zu (3)	trifft nicht zu (4)
14. Die Hochwassergefahr verändert sich mit dem Klimawandel. Bereitet Ihnen das Sorgen?	keine Sorgen (1)	wenig Sorgen (2)	einige Sorgen (3)	grosse Sorgen (4)
15. Das Thema Hochwasser haben Sie im Schulunterricht bereits behandelt.	trifft zu (1)	trifft eher zu (2)	trifft eher nicht zu (3)	trifft nicht zu (4)

Abb. 55 | Erhebungsinstrument F Personen- und umfeldbedingte Faktoren (einmalig bei Messzeitpunkt t1 eingesetzt)

7.2.4 Güte der Messinstrumente

Wie gut sich die entwickelten Fragebogen für den Untersuchungszweck eignen, kann mit den drei **Gütekriterien** Objektivität, Validität und Reliabilität überprüft werden (ROST 2004, S. 31). Die drei Gütekriterien waren in dieser Studie leitend für die Entwicklung und Überprüfung der Erhebungsinstrumente sowie die Durchführung der Erhebung in den vier gymnasialen Klassen.

7.2.4.1 Überprüfung der Objektivität

Unter der **Objektivität** eines wissenschaftlichen Tests versteht man die Unabhängigkeit der Ergebnisse von sämtlichen Einflüssen außerhalb der untersuchten Gruppe oder Person (ROST 2004). Eine hohe Objektivität wird erreicht, wenn das Messergebnis unabhängig ist von Durchführungsort, Situation und Untersuchungsleitung. Die Objektivität einer wissenschaftlichen Untersuchung umfasst drei Bereiche: die Durchführungsobjektivität, die Auswertungsobjektivität und die Interpretationsobjektivität.

Die **Durchführungsobjektivität** bezieht sich auf die Konstanz der Untersuchungsbedingungen, d. h. sie verlangt eine hohe Unabhängigkeit der Messergebnisse von der Untersuchungsleitung und
-situation (RAMMSTEDT 2014, S. 2). Die Durchführungsobjektivität lässt sich am besten gewährleisten durch eine maximale Standardisierung der Untersuchungssituation.
Die Durchführungsobjektivität wurde in der vorliegenden Wirksamkeitsstudie wie folgt standardisiert:

- Die Durchführungsleitung war durch mich und die Hilfsassistentin in allen vier Klassen und bei allen drei Messzeitpunkten gleich besetzt.
- Die fünfminütige Information vor der jeweiligen Erhebung wurde durch die Durchführungsleitung in jeder Klasse und bei jedem Messzeitpunkt inhaltlich und chronologisch gleich vorgenommen.
- Der Ablauf der Erhebung (Abgabe von Teilbefragungen, spezielle Filzstifte für die Fotoanalyse etc.) verlief in allen Klassen und an allen Messzeitpunkten identisch.
- Alle Erhebungen fanden im Schulzimmer der Klassen und in gleicher Sitzordnung statt, damit alle Probanden den Fragebogen in ihrer gewohnten Umgebung und eigenständig ausfüllen.
- Die 12 Items beim Fragebogen zu Hochwasser wurden in jeder Klasse und bei jedem Messzeitpunkt variiert, damit die Probanden nicht die Reihenfolge der Items auswendig lernen, und um Absprachen zwischen den Klassen auszuschließen.

Auswertungsobjektivität meint, dass unterschiedliche auswertende Personen zu denselben Ergebnissen kommen (SCHELTEN 1997, S. 125). Bei standardisierten Fragebogen ist die Auswertungsobjektivität grundsätzlich hoch, da angekreuzte Antworten der Probanden auf gleiche Weise ausgewertet werden. In der Wirksamkeitsstudie trifft dies auf die standardisierten Fragebogen zu, d. h. die Erhebungsinstrumente C, D, E und F. Bei den Erhebungsinstrumenten A und B müssen für die Codierung die offenen Antworten den verschiedenen Hochwasserfaktoren zugeordnet werden. Um eine möglichst eindeutige Codierung und damit eine hohe Auswertungsobjektivität zu erreichen, wurde ein Kategorisierungsraster mit 40 Hochwasserfaktoren geordnet nach 6 Kategorien (Subskalen) entwickelt (Abb. 48). Das Raster wurde von drei Hydrologie-Experten vom geographischen Institut der Universität Bern fachlich geprüft. Die Auswertungsobjektivität mit dem Kategorisierungsraster wurde bei einer Test-Datenerfassung quantitativ überprüft. Ich als Untersuchungsleiter und die geschulte und unabhängige Hilfsassistentin codierten die Antworten zum Erhebungsinstrument B am Messzeitpunkt t1von acht Probanden (je 2 Probanden pro Klasse). Von den acht Probanden mussten 226 Antworten dem Kategorienraster mit 546 Feldern zugeordnet werden. Von 226 Antworten wurden 7 unterschiedlich zugeordnet, d. h. 3.1 Prozent. Bei der Datenerfassung an den Messzeitpunkten t2 und t3 ist von weniger Abweichungen auszugehen, da an diesen Zeitpunkten die Probanden präziser formulierten und dies eine klare Zuordnung vereinfacht. Zudem wurde entschieden, unklare Kodierungen bei der Erfassung zu markieren und bis zur Konsensfindung zwischen mir und der geschulten Person auszudiskutieren. Aufgrund der wenigen Abweichungen bei der Test-Erhebung erschien dieses aufwendige Vorgehen als durchführbar und zielführend, um auch bei den Erhebungsinstrumenten A und B eine möglichst hohe Auswertungsobjektivität zu erreichen.

Interpretationsobjektivität meint, dass die Deutung der Messergebnisse unabhängig von der interpretierenden Person ist (BÜTTNER 2009, S. 43) Dieses Kriterium ist v. a. für die Auswertung offener Antworten relevant, wie dies bei den Erhebungsinstrumenten A und B der Fall ist. Für eine möglichst objektive Interpretation und Zuordnung der offenen Antworten bietet hier der Kategorisierungsraster zu Hochwasser (Abb. 48) wissenschaftlich geprüfte und klar voneinander abgegrenzte Kriterien.

Mit der unabhängigen Hilfsassistentin wurde detailliert abgesprochen, was die Erhebungsinstrumente der Studie messen und wie die offenen Antworten dem Kategorisierungsraster zuzuordnen sind. Dabei wurden auch Regeln vereinbart, so durfte jede Antwort nur einmal und so präzis wie möglich kodiert werden, z. B. die Antwort „Regen“ nicht der „Witterung“ sondern präziser dem „Niederschlag“ zuordnen (vgl. Abb. 48). Die oben beschriebene Test-Datenerfassung zeigte nur eine geringe Abweichung zwischen den Codierungen der unabhängigen Hilfsassistentin

und dem Autor, wodurch von einer hohen Interpretationsobjektivität ausgegangen werden kann.

7.2.4.2 Überprüfung der Validität

Die **Validität** ist neben der Objektivität und der Reliabilität ein weiteres Gütekriterium für Testverfahren. Validität bezeichnet die Genauigkeit, mit der dasjenige Merkmal gemessen wird, das auch gemessen werden soll (KRÜGER ET AL. 2014, S. 107). In der Regel werden drei Validitätsarten unterschieden: die Inhaltsvalidität, die Kriteriumsvalidität und die Konstruktvalidität.

Bei der **Inhaltsvalidität** wird überprüft, inwieweit die Inhalte des Tests das zu messende Konstrukt erfassen (KRÜGER ET AL. 2014, S. 109). In der vorliegenden Studie sollten die Items daher die relevanten Faktoren zur Hochwasserentstehung abdecken. Folgendes Vorgehen berücksichtigte die Inhaltsvalidität während der Entwicklung der Erhebungsinstrumente:

- Erstellung der Erhebungsinstrumente: Das zu messende Konstrukt „Hochwasserentstehung“ wurde einerseits inhaltlich umschrieben und strukturiert. Als Produkt entstand der Kategorisierungsraster mit 40 Hochwasserfaktoren gegliedert nach 6 Kategorien (Subskalen) Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch. Drei Hydrologie-Experten der Universität Bern überprüften das Raster. Andererseits wurde eine kompetenzorientierte Messung von Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser mit den Anforderungsbereichen I, II und III entworfen, mit Geographielehrpersonen und Geographiedidaktikerinnen diskutiert und in den Erhebungsinstrumenten A, B und C konkretisiert.
- Überprüfung der Erhebungsinstrumente: Einerseits überprüften 20 Hydrologie-Expertinnen und Experten der Universität Bern (Professoren, Post-Doktoranden, Doktoranden, Masterstudierende) die Items der Erhebungsinstrumente A, B und C sowie der Kategorisierungsraster zu Hochwasser. Andererseits wurde die Wirkung und Verständlichkeit der Items vom Erhebungsinstrument C auf vier Gymnasiastinnen und Gymnasiasten mit der Methode des „Laut Denkens“ überprüft (ROGERS, SHARP, PREECE 2011; KRÜGER ET AL. 2014, S. 179ff). Die Erhebungsinstrumente D, E und F konnten ausgehend von bereits validierten Vorgaben in anderen Studien entworfen werden. Eine Geographielehrperson und eine Geographiedidaktikerin prüften diese drei Erhebungsinstrumente.
- Überarbeitung der Erhebungsinstrumente: Die Weiterentwicklung der Erhebungsinstrumente basierte auf den Rückmeldungen der Expertinnen und Experten aus der Hydrologie, der Geographiedidaktik und der Unterrichtspraxis sowie der Schülerinnen und Schüler. So konnten beim Erhebungsinstrument

C aus den überprüften 26 Items diejenigen 12 Items ausgewählt werden, welche am aussagekräftigsten die sechs Subskalen zu Hochwasser sowie die Wissens- und Transferleistung berücksichtigen (Abb. 52).

- Erprobung der Erhebungsinstrumente: Ein Testlauf mit allen Erhebungsinstrumenten in einer gymnasialen Klasse zeigte die Umsetzbarkeit (z. B. Organisation, Zeit, Ablauf) einer Gesamterhebung auf und ermöglichte es, anschließend die Erfassung der Daten zu erproben. Nach der Erprobung wurden die Erhebungsinstrumente nur noch leicht angepasst.

Mit der **Kriteriumsvalidität** wird überprüft, wie groß der Zusammenhang der Testergebnisse mit anderen Informationen (Außenkriterium) ist, die für den Test relevant sind, z. B. Schulerfolg, Abstimmungsverhalten (RAMMSTEDT 2014, S. 17). Für die vorliegende Wirksamkeitsstudie wurde die Kriteriumsvalidität nicht überprüft, da Studien zur Transferleistung wenig und nur vage Hinweise zu relevanten Außenkriterien geben und daher eine begründete Auswahl von Außenkriterien unhaltbar wäre (KRÜGER ET AL. 2014, S. 114).

Bei der **Konstruktvalidität** werden theoretisch fundierte Hypothesen über das zu messende Konstrukt formuliert und empirisch überprüft (ROST 2004, S. 35). Der Schwerpunkt liegt in der theoretischen Klärung, was ein Test misst. Beispielsweise, ob die Erhebungsinstrumente den angenommenen Transfer von Hochwasserwissen auf andere Situationen tatsächlich erfassen. Die Konstruktvalidität ist in der vorliegenden Studie insofern berücksichtigt, als dass das zu messende theoretische Konstrukt „Transferleistung im Lernprozess“ mit einer lernpsychologischen, geographiedidaktischen und praxisorientierten Analyse (Kapitel 2 und 3) möglichst differenziert und zeitgemäß aufgearbeitet wurde und diese Grundlagen die Entwicklung der Erhebungsinstrumente bestimmten. Zudem prüft die Reliabilitätsanalyse im nächsten Kapitel auch die Item-Trennschärfe, entsprechend vorgeschlagener Methoden zur Überprüfung der Konstruktvalidität (Gerbing und Anderson 1988, S. 421). Auf eine umfassende Überprüfung der Konstruktvalidität wird an dieser Stelle verzichtet, da diese sehr aufwendig ist (Bortz, Döring 1995, S. 191), eindeutige Ergebnisse schwierig zu finden sind und die Interpretation letztlich subjektiv erfolgen muss (BÜTTNER 2009, S. 47).

7.2.4.3 Überprüfung der Reliabilität

Reliabilität meint die Genauigkeit und Zuverlässigkeit, mit der ein wissenschaftliches Messinstrument ein Merkmal misst (RAMMSTEDT 2014, S. 5). Eine hohe Reliabilität (= Wert 1) bedeutet, dass die Messung weitgehend frei von Zufallsfehlern ist und daher bei wiederholter Messung unter gleichen Rahmenbedingungen die gleichen Ergebnisse erzielt würden.

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde die **interne Konsistenz** der Items in den Erhebungsinstrumenten B, C und D mit **Cronbach's Alpha** berechnet. Die interne Konsistenz ist ein Maß dafür, wie die Items einer Skala miteinander zusammenhängen. So weist eine hohe interne Konsistenz darauf hin, dass die Items homogen sind und in etwa das Gleiche messen. Beim Test werden sämtliche Items eines Messinstruments miteinander korreliert. Alpha kann Werte zwischen Minus unendlich und 1 annehmen. Je nach Studie und Thema sind die Werte unterschiedlich zu deuten, wobei nur positive Werte sinnvoll interpretierbar sind. Verschiedene Quellen weisen darauf hin, dass Werte zwischen 0.6 und 0.95 auf eine mittlere bis gute Reliabilität hinweisen, d. h. die Items dieser Messinstrumente sind homogen und messen das Ähnliche (u.a. DARREN, MALLERY 2002, S. 231). Problematisch sind Werte über 0.95, da diese auf mehrere redundante Items hinweisen (STREINER 2003, S. 101). Die Interpretation von Werten zwischen 0 und 0.6 ist umstritten, da diese einerseits auf eine schlechte Reliabilität hinweisen und diese Messinstrumente eliminiert oder angepasst werden sollten. Andererseits wollen viele Messmodelle berechtigterweise den zu untersuchenden Inhalt vollständig erfassen (vgl. Inhaltsvalidität) und enthalten daher unterschiedliche Items, die zu einem tiefen Alpha-Wert führen. Diese Messmodelle sollten aufgrund der systematisch unterschätzten Reliabilität aber nicht vorschnell entfernt werden, da ihre Inhaltsvalidität hoch ist und sie explizit verschiedene und entferntere Kriterien messen wollen.

Die Überprüfung der **Reliabilität für die Bildanalyse 1 und 2 zu Hochwasserfaktoren** (Erhebungsinstrument B) ergeben ein Cronbach's α bei den Messzeitpunkten t1 von .66, t2 von .84 und t3 von .85 (Tab. 20). Der tiefere Wert im Pretest t1 kann dadurch erklärt werden, dass die Schülerinnen und Schüler vor der Intervention wenig zum Thema Hochwasser wussten. Die internen Konsistenzen der Subskalen Witterung, Topographie, Oberfläche, Boden, Geologie und Mensch liegen bei allen Messzeitpunkten nach Cronbach's α zwischen .731 und .893 und weisen damit auf eine mittlere bis gute Reliabilität hin.

Die Überprüfung der **Reliabilität für den Hochwasserfragebogen** (Erhebungsinstrument C) ergeben beim Messzeitpunkt t1 einen Cronbach's α von .04, bei t2 von .43 und bi t3 von .18 (Tab. 20). Die tiefen Werte drücken aus, dass die Items nicht sehr homogen sind und Unterschiedliches messen. Dies stimmt mit der Konstruktion und der Absicht des Fragebogens überein und liegt daher im erwarteten Bereich. Die 12 Items decken zur Hochwasserentstehung die sechs Kategorien Witterung, Topographie, Vegetation, Boden, Geologie und Mensch mit je einem Item zum „Wissen" (AFB I) und zur „Transferleistung" (AFB II und III) ab (vgl. Abb. 52). D. h. jedes Item misst einen anderen Aspekt der Wissens- und Transferleistung zu Hochwasserentstehung. Der höhere Wert bei t2 kann dadurch erklärt werden,

dass die Schülerinnen und Schüler direkt nach der Intervention mehr zur Hochwasserentstehung wussten. Der tiefe Wert bei t1 weist hingegen darauf hin, dass die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Studie weniger zu Hochwasserfaktoren wussten, so dass sie häufiger „weiß nicht“ [noch auszählen] angekreuzt und wahrscheinlich auch geraten haben; bei t1 wurde insgesamt 117 Mal „weiß nicht“ angekreuzt, bei t2 31 Mal und bei t3 28 Mal.

Die Motivation aller Schülerinnen und Schüler wurde einmalig bei der Vorerhebung t1 mit einer an die gymnasiale Stufe leicht angepassten Version des Fragebogens zur aktuellen Motivation (FAM) von RHEINBERG, VOLLMEYER und BURNS (2001) erfasst. Entsprechend den Vorgaben von FAM wurden die Items 3 und 14 umgepolt. Die **Reliabilität des Motivationsfragebogens** (Erhebungsinstrument D) nach Cronbach beträgt α = .67 (Tab. 20). Die internen Konsistenzen der Subskalen betragen für „Interesse“ α = .64, für „Herausforderung“ α = .45, für „Erfolgswahrscheinlichkeit2“ α = .81 und für „Misserfolgswahrscheinlichkeit“ α = .86. Diese Werte sind vergleichbar mit der Originalfassung von RHEINBERG, VOLLMEYER und BURNS (2001), nur der Wert für die Subskala „Herausforderung“ fällt tiefer aus. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass in der untersuchten Altersstufe (15 – 18 Jahre, Durchschnitt = 16.82 Jahre) sehr unterschiedlich auf Herausforderungen reagiert wird, einige eher gelassen und „cool“ andere eher motiviert und ehrgeizig. Der tiefe Wert für die interne Konsistenz spricht jedenfalls dafür, dass die Jugendlichen auf die vier Items zu „Herausforderungen“ unterschiedlich reagiert haben, resp. diese Items nicht das Gleiche messen.

Die Alpha-Werte zu den drei Erhebungsinstrumenten B, C und D stimmen mit ihren Absichten und ihrer Konstruktion überein. Die Werte beim Fragebogen zur Motivation und bei der Bildanalyse zeigen eine mittlere bis gute Reliabilität an, das heißt die Items sind homogen und messen etwas Ähnliches. Der Fragebogen erreicht tiefe Alpha-Werte, da jedes der 12 Items etwas Anderes zur Hochwasserentstehung misst.

Eine höhere Reliabilität könnte bei den Erhebungsinstrumenten B, C und D mit homogeneren Items und einer größeren Itemzahl erreicht werden. In Absprache mit der Leitung der Dissertation und dem statistischen Dienst der Universität Bern wurde entschieden, den Fragebogen unverändert zu lassen, da homogenere Items die inhaltliche Breite und damit die Aussagemöglichkeiten zu Ungunsten der Studie schmälert und eine größere Itemzahl die Erhebungsdauer strapaziert, so dass die Ergebnisse durch die Konzentrationsfähigkeit, Motivation und Ausdauer der Probanden erheblich beeinflusst würden.

Tab. 20 | Überprüfung der Reliabilität der Erhebungsinstrumente B, C und D an den drei Messzeitpunkten

Erhebungs-instrument	**Skala**	**Messzeit-punkt**	**Anzahl Items**	**Reliabilität** (Cronbachs Alpha)
B) Bildanalyse zu Hochwasser	Gesamt	t1	240	.66
		t2	240	.84
		t3	240	.85
	Witterung	t1	48	.87
		t2	48	.85
		t3	48	.86
	Topographie	t1	42	.76
		t2	42	.79
		t3	42	.78
	Oberfläche	t1	48	.74
		t2	48	.79
		t3	48	.78
	Boden	t1	36	.80
		t2	36	.89
		t3	36	.82
	Geologie	t1	24	.77
		t2	24	.73
		t3	24	.74
	Mensch	t1	42	.85
		t2	42	.84
		t3	42	.87
C) Standardisierter Fragebogen zu Hoch-wasser	Gesamt	t1	12	.04
		t2	12	.43
		t3	12	.18
D) Standardisierter Fragebogen zur Motivation	Gesamt	t1	18	.67
	Interesse	t1	5	.64
	Herausforderung	t1	4	.45
	Erfolgswahrschein-lichkeit	t1	4	.81
	Misserfolgswahr-scheinlichkeit	t1	5	.86

7.3 Statistische Analysen – Tests und Ausgangssituation

In diesem Kapitel werden einerseits die **statistischen Testverfahren** kurz erläutert (Kapitel 7.3.1), welche ausgehend von den Fragestellungen der quantitativen Wirksamkeitsstudie und dem *Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design* festgelegt wurden. Andererseits werden die **Ausgangssituation** für diese Studie in den beiden Gruppen EG und VG bezüglich ihrer Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser geklärt (Kapitel 7.3.2).

Die Ergebnisse der statistischen Analyse bezüglich des Wissens zu Hochwasser werden in Kapitel 7.4 ausgeführt, bezüglich der Transferleistung zu Hochwasser in Kapitel 7.5.

7.3.1 Fragestellungen und statistische Tests

Das entwickelte Lernmedium WASSERverstehen (Kapitel 6), der Unterrichtsverlauf zum Thema Hochwasser (Kapitel 7.2.2) und die entworfenen Erhebungsinstrumente (Kapitel 7.2.3) bieten die Grundlagen, um die Wirksamkeit des Lernansatz AEL (Kapitel 5.1) auf die Wissenskonstruktion und die Transferleistung im Geographieunterricht der Sekundarstufe II zu untersuchen. Bei der quantitativen Wirksamkeitsstudie stehen folgende Forschungsfragen im Zentrum:

- Wie groß sind der **Wissenszuwachs** und die **Behaltensleistung** zu Hochwasser mit der spezifisch entwickelten Lernumgebung nach dem Lernansatz AEL in einer Experimentalgruppe im Vergleich zu einer Vergleichsgruppe mit der gleichen Lernumgebung ohne Lernansatz AEL?

- Wie groß sind die **Transferleistung** und **die Beständigkeit der Transferleistung** zu Hochwasser in der Experimentalgruppe im Vergleich zur Vergleichsgruppe?

Die abhängigen Variablen Wissen und Transferleistung werden mit den Instrumenten „Hochwasserfragebogen“, „spontane Aufzählung zu Hochwasserwissen“ und der „Bildanalyse“ erhoben (Kapitel 7.2.3).

Mit dem ***Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design*** (Tab. 17) kann der Einfluss der Faktoren **Messzeitpunkt** (t1, t2, t3) und **Gruppenzugehörigkeit** (Experimentalgruppe EG, Vergleichsgruppe VG) auf die Veränderung von Wissen und Transferleistung betrachtet werden, sowie deren **Interaktion**. Mit diesem Verfahren können zur Wissens- und Transferleistung die Veränderungen in beiden Gruppen sowie Unterschiede zwischen den Gruppen über die drei Messzeitpunkte bestimmt werden. Für die Analyse dieser Aspekte werden drei statistischen Tests durchgeführt,

der t-Test für abhängige Stichproben, die univariate Varianzanalyse (ANOVA) und der t-Test für unabhängige Stichproben.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** misst die Veränderungen in einer Gruppe über die Zeit. Mit diesem Verfahren wird die Veränderung des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser der Gruppe EG und der Gruppe VG zwischen den Zeitpunkten t1 und t2, t1 und t3 sowie t2 und t3 untersucht.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** testet die Unterschiedlichkeit von zwei oder mehreren Gruppen hinsichtlich einer abhängigen Variablen über die Zeit (Backhaus u.a. 2016, S. 216). Für die vorliegende Studie misst dieses Verfahren, ob sich die Gruppen EG und VG unterscheiden bezüglich der Veränderung des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser (abhängige Variablen) zwischen den Zeitpunkten t1 und t2, t1 und t3 sowie t2 und t3

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt, ob sich die Gruppen bei den Messzeitpunkten signifikant unterscheiden. Bei der vorliegenden Studie können damit die Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich ihres Wissen und ihrer Transferleistung zu Hochwasser an den Messzeitpunkten t1, t2, und t3 bestimmt werden.

Die Ergebnisse der drei statistischen Tests werden in den Kapitel 7.4, 7.5 und 7.6 vorgestellt und interpretiert.

7.3.2 Ausgangsbedingungen

Das Ziel des Vortests bei t1 ist es, die vorunterrichtliche Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser in den beiden Gruppen EG und VG bestimmen, um Klarheit bezüglich der Ausgangsbedingungen in den beiden Gruppen zu erhalten. Die Ergebnisse sind bedeutend für die Interpretation der Gruppenvergleiche bei t2 und t3.

Beim Vortest t1 zeigte der t-Test für unabhängige Stichproben, dass sich die Gruppen EG und VG bezüglich des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser bei allen Erhebungsinstrumenten nicht signifikant unterscheiden (vgl. Abb. 56, Abb. 58 und Tab. 21). Es kann also davon ausgegangen werden, dass die EG und VG mit ähnlichen geographiespezifisch kognitiven Voraussetzungen zum Thema Hochwasser in die Untersuchung starten und Veränderungen von Wissen und Transferleistung im Studienverlauf auf die Intervention bezogen werden dürfen.

Tab. 21 | Vergleich der Gruppen EG und VG beim Messzeitpunkt t1 bezüglich des Wissens und der Transferleistung zu Hochwasser

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben beim Messzeitpunkt t1. G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzintervall, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzintervall, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Messinstrumente	G	M	SD	U	O	T	Sig
Hochwasserfragebogen Wissen t1	EG	3.78	1.18	3.41	4.15	-1.07	.288
	VG	4.06	.92	3.73	4.44		
Hochwasserfragebogen Transfer	EG	3.19	1.23	2.77	3.61	-.68	.490
	VG	3.39	1.15	2.99	3.79		
Spontanes Wissen zu Hochwasser	EG	5.78	2.181	5.100	6.463	.067	.947
	VG	5.75	1.680	5.107	6.393		
Bildanalyse 1 Transfer	EG	10.44	3.519	9.158	11.717	.875	.385
	VG	9.67	3.719	8.460	10.873		
Bildanalyse 2 Transfer	EG	10.63	3.793	9.06	12.19	-.569	.571
	VG	10.89	5.247	9.41	12.37		

7.4 Veränderung des Wissens zu Hochwasser – Ergebnisse und Interpretation

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse und deren Interpretationen aus dem Fragebogen Hochwasser zum Wissen (Erhebungsinstrument C) und aus der spontanen Aufzählung von Hochwasserfaktoren (Erhebungsinstrument A) ausgeführt.

Im Sinne der einfacheren Nachvollziehbarkeit werden die Interpretationen direkt bei der Darstellung der Teilergebnisse diskutiert. Eine zusammenfassende Einordnung und Interpretation der wichtigsten Ergebnisse aus der quantitativen Studie wird schließlich in Kapitel 7.7 vorgenommen.

7.4.1 Analyse des Fragebogens zum Hochwasserwissen

Der Fragebogen zu Hochwasser (vgl. Kapitel 7.2.3) erfasst das Wissen zu Hochwasser in den beiden Gruppen EG und VG mit sechs Fragen zum Anforderungsbereich I (AFB I) an drei Messzeitpunkten. Die Wissensveränderung über die drei Messzeitpunkte t1, t2 und t3 wird statistisch geprüft mit einem t-Test für abhängige Stichproben, einem t-Test für unabhängige Stichproben und einer Varianzanalyse (ANOVA). Die standardisierten Residuen für t1, t2 und t3 sind normal verteilt.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zeigt einen hochsignifikanten Wissenszuwachs von t1 zu t2, sowie von t1 zu t3 in den Gruppen EG und VG (Abb. 56 und Tab. 21). Der Wissenszuwachs in beiden Gruppen spricht für die Wirksamkeit des didaktisch optimierten Lernmaterials von WASSERverstehen. Das Lernmaterial scheint didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so zu berücksichtigen, dass das Wissen zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL bei t2 hochsignifikant zunimmt und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleibt.

Vom Messzeitpunkt t2 bis t3 sind die EG und VG auf ähnlichem Niveau, in der VG nimmt das Wissen jedoch geringfügig ab, in der EG geringfügig zu. Obschon diese Veränderungen nicht signifikant sind, ist doch bemerkenswert, dass während den zwei Monaten nach der Intervention zu Hochwasser das Wissen der EG zu Hochwasser leicht zunimmt und bei t3 erstmals den Mittelwert der VG übersteigt. Demgegenüber entspricht in der VG die leichte Wissensabnahme zu Hochwasser während den 2 Monaten nach dem Unterricht den Ergebnissen ähnlicher Lernprozessstudien (Reinfried 2010, REINFRIED ET AL. 2013) und liegt damit im erwarteten Bereich. Zwischen den Messzeitpunkten t2 und t3 dürfen die Veränderungen in den Gruppen EG und VG jedoch nicht überinterpretiert werden, da diese nicht signifikant sind.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG bezüglich der Wissensveränderung von t1 zu t2, t1 zu t3 und t2 zu t3 (Abb. 56 und Tab. 21). Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung ähnlich beeinflusst.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bezüglich des Wissens zu Hochwasser bei t1, t2 und t3. Für den Messzeitpunkt t1 bedeutet das Ergebnis, dass die beiden Gruppen EG und VG mit einem ähnlichen Wissensstand zu Hochwasser in die Untersuchung starten und die Gruppenzugehörigkeit damit keinen Einfluss auf die Ergebnisse bei den späteren Messzeitpunkten t2 und t3 hat. Das ähnliche Ergebnis

in den Gruppen EG und VG bestätigt die Schlussfolgerungen zur Wirksamkeit des Lernmaterials von WASSERverstehen (vgl. oben).

Die Untersuchung der **personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren** für das Wissen zu Hochwasser in Kapitel 7.6 (Tab. 33) zeigt, dass die Motivation zu signifikant höherer Wissensleistung bei t2 und t3 führt. Bei t3 erreichen zudem Schülerinnen und Schüler aus größeren Personenhaushalten (> 3.1 Personen pro Haushalt) und mit überdurchschnittlicher Interessiertheit und Informiertheit eine signifikant höhere Behaltensleistung von Wissen zu Hochwasser. Da sich die Gruppen EG und VG bezüglich dieser drei Einflussfaktoren nicht unterscheiden (Tab. 35), liefern diese personen- und umfeldbedingten Aspekte keine weiteren Hinweise für die Interpretation der Gruppenvergleiche in der Wirksamkeitsstudie.

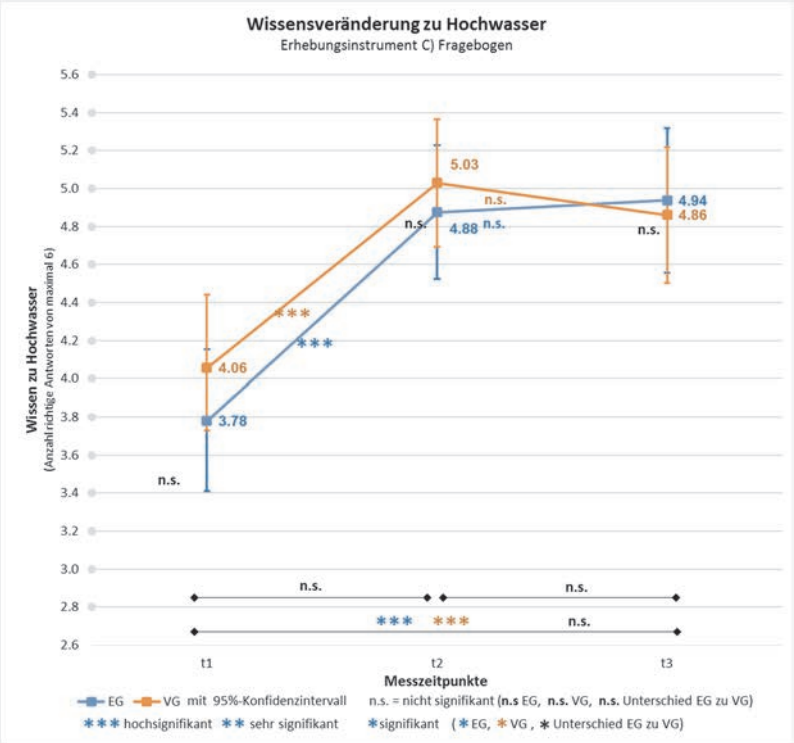


Abb. 56 | Wissensveränderung zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)
Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36)

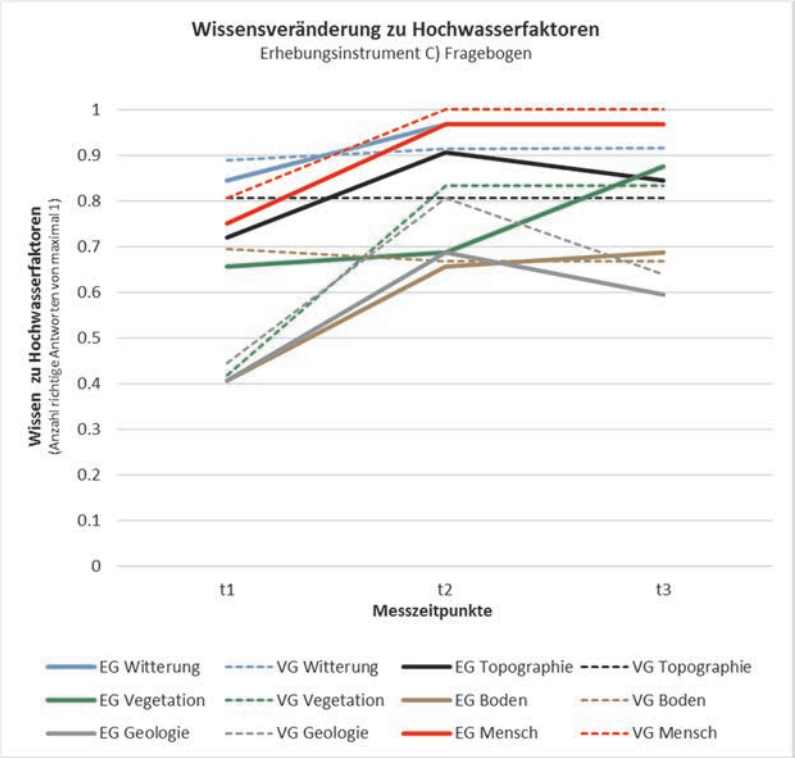


Abb. 57 | Wissensveränderung zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: In der EG ist von t2 zu t3 der Verlauf der Subskalen „Mensch“ und „Witterung identisch, daher ist der Verlauf der „Witterung“ im Diagramm nicht sichtbar.

Tab. 22 | Wissensveränderung zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte

Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben und der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, F_{t*G} = Mittelwertunterschied zwischen EG und VG über die Zeit, Eta^2 = Partielles Eta-Quadrat, a) Die Signifikanz (2-seitig), die Korrelation und T können nicht berechnet werden, da der Standardfehler der Differenz gleich 0 ist (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

Skalen	G	Mittelwerte und Standardabweichungen						t-Test für abhängige Stichproben			Varianzanalyse (ANOVA)		
		t1		t2		t3		t1–t2	t1-t3	t2–t3	t1 – t2	t1 – t3	t2 – t3
		M	SD	M	SD	M	SD	Sig	Sig	Sig	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2
Hauptskala													
alle Hochwasserfaktoren	EG	3.78	1.18	4.88	.87	4.94	1.10	.000***	.000***	.690	.237 .628 .004	1.435 .235 .021	.762 .386 .012
	VG	4.06	.92	5.03	1.10	4.86	1.05	.000***	.000***	.419			
Subskala Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien													
Witterung	EG	.84	.37	.97	.18	.97	.18	.103	.103	a)	.810 .37 .012	.847 .361 .013	.299 .587 .005
	VG	.89	.32	.91	.28	.92	.28	.711	.711	.571			
Vegetation	EG	.66	.48	.69	.47	.88	.37	.745	.017*	.056	6.458 .013* .089	2.166 .146 .032	2.643 .109 .038
	VG	.42	.50	.83	.38	.83	.38	.001***	.000***	1.000			
Geologie	EG	.41	.50	.69	.47	.59	.50	.010**	.110	.374	.343 .560 .005	.002 .963 .000	.251 .618 .004
	VG	.44	.50	.81	.40	.64	.49	.000***	.051	.110			
Topografie	EG	.72	.46	.91	.30	.84	.37	.032*	.161	.325	2.329 .132 .034	1.127 .292 .017	.368 .546 .006
	VG	.81	.40	.81	.40	.81	.40	1.000	1.000	1.000			
Boden	EG	.41	.50	.66	.48	.69	.47	.058	.037*	.572	3.199 .078 .046	4.555 .037* .065	.100 .753 .002
	VG	.69	.47	.67	.48	.67	.48	.768	.711	1.000			
Mensch	EG	.75	.44	.97	.18	.97	.18	.006**	.006**	a)	.059 .808 .001	.059 .808 .001	.059 .808 .001
	VG	.81	.40	1.00	.00	1.00	.00	.006**	.006**	a)			

Tab. 23 | Gruppenunterschiede beim Wissen zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte. Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzinterval, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzinterval, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Skalen	G	t-Test für unabhängige Stichproben																	
		t1						t2						t3					
		M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig
Hauptskala																			
alle Hochwasser-faktoren	EG	3.78	1.18	3.41	4.15	-1.07	.288	4.88	.87	4.52	5.23	-.63	.531	4.94	1.11	4.56	5.32	.29	.771
	VG	4.06	.92	3.73	4.44			5.03	1.10	4.70	5.37			4.86	1.05	4.50	5.22		
Subskala Kategorien																			
Witterung	EG	.84	.37	.72	.97	-.54	.590	.97	.18	.88	1.05	.93	.355	.97	.18	.89	1.05	.90	.370
	VG	.89	.32	.77	1.00			.91	.28	.83	1.00			.92	.28	.84	.99		
Vegetation	EG	.66	.48	.48	.83	2.01	.049*	.69	.47	.54	.84	-1.41	.162	.88	.37	.75	1.00	.48	.634
	VG	.42	.50	.25	.58			.83	.38	.69	.98			.83	.38	.71	.95		
Geologie	EG	.41	.50	.23	.58	-.31	.755	.69	.47	.53	.84	-1.12	.269	.59	.50	.42	.77	-.38	.707
	VG	.44	.50	.28	.61			.81	.40	.66	.95			.64	.49	.48	.80		
Topografie	EG	.72	.46	.57	.87	-.83	.407	.91	.30	.78	1.03	1.17	.248	.84	.37	.71	.98	.41	.685
	VG	.81	.40	.66	.95			.81	.40	.69	.92			.81	.40	.68	.93		
Boden	EG	.41	.50	.24	.58	-2.46	.017*	.66	.48	.49	.83	-.09	.929	.69	.47	.52	.86	.18	.857
	VG	.69	.47	.53	.86			.67	.48	.51	.83			.67	.48	.51	.83		
Mensch	EG	.75	.44	.60	.90	-.55	.588	.97	.18	.93	1.01	-1.06	.292	.97	.18	.93	1.01	-1.06	.292
	VG	.81	.40	.67	.95			1.00	.00	.96	1.04			1.00	.00	.96	1.04		

Die **Veränderung des Wissens** zu Hochwasser wird im Fragebogen anhand der **sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren** (Subskala) Witterung, Vegetation, Geologie, Topographie, Boden und Mensch erfasst. Das Wissen zu diesen sechs Kategorien wird mit je einer Frage zum Anforderungsbereich I (AFB I) bei allen Messzeitpunkten gemessen. Der Verlauf der einzelnen Kategorien ist zurückhaltend zu interpretieren, weil diese nur mit einem Item im Fragebogen gemessen werden. Ihre Veränderungen (Abb. 57 und Tab. 22 und 23) können jedoch Hintergründe zum Verlauf des Hochwasserwissens in der Hauptskala (Abb. 56) liefern und so eine differenziertere Interpretation ermöglichen.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zeigt zu den Kategorien (Subskala) von t1 zu t2, dass in der Gruppe EG die Kategorien Mensch und Geologie sehr signifikant und die Topographie signifikant zunehmen. In der VG weisen Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Geologie und Vegetation eine hochsignifikante und zur Kategorie Mensch eine sehr signifikante Zunahme auf. Hochwasserfaktoren dieser Kategorien (Subskala) tragen in den Gruppen jeweils zur hochsignifikanten Zunahme des Hochwasserswissens (Hauptskala) von t1 zu t2 bei (Abb. 56 und Tab. 22). Auffallend ist, dass Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Mensch und Geologie in beiden Gruppen für die hochsignifikante Zunahme des Hochwasserwissens relevant sind. Dies weist darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen das Wissen zu Hochwasserfaktoren dieser beiden Kategorien wirksam differenziert und anreichert (*Conceptual Change*), unabhängig vom Lernansatz AEL.

Von t1 zu t3 nehmen in der EG die Kategorien Mensch sehr signifikant, Boden und Vegetation signifikant zu. In der VG zeigen von t1 zu t3 die Kategorien Vegetation eine hochsignifikante und Mensch eine sehr signifikante Zunahme. Hochwasserfaktoren dieser Kategorien (Subskala) tragen in den Gruppen jeweils zur hochsignifikanten Zunahme des Hochwasserswissens (Hauptskala) von t1 zu t3 bei. In beiden Gruppen zeigen von t1 zu t3 die Kategorien Mensch und Vegetation eine sehr bis hochsignifikante Zunahme (Tab. 22). Dies deutet wiederum darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL bei Hochwasserfaktoren der beiden Kategorien zu einem sehr bis hochsignifikanten Wissenszuwachs sowie zu dessen Beständigkeit führt. Auffallend ist, dass beide Gruppen in der Kategorie Mensch die höchsten Mittelwerte erreichen sowie ein hochsignifikanter Wissenszuwachs von t1 zu t2 und eine hochsignifikante Beständigkeit des Wissens von t1 zu t3 gemessen werden. Gründe hierfür könnten sein, dass Hochwasserfaktoren der beiden Kategorien Vegetation und Mensch gut beobachtbar sind, in den Medien eine bedeutende Rolle spielen sowie persönliche und emotionale Bezüge zu den Lernenden ermöglichen, im Gegensatz zu Hochwasserfaktoren der Kategorien Geologie und Boden, wo die Prozesse im Untergrund verborgen ablaufen. Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung von Bezügen zwischen

Umwelt und Mensch im Fach Geographie, weil dadurch auch Zugänge zu naturwissenschaftlichen Phänomenen gestärkt und das Verständnis für diese Prozesse gefördert werden.

Vom Messzeitpunkt t2 bis t3 nimmt das Wissen zu Hochwasser (Hauptskala) in der VG ab und in der EG zu. Beide Veränderungen sind gering und nicht signifikant. Auch auf der Ebene der Kategorien (Subskala) zeigen sich keine signifikanten Veränderungen. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass auf nichtsignifikantem Niveau in der Gruppe EG die Hochwasserfaktoren der Kategorien Vegetation und Boden wenig zunehmen und damit zur geringfügigen Zunahme des Hochwasserwissens (Hauptskala) beitragen. In der Gruppe VG bleibt das Wissen zu fünf Kategorien von Hochwasserfaktoren unverändert hoch, zur Kategorie Geologie nimmt es wenig ab, was zur geringfügigen Abnahme des Hochwasserwissens (Hauptskala) führt (vgl. Abb. 56 und 57). Da diese Veränderungen zwischen t2 und t3 nicht signifikant sind, werden sie nicht weiter interpretiert.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt bei den Wissensveränderungen zu den Kategorien von Hochwasserfaktoren folgende Gruppenunterschiede: in der VG nimmt die Kategorie Vegetation von t1 zu t2 signifikant stärker zu als in der EG, während in der EG die Kategorie Boden von t1 zu t3 signifikant stärker ansteigt (Tab. 22). Bei beiden Kategorien fällt auf, dass beide Gruppen jeweils mit einem tiefen Mittelwert bei t1 in die Untersuchung starteten, die VG bei der Kategorie Vegetation mit einem Mittelwert von .42 und die EG bei der Kategorie Boden mit .41. Dies führt zur Annahme, dass die tiefen Werte bei t1 in beiden Gruppen durch undifferenziertes bis falsches Vorwissen verursacht wurden (z. B. „Der Boden nimmt Niederschlag wie ein Schwamm auf“). Die signifikant ansteigenden Wissensleistungen von t1 zu t2 und von t1 zu t3 wären dann auf einen erfolgten Conceptual Change in der Intervention zurückzuführen. Die Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben (vgl. oben) unterstützen diese Hypothese, da in der EG von t1 zu t3 der Mittelwert zur Kategorie Boden sehr signifikant zunimmt und in der VG der Mittelwert von Vegetation von t1 zu t2 hochsignifikant ansteigt. Diese Zunahmen in EG und VG führen dazu, dass sich bei t3 die Wissensleistung zu beiden Kategorien zwischen den Gruppen nicht mehr unterscheidet. Dies weist darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen Wissensunterschiede abbaut und die Lernenden zu einem vergleichbaren Wissen hinführt (vgl. hierzu auch die Ergebnisse zum t-Test für unabhängige Stichproben weiter unten).

Zwischen t1 und t3 nehmen die Kategorien Boden, Witterung, Topographie und Vegetation in der EG insgesamt stärker und beständiger zu als in der VG und führen damit zu einem Überkreuzen der Linien im Diagramm (Abb. 57). Demgegenüber ist der Wissenszuwachs in der VG zwischen t1 und t3 bei keiner der Kategorien grösser als in der EG. Dies deutet darauf hin, dass der Lernansatz AEL in der

Gruppe EG eine beständigere Wissensleistung bezüglich Hochwasserfaktoren mehrerer Kategorien bewirkt. Diese unterschiedlichen Wissensveränderungen zu Hochwasserfaktoren von t1 zu t3 sind jedoch nicht signifikant und werden daher nicht weiter interpretiert.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt bezüglich des Wissens zu Hochwasser (Hauptskala) keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bei t1, t2 und t3 (vgl. Abb. 56 und Tab. 22). Bei Hochwasserfaktoren nach Kategorien (Subskala) ist jedoch bei t1 ein signifikant größeres Wissen in der EG bei Hochwasserfaktoren der Kategorie Vegetation sowie in der VG bei der Kategorie Boden feststellbar. Bei t2 und t3 bestehen keine signifikant feststellbaren Unterschiede zwischen den Gruppen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass vor dem Unterricht bestehende Wissensunterschiede zu verschiedenen Hochwasserfaktoren durch das Lernmedium WASSERverstehen beständig ausgeglichen werden.

Schlussfolgerungen: Wissensveränderung zu Hochwasser

1) Die Gruppen EG und VG zeigen nach der Intervention bei t2 einen hochsignifikanten Wissenszuwachs zu Hochwasser (Hauptskala). Im Vergleich zum Vortest bei t1 ist der Wissenszuwachs in der EG und VG auch beim Nachtest (t3) hochsignifikant und damit beständig. Vom Messzeitpunkt t2 bis t3 bleibt das Wissen zu Hochwasser in der EG und VG auf ähnlich hohem Niveau, in der VG nimmt das Wissen jedoch geringfügig ab, in der EG geringfügig zu. Das erworbene Wissen ist also auch noch nach den zwei Monaten verfügbar. Diese Beständigkeit des Wissens ist nach einer Intervention von nur 90 Minuten bemerkenswert.

2) Die Veränderung des Wissens unterscheidet sich in den beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte nicht. Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so berücksichtigt, dass das Wissen zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL bei t2 hochsignifikant zunimmt und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleibt.

3) In beiden Gruppen tragen zur hochsignifikanten Zunahme des Hochwasserwissens (Hauptskala) von t1 zu t2 hauptsächlich Hochwasserfaktoren der Kategorien (Subskala) Mensch und Geologie bei, von t1 zu t3 die Kategorien Mensch und Vegetation. Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen das Wissen zu verschiedenen Hochwasserfaktoren beständig differenziert und anreichert (*Conceptual Change*), unabhängig vom Lernansatz AEL.

4) Das Vorwissen der Gruppen EG und VG bei t1 unterscheidet sich bei Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Vegetation und Boden; die EG weist ein signifikant geringeres Wissen zu Boden auf, die VG zu Vegetation. Nach der Intervention steigt das Wissen in den Gruppen zu den jeweiligen Kategorien so an, dass sich bei t2 und t3 keine Unterschiede zwischen den Gruppen mehr zeigen. Ergänzend zur letzten Schlussfolgerung zeigt dieses Ergebnis, dass das Lernmedium WASSERverstehen nicht nur das Wissen zu verschiedenen Hochwasserfaktoren beständig differenziert, sondern auch auf unterschiedliches Vorwissen anspricht und so bestehende Wissensunterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern beständig vermindert.

5) Auffallend ist, dass beide Gruppen bei der Kategorie Mensch die höchsten Mittelwerte erreichen sowie ein hochsignifikanter Wissenszuwachs von t1 zu t2 und eine hochsignifikante Beständigkeit des Wissens von t1 zu t3 gemessen werden. Grund hierfür könnten sein, dass in den Schülervorstellungen das Phänomen Hochwasser vorwiegend mit naturwissenschaftlichen Faktoren (z. B. Witterung) verbunden wird und es deshalb im Lernprozess zu einem tiefgründigen *Conceptual Change* kommt. Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung von Bezügen zwischen Umwelt und Mensch im Fach Geographie, weil dadurch auch Zugänge zu naturwissenschaftlichen Phänomenen gestärkt und das Verständnis für diese Prozesse gefördert werden.

6) Die Untersuchung der personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren für das Wissen zu Hochwasser in Kapitel 7.6 (Tab. 33) zeigt, dass die Motivation zu signifikant höherer Wissensleistung bei t2 und t3 führt. Bei t3 erreichen zudem Schülerinnen und Schüler aus größeren Personenhaushalten (< 3.1 Personen pro Haushalt) und mit überdurchschnittlicher Interessiertheit und Informiertheit eine signifikant höhere Behaltensleistung von Wissen zu Hochwasser. Da sich die Gruppen EG und VG bezüglich dieser drei Einflussfaktoren nicht unterscheiden (Tab. 35), liefern diese personen- und umfeldbedingten Aspekte keine weiteren Hinweise für die Interpretation der Gruppenvergleiche in der Wirksamkeitsstudie.

7.4.2 Analyse der spontanen Aufzählung von Hochwasserfaktoren

Das **Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz** (vgl. Kapitel 7.2.3) erfasst die Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser über die drei Messzeitpunkte t1, t2 und t3 in den beiden Gruppen EG und VG. Unter „spontanem Wissen“ wird im Folgenden das Wissen zu Hochwasser verstanden, welches ohne Bezug zu einer Fragestellung oder einem Medium individuell konstruiert wird.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zeigt eine hochsignifikante Zunahme des

spontanen Wissens von t1 zu t2 und von t1 zu t3 in den Gruppen EG und VG (Abb. 58 und Tab. 24). Diese Wissensveränderung in beiden Gruppen belegt die hohe Wirksamkeit des didaktisch optimierten Lernmaterials von WASSERverstehen. Das Lernmaterial scheint didaktische und inhaltliche Aspekte so zu berücksichtigen, dass das Wissen zu Hochwasser auch ohne Lernansatz AEL lernbar ist und ein hochsignifikanter Zuwachs von spontanem Wissen bei t2 sowie eine hochsignifikante Beständigkeit bei t3 erreicht wird.

Vom Messzeitpunkt t2 bis t3 nimmt das spontane Wissen zu Hochwasser in der VG und EG hochsignifikant ab. Diese Abnahme ist stärker als beim Wissen zum Fragebogen Hochwasser (vgl. Abb. 56), stimmt aber mit Ergebnissen ähnlicher Lernprozessstudien überein (REINFRIED 2010, 2013, u.a.) und liegt damit im erwarteten Bereich. Ein Grund für die stärkere Abnahme beim spontanen Wissen könnte bei den Erhebungsinstrumenten liegen. Während der Fragebogen zu einer vertieften Auseinandersetzung mit Hochwasserfaktoren herausfordert, verlangt die spontane Aufzählung keine tiefgründige Wissenskonstruktion und die Probanden schließen die Aufgabe zu einem selbstgewählten Zeitpunkt ab, je nach Motivation und Ehrgeiz. So ist es gut möglich, dass bei der dritten Erhebung die Probanden weniger motiviert waren nochmals möglichst viele hochwasserfördernde und -vermindernde Faktoren aufzuzählen.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG bezüglich der Veränderung des spontanen Wissens von t1 zu t2, t1 zu t3 und t2 zu t3 (Abb. 58 und Tab. 24). Daraus lässt sich schließen, dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL das spontane Wissen und dessen Behaltensleistung ähnlich beeinflusst.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bezüglich des spontanen Wissens zu Hochwasser bei t1, t2 und t3 (Abb. 58 und Tab. 25). Für den Messzeitpunkt t1 bedeutet das Ergebnis, dass die beiden Gruppen EG und VG nicht mit einem unterschiedlichen Wissensstand zu Hochwasser in die Untersuchung starten und die Gruppenzugehörigkeit damit keinen Einfluss auf die Ergebnisse bei den späteren Messzeitpunkten t2 und t3 hat.

Die Ergebnisse bei t2 und t3 bestätigen wiederum die Wirksamkeit des Lernmaterials von WASSERverstehen. Das Ergebnis deutet zudem darauf hin, dass die Entwicklung von Hypothesen in der Phase Fokus keinen Einfluss auf das spontane Wissen und dessen Behaltensleistung hat. Dieser Befund bestätigt die Ergebnisse aus dem Fragebogen zum Hochwasserwissen (Kapitel 7.4.1).

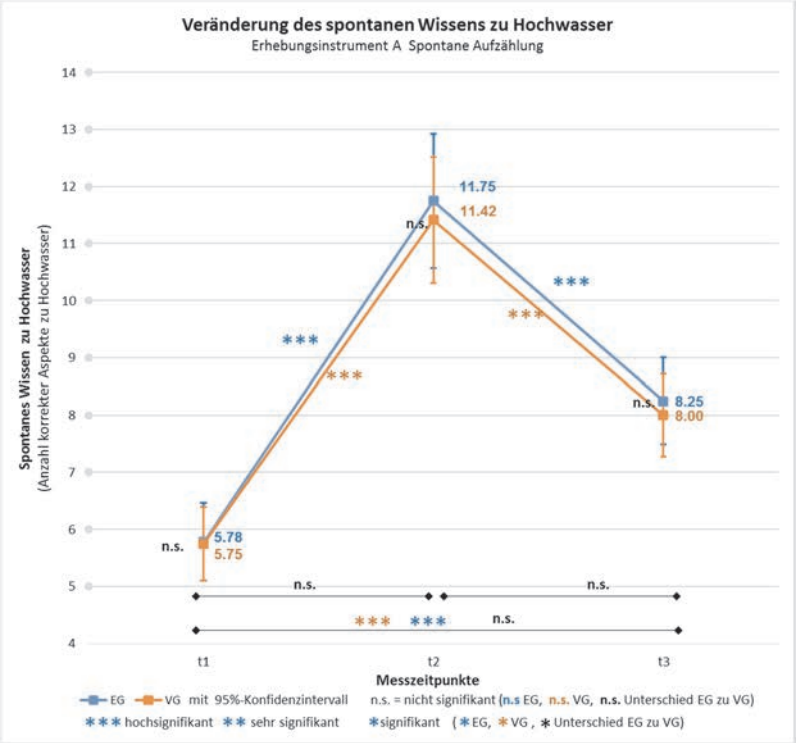


Abb. 58 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen zu Hochwasserfaktoren angegeben.

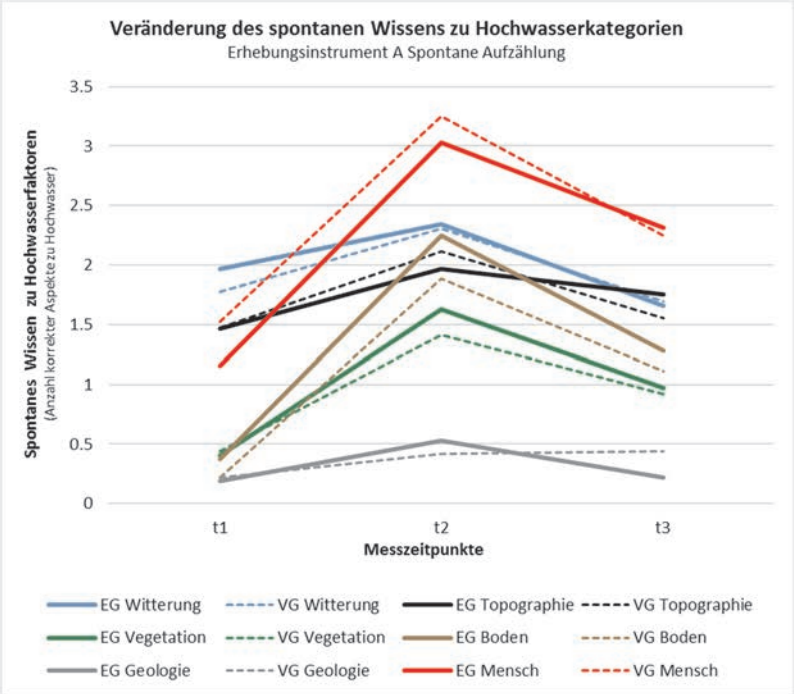


Abb. 59 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen zu den sechs Hochwasserfaktoren angegeben.

Tab. 24 | Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte

Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben und der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) zum Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, F_{t*G} = Mittelwertunterschied zwischen EG und VG über die Zeit, Eta^2 = Partielles Eta-Quadrat, a) Die Signifikanz (2-seitig), die Korrelation und T können nicht berechnet werden, da der Standardfehler der Differenz gleich 0 ist (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

Skalen	G	Mittelwerte und Standardabweichungen						t-Test für abhängige Stichproben			Varianzanalyse (ANOVA)		
		t1		t2		t3		t1–t2	t1-t3	t2–t3	t1 – t2	t1 – t3	t2 – t3
		M	SD	M	SD	M	SD	Sig	Sig	Sig	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2
Hauptskala													
alle Hochwasserfaktoren	EG	5.78	2.18	11.75	3.04	8.25	2.66	.000***	.000***	.000***	.157 .693 .002	.138 .711 .002	.013 .911 .000
	VG	5.75	1.68	11.42	3.57	8.00	2.06	.000***	.000***	.000***			
Subskala Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien													
Witterung	EG	1.97	.97	2.34	1.21	1.66	.83	.083	.077	.004**	.265 .608 .004	.798 .375 .012	.067 .797 .001
	VG	1.78	1.02	2.31	1.09	1.69	.95	.016*	.661	.004**			
Vegetation	EG	.41	.62	1.63	1.31	.97	.70	.000***	.001***	.013*	.594 .444 .009	.213 .646 .003	.303 .584 .005
	VG	.44	.56	1.42	1.08	.92	.69	.000***	.001***	.002**			
Geologie	EG	.19	.40	.53	.57	.22	.42	.003**	.768	.016*	.928 .339 .014	1.500 .225 .022	3.421 .069 .049
	VG	.22	.42	.42	.60	.44	.61	.090	.058	.838			
Topografie	EG	1.47	1.30	1.97	1.23	1.75	1.37	.018*	.239	.344	.182 .671 .003	.451 .504 .007	1.264 .265 .019
	VG	1.47	1.16	2.11	1.41	1.56	.94	.015*	.654	.008**			
Boden	EG	.38	.61	2.25	1.30	1.28	.96	.000***	.001***	.000***	.488 .487 .007	.006 .936 .000	.447 .506 .007
	VG	.22	.42	1.89	1.17	1.11	.82	.000***	.000***	.000***			
Mensch	EG	1.16	.99	3.03	1.26	2.31	1.09	.000***	.000***	.006**	.206 .651 .003	1.890 .174 .028	.531 .469 .008
	VG	1.53	1.06	3.25	1.48	2.25	1.59	.000***	.002**	.002**			

Tab. 25 | Gruppenunterschiede beim spontanen Wissen zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument A Spontane Aufzählung zu Hochwasser in der Schweiz. t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzintervall, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzintervall, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Skalen	G	t-Test für unabhängige Stichproben																					
		t1							t2							t3							
		M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig
Hauptskala																			
alle Hochwasser-faktoren	EG	5.78	2.18	5.10	6.46	.06	.947	11.75	3.04	10.57	12.93	.519	.682	8.25	2.66	7.49	9.01	.25	.914
	VG	5.75	1.68	5.11	6.39			11.42	3.57	10.31	12.53			8.00	2.06	7.28	8.72		
Subskala Kategorien																			
Witterung	EG	1.97	.97	1.62	2.32	.79	.432	2.34	1.21	1.94	2.75	.14	.891	1.66	.83	1.34	1.97	-.18	.861
	VG	1.78	1.02	1.45	2.11			2.31	1.09	1.92	2.69			1.69	.95	1.40	1.99		
Vegetation	EG	.41	.62	.20	.61	-.27	.789	1.63	1.31	1.20	2.05	.72	.476	.97	.70	.72	1.21	.31	.758
	VG	.44	.56	.25	.64			1.42	1.08	1.02	1.81			.92	.69	.69	1.15		
Geologie	EG	.19	.40	.04	.33	-.35	.729	.53	.57	.32	.74	.80	.424	.22	.42	.03	.41	-1.76	.083
	VG	.22	.42	.09	.36			.42	.60	.22	.61			.44	.61	.27	.62		
Topografie	EG	1.47	1.30	1.04	1.90	-.01	.991	1.97	1.23	1.50	2.44	-.44	.661	1.75	1.37	1.34	2.16	.69	.493
	VG	1.47	1.16	1.07	1.88			2.11	1.41	1.67	2.55			1.56	.94	1.17	1.94		
Boden	EG	.38	.61	.19	.558	1.21	.229	2.25	1.30	1.82	2.68	1.21	.231	1.28	.96	.97	1.60	.79	.433
	VG	.22	.42	.05	.40			1.89	1.17	1.48	2.30			1.11	.82	.82	1.41		
Mensch	EG	1.16	.99	.80	1.52	-1.49	.140	3.03	1.26	2.54	3.52	-.65	.516	2.31	1.09	1.83	2.80	.19	.853
	VG	1.53	1.06	1.19	1.87			3.25	1.48	2.79	3.71			2.25	1.59	1.79	2.71		

Das spontan aufgezählte Hochwasserwissen wurde nach den **sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren** (Subskala) bei allen Probanden kategorisiert, um Hintergründe für die Interpretation der Veränderungen des spontanen Wissens (Hauptskala) in den beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte zu erhalten.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zeigt einen hochsignifikanten Zuwachs des spontanen Wissens (Hauptskala) von t1 zu t2 und von t1 zu t3 in den Gruppen EG und VG (Abb. 58 und Tab. 24). Alle Mittelwerte der Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) nehmen von t1 zu t2 in beiden Gruppen signifikant bis hochsignifikant zu (Abb. 59 und Tab. 24), außer Witterung in der EG und Geologie in der VG. In beiden Gruppen tragen von t1 zu t2 und von t1 zu t3 die drei Kategorien Vegetation, Boden und Mensch mit einer hochsignifikanten Zunahme maßgebend zum hochsignifikanten Zuwachs und zur Beständigkeit des Hochwasserwissens in der Hauptskala bei (Abb. 58). Interessanterweise nehmen die gleichen drei Kategorien von t2 zu t3 signifikant bis hochsignifikant ab. Die Mittelwerte der anderen drei Kategorien Witterung, Topographie und Geologie zeigen einen geringeren Anstieg von t1 zu t2 und fallen bei t3 sogar wieder auf das Ausgangsniveau von t1 zurück. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse ist, dass neben einer zu erwartenden Abnahme des spontanen Wissens bei t3 auch die Motivation geringer war, eine umfassende Liste an Hochwasserfaktoren zum dritten Mal zu erstellen. Hierfür spricht insbesondere auch, dass beim Fragebogen zu Hochwasser (Erhebungsinstrument C) das Wissen zu Hochwasserfaktoren der sechs Kategorien bei t3 mehrheitlich beständig hoch bleibt (Abb. 57), d. h. das Wissen zu Hochwasserfaktoren der sechs Kategorien wäre vorhanden.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt bezüglich der Veränderung des spontanen Wissens zu Hochwasser (Hauptskala) und der Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG von t1 zu t2, t1 zu t3 und t2 zu t3 (Abb. 58 und 59 und Tab. 24). Auffallend ist, dass sich die Kategorien über die Zeit in beiden Gruppen sehr ähnlich verändern. So fallen in beiden Gruppen drei Kategorien mit einem starken Anstieg der Mittelwerte von t1 zu t2 und einer starken Abnahme von t2 zu t3 auf, während die anderen drei Kategorien in beiden Gruppen nach einem geringen Anstieg der Mittelwerte auch eine geringe Abnahme zeigen. Die ähnliche Veränderung der Kategorien in den Gruppen unterstützt die bisherige Schlussfolgerung zur hohen Wirksamkeit des Lernmediums WASSERverstehen, unabhängig vom Lernansatz AEL.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt bezüglich des Wissens zu Hochwasser (Hauptskala) und der Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bei t1, t2 und t3 (vgl. Abb. 58, 59 und Tab. 25). Auch dieses Ergebnis unterstützt die bisherige Schlussfolgerung zur hohen Wirksamkeit des Lernmediums WASSERverstehen.

Schlussfolgerungen: spontane Aufzählung

1) Beim spontanen Wissen zu Hochwasser (Hauptskala) zeigen die Gruppen EG und VG nach der Intervention von t1 zu t2 und von t1 zu t3 einen hochsignifikanten Zuwachs. Die erworbene Wissensleistung zu Hochwasser ist also auch zwei Monaten nach der Intervention beständig verfügbar. Dieses Ergebnis deutet wiederum darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte so berücksichtigt, dass das Wissen zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL hochsignifikant zunimmt und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleibt.

2) Die Veränderung des spontanen Wissens unterscheidet sich in den beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte nicht. Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so berücksichtigt, dass das spontane Wissen zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL bei t2 hochsignifikant zunimmt und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleibt.

3) In beiden Gruppen tragen zur hochsignifikanten Zunahme des spontanen Hochwasserwissens (Hauptskala) von t1 zu t2 alle Kategorien zu Hochwasserfaktoren bei, von t1 zu t3 die drei Kategorien Vegetation, Boden und Mensch. Von t2 zu t3 tragen dann wieder alle Kategorien zur hochsignifikanten Abnahme des spontanen Hochwasserwissens in der Hauptskala bei. Dies deutet darauf hin, dass durch die Intervention mit dem Lernmedium WASSERverstehen das spontane Aufzählen bei allen Hochwasserfaktoren hochsignifikant zunimmt und bei der Hälfte der Kategorien beständig hoch bleibt.

4) Auffallend ist, dass sich die Ergebnisse zum Wissen von Hochwasser zwischen dem Fragebogen (Erhebungsinstrument C) und der spontanen Aufzählung (Erhebungsinstrument A) von t2 zu t3 deutlich unterscheiden. Während das Wissen zu Hochwasser beim Fragebogen in der Hauptskala und in der Subskala in der EG und VG beständig hoch bleibt, zeigt sich in beiden Gruppen eine hochsignifikante Abnahme der spontanen Aufzählung in der Hauptskala sowie eine geringe bis hochsignifikante Abnahme bei Hochwasserfaktoren aller Kategorien.
Für die hochsignifikante Abnahme bei der spontanen Aufzählung von t2 zu t3 in beiden Gruppen erscheinen verschiedene Gründe plausibel. Einerseits könnte sein, dass bei diesem Erhebungsinstrument die allgemeine Fragestellung zu Hochwasserfaktoren bei den Probanden eher an der Oberfläche bleibende Überlegungen zu Hochwasser auslösen. D. h. es müssen zwar verschiedene Hochwasserfaktoren aufgezählt werden, die Fragestellungen verlangen per se aber keine tiefgründig kognitive Leistung zu bestimmten Hochwasserfaktoren. Andererseits er-

scheint es auch naheliegend, dass die Motivation bei der dritten Erhebung abnimmt erneut möglichst viele Hochwasserfaktoren zur offenen Fragestellung aufzuzählen. Für diese Erklärung spricht auch, dass beim Erhebungsinstrument C mit fokussierten und abschließend zu beantwortenden Fragestellungen das Wissen in der EG und VG beständig hoch bleiben (Abb. 56). D. h. das Wissen zu Hochwasser wäre bei den Probanden offenbar vorhanden, manifestiert sich aber nur bei einer fokussierten Fragestellung. Aus diesen Überlegungen könnte die Folgerung gezogen werden, dass fokussierte und abschließend zu beantwortende Fragestellungen präzisere Hinweise zum effektiv vorhandenen Wissen zu Hochwasser geben.

7.5 Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser – Ergebnisse und Interpretation

7.5.1 Analyse des Fragebogens zur Transferleistung

Der Fragebogen zu Hochwasser (vgl. Kapitel 7.2.3) erfasst die Transferleistung zu Hochwasser in den beiden Gruppen EG und VG mit sechs Fragen zum Anforderungsbereich II und III (AFB II und III) an drei Messzeitpunkten. Die Veränderung der Transferleistung über die drei Messzeitpunkte t1, t2 und t3 wird statistisch geprüft mit einem t-Test für abhängige Stichproben, einem t-Test für unabhängige Stichproben und einer Varianzanalyse (ANOVA). Die standardisierten Residuen für t1, t2 und t3 sind normal verteilt.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zeigt einen hochsignifikanten Zuwachs der Transferleistung von t1 zu t2 sowie von t1 zu t3 in beiden Gruppen (Abb. 60 und Tab. 26). Dies belegt die Wirksamkeit des didaktisch optimierten Lernmaterials von WASSERverstehen, wie bereits beim Wissenszuwachs zu Hochwasser (Kapitel 7.4.1), so nun auch für die Transferleistung. Das Lernmaterial scheint didaktische und inhaltliche Aspekte so zu berücksichtigen, dass die Transferleistung zu Hochwasser auch ohne Lernansatz AEL wirksam gefördert wird und ein hochsignifikanter Zuwachs der Transferleistung direkt nach der Intervention bei t2 sowie eine hochsignifikant beständige Transferleistung zwei Monate später bei t3 erreicht wird.

Vom Messzeitpunkt t2 zu t3 nimmt in der Gruppe VG die Transferleistung hochsignifikant ab, während sie in der EG geringfügig zunimmt (Abb. 60). In der VG ist die Abnahme der Transferleistung von t2 zu t3 stärker (Abb. 60) als beim Wissen zu Hochwasser (Abb. 56). Dies deutet darauf hin, dass die Transferleistung ohne explizite Förderung durch den Lernansatz AEL in den folgenden Monaten stärker abnimmt als die Wissensleistung. Grund hierfür könnte sein, dass in einem Unterricht, der wenig eigenständig analytisches Denken verlangt und kaum das Vorwis-

sen der Lernenden einbezieht, die Fähigkeit rascher abnimmt, das erworbene Wissen zu Hochwasser bezüglich anderer Situationen und Fragestellungen anzuwenden.

Die geringfügige Zunahme der Transferleistung in der EG von t2 zu t3 ist nicht signifikant, aber trotzdem bemerkenswert, weil die Transferleistung der EG nach nur 90 Minuten Unterricht auch zwei Monate später auf so hohem Niveau bestehen bleibt. Weil zwischen den beiden Messzeitpunkten t2 und t3 kein Unterricht zu Hochwasser mehr stattgefunden hat, weist die geringfügige Zunahme und die Beständigkeit der Transferleistung in der EG auf ein eigenständiges Lernen nach dem Unterricht hin, d. h. nach SEEL (2016, S. 23) auf eine weitergehende Verarbeitung und Konstruktion von Wissen zu Hochwasser, ein Produzieren von neuem Wissen aufgrund schlussfolgernden Denkens oder ein Anwenden oder Übertragen auf neuartige Situationen. Diese These wird durch eine informelle Umfrage in je einer Klasse der EG und VG unterstützt. Auf die Frage „Wer hat sich zwischen den Messzeitpunkten t2 und t3, d. h. über die Sommerferien an das vermittelte Hochwasserthema erinnert und darüber nachgedacht?“ antworteten in einer Klasse der EG von insgesamt 13 anwesenden Schülerinnen und Schülern 4 mit „sehr“, 6 mit „mittel“ und 3 mit „nicht“. In der VG antworteten auf die gleiche Frage von 17 Schülerinnen und Schülern 1 mit „sehr“, 1 mit „mittel“ und 15 mit „nicht“. Die anschließende kurze Diskussion in der EG ergab, dass die 10 Schülerinnen und Schüler mit der Angabe „mittel“ und „sehr“ über die Sommerferien insbesondere bei Freizeitbeschäftigungen an Gewässern und bei der Konfrontation mit Medienberichten wieder über die Inhalte der Intervention zu Hochwasser nachgedacht haben.

Die statistischen Ergebnisse zur Veränderung der Transferleistung von t2 zu t3 und die Antworten zur informellen Umfrage weisen darauf hin, dass der Lernansatz AEL die Lernenden befähigt, das erworbene Wissen in ihren Lebensalltag zu transferieren, mit diesem Wissen eigenständig zu denken und so ihr Wissen zu Hochwasser weitergehend zu differenzieren und anzureichern.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt von t1 zu t2 keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG bezüglich der hochsignifikant ansteigenden Transferleistung (Abb. 60 und Tab. 26). Daraus lässt sich wiederum schließen, dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL die Transferleistung wirksam fördert.

Vom Messzeitpunkt t1 zu t3 zeigt sich zwischen den Gruppen ein signifikanter Unterschied, d. h. die Transferleistung in der EG nimmt signifikant stärker zu als in der VG. Von t2 zu t3 ergibt der Vergleich der Veränderung der Transferleistung zwischen EG und VG sogar einen hochsignifikanten Unterschied. Während diesen

8 Wochen nach der Intervention nimmt in der VG die Transferleistung hochsignifikant ab und in der EG geringfügig zu. Diese Ergebnisse zeigen, dass über die drei Messzeitpunkte die Transferleistung mit dem Lernansatz AEL signifikant bis hochsignifikant stärker zunimmt und beständiger ist als bei einer Intervention ohne den Lernansatz AEL. Dieser Befund bestätigt die Resultate aus dem t-Test für abhängige Stichproben und deren Interpretation (vgl. oben) und ist ebenfalls bemerkenswert, da die Intervention von 90 Minuten für die Schülerinnen und Schüler als doch eher marginale Erfahrung eingeordnet werden darf, da in den zwei Monaten von t2 zu t3 kein weiterer Unterricht zu diesem Thema stattgefunden hat und sogar noch fünf Wochen Sommerferien in diesem Zeitfenster lag („andere Welt").

Der Vergleich der Wissensveränderung (Abb. 56) mit der Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser (Abb. 60) von t2 zu t3 führt zum Hinweis, dass das Wissen zu Hochwasser die Grundlage für die Transferleistung ist. So hat in der EG die geringfügige Zunahme von korrektem Wissen von t2 zu t3 vermutlich die verbesserte Transferleistung mit beeinflusst. Umgekehrt könnte in der VG das leicht abnehmende Wissen zu Hochwasser von t2 zu t3 die hochsignifikante Abnahme der Transferleistung mitverursacht haben. Die bisherige lernpsychologische Forschung zum Lerntransfer hat mehrfach aufgezeigt, dass bereichsspezifisches Wissen (hier „Wissen zu Hochwasser) die Grundlage für menschliche Kognition und damit für erfolgreichen Lerntransfer ist (STERN 2004, S. 123). Diese Hypothese wird damit von der lernpsychologischen Transferforschung gestützt, sie lässt sich durch die vorliegende Studie jedoch nicht weiter erhärten und müsste mit einer qualitativen Lernprozessstudie explizit untersucht werden.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt bei t1 keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bezüglich der Transferleistung zu Hochwasser (Abb. 60 und Tab. 24). Damit kann davon ausgegangen werden, dass die beiden Gruppen mit ähnlichen Ausgangsbedingungen bezüglich ihrer Transferleistung zu Hochwasser in die Untersuchung starten und damit die Gruppenzugehörigkeit keinen Einfluss auf die Ergebnisse bei den Messzeitpunkten t2 und t3 hat.

Beim Messzeitpunkt t2 weist die VG eine signifikant höhere Transferleistung zu Hochwasser auf als die EG. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass die signifikant bessere Transferleistung der VG bei t2 auf ihre geringfügig bessere Wissens- und Transferleistung bei t1 zurückzuführen ist, d. h. die Probanden der VG bringen eine geringfügig bessere Lernfähigkeit in die Untersuchung mit. Wie bereits angesprochen, gibt es aus der Lernpsychologie Studien, die den Zusammenhang von bereichsspezifischem Wissen (hier „Wissen zu Hochwasser") auf den Lerntransfer zeigen. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die Intervention zu Hochwasser in der EG nach dem Lernansatz AEL zu einer hohen kognitiven Belastung beim Lernen (PLASS ET AL. 2010; Sweller 1988) führte und die EG daher

beim anschließenden Test mehr Mühe hatte, das erworbene Wissen auf andere Fragestellungen anzuwenden als die VG. Diese Hypothese scheint einerseits plausibel, da die Intervention in der VG weniger komplexe Denkarbeit verlangt und vorwiegend deklaratives Wissen vermittelt wurde. Andererseits ist die Hypothese aufgrund der geringen Unterschiede zwischen der EG und VG bei t1 und t2 eher spekulativ, da bei t1 die Transferleistung der EG nur um 0.2 Punkte schlechter ist und bei t2 um 0.5 Punkte.

Bei t3 weist die EG schließlich eine sehr signifikant höhere Transferleistung auf als die VG. Damit weist auch dieses Ergebnis darauf hin, dass der Lernansatz AEL die Beständigkeit der Transferleistung wirksam fördert. Bemerkenswert ist, dass eigenständiges Denken und Lernen zu Hochwasser bereits durch eine Intervention von 90 Minuten offensichtlich so gefördert wird, dass die Lernenden ihr Wissen zu Hochwasser weitergehend differenzieren, modifizieren und anreichern. Bezogen auf die schulischen Anforderungen deuten die Ergebnisse auch darauf hin, dass mit dem Lernansatz AEL die Schülerinnen und Schüler im Unterricht wirksam auf Prüfungsaufgaben zu den Anforderungsbereichen II und III vorbereitet werden.

Eine mögliche Erklärung für die sehr signifikant bessere und beständigere Transferleistung der EG bei t3 könnte aus lernpsychologischer und fachdidaktischer Sicht dahin gehen, dass der Lernansatz AEL das Vorwissen der Lernenden explizit zugänglich macht, in allen Lernphasen (Fokus, Wissen und Transfer) Fachwissen und Vorwissen aufeinander bezieht und so einen *Conceptual Change* ermöglicht sowie persönliche, fachbezogene und emotionale Bezüge zum Thema schafft.

Falls sich die Hypothese der kognitiven Belastung bei t2 in Nachfolgestudien erhärten sollte, wäre der Umstand äußerst interessant, dass die EG anschließend bis t3 „trotzdem“ eine hochsignifikant stärkere Zunahme der Transferleistung verzeichnet als die VG mit weniger kognitiver Belastung während der Intervention. D. h. dies wäre ein Hinweis dafür, dass eine kognitive Belastung in einer Unterrichtsintervention keinen negativen Einfluss auf die Beständigkeit der Wissensleistung und Transferleistung hat (vgl. die Ergebnisse der EG bei t3 in Abb. 56 und 59). Diese Hypothesen sind aus bereits beschriebenen Gründen jedoch sehr spekulativ und können durch die vorliegende Untersuchung nicht weitergehend überprüft werden.

Die Untersuchung der **personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren** für die Transferleistung zu Hochwasser in Kapitel 7.6 (Tab. 33) zeigt, dass einzig beim Messzeitpunkt t2 die Schülerinnen und Schüler, welche länger in der Schweiz lebten (> 15.3 Jahre in der Schweiz) und in einem Haus mit Garten wohnen, signifikant bessere Transferleistungen erreichen. Da sich die Gruppen EG und VG bezüglich der beiden Einflussfaktoren nicht unterscheiden (Tab. 35), liefern diese personen-

und umfeldbedingten Aspekte keine weiteren Erklärungen für die unterschiedliche Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser in der EG und VG von t2 zu t3.

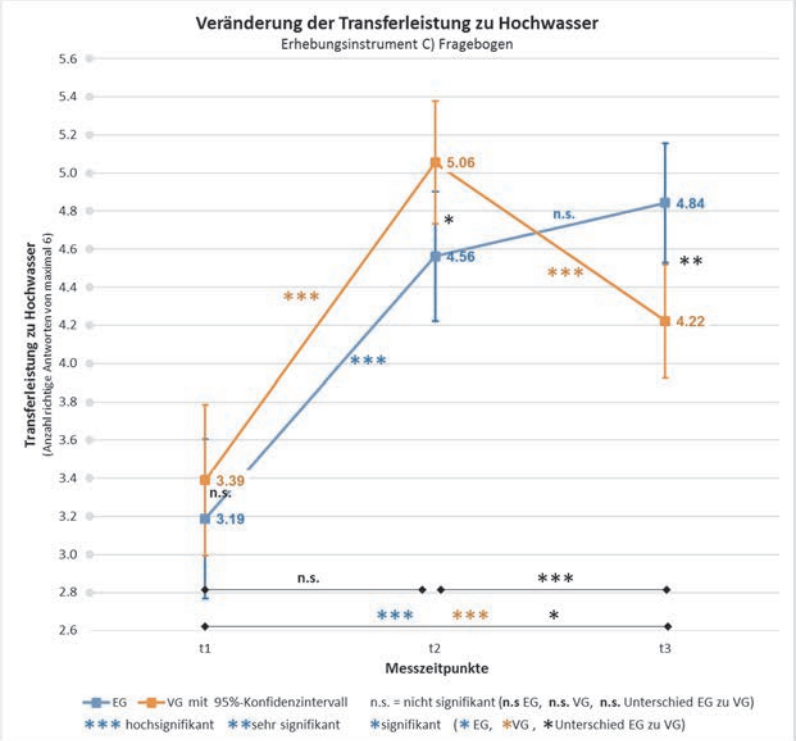


Abb. 60 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36)

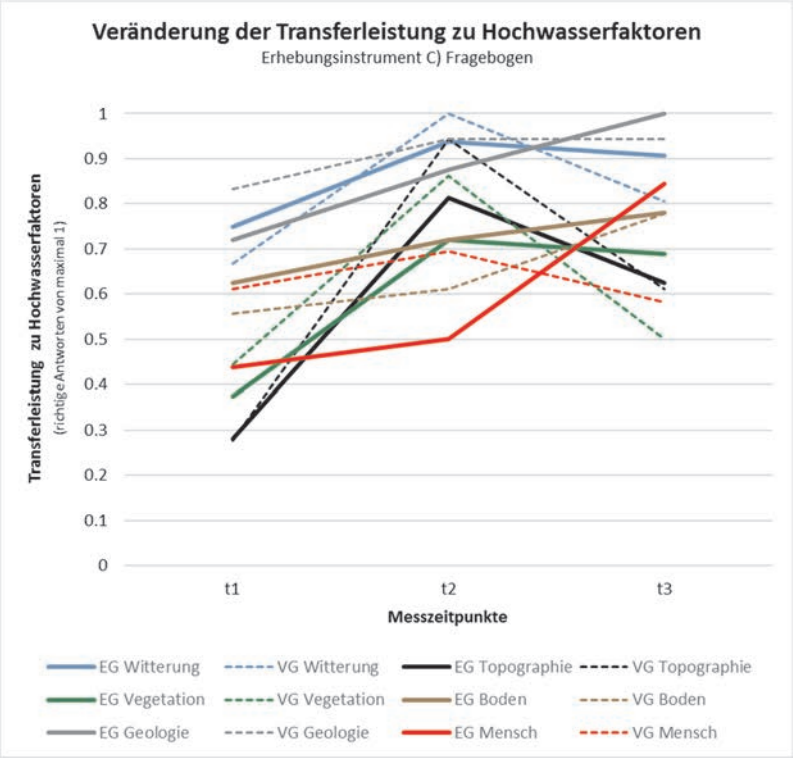


Abb. 61 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)
Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36).

Tab. 26 | Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe

Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben und der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, F_{rG} = Mittelwertunterschied zwischen EG und VG über die Zeit, Eta^2 = Partielles Eta-Quadrat, a) Die Signifikanz (2-seitig), die Korrelation und T können nicht berechnet werden, da der Standardfehler der Differenz gleich 0 ist (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

Skalen	G	Mittelwerte und Standardabweichungen						t-Test für abhängige Stichproben			Varianzanalyse (ANOVA)		
		t1		t2		t3		t1–t2	t1-t3	t2–t3	t1 – t2	t1 – t3	t2 – t3
		M	SD	M	SD	M	SD	Sig	Sig	Sig	F_{rG} Sig Eta^2	F_{rG} Sig Eta^2	F_{rG} Sig Eta^2
Hauptskala													
alle Hochwasserfaktoren	EG	3.19	1.23	4.56	1.11	4.84	.77	.000***	.000***	.141	.734 .395 .011	5.905 .018* .082	24.170 .000*** .268
	VG	3.39	1.15	5.06	.83	4.22	.99	.000***	.001***	.000***			
Subskala Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien													
Witterung	EG	.75	.44	.94	.25	.91	.30	.056	.057	.662	1.231 .271 .017	.032 .859 .000	2.807 .099 .041
	VG	.67	.48	1.00	.00	.81	.40	.000***	.023*	.006**			
Vegetation	EG	.38	.49	.72	.46	.69	.47	.003**	.005**	.745	.271 .605 .004	2.981 .089 .043	5.719 .020* .080
	VG	.44	.50	.86	.35	.50	.51	.000***	.600	.001***			
Geologie	EG	.72	.46	.88	.34	1.00	.00	.096	.002**	.044*	.144 .705 .002	2.308 .133 .034	4.992 .029* .070
	VG	.83	.38	.94	.23	.94	.23	.160	.160	a)			
Topografie	EG	.28	.46	.81	.40	.63	.49	.000***	.003**	.032*	.284 .261 .019	.006 .940 .000	1.599 .211 .024
	VG	.28	.45	.94	.23	.61	.49	.000***	.001***	.000***			
Boden	EG	.63	.49	.72	.46	.78	.42	.325	.096	.325	.098 .755 .001	.296 .588 .004	1.367 .247 .020
	VG	.56	.50	.61	.49	.78	.42	.487	.009**	.012*			
Mensch	EG	.44	.50	.50	.51	.84	.37	.645	.000***	.001***	.016 .900 .000	8.531 .005** .114	12.322 .001*** .157
	VG	.61	.49	.69	.47	.58	.50	.413	.800	.210			

Tab. 27 | Gruppenunterschiede bei der Transferleistung zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzintervall, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzintervall, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Skalen	G	t-Test für unabhängige Stichproben																					
		t1							t2							t3							
		M	SD	U	O	T	Sig		M	SD	U	O	T	Sig		M	SD	U	O	T	Sig		
Hauptskala																							
alle Hochwasserfaktoren	EG	3.19	1.23	2.77	3.61	-.68	.49		4.56	1.11	4.22	4.90	-2.10	.040*		4.84	.77	4.53	5.16	2.87	.006 **		
	VG	3.39	1.15	2.99	3.79				5.06	.83	4.73	5.38				4.22	.99	3.93	4.52				
Subskala Kategorien																							
Witterung	EG	.75	.44	.59	.91	.75	.459		.94	.25	.88	1.00	-1.53	.132		.91	.30	.78	1.03	1.17	.248		
	VG	.67	.48	.51	.82				1.00	.00	.94	1.07				.81	.40	.69	.924				
Vegetation	EG	.38	.49	.20	.55	-.57	.568		.72	.46	.58	.86	-1.45	.152		.69	.47	.51	.86	1.57	.120		
	VG	.44	.50	.28	.61				.86	.35	.73	1.00				.50	.51	.34	.66				
Geologie	EG	.72	.46	.57	.87	-1.13	.262		.88	.34	.77	.98	-1.00	.321		1.00	.00	.57	.87	1.35	.181		
	VG	.83	.38	.70	.97				.94	.23	.85	1.04				.94	.23	.89	1.00				
Topografie	EG	.28	.46	.12	.44	.03	.975		.81	.40	.70	.93	-1.70	.095		.63	.49	.45	.80	.12	.908		
	VG	.28	.45	.13	.43				.94	.23	.84	1.05				.61	.49	.45	.78				
Boden	EG	.63	.49	.45	.80	.57	.568		.72	.46	.55	.89	.93	.356		.78	.42	.63	.93	.03	.973		
	VG	.56	.50	.39	.72				.61	.49	.45	.77				.78	.42	.64	.92				
Mensch	EG	.44	.50	.26	.61	-1.43	.157		.50	.51	.33	.67	-1.64	.105		.84	.37	.69	1.00	2.42	.018*		
	VG	.61	.49	.45	.78				.69	.47	.53	.86				.58	.50	.44	.73				

Die **Veränderung der Transferleistung** wird wie bereits beim Wissen zu Hochwasser im Fragebogen mit den **sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren** (Subskala) Witterung, Vegetation, Geologie, Topographie, Boden und Mensch erfasst. Die Transferleistung zu Hochwasserfaktoren dieser Kategorien wird mit je einer Frage zum Anforderungsbereich II und III (AFBII und III) gemessen. Die Abbildung 60 und die Tabellen 26 und 27 zeigen die Ergebnisse zur Transferleistung bezüglich der sechs erfassten Kategorien (Subskala). Bei den Interpretationen zu einzelnen Kategorien ist große Zurückhaltung geboten, da sie jeweils nur durch ein Item im Hochwasser-Fragebogen gemessen werden. Die Ergebnisse der einzelnen Kategorien (Subskala) können jedoch auf Hintergründe zu Veränderungen der Transferleistung (Hauptskala) in den beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte hinweisen und unterstützen damit eine differenzierte Interpretation.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zu den Kategorien (Subskala) zeigt, dass von t1 zu t2 Hochwasserfaktoren aller Kategorien in beiden Gruppen zunehmen (Abb. 61). Wobei in der EG die Topographie eine sehr signifikante und die Vegetation eine signifikante Zunahme erreichen und in der VG die Kategorien Witterung, Vegetation und Topographie eine hochsignifikante Zunahme aufweisen. Diese Kategorien tragen in den Gruppen überdurchschnittlich zur hochsignifikanten Zunahme der Transferleistung (Hauptskala) von t1 zu t2 bei (Abb. 60 und Tab. 26). Damit sind in beiden Gruppen Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Topographie und Vegetation für die hochsignifikante Zunahme der Transferleistung für Hochwasser (Hauptskala) bedeutend.

Von t1 zu t3 nehmen in der EG die Kategorien Mensch hochsignifikant und Vegetation, Geologie und Topographie sehr signifikant zu. In der VG zeigen Topographie eine hochsignifikante, Boden eine sehr signifikante und Witterung eine signifikante Zunahme. Dies zeigt, dass in beiden Gruppen mindestens die Hälfte der Kategorien beständig hoch bleibt. Gegenüber der VG weisen in der EG mehr Kategorien mit einem signifikanteren Anstieg von t1 zu t3 auf die wirksame Förderung einer beständigen Transferleistung hin. Dies lässt auf eine fachlich breit abgestützte und beständigere Transferleistung in der EG schließen.

Vom Messzeitpunkt t2 zu t3 zeigen in der VG die Kategorien Vegetation, Topographie und Mensch eine hochsignifikante und Witterung eine sehr signifikante Abnahme (Tab. 35). Hochwasserfaktoren dieser Kategorien (Subskala) tragen zur hochsignifikanten Abnahme der Transferleistung (Hauptskala) bei (Abb. 60). In der EG nimmt die Kategorie Mensch von t2 zu t3 hochsignifikant und Geologie signifikant zu. Diese beiden Kategorien tragen zur geringfügigen Zunahme der Transferleistung (Hauptskala) bei (Abb. 60). Wie in der VG nimmt auch in der EG die Transferleistung zur Topographie ab, jedoch weniger stark ausgeprägt. Eine Erklärung für diese Abnahme in beiden Gruppen ist in den erhobenen Daten nicht ableitbar.

Nach der **univariaten Varianzanalyse** (ANOVA) verändern sich von t1 zu t2 die Transferleistungen aller Kategorien (Subskala) in beiden Gruppen ähnlich (Tab. 26). Von t1 zu t3 zeigt die Kategorie Mensch einen sehr signifikanten Unterschied an, die Gruppe EG weist hier eine stärkere Zunahme auf. Von t2 zu t3 unterscheiden sich EG und VG bei Vegetation und Geologie signifikant und beim Menschen hochsignifikant. Die EG zeigt hier bei allen drei Faktoren einen stärkeren Anstieg der Transferleistung.

In der Abbildung 60 fällt zudem auf, dass die EG bei Hochwasserfaktoren aller sechs Kategorien von t2 zu t3 eine stärkere Zunahme der Transferleistung aufweist als die VG und sich damit bei fünf Subskalen die Linien der EG mit der VG aufsteigend überkreuzen. Bei der sechsten Subskala Boden schließt die EG zur VG bei t3 auf. Dies weist darauf hin, dass der Lernansatz AEL eine beständigere und fachlich umfassendere und differenziertere Transferleistung zu Hochwasser bewirkt. Hierfür können mehrere Gründe eine Rolle spielen. Der starke Bezug zum persönlichen Vorwissen in jeder Lernphase könnte beispielsweise bewirkt haben, dass Hochwasserfaktoren zur Kategorie Mensch den Lernenden sehr präsent geblieben sind und sie nach der Intervention ausgehend vom Menschen über Hochwassersituationen nachgedacht haben. Der Bezug zu Hochwasserfaktoren der Kategorie Mensch könnte auch die integrale Auseinandersetzung mit den physischen Prozessen zu Hochwasser gefördert und so die Transferleistung zu Hochwasserfaktoren anderer Kategorien beständig unterstützt haben. Da die vorliegende quantitative Studie hierzu keine weiteren Erklärungen liefert, werden in einer nachfolgenden qualitativen Studie die Lernpfade der Schülerinnen und Schüler über die drei Messzeitpunkte fokussiert auf diesen Aspekt untersucht.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt bezüglich der Transferleistung zu den Kategorien (Subskala) bei t1 und t2 keine signifikanten Unterschiede zwischen der EG und VG. Dies zeigt, dass die beiden Gruppen bei t1 mit ähnlichen Transferleistungen zu Hochwasserfaktoren der sechs Kategorien in die Untersuchung starten. Mit dem Ergebnis bei t2 ergeben sich keine weiteren Hintergründe zur signifikant besseren Transferleistung der EG bei t2 in der Hauptskala.

Bei t3 erreicht die EG bei der Kategorie Mensch einen signifikant besseren Mittelwert als die VG. Auffallend ist zudem, dass die EG bei t3 zu fünf Kategorien mit besseren Mittelwerten abschneidet und beim sechsten Mittelwert (Boden) mit dem gleichen Wert zur VG aufschließt. Dies ist bemerkenswert, weil die EG bei t1 mit drei tieferen Mittelwerten als die VG in die Studie startete. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass der Lernansatz AEL bezüglich Hochwasserfaktoren mehrerer Kategorien differenzierter und beständiger die Transferleistung fördert und in der Summe zu einer sehr signifikant besseren Transferleistung (Hauptskala) bei t3 führt (vgl. Abb. 60 und Tab. 27).

Schlussfolgerungen: Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser:

1) Die Gruppen EG und VG zeigen nach der Intervention bei t2 einen hochsignifikanten Zuwachs der Transferleistung. Im Vergleich zum Vortest (t1) nimmt die Transferleistung in der EG und VG auch beim Nachtest (t3) hochsignifikant zu und bleibt damit beständig. Die erworbene Transferleistung zu Hochwasser ist also auch nach zwei Monaten verfügbar. Nach einer Intervention von nur 90 Minuten ist diese Beständigkeit der Transferleistung bemerkenswert. Die Ergebnisse in beiden Gruppen deuten wie bereits beim Wissen zu Hochwasser (vgl. Kapitel 7.4.1) darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so berücksichtigt, dass die Transferleistung zu Hochwasser wirksam und beständig zunimmt, unabhängig vom Lernansatz AEL.

2) Vom Messzeitpunkt t1 zu t2 unterscheidet sich die Veränderung der Transferleistung zwischen den Gruppen nicht, von t1 zu t3 steigt die Transferleistung der EG jedoch signifikant stärker an und von t2 zu t3 nimmt sie in der EG sogar hochsignifikant stärker zu. Während diesen 8 Wochen nach der Intervention nimmt die Transferleistung in der EG geringfügig zu und in der VG hochsignifikant ab. Diese Resultate zeigen, dass über die drei Messzeitpunkte die Transferleistung mit dem Lernansatz AEL signifikant bis hochsignifikant stärker zunimmt und beständiger ist als bei einer Intervention ohne den Lernansatz AEL. Dies ist ein Hinweis, dass der Lernansatz AEL die Transferleistung wirksam und beständig steigert. Die Ergebnisse sind bemerkenswert, weil die Transferleistung der EG nach nur 90 Minuten Unterricht auch zwei Monate später auf so hohem Niveau bestehen bleibt.

3) Auffallend ist, dass vom Messzeitpunkt t2 zu t3 die Transferleistung der EG erstmals die VG übersteigt und sich damit die Linien überkreuzen (Abb. 60) – wie bereits beim Wissen zu Hochwasser (Abb. 56). So weist die EG zwei Monate nach der Intervention eine hochsignifikant bessere Transferleistung als die VG auf. Dieses Ergebnis ist bemerkenswert, weil zwischen den beiden Messzeitpunkten t2 und t3 kein weiterer Unterricht zu Hochwasser stattgefunden hat und die Intervention von 90 Minuten für die Lernenden im gesamtschulischen Kontext der anderen Fächer und der fünfwöchigen Sommerferien zwischen t2 und t3 als doch eher marginale Erfahrung einzuordnen ist. Offensichtlich hat in der EG im Unterschied zur VG nach der Intervention trotz diesen Rahmenbedingungen ein eigenständiges Lernen zu Hochwasser stattgefunden, d. h. eine weitergehende Verarbeitung und Konstruktion von Wissen zu Hochwasser, ein Produzieren von neuem Wissen aufgrund des schlussfolgernden Denkens oder ein Anwenden oder Übertragen auf neuartige Situationen. Dieser Befund deutet darauf hin, dass der Lernansatz AEL kumulatives Lernen unterstützt, da das Wissen und die Transferleistung beständig

hoch bleiben und damit zum Aufbau komplexer und überdauernder Wissensstrukturen beitragen.

4) In der VG nehmen von t2 zu t3 das Wissen und die Transferleistung zu Hochwasser ab, wobei die Transferleistung auffallend stärker zurückgeht. Dies deutet darauf hin, dass die Transferleistung ohne explizite Förderung durch den Lernansatz AEL in den folgenden Monaten stärker abnimmt als die Wissensleistung. Grund hierfür könnte sein, dass in einem Unterricht, der wenig eigenständig analytisches Denken verlangt und kaum das Vorwissen der Lernenden einbezieht, die Fähigkeit rascher abnimmt das erworbene Wissen zu Hochwasser bezüglich anderer Situationen und Fragestellungen anzuwenden. Dieses Ergebnis ist ein weiterer Hinweis, dass der Lernansatz AEL die Transferleistung wirksam und beständig steigert.

5) Der Vergleich der Wissensveränderung mit der Veränderung der Transferleistung zu Hochwasser über alle Messzeitpunkte führt zum Hinweis, dass das Wissen zu Hochwasser die Grundlage für die Transferleistung ist. So hat in der EG die geringfügige Zunahme von korrektem Wissen von t2 zu t3 vermutlich die verbesserte Transferleistung mit beeinflusst. Umgekehrt könnte in der VG das leicht abnehmende Wissen zu Hochwasser von t2 zu t3 die hochsignifikante Abnahme der Transferleistung mitverursacht haben. Auch die signifikant bessere Transferleistung der VG bei t2 könnte auf ihre geringfügig bessere Wissens- und Transferleistung bei t1 zurückzuführen sein, d. h. die Probanden bringen eine geringfügig bessere Lernfähigkeit in die Untersuchung mit. Diese Ergebnisse stimmen mit der bisherigen lernpsychologischen Forschung zum Lerntransfer überein. Es wurde mehrfach aufgezeigt, dass bereichsspezifisches Wissen (hier „Wissen zu Hochwasser) die Grundlage für menschliche Kognition und damit auch für erfolgreichen Lerntransfer ist (Stern 2004, S. 123).

6) In beiden Gruppen nehmen von t1 zu t2 Hochwasserfaktoren aller Kategorien (Subskala) geringfügig bis hochsignifikant zu, von t1 zu t3 zeigt mindestens die Hälfte davon eine signifikante Zunahme. Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen in beiden Gruppen eine fachlich differenzierte und beständige Transferleistung fördert. Gegenüber der VG zeigen in der EG von t1 zu t3 mehr Kategorien einen signifikanteren Anstieg an, was tendenziell auf eine fachlich differenziertere, wirksamere und beständigere Förderung der Transferleistung durch den Lernansatz AEL hinweist. Diese Schlussfolgerung wird durch folgende Ergebnisse unterstützt. Während von t2 zu t3 in der VG die Kategorien Vegetation, Topographie und Mensch sehr bis hochsignifikant abnehmen, steigen in der EG die Kategorien Mensch hochsignifikant und Geologie signifikant an. Der direkte Vergleich der Gruppen zeigt sogar, dass die EG von t2 zu t3 bei allen Kategorien stärker ansteigt und sich damit bei fünf Subskalen die Linien der EG mit der VG aufsteigend

überkreuzen. Bei der sechsten Kategorie Boden schließt die EG zudem zur VG bei t3 auf. Demgegenüber fallen in der EG bei t3 die Werte von einigen Kategorien (z. B. Mensch, Vegetation) nahezu auf den Stand des Vorwissens bei t1 zurück, was darauf hinweist, dass ohne den Lernansatz AEL ein kognitiv vertieftes Lernen kaum oder nur begrenzt stattfindet. All diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Lernansatz AEL eine fachlich umfassende, differenzierte und signifikant beständige Transferleistung zu Hochwasser bewirkt.

7) Die Untersuchung der personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren für die Transferleistung zu Hochwasser (Tab. 34) zeigt, dass einzig beim Messzeitpunkt t2 die Schülerinnen und Schüler, welche länger in der Schweiz lebten (> 15.3 Jahre in der Schweiz) und in einem Haus mit Garten wohnen, signifikant bessere Transferleistungen erreichen. Da sich die Gruppen EG und VG bezüglich der beiden Einflussfaktoren nicht unterscheiden (Tab. 35), liefern diese personen- und umfeldbedingten Aspekte keine weiteren Erklärungen für die unterschiedliche Transferleistung zu Hochwasser bei t2. Beim Messzeitpunkt t3 zeigt schließlich keiner der untersuchten personen- und umfeldbedingten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Transferleistung zu Hochwasser im Fragebogen. Dies deutet darauf hin, dass die hochsignifikant bessere Transferleistung der EG bei t3 (Abb. 60) vorwiegend auf die Intervention mit dem Lernansatz AEL zurückzuführen ist.

7.5.2 Analyse der Bildanalysen zu Hochwasser

Mit der **Analyse zu Bild 1** (Erhebungsinstrument B, Abb. 49) wird in der Wirksamkeitsstudie ein **naher Transfer** erfasst, da die sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) in ähnlicher Form vorkommen wie im Bild von Sedrun (Abb. 11) in der Intervention. Das Erhebungsinstrument B (Kapitel 7.2.3) wurde in den Gruppen EG und VG an den drei Messzeitpunkten t1, t2 und t3 eingesetzt.

Der **t-Test für abhängige Stichproben** zur Bildanalyse 1 zeigt eine hochsignifikante Zunahme des nahen Transfers von t1 zu t2 in beiden Gruppen (Abb. 62 und Tab. 28). Von t1 zu t3 nimmt der nahe Transfer in der EG sehr signifikant zu und in der VG hochsignifikant. Diese Veränderung der Transferleistung in beiden Gruppen belegt die Wirksamkeit des didaktisch optimierten Lernmaterials von WASSERverstehen auch bezüglich des nahen Transfers in einer Bildanalyse. Von t2 zu t3 zeigen beide Gruppen eine Abnahme der Transferleistung, in der EG ist diese signifikant und in der VG nicht signifikant.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG bezüglich der Veränderung des nahen Transfers von t1 zu t2, von t1 zu t3 und von t2 zu t3 (Abb. 62 und Tab. 28). Dieses Ergebnis stimmt mit den anderen Erhebungsinstrumenten überein und macht deutlich,

dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL auch den nahen Transfer und dessen Beständigkeit ähnlich beeinflusst.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen EG und VG bezüglich des nahen Transfers bei t1, t2 und t3. Für den Messzeitpunkt t1 bedeutet das Ergebnis, dass die beiden Gruppen EG und VG nicht mit einer unterschiedlichen Transferleistung zu Hochwasser in die Untersuchung starten und die Gruppenzugehörigkeit damit keinen Einfluss auf die Ergebnisse bei den späteren Messzeitpunkten t2 und t3 hat. Das Ergebnis bei t2 und t3 bestätigt einerseits die bisherigen Schlussfolgerungen zur Wirksamkeit des Lernmaterials von WASSERverstehen. Andererseits deutet das Ergebnis darauf

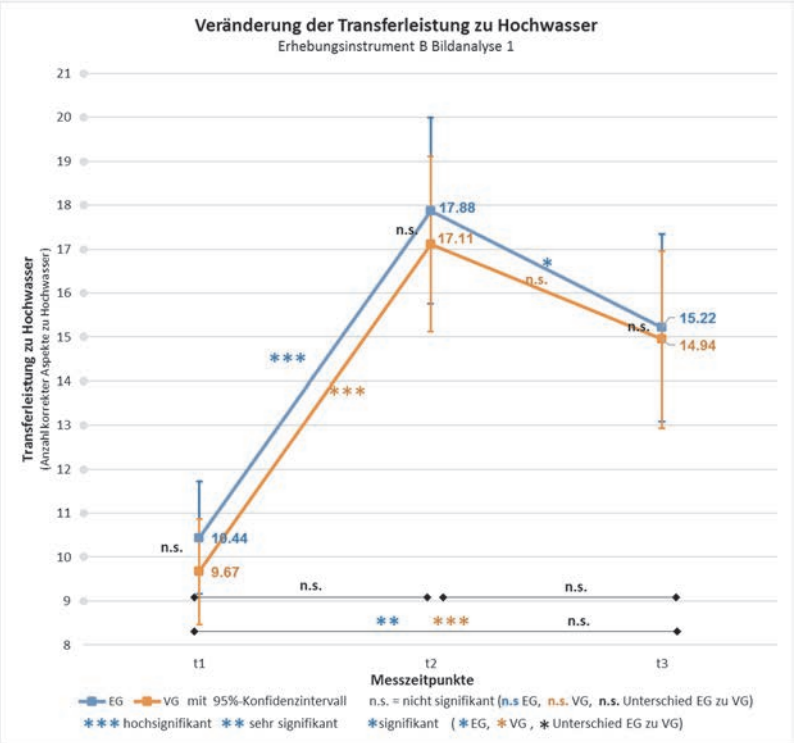


Abb. 62 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen, Verortungen und Begründungen zu Hochwasserfaktoren angegeben.

hin, dass die Entwicklung von Hypothesen in der Phase Fokus keinen Einfluss auf die Transferleistung bei der Bildanalyse und dessen Behaltensleistung hat. Dieser Befund bestätigt damit die Ergebnisse aus dem Fragebogen und der spontanen Aufzählung zu Hochwasser in Kapitel 7.4.

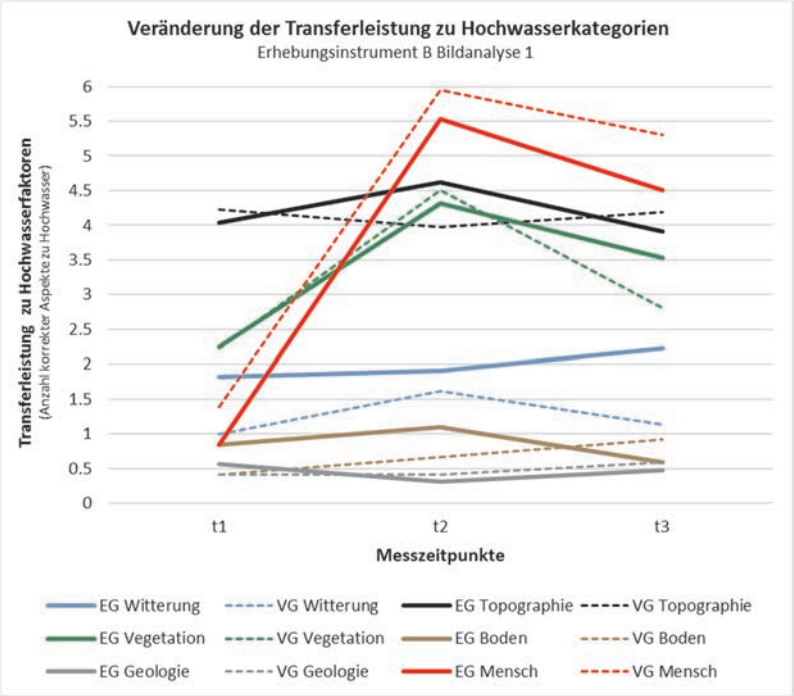


Abb. 63 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)
Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen, Verortungen und Begründungen zu den sechs Hochwasserfaktoren angegeben.

Tab. 28 | Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe

Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben und der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) zum Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, F_{t*G} = Mittelwertunterschied zwischen EG und VG über die Zeit, Eta^2 = Partielles Eta-Quadrat, a) Die Signifikanz (2-seitig), die Korrelation und T können nicht berechnet werden, da der Standardfehler der Differenz gleich 0 ist (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

Skalen	G	Mittelwerte und Standardabweichungen						t-Test für abhängige Stichproben			Varianzanalyse (ANOVA)		
		t1		t2		t3					t1 – t2	t1 – t3	t2 – t3
		M	SD	M	SD	M	SD	t1–t2 Sig	t1-t3 Sig	t2–t3 Sig	F_{t*G} Sig. Eta^2	F_{t*G} Sig. Eta^2	F_{t*G} Sig. Eta^2
Hauptskala													
alle Hochwasserfaktoren	EG	10.44	3.52	17.88	4.23	15.22	6.80	.000***	.002**	.013*	.000	.129	.114
											.996	.721	.737
	VG	9.67	3.72	16.36	7.53	14.94	5.84	.000***	.000***	.162	.000	.002	.002
Subskala Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien													
Witterung	EG	1.81	2.23	1.91	2.23	2.22	2.85	.837	.443	.493	.765	.189	1.946
											.385	.665	.168
	VG	1.00	1.76	1.61	2.31	1.14	1.87	.123	.690	.184	.011	.003	.029
Vegetation	EG	2.25	1.92	4.31	2.92	3.53	2.48	.001***	.035*	.134	.095	1.191	2.133
											.758	.279	.149
	VG	2.22	1.71	4.50	2.40	2.82	1.91	.000***	.068	.000***	.001	.018	.031
Geologie	EG	.56	1.19	.31	.86	.47	1.11	.264	.712	.444	.582	.655	.001
											.448	.421	.976
	VG	.42	1.05	.42	1.05	.58	1.20	1.000	.422	.535	.009	.010	.000
Topografie	EG	4.03	3.12	4.63	2.79	3.91	3.15	.392	.846	.256	.992	.016	1.476
											.323	.898	.229
	VG	4.22	2.35	3.97	2.71	4.19	2.81	.633	.950	.645	.015	.000	.022
Boden	EG	.84	1.37	1.09	1.96	.59	1.19	.528	.325	.180	.000	3.475	2.956
											1.000	.067	.090
	VG	.42	1.05	.67	1.78	.92	1.54	.475	.113	.330	.000	.050	.043
Mensch	EG	.84	1.25	5.53	3.31	4.50	3.14	.000***	.000***	.040*	.021	.102	.316
											.886	.751	.576
	VG	1.39	2.52	5.94	3.50	5.31	2.97	.000***	.000***	.211	.000	.002	.005

Tab. 29 | Gruppenunterschiede beim nahen Transfer zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzintervall, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzintervall, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Skalen	G	t-Test für unabhängige Stichproben																	
		t1						t2						t3					
		M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig	M	SD	U	O	T	Sig
Hauptskala																			
alle Hochwasser-faktoren	EG	10.44	3.52	9.16	11.72	.88	.385	17.88	4.23	15.76	19.99	1.00	.319	15.22	6.80	13.09	17.35	-.11	.915
	VG	9.67	3.72	8.46	10.87			16.36	7.53	15.12	19.10			14.94	5.84	12.94	16.95		
Subskala Kategorien																			
Witterung	EG	1.81	2.23	1.11	2.51	1.68	.097	1.91	2.23	1.11	2.71	.54	.594	2.22	2.85	1.38	3.06	1.87	.066
	VG	1.00	1.76	.34	1.66			1.61	2.31	.86	2.37			1.14	1.87	.35	1.93		
Vegetation	EG	2.25	1.92	1.61	2.89	.063	.950	4.31	2.92	1.62	2.83	-.29	.772	3.53	2.48	2.76	4.31	1.36	.178
	VG	2.22	1.71	3.38	5.25			4.50	2.40	3.62	5.38			2.82	1.91	2.08	3.54		
Geologie	EG	.56	1.19	.17	.96	.54	.593	,31	.86	-.03	.65	-.44	.659	,47	1.11	.06	.88	-.41	.685
	VG	.42	1.05	.04	.79			.42	1.05	.10	.74			.58	1.20	.20	.97		
Topografie	EG	4.03	3.12	3.07	5.00	-.29	.775	4.63	2.79	3.66	5.60	.98	.332	3.91	3.15	2.86	4.96	-.40	.691
	VG	4.22	2.35	3.31	5.13			3.97	2.71	3.06	4.89			4.19	2.81	3.21	5.18		
Boden	EG	.84	1.37	.42	1.27	1.45	.152	1.09	1.96	.44	1.75	.94	.348	.59	1.19	.11	1.08	-.96	.340
	VG	.42	1.05	.01	.82			.67	1.78	.05	1.29			.92	1.54	.46	1.38		
Mensch	EG	.84	1.25	.13	1.56	-1.11	.272	5.53	3.31	4.33	6.74	-.50	.620	4.50	3.141	3.42	5.58	-1.09	.282
	VG	1.39	2.52	.71	2.06			5.94	3.50	4.81	7.08			5.31	2.97	4.29	6.32		

Die Ergebnisse der Analyse zu Bild 1 wurden bei allen Probanden nach den **sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren** (Subskala) erfasst, um Hintergründe für die Interpretation der Veränderungen des nahen Transfers (Hauptskala) in den beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte zu erhalten (Abb. 63, Tab. 28 und 29).

Der im **t-Test für abhängige Stichproben** aufgezeigte hochsignifikante Zuwachs des nahen Transfers (Hauptskala) von t1 zu t2 in der EG und VG (Abb. 62 und Tab. 28) wird in beiden Gruppen durch die hochsignifikante Zunahme von Hochwasserfaktoren der Kategorien Mensch und Vegetation (Subskala) verursacht (Abb. 63 und Tab. 28). Beide Kategorien tragen auch zum sehr bis hochsignifikanten Anstieg der Transferleistung (Hauptskala) von t1 zu t3 bei. Dieses Ergebnis lässt sich wie folgt erklären. Im Bild 1 zum Einzugsgebiet der Gürbe sind Hochwasserfaktoren zur Kategorie Vegetation mit dem großflächigen Wald und der Kategorie Mensch mit den Siedlungen und landwirtschaftlichen Nutzflächen deutlich erkennbar. So sind die Ergebnisse bei t2 und t3 nicht überraschend. Interessant ist jedoch, dass beide Kategorien bei t1 trotz ihrer Präsenz im Bild von den Probanden kaum bemerkt wurden. Das Lernmaterial von WASSERverstehen hat offensichtlich in beiden Gruppen zu einem *Conceptual Change* (Kapitel 3.2) hinsichtlich der Hochwasserfaktoren der Kategorien Vegetation und Mensch geführt. Die erworbenen Kenntnisse und das rekonstruierte Konzept zu Hochwasser aus der Intervention scheinen die entscheidenden Voraussetzungen für die differenziertere und stärker situationsbezogene Bildanalyse bei t2 und t3 zu sein. Dies deutet darauf hin, dass mit dem Lernmedium WASSERverstehen über die drei Lernphasen neben dem *Conceptual Change* auch der Transfer des Gelernten in andere Situationen (Einzugsgebiet der Gürbe) unterstützt wurde. Es scheint denn auch plausibel, dass die differenzierten und angereicherten Vorstellungen der Lernenden (*Conceptual Change*) einen fachlich korrekten Transfer auf andere Situationen unterstützen. Diese Hinweise entsprechen u.a. auch den Aussagen von Köck (2014), dass Kenntnisse die Voraussetzung von Erkenntnissen sind (Kapitel 5.1.1).

Bemerkenswert ist auch, dass die Probanden im Einzugsgebiet der Gürbe die Hochwasserfaktoren zur Kategorie Topographie bereits bei t1 als bedeutend erkannt haben. Grund hierfür kann sein, dass Vorwissen und Erfahrungen der Probanden zum Abfluss von Wasser im Gelände (z. B. beim Blumen gießen in einem Hang, beim Spielen im Sandkasten) von Beginn weg durch das Bild aktiviert wurden.

Die restlichen drei Kategorien Witterung, Boden und Geologie verändern sich kaum in den beiden Gruppen über die Zeit. Dies kann verschiedene Gründe haben. So ist die Bedeutung von Hochwasserfaktoren der Kategorien Witterung, Boden und Geologie in Bild 1 für den Betrachter nicht direkt erfassbar, da im Foto die Prozesse in Atmosphäre (z. B. Bewölkung, Niederschlag), Boden und geologischem

Untergrund (z. B. Versickerung von Wasser) nicht erkennbar sind. Diese Hochwasserfaktoren sind daher nur indirekt und hypothetisch mit vertieftem fachlichem Wissen bei der Bildanalyse einbringbar. Vor diesem Hintergrund kann das Ergebnis unterschiedlich eingeordnet werden. Ein Standpunkt könnte sein, dass die Probanden ihr erworbenes Wissen angepasst auf die Situation im Einzugsgebiet der Gürbe transferiert haben, wo Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Topographie, Vegetation und Mensch deutlich sichtbar und damit plausibel erklärbar sind. Aus dieser Sicht müsste die unterschiedliche Berücksichtigung der Hochwasserfaktoren als situativ angepasste Transferleistung honoriert und gewürdigt werden. Es wäre aber auch möglich, dass die im Foto nicht sichtbaren und verborgenen Hochwasserfaktoren für die Probanden als nicht markierbar aufgefasst wurden (methodisches Problem). Ein dritter Grund könnte auch sein, dass die Probanden nur vage Vorstellungen und Kenntnisse zu den nicht direkt beobachtbaren Prozessen in der Atmosphäre und im Untergrund haben und diese daher kaum angegeben haben. Dass solche Zusammenhänge beim Problemlösen eine Rolle spielen, hat Sibylle Reinfried in Ihren Studien zu Wasserquellen (REINFRIED ET AL. 2013) und Treibhauseffekt (REINFRIED ET AL. 2010) aufgezeigt. Welcher dieser Aspekte zum vorliegenden Ergebnis geführt hat, kann mit der vorliegenden Erhebung nicht geklärt werden. Eine Nachfolgestudie soll in einer qualitativen Lernprozessstudie diesen Aspekten jedoch nachgehen.

Die **univariate Varianzanalyse (ANOVA)** zeigt bezüglich der Veränderung des nahen Transfers zu Hochwasser (Hauptskala) und der sechs Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen EG und VG von t1 zu t2, t1 zu t3 und t2 zu t3 (Abb. 62 und 63 und Tab. 28). Auffallend ist, dass sich die sechs Kategorien über die Zeit in beiden Gruppen sehr ähnlich verändern. Dies stimmt mehrheitlich mit den Ergebnissen zur Transferleitung aus dem Fragebogen zu Hochwasser überein und bestätigt die Wirksamkeit des Lernmediums WASSERverstehen zum nahen Transfer und dessen Beständigkeit, unabhängig vom Lernansatz AEL.

Der **t-Test für unabhängige Stichproben** zeigt bezüglich des nahen Transfers zu Hochwasser (Hauptskala) und der Kategorien zu Hochwasserfaktoren (Subskala) keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen EG und VG bei t1, t2 und t3 (vgl. Abb. 62, 63 und Tab. 63). Auch dieses Ergebnis unterstützt die bisherige Schlussfolgerung zur hohen Wirksamkeit des Lernmediums WASSERverstehen bezüglich der Transferleistung, unabhängig vom Lernansatz AEL.

Die **Analyse zu Bild 2** (Abb. 50) erfasst in der Wirksamkeitsstudie einen weiten Transfer, weil sich die Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Topographie und Witterung deutlich vom Bild zu Sedrun (Abb. 11) aus der Intervention unterscheiden (vgl. Kapitel 7.2.3 zum Erhebungsinstrument B).

Da die Ergebnisse zum weiten Transfer (Hauptskala und Subskala) sehr ähnlich wie beim nahen Transfer ausfallen (Abb. 62 und Abb. 64), werden im Folgenden nur noch die wichtigsten Unterschiede und Übereinstimmungen erläutert:

- Der t-Test für abhängige Stichproben ergibt für den weiten Transfer zu Hochwasser (Hauptskala) von t2 zu t3 eine signifikantere Abnahme in der EG und VG als für den nahen Transfer. Offensichtlich führt die komplexere und umfassendere Analyse beim weiten Transfer zu einer stärkeren Abnahme der Transferleistung über die Zeit. Möglich ist aber auch, dass die Motivation geringer war, eine umfassende Zusammenstellung von Hochwasserfaktoren zum dritten Mal bei t3 auch beim zweiten Bild zu erstellen.
- Bei Bild 2 werden an allen Messzeitpunkten in beiden Gruppen mehr Hochwasserfaktoren zu den sechs Kategorien erfasst als in Bild 1, durchschnittlich 0.19 bis 1.62 Hochwasserfaktoren kommen hinzu. Ein Grund hierfür könnte sein, dass in Bild 2 weitere hochwasserbeeinflussende Aspekte hinzukommen (z. B. See, Höhendifferenz, Gletscher) und damit mehr Hochwasserfaktoren genannt werden können.
- Die Kategorien Mensch und Vegetation zeigen beim weiten Transfer wiederum von t1 zu t2 und von t1 zu t3 signifikante bis hochsignifikante Zunahmen (Abb. 63 und Abb. 65). Hierfür scheinen die ähnlichen Gründe wie bei Bild 1 plausibel zu sein, insbesondere weil die Analyse zu Bild 2 direkt nach Bild 1 vorgenommen wurde.
- Bei der Analyse zu Bild 2 erreichen die Kategorien Witterung und Topographie in beiden Gruppen höhere Mittelwerte als in Bild 1. Grund hierfür ist, dass in Bild 2 mit dem See, den Höhenunterschieden und den Gletschern mehr Aspekte zu beiden Subskalen enthalten sind und dies von den Probanden auch mehrheitlich so erfasst wurde (Tab. 30). Zudem zeigen die univariate Varianzanalyse (ANOVA) und der t-Test für unabhängige Stichproben keine signifikanten Unterschiede zwischen der EG und der VG auf. Diese Ergebnisse bestätigen die Wirksamkeit des Lernmittels WASSERverstehen für den nahen und den weiten Transfer, unabhängig vom Lernansatz AEL.

Tab. 30 | Häufigkeiten der Hochwasserfaktoren „Gletscher, Schnee“, „Neigung der Hänge“ und „See“, [1)] erfasst nach dem Kategorisierungsraster (Abb. 48)

Kategorien (Subskala)	**Hochwasser-faktoren**[1)]	**Messzeitpunkt t1**		**Messzeitpunkt t2**		**Messezeitpunkt t3**	
		EG	**VG**	**EG**	**VG**	**EG**	**VG**
Witterung	7W Gletscher, Schnee	59.4 % (19)	71.9 % (23)	84.4 % (27)	86.1 % (31)	71.9 % (23)	83.3 % (30)
Topographie	2T Neigung der Hänge	46.9 % (15)	59.4 % (19)	46.9 % (15)	47.2 % (17)	59.4 % (19)	69.4 % (25)
	6T See	40.6 % (13)	50.0 % (16)	50.0 % (16)	55.5 % (20)	46.9 % (15)	36.1 % (13)

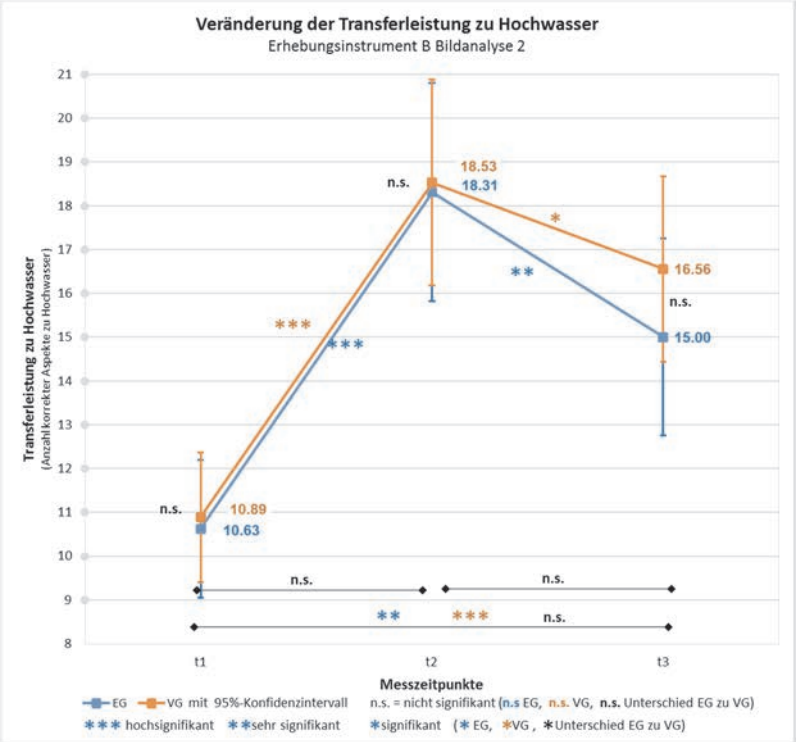


Abb. 64 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasser in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen, Verortungen und Begründungen zu Hochwasserfaktoren angegeben.

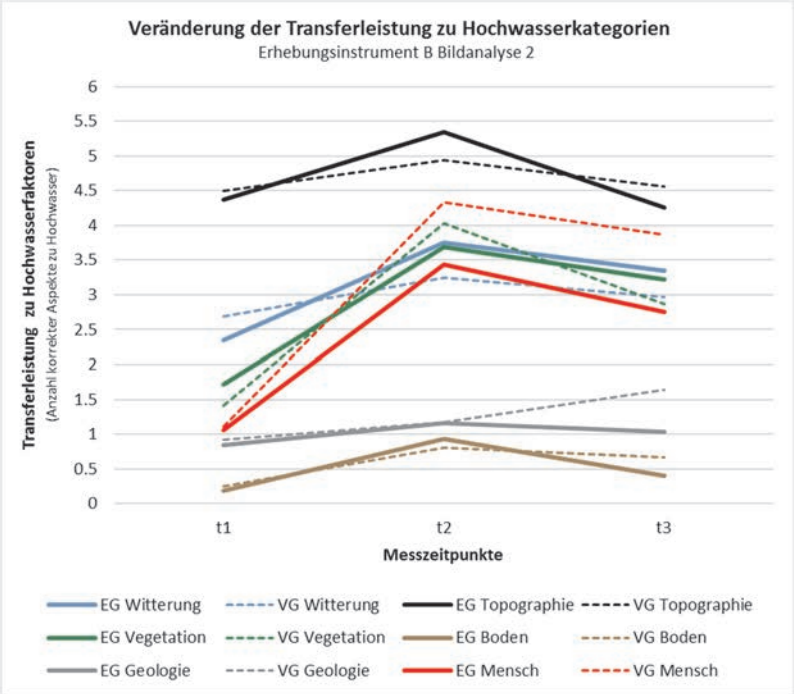


Abb. 65 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasserfaktoren geordnet nach sechs Kategorien in beiden Gruppen über drei Messzeitpunkte (eigene Darstellung)

Ergebnisse aus Erhebungsinstrument C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser in der Experimentalgruppe EG (N=32) und Vergleichsgruppe VG (N=36). Bemerkung: Auf der X-Achse ist die Summe korrekter Nennungen, Verortungen und Begründungen zu den sechs Hochwasserfaktoren angegeben.

Tab. 31 | Veränderung des weiten Transfers zu Hochwasser in der Experimental- und Vergleichsgruppe

Ergebnisse des t-Tests für abhängige Stichproben und der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) zum Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser. M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, t = Zeit, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, F_{t*G} = Mittelwertunterschied zwischen EG und VG über die Zeit, Eta^2 = Partielles Eta-Quadrat, a) Die Signifikanz (2-seitig), die Korrelation und T können nicht berechnet werden, da der Standardfehler der Differenz gleich 0 ist (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

Skalen	G	Mittelwerte und Standardabweichungen						t-Test für abhängige Stichproben			Varianzanalyse (ANOVA)		
		t1		t2		t3		t1–t2	t1-t3	t2–t3	t1 – t2	t1 – t3	t2 – t3
		M	SD	M	SD	M	SD	Sig	Sig	Sig	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2	F_{t*G} Sig Eta^2
Hauptskala													
alle Hochwasserfaktoren	EG	10.63	3.79	18.31	6.493	15.00	7.571	.000***	.006**	.005**	.001 .977 .000	.665 .418 .010	.785 .379 .012
	VG	10.89	5.25	18.53	7.538	16.56	6.637	.000***	.000***	.031*			
Subskala Hochwasserfaktoren nach 6 Kategorien													
Witterung	EG	2.34	2.47	3.75	2.42	3.34	2.43	.008**	.034*	.291	1.610 .209 .024	1.514 .223 .022	.074 .787 .001
	VG	2.69	2.63	3.25	2.08	2.97	1.72	.229	.471	.352			
Vegetation	EG	1.72	1.82	3.69	2.88	3.22	2.67	.001***	.015*	.338	.875 .353 .013	.007 .933 .000	1.338 .252 .020
	VG	1.42	1.73	4.03	2.57	2.86	2.10	.000***	.000***	.004**			
Geologie	EG	.84	1.37	1.16	1.63	1.03	1.45	.385	.572	.756	.024 .879 .000	1.756 .190 .026	1.701 .197 .025
	VG	.92	1.40	1.17	1.65	1.64	1.66	.263	.006**	.064			
Topografie	EG	4.38	2.51	5.35	3.60	4.25	2.59	.153	.839	.037*	.375 .542 .006	.047 .828 .001	1.062 .307 .016
	VG	4.50	3.07	4.94	2.57	4.56	2.51	.428	.922	.410			
Boden	EG	.18	1.06	.94	1.90	.41	1.01	.070	.421	.088	.138 .712 .002	.295 .589 .004	.834 .364 .012
	VG	.25	.84	.81	1.91	.67	1.41	.115	.100	.650			
Mensch	EG	1.06	1.83	3.44	2.60	2.75	2.68	.000***	.005**	.139	1.600 .210 .024	2.044 .158 .030	.102 .750 .002
	VG	1.11	2.00	4.33	2.69	3.86	3.33	.000***	.000***	.344			

Tab. 32 | Gruppenunterschiede zum weiten Transfer zu Hochwasser an drei Messzeitpunkten

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument B Bildanalyse zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, G = Gruppe, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N = 36), M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, U = Untergrenze von 95 % Konfidenzintervall, O= Obergrenze von 95 % Konfidenzintervall, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Skalen	G	t-Test für unabhängige Stichproben																							
		t1							t2							t3									
		M	SD	U	O	T	Sig		M	SD	U	O	T	Sig		M	SD	U	O	T	Sig				
Hauptskala																									
alle Hochwasser-faktoren	EG	10.63	3.79	9.06	12.19	-.57	.571		18.31	6.49	15.82	20.81	.34	.901		15.00	7.57	12.75	17.25	.24	.223				
	VG	10.89	5.25	.9.41	12.37				18.53	7.54	16.12	20.88				16.56	6.64	14.43	18.68						
Subskala Kategorien																									
Witterung	EG	2.34	2.47	1.44	3.25	-.57	.574		3.75	2.42	2.96	4.54	.92	.363		3.34	2.43	2.61	4.08	.73	.465				
	VG	2.69	2.63	1.84	3.55				3.25	2.08	2.50	4.00				2.97	1.72	2.28	3.67						
Vegetation	EG	1.72	1.82	1.09	2.34	.70	.485		3.69	2.88	2.73	4.65	-.52	.608		3.22	2.67	2.38	4.06	.62	.539				
	VG	1.42	1.73	.83	2.01				4.03	2.57	3.12	4.93				2.86	2.10	2.07	3.66						
Geologie	EG	.84	1.37	.35	1.33	-.22	.829		1.16	1.63	.58	1.74	-.03	.979		1.03	1.45	.48	1.58	-1.60	.114				
	VG	.92	1.40	.46	1.38				1.17	1.65	.62	1.71				1.64	1.66	1.12	2.16						
Topografie	EG	4.38	2.51	3.38	5.37	-.18	.856		5.35	3.60	4.25	6.44	.53	.597		4.25	2.59	3.35	5.15	-.49	.623				
	VG	4.50	3.07	3.56	5.44				4.94	2.57	3.91	5.96				4.56	2.51	3.71	5.40						
Boden	EG	.18	1.06	-.15	.52	-.27	.788		.94	1.90	.27	1.61	.29	.776		.41	1.01	-.03	.84	-.86	.391				
	VG	.25	.84	-.07	.57				.81	1.91	.17	1.44				.67	1.41	.254	1.08						
Mensch	EG	1.06	1.83	.39	1.74	-.10	.917		3.44	2.60	2.50	4.37	-1.39	.169		2.75	2.68	1.68	3.82	-1.50	.137				
	VG	1.11	2.00	.47	1.75				4.33	2.69	3.45	5.22				3.86	3.33	2.85	4.87						

Schlussfolgerungen: Transferleistung bei der Bildanalyse

1) Bei der Bildanalyse zu Hochwasser (Hauptskala) zeigen die Gruppen EG und VG bezüglich eines nahen und weiten Transfers von t1 zu t2 und von t2 zu t3 einen sehr bis hochsignifikanten Zuwachs. Die erworbene Transferleistung zu Hochwasser ist also auch nach zwei Monaten beständig verfügbar. Dieses Ergebnis deutet wiederum darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte so berücksichtigt, dass die Transferleistung zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL bei t2 hochsignifikant zunehmen und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleiben.

2) In beiden Gruppen nimmt die Transferleistung von t2 zu t3 ab, beim nahen Transfer in der EG signifikant und in der VG geringfügig, beim weiten Transfer in der EG sehr signifikant und in der VG signifikant. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die komplexere und umfassendere Analyse beim weiten Transfer zu einer deutlicheren Abnahme der Transferleistung über die Zeit führt. Möglich ist aber auch, dass die Motivation geringer war, eine umfassende Zusammenstellung von Hochwasserfaktoren zum dritten Mal bei Bild 2 zu erstellen.

3) Die Veränderung des nahen und weiten Transfers (Hauptskala) unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Gruppen über die Zeit, d. h. von t1 zu t2, t1 zu t3 und t1 zu t3 (Abb. 62 und Abb. 64). Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so berücksichtigt, dass die Transferleistung zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL bei t2 hochsignifikant zunimmt und bei t3 nach 8 Wochen beständig hoch bleibt.

4) In beiden Gruppen tragen zur hochsignifikanten Zunahme des nahen und weiten Transfers in der Hauptskala von t1 zu t2 und von t1 zu t3 hauptsächlich die Hochwasserfaktoren der Kategorien Vegetation, und Mensch bei. Interessant ist, dass beim Vortest t1 Hochwasserfaktoren dieser beiden Kategorien trotz ihrer hohen Präsenz im Bild von den Probanden kaum bemerkt wurden. Bei der Intervention hat das Lernmaterial von WASSERverstehen dann offensichtlich einen *Conceptual Change* in beiden Gruppen zu Hochwasserfaktoren der beiden Kategorien Vegetation und Mensch unterstützt. In der Bildanalyse bei t2 und t3 wenden die Probanden ihr Wissen zu Hochwasser bezüglich dieser Kategorien von Hochwasserfaktoren jedenfalls differenzierter und situationsbezogener an, als vor der Intervention. Dies deutet darauf hin, dass der mit dem Lernmedium WASSERverstehen über drei Lernphasen stetig vollzogene *Conceptual Change* auch den Transfer in andere Situationen (Einzugsgebiet der Gürbe und Val Poschiavo) unterstützt.

5) In beiden Gruppen verändern sich die Hochwasserfaktoren zu den Kategorien „Geologie“ und „Boden“ kaum. Dieses Ergebnis kann unterschiedlich gedeutet werden. Möglich ist, dass durch den Auftrag die Hochwasserfaktoren im Bild zu markieren, die Probanden vorwiegend im Bild „sichtbare“ Hochwasserfaktoren zusammengestellt haben, d. h. nicht direkt erkennbare Faktoren zu den Kategorien Boden und Geologie wurden aus graphisch-methodischen Gründen nicht angegeben. Möglich wäre aber auch, dass die Probanden gerade diese Hochwasserfaktoren weniger aufgeführt haben, weil sie eine weniger differenzierte Vorstellung zu diesen nicht direkt zugänglichen Prozessen haben. Präzisere und schlüssigere Erklärungen zu dieser Beobachtung können aus den erhobenen Daten nicht gewonnen werden, hierfür wäre eine qualitative Untersuchung nötig.

6) Auffallend ist, dass sich die Ergebnisse zum Transfer von Hochwasser zwischen dem Fragebogen (Erhebungsinstrument C) und der Bildanalyse (Erhebungsinstrument B) von t2 zu t3 in der Gruppe EG deutlich unterscheiden (Abb. 60, 62 und 65). Während die Transferleistung zu Hochwasser beim Fragebogen der Hauptskala und der meisten Kategorien in der Subskala beständig hoch bleiben, zeigt sich bei den Bildanalysen eine signifikante bis sehr signifikante Abnahme bei der Hauptskala sowie eine geringe bis signifikante Abnahme in den Kategorien der Subskala. Für die signifikante bis hochsignifikante Abnahme des nahen und weiten Transfers bei der Bildanalyse von t2 zu t3 in der EG erscheinen verschiedene Gründe plausibel. Einerseits könnte sein, dass beim Erhebungsinstrument Bildanalyse die allgemeine Fragestellung zu Hochwasserfaktoren bei den Probanden auch eine eher allgemeine Analyse auslöst. D. h. es müssen zwar verschiedene Hochwasserfaktoren im Bild erkannt werden, die Fragestellung verlangt per se aber keine tiefgründig kognitive Leistung zu bestimmten Hochwasserfaktoren, beispielsweise zum Einfluss der Schneefallgrenze oder des Felsuntergrundes. Andererseits erscheint es auch naheliegend, dass die Motivation bei der dritten Erhebung abnimmt erneut möglichst viele Hochwasserfaktoren zu dieser eher offenen Fragestellung auszuführen. Für diese Erklärung spricht auch, dass beim Erhebungsinstrument C mit fokussierenden und abschließend zu beantwortenden Fragestellungen die Transferleistung in der EG beim Messzeitpunkt t3 beständig hoch bleibt (Abb. 56 und 58). D. h. die Transferleistung zu Hochwasser wäre bei den Probanden offenbar vorhanden, manifestiert sich aber nur bei einer fokussierten und abschließend zu beantwortenden Fragestellung. Aus diesen Überlegungen kann – wie bereits beim Erhebungsinstrument A zur spontanen Aufzählung von Hochwasserfaktoren (Kapitel 7.4.2) – die Folgerung gezogen werden, dass fokussierende und abschließend beantwortbare Fragestellungen präzisere Hinweise zur effektiv vorhandenen Transferleistung zu Hochwasser liefern.

7.6 Überprüfung der Einflussfaktoren

Für die EG und die VG wurden verschiedene **persönliche, lernpsychologische und didaktische Einflussfaktoren** mit den Erhebungsinstrumenten D Standardisierter Fragebogen zur Motivation (Abb. 53), E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen (Abb. 54) und F Fragebogen zu personen- und umfeldbedingte Faktoren (Abb. 55) erfasst.

Die Analyse der Einflussfaktoren verfolgt drei Ziele:

1. Erstens soll der Einfluss von personen- und umfeldbedingten Faktoren auf die Wissenskonstruktion und die Transferleistung in den Gruppen EG und VG für die Messzeitpunkte t1, t2 und t3 untersucht werden (vgl. Kapitel 7.6.1).

2. Zweitens soll gezeigt werden, ob sich die Gruppen VG und EG bezüglich verschiedener Einflussfaktoren bei t1 unterscheiden, z. B. ob eine Gruppe deutlich motivierter ist als die andere (vgl. Kapitel 7.6.2).

3. Drittens soll die Sicht der Probanden zum Lernmedium WASSERverstehen und zum Lernansatz AEL bei t2 und t3 erfasst werden, um auch diese Perspektiven bei der Interpretation der quantitativen Ergebnisse einzubeziehen (vgl. Kapitel 7.6.3).

Schlussfolgerungen zur Bedeutung der erhobenen Einflussfaktoren auf die Wirksamkeitsstudie werden direkt bei den Ergebnissen in den drei folgenden Kapiteln vorgenommen und in Kapitel 7.7.2 schließlich zusammengefasst.

7.6.1 Einfluss von personen- und umfeldbedingten Faktoren

Es ist davon auszugehen, dass nicht nur der Lernansatz AEL und das Lernmedium WASSERverstehen einen Einfluss auf die Wissenskonstruktion und die Transferleistung zu Hochwasser haben, sondern auch personen- und umfeldbedingte Faktoren.

Bei jedem der 13 geprüften Einflussfaktoren wurden mit dem **Median-Split-Verfahren** aus den 68 Probanden zwei Gruppen gebildet, eine mit hohen und eine mit niedrigen Werten. Anschließend wurden die gebildeten Gruppen an den Messzeitpunkten t2 und t3 mit einem **t-Test für unabhängige Stichproben** verglichen bezüglich ihrer Wissens- und Transferleistung aus dem Fragebogen zu Hochwasser (Abb. 51 und 52).

Diese statistische Analyse soll zeigen, ob neben der Intervention mit dem Lernan-

satz AEL und dem Lernmedium WASSERverstehen auch personen- und umfeldbedingte Faktoren einen Einfluss auf die Veränderung von Wissen und Transferleistung zu Hochwasser bei t2 und t3 haben, beispielsweise, ob die stärker motivierte Gruppe einen signifikant höheren Zuwachs an Wissen zu Hochwasser hat als die weniger motivierte Gruppe. Die Einflussfaktoren wurden bezogen auf die Ergebnisse aus dem Fragebogen zu Hochwasser (Erhebungsinstrument C) berechnet, um weitere Hinweise für die Veränderung der Wissens- und Transferleistung (Abb. 56 und 58) zu finden oder sogar Gründe für die festgestellten Unterschiede zwischen EG und VG bei der Transferleistung zu erhalten (Abb. 60).

Die Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse zu den **Einflussfaktoren auf das Wissen zu Hochwasser**. Beim Messzeitpunkt t2 erweist sich einzig der Einflussfaktor Motivation als bedeutend. Die stärker motivierten Schülerinnen und Schüler erreichen bei t2 und t3 eine signifikant bessere Wissensleistung als die weniger motivierten Probanden. Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Lernprozessstudien überein (REINFRIED 2013, S. 281). Da die EG und VG ähnlich motiviert sind (vgl. Tab. 35), hat die Motivation auf die Ergebnisse der Gruppenvergleiche in der quantitativen Wirksamkeitsstudie keinen Einfluss.
Schülerinnen und Schüler mit überdurchschnittlicher Interessiertheit und Informiertheit und aus größeren Personenhaushalten (> 3.1 Personen pro Haushalt) zeigen bei t3 zudem eine signifikant höhere Behaltensleistung von Wissen zu Hochwasser. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass diese Probanden nach der Intervention das Thema Hochwasser in den Medien bewusster aufnehmen und in Gesprächen zu Hause eher einbringen und ihnen das Thema daher präsenter bleibt. Die EG und VG unterscheiden sich auch bezüglich dieser beiden personen- und umfeldbedingten Faktoren nicht (Tab. 35), womit auch sie die Gruppenvergleiche in der Wirksamkeitsstudie nicht beeinflussen.

Die Tabelle 34 zeigt die Ergebnisse zu den **Einflussfaktoren auf die Transferleistung zu Hochwasser**. Beim Messzeitpunkt t2 erreichen Schülerinnen und Schüler, welche länger in der Schweiz leben (> 15.3 Jahre in der Schweiz) und in einem Haus mit Garten wohnen, signifikant bessere Transferleistungen. Beide Faktoren treten in den Gruppen EG und VG ebenfalls ähnlich auf (Tab. 35) und beeinflussen damit die Ergebnisse der Gruppenvergleiche in der Wirksamkeitsstudie nicht. Die anderen Faktoren haben keinen signifikanten Einfluss auf den hochsignifikanten Zuwachs der Transferleistung zu Hochwasser in der EG und VG von t1 zu t2 (Abb. 60). Das Ergebnis zum Einflussfaktor „Lebensjahre in der Schweiz“ wird darauf zurückgeführt, dass die Muttersprache bei den länger in der Schweiz lebenden Probanden meist Deutsch ist und sie deshalb weniger Mühe hatten, Texte, Diskussionen und Erklärungen in der Intervention zu verstehen. Diese Ergebnisse müssen jedoch zurückhaltend interpretiert werden, da nur 9 Schülerinnen weniger als 15.3 Jahre in der Schweiz leben. Die hochsignifikant bessere Transferleistung der Probenden

aus Häusern mit Garten bei t2 spricht dafür, dass bei diesen Schülerinnen und Schülern Erfahrungen mit Wasser im Garten bei der Intervention aktiviert wurden und dies emotionale und fachliche Bezüge zu Hochwasserfaktoren der Kategorien Vegetation, Boden, Witterung und Mensch ermöglichte. So ist es vorstellbar, dass beim Gießen der Pflanzen oder bei Gewittern abrufbare Erfahrungen im eigenen Garten zu hochwasserrelevanten Prozessen gemacht wurden, z. B. zum Versickern von Wasser im Boden, zu Stauwasser auf der betonierten Terrasse oder zur Interzeption an nassen Pflanzenblättern.

Bei t3 zeigt keiner der untersuchten personen- und umfeldbedingten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Transferleistung zu Hochwasser im Fragebogen. Dies deutet darauf hin, dass die hochsignifikant bessere Transferleistung der EG bei t3 (Abb. 60) vorwiegend auf die Intervention mit dem Lernansatz AEL zurückzuführen ist.

Tab. 33 | Einflussfaktoren auf das Wissen zu Hochwasser an den Messzeitpunkten t2 und t3
Gruppenbildung mit Median-Split-Verfahren und Gruppenvergleich mit t-Test für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument C Fragebogen zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Einflussfaktoren auf das Wissen zu Hochwasser	**Gruppe**	**t-Test für unabhängige Stichproben**							
		t2				**t3**			
		M	**SD**	**T**	**Sig**	**M**	**SD**	**T**	**Sig**
Gruppenzugehörigkeit	EG (N = 32)	4.88	.87	-.63	.531	4.94	1.11	.29	.711
	VG (N = 36)	5.03	1.10			4.86	1.05		
Alter	bis 16.8 Jahre (N = 19)	5.11	.81	.78	.440	5.26	.81	1.79	.078
	ab 16.8 Jahre (N = 49)	4.90	1.06			4.76	1.13		
Geschlecht	Männer (N = 38)	4.95	1.04	-.07	.941	4.97	1.15	.66	.509
	Frauen (N = 30)	4.97	.94			4.80	.96		
Lebensjahre in der Schweiz	bis 15.3 Jahre (N = 9)	4.44	.73	-1.68	.097	4.44	1.33	-1.38	.174
	ab 15.3 Jahre (N = 59)	5.04	1.01			4.97	1.02		
Anzahl Personen im Haushalt	bis 3.1 Personen (N = 45)	4.87	1.06	-1.05	.299	4.67	1.09	-2.60	.012*
	ab 3.1 Personen (N = 22)	5.14	.83			5.35	.89		
Wohnform	Haus mit Garten (N = 34)	5.03	.92	.74	.461	4.91	1.06	.39	.701
	Wohnung (N = 25)	4.84	1.03			4.80	1.16		

Wohnort	Stadt, Agglomeration (N = 43)	5.00	1.04	.50	.616	5.00	1.02	1.26	.213
	Dorf (N = 23)	4.87	.92			4.65	1.15		
eigene Erfahrungen an Gewässer helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 36)	4.97	.97	.15	.881	5.00	.96	.842	.403
	nein (N = 32)	4.94	1.03			4.78	1.18		
eigene Erfahrungen mit Hochwasser helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 24)	4.88	1.04	-.49	.624	4.79	1.02	-.60	.543
	weniger als Durchschnitt (N = 44)	5.00	.98			4.96	1.10		
Kenntnisse zu Hochwasser aus Medien helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N= 38)	4.90	.98	-.56	.575	4.76	1.10	-1.03	.306
	nein (N = 29)	5.04	1.04			5.03	1.02		
Kenntnisse zu Hochwasser aus bisherigem Schulunterricht helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 18)	5.00	.87	.21	.831	4.67	.97	-1.07	.289
	nein (N = 50)	4.94	1.04			4.98	1.10		
Interessiertheit und Informiertheit allgemein und zu Hochwasser	unterdurchschnittlich (N = 31)	4.70	1.09	-1.94	.057	4.58	1.06	-2.31	.024*
	überdurchschnittlich (N = 37)	5.16	.87			5.16	1.01		
persönliche Betroffenheit zu Hochwasser	unterdurchschnittlich (N = 38)	5.05	1.00	.91	.369	4.97	1.13	.66	.509
	überdurchschnittlich (N = 30)	4.83	.98			4.80	1.00		
Motivation	unterdurchschnittlich (N = 30=	4.62	1.02	2.49	.015*	4.63	1.03	2.09	.040*
	überdurchschnittlich (N = 36)	5.22	.93			5.17	1.03		
Geographienoten	bis 4.66 (N = 32)	4.74	.97	-1.66	.103	4.69	1.09	-1.54	.128
	über 4.66 (N = 36)	5.14	.99			5.08	1.03		

Tab. 34 | Einflussfaktoren auf die Transferleistung zu Hochwasser an den Messzeitpunkten t2 und t3

Gruppenbildung mit Median-Split-Verfahren und Gruppenvergleich mit t-Test für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument C Fragebogen zu Hochwasser. t = Messzeitpunkt, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001

Einflussfaktoren auf Transferleistung zu Hochwasser	**Gruppe**	**t-Test für unabhängige Stichproben**							
		t2				**t3**			
		M	**SD**	**T**	**Sig**	**M**	**SD**	**T**	**Sig**
Gruppenzugehörigkeit	EG (N = 32)	4.56	1.11	-2.10	0.040*	4.84	.77	2.87	.006**
	VG (N = 36)	5.06	.83			4.22	.99		
Alter	bis 16.8 Jahre (N = 19)	5.00	1.00	.91	.365	4.37	.90	-.80	.428
	ab 16.8 Jahre (N = 49)	4.76	.99			4.57	.96		
Geschlecht	Männer (N = 38)	4.82	.90	-.07	.943	4.71	.80	1.98	.052
	Frauen (N = 30)	4.83	1.12			4.27	1.05		
Lebensjahre in der Schweiz	bis 15.3 Jahre (N = 9)	4.11	1.17	-2.39	.020*	4.22	.44	-1.00	.319
	ab 15.3 Jahre (N = 59)	4.93	.93			4.56	.99		
Anzahl Personen im Haushalt	bis 3.1 Personen (N = 45)	4.84	1.07	.24	.810	4.56	.94	.50	.619
	ab 3.1 Personen (N = 22)	4.78	.85			4.44	.95		
Wohnform	Haus mit Garten (N = 34)	5.09	.75	2.88	.006**	4.62	.95	.72	.475
	Wohnung (N = 25)	4.36	1.19			4.44	.92		
Wohnort	Stadt, Agglomeration (N = 43)	4.72	.98	-1.09	.279	4.47	.91	-.06	.956
	Dorf (N = 23)	5.00	1.00			4.48	.95		
eigene Erfahrungen an Gewässer helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 36)	4.94	1.04	1.07	.290	4.53	.97	.121	.904
	nein (N = 32)	4.69	.93			4.50	.91		
eigene Erfahrungen mit Hochwasser helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 24)	4.92	.93	.57	.571	4.33	.92	-1.18	.242
	nein (N = 44)	4.77	1.03			4.61	.95		
Kenntnisse zu Hochwasser aus Medien helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N= 38)	4.84	1.10	.20	.844	4.63	1.00	1.24	.220
	nein (N = 29)	4.79	.86			4.35	.86		

Kenntnisse zu Hochwasser aus bisherigem Schulunterricht helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	ja (N = 18)	5.00	.91	.88	.383	4.28	1.07	-1.26	.214
	nein (N = 50)	4.76	1.02			4.60	.88		
Interessiertheit und Informiertheit allgemein und zu Hochwasser	unterdurchschnittlich (N = 31)	4.74	1.06	-.62	.539	4.55	1.03	.27	.789
	überdurchschnittlich (N = 37)	4.89	.94			4.49	.87		
persönliche Betroffenheit zu Hochwasser	unterdurchschnittlich (N = 38)	4.84	.97	.17	.864	4.58	.95	.63	.529
	überdurchschnittlich (N = 30)	4.80	1.03			4.43	.94		
Motivation	unterdurchschnittlich (N = 30)	4.63	1.07	1.39	.168	4.69	.89	1.71	.093
	überdurchschnittlich (N = 36)	4.97	.91			4.30	.99		
Geographienoten	bis 4.66 (N = 32)	4.59	1.07	-1.83	.071	4.38	.94	-1.16	.250
	über 4.66 (N = 36)	5.03	.88			4.64	.93		

7.6.2 Einflussfaktoren gruppenbezogen

Es besteht auch die Möglichkeit, dass sich die **Gruppen EG und VG bezüglich der personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren unterscheiden**. Beispielsweise, dass eine der beiden Gruppen deutlich motivierter ist als die andere. Der Vergleich der beiden Gruppen bezüglich Einflussfaktoren soll helfen, sämtliche Ergebnisse der Wirksamkeitsstudie differenzierter zu interpretieren und einzuordnen.

Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt für die erhobenen Einflussfaktoren beim Messzeitpunkt t1 nur bei einem Einflussfaktor einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (Tab. 35). In der Gruppe VG haben aus Sicht der Probanden die „Eigenen Erfahrungen mit Hochwasser“ beim Lösen der Fragen zu Hochwasser signifikant mehr geholfen. Dieses Ergebnis kann verschieden gedeutet werden, entweder sind in der Gruppe VG mehr Erfahrungen zu Hochwasser gemacht worden als in der EG oder sie haben diese Erfahrungen bewusster beim Pretest t1 einbezogen. In der Detailanalyse zu den Einflussfaktoren im letzten Kapitel (Tab. 33 und 34) erwiesen sich die „eigenen Erfahrungen aus Hochwassern“ als nicht relevant für den Zuwachs an Wissen und Transferleistung zu Hochwasser bei t2 und t3. Dies deutet darauf hin, dass dieser Unterschied zwischen der EG und VG für die Wirksamkeitsstudie nicht relevant ist und nicht als Erklärung für die unterschiedliche Veränderung von Wissen und Transferleistung in den Abbildungen 55 und 57 herangezogen werden darf.

Tab. 35 | Vergleich der Einflussfaktoren zwischen der Experimentalgruppe EG und der Vergleichsgruppe VG beim Messzeitpunkt t1

Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument D Standardisierter Fragebogen zur Motivation und einzelnen Items aus dem Erhebungsinstrument E standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen. EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N=36), [1)] Mittelwert der Gruppenstatistik, T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * signifikant ≤ 0.05, ** sehr signifikant ≤ 0.01, ***hochsignifikant ≤ 0.001

Einflussfaktoren	**Werte**		**t-Test für unabhängige Stichproben**	
	EG	**VG**	**T**	**Sig**
Alter	16.88	16.78	.58	.566
Geschlecht	w = 37.5 %, m= 62.5 %	w = 50 %, m = 50 %	-1.03	.307
Lebensjahre in der Schweiz	15.10	15.85	-.98	.330
Anzahl Personen im Haushalt	2.97	3.23	-1.02	.313
Wohnform	Haus mit Garten = 46.9 % Wohnung = 50 % Anderes = 3.1 %	Haus mit Garten= 57.6 % Wohnung = 27.3 % Anderes = 15.2 %	-.08	.936
Wohnort	Stadt/Agglo. = 62.5 % Dorf = 34.4 %	Stadt/Agglo. = 65.7 % Dorf = 34.3 %	.10	.920
Freizeit im Freien	täglich = 18.8 % 1 x wöchentlich = 43.8 % 1 x monatlich = 34.4 % nie = 3.1 %	täglich = 20 % 1 x wöchentlich = 62.9 % 1 x monatlich = 17.1 % nie = 0	-1.43	.157
Eigene Erfahrungen an Gewässern helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	46.9 %	58.3 %	.94	.352
Eigene Erfahrungen aus Hochwasser helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	21.9 %	47.2 %	2.23	.029*
Kenntnisse zu Hochwasser aus Medien helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	59.4 %	52.8 %	-.69	.491
Kenntnisse zu Hochwasser aus bisherigem Schulunterricht helfen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser	25 %	27.8 %	.26	.799
Interessiertheit und Informiertheit allgemein und zu Hochwasser	wenig =37.5 % viel = 62.5 %	wenig = 47.2 % viel = 52.8 %	-1.00	.322
Persönliche Betroffenheit zum Thema Hochwasser	nicht betroffen = 62.5 % betroffen = 37.5 %	nicht betroffen = 50 % betroffen = 50 %	-1.03	.307
Motivation [je tiefer der Mittelwert, je motivierter]	2.55 [1)]	2.60 [1)]	-.60	.549
Geographienoten	4.62	4.70	-.50	.618

Bei den anderen Einflussfaktoren unterscheiden sich die Gruppen EG und VG nicht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die EG und VG mit ähnlichen Voraussetzungen in die Untersuchung starteten bezüglich Motivation, Geographienoten, Alter, Geschlechtsverhältnis, Anzahl Lebensjahre in der Schweiz, Wohnform und -ort, Haushaltsgröße, Interessiertheit, Informiertheit, Freizeitverhalten im Freien sowie Kenntnissen zu Hochwasser aus Medien und bisherigem Schulunterricht. Dieses Ergebnis erhöht die statistische Aussagekraft der quantitativen Wirksamkeitsstudie, da die Gruppen bezüglich dieser Einflussfaktoren ähnlich und damit vergleichbar sind.

7.6.3 Einflussfaktoren aus Sicht der Probanden

Das Erhebungsinstrument F erfasst die Sicht der Probanden zur Bedeutung ihres Vorwissens, des Lernmediums WASSERverstehen und des Unterrichtsgeschehens (Lernansatz AEL) für die Bildanalyse zu Hochwasser. Ziel ist es, die Sicht der Schülerinnen und Schüler zu diesen Aspekten zu erschließen, um auch ihre Perspektiven für die Interpretation der quantitativen Wirksamkeitsstudie einzubeziehen. Die Erfassung der Antworten erfolgt in Kreuztabellen (Tab. 36 bis 38). Die Unterschiede zwischen den Gruppen werden mit einem t-Test für unabhängige Stichproben berechnet.

Auf die Frage, **welche Vorkenntnisse und Erfahrungen zu Hochwasser beim Lösen der Fragestellungen geholfen haben**, wird an den drei Messzeitpunkten die Antwort „a) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse an Fließgewässern und Seen im Allgemeinen“ von der EG und VG ähnlich häufig angegeben, d. h. die EG unterscheidet sich mit durchschnittlich 45 % Zustimmung nur geringfügig von der VG mit durchschnittlich 54 %.

Auf die gleiche Frage wurde in der EG die Antwort „b) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse mit Hochwasser“ bei t1 von 21.9 %, bei t2 von 43.8 % und bei t3 von 18.8 % der Probanden angegeben. In der VG liegen bei allen Messzeitpunkten die Werte bei rund 45 %. In der EG sind die ungleichen Werte, resp. die Verdoppelung der Zustimmung bei t2 auf den ersten Blick schwierig nachvollziehbar, da die Erfahrungen zu Hochwasser über die Messzeitpunkte nicht in dieser Weise schwanken können. Die Verdoppelung der Zustimmung bei t2 könnte jedoch auch darauf hinweisen, dass den Lernenden der EG die Erfahrungen mit Hochwasser erst mit dem Lernansatz AEL so richtig bewusst und zugänglich wurden und so das Lösen der Aufgaben aller Anforderungsbereiche bei t2 unterstützt hat. Die tiefere Zustimmung bei t3 kann so interpretiert werden, dass die Bezüge zu eigenen Erfahrungen mit Hochwasser nicht beständig aufgebaut wurden. Dieser Interpretation muss jedoch entgegengehalten werden, dass die EG bei t3 eine geringfügig höhere Wissens- und Transferleistung aufweist als bei t2 und daher allenfalls auch andere

Tab. 36 Bedeutung des Vorwissens aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe

Prozentuale und absolute Häufigkeiten zu Kategorien des Vorwissens und Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument E Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen. t = Messzeitpunkt, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N=36), T= T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, a) Der T-Wert kann nicht berechnet werden, da die Standardabweichungen beider Gruppen gleich 0 sind (d. h. die Antworten der EG und VG sind identisch).

5. Welche Vorkenntnisse und Erfahrungen zu Hochwasser haben Ihnen beim Lösen der Fragestellungen geholfen?							
Vorkenntnisse und Erfahrungen	**t**	**EG** in Prozent (absolut)		**VG** in Prozent (absolut)		t-Test für unabhängige Stichproben	
		Ja	Nein	Ja	Nein	T	Sig
a) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse an Fließgewässern und Seen im Allgemeinen	t1	46.9 % (15)	53.1 % (17)	58.3 % (21)	41.7 % (15)	.937	.352
	t2	43.8 % (14)	56.3 % (18)	58.3 % (21)	41.7 % (15)	1.196	.236
	t3	43.8 % (14)	53.1 % (17)	52.8 % (19)	47.2 % (17)	.614	.541
b) Eigene Erfahrungen und Erlebnisse mit Hochwasser	t1	21.9 % (7)	78.1 % (25)	47.2 % (17)	52.8 % (19)	2.23	.029*
	t2	43.8 % (14)	56.3 % (18)	44.4 % (16)	55.6 % (20)	.057	.955
	t3	18.8 % (6)	81.3 % (26)	41.7 % (15)	58.3 % (21)	2.076	.042*
c) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus Medien (z. B. Zeitungen, Fernsehen, Internet, Radio)	t1	59.4 % (19)	37.5 % (12)	52.8 % (19)	47.2 % (17)	-.693	.491
	t2	56.3 % (18)	43.8 % (14)	55.6 % (20)	44.4 % (16)	-.057	.955
	t3	75.0 % (24)	25.0 % (8)	41.7 % (15)	58.3 % (21)	-2.902	.005**
d) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus dem bisherigen Schulunterricht.	t1	25 % (8)	75 % (24)	27.8 % (10)	72.2 % (26)	.255	.799
	t2	34.4 % (11)	65.6 % (21)	27.8 % (10)	72.2 % (26)	-.578	.564
	t3	59.4 % (19)	40.6 % (13)	36.1 % (13)	63.9 % (23)	-1.943	.056
e) Meine Kenntnisse zu Hochwasser aus der Doppellektion zu Hochwasser	t2	100 % (32)	0 % (0)	100 % (36)	0 % (0)	a)	a)
	t3	96.9 % (31)	3.1 % (1)	97.2 % (35)	2.8 % (1)	.083	.934

Aspekte (z. B. differenziertere und angereicherte Vorstellungen zu Hochwasser) beim Lösen der Hochwasserfragen bedeutender geworden sind als die eigenen Hochwassererfahrungen.

Kenntnisse zu Hochwasser aus den Medien haben für EG und VG bei t1 und t2 eine ähnliche Bedeutung für das Lösen der Fragen zu Hochwasser. Bei t3 steigt in der EG die Bedeutung der Medien stark an, während sie in der VG abnimmt (Tab. 36).

Der t-Test gibt für diesen Messzeitpunkt denn auch einen sehr signifikanten Unterschied an. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Lernenden der EG durch den Lernansatz AEL bewusster das Thema Hochwasser in den Medien wahrnehmen, ihre erworbenen Kenntnisse zu Hochwasser über Medienberichte weiterentwickeln und die Informationen aus den Medien auf Aufgaben aller Anforderungsbereiche transferieren können.

Der bisherige Schulunterricht hat aus der Sicht von rund einem Drittel der Probanden beider Gruppen beim Lösen der Fragen zu Hochwasser geholfen. Der starke Anstieg dieses Werts bei t3 in der Gruppe EG ist schwierig nachvollziehbar und nur so erklärbar, dass einige Probanden auch die Intervention als „bisherigen Schulunterricht" verstanden haben. Diese Vermutung scheint plausibel, weil aus der Sicht von über 95 % aller Probanden die Intervention zu Hochwasser bei t3 das Lösen des Fragebogens unterstützt hat.

Mit dem Erhebungsinstrument E wurden bei den Messzeitpunkten t2 und t3 auch untersucht, ob aus der Sicht der Probanden in der EG und VG bestimmte **Elemente aus der Intervention zu Hochwasser** bei der anschließenden Bildanalyse zu Hochwasser geholfen haben. Ziel dieser Analyse ist es, Aspekte zum Lernansatz AEL und zum Lernmedium WASSERverstehen zu finden, welche aus Sicht der Lernenden beim späteren Anwenden des Wissens auf andere Situationen und Aufgaben helfen und damit für die Transferleistung relevant sind.

Die EG und die VG beurteilen den **allgemeinen Einfluss der Intervention** (Frage 5e in Tab. 36) ähnlich, d. h. beide Gruppen erachten bei t2 mit 100 % und bei t3 mit rund 97 %, dass die Intervention zu Hochwasser beim Lösen der Fragen zu Hochwasser geholfen hat (Frage 5e in Tab. 38). Diese ähnliche Sicht EG und VG stimmt mit den Ergebnissen der quantitativen Wirksamkeitsstudie überein; das Lernmedium WASSERverstehen führt unabhängig vom Lernansatz AEL in beiden Gruppen zu einem hochsignifikanten Zuwachs der Wissens- und Transferleistung von t1 zu t2 und von t1 zu t3.

Bei den spezifisch erfassten **unterrichtsbezogenen und didaktischen Einflussfaktoren** (Tab. 37) gibt der t-Test für unabhängige Stichproben zwischen den Gruppen EG und VG ebenfalls keine signifikanten Unterschiede an. Die Prozentwerte zu den Antworten lassen die unterschiedliche didaktische Ausrichtung der Interventionen in EG und VG jedoch erkennen. So weist die EG höhere Prozentwerte bei Aspekten auf, welche mit dem Lernansatz AEL im Lernprozess vertieft wurden. Das „Foto von Sedrun" und die „aktive Beteiligung an der Diskussion" prägten die Phasen Fokus und Wissen in der Intervention der Gruppe EG. Auf der anderen Seite deuten die höheren Prozentwerte in der VG bei „Erklärung im Text (Arbeitsblatt)" und

„Fotos auf Arbeitsblatt und PPT“ auf die lernmittelbezogene Ausrichtung der Intervention mit weniger ausgeprägter Schülerbezogenheit und analytischen Diskussionen im Plenum.

Tab. 37 | Bedeutung von unterrichtsbezogenen und didaktischen Einflussfaktoren aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe beim Messzeitpunkt t2 und t3
Ergebnisse des t-Tests für unabhängige Stichproben zum Erhebungsinstrument E Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen. t = Messzeitpunkt, EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N=36), T = T-Wert, Sig = Signifikanz, * = signifikant ≤ 0.05, ** = sehr signifikant ≤ 0.01, *** = hochsignifikant ≤ 0.001, a) Der T-Wert kann nicht berechnet werden, da die Standardabweichungen beider Gruppen gleich 0 sind.

6. Was hat Ihnen aus dem Unterricht für die Analyse der beiden Fotos sehr geholfen? Mehrere Möglichkeiten können angekreuzt werden.							
Vorkenntnisse und Erfahrungen	**t**	**EG** in Prozent (absolut)		**VG** in Prozent (absolut)		**t-Test für unabhängige Stichproben**	
		Ja	Nein	Ja	Nein	T	Sig
Erklärungen im Text (Arbeitsblatt)	t2	87.5 % (28)	12.5 % (4)	94.4 % (34)	5.6 % (2)	1.000	.321
	t3	68.8 % (22)	25 % (8)	75.0 % (27)	22.2 % (8)	.350	.727
Fotos auf Arbeitsblatt und PPT	t2	65.6 % (21)	34.4 % (11)	80.6 % (29)	19.4 % (7)	1.39	.168
	t3	59.4 % (19)	34.4 % (11)	72.2 % (26)	27.8 % (10)	.76	.448
Foto von Sedrun	t2	31.3 % (10)	68.8 % (22)	16.7 % (6)	80.6 % (29)	-1.35	.181
	t3	25 % (8)	65.6 % (21)	16.7 % (6)	83.3 % (30)	-1.06	.294
Vergleich der verschiedenen Täler im Foto von Sedrun	t2	43.8 % (14)	56.3 % (18)	–	–	–	–
	t3	40.6 % (13)	53.1 % (17)	–	–	–	–
Erklärungen der Lehrperson	t2	96.9 % (31)	3.1 % (1)	97.2 % (35)	2.8 % (1)	.08	.934
	t3	90.6 % (29)	3.1 % (1)	94.4 % (34)	5.6 % (2)	-.43	.672
Dispositionsmodell zu Hochwasser	t2	62.5 % (20)	37.5 % (12)	77.8 % (28)	22.2 % (8)	1.38	.173
	t3	37.5 % (12)	50 % (16)	27.8 % (10)	72.2 % (26)	-1.26	.214

Ihre aktive Beteiligung an der Diskussion zu Hochwasser	t2	40.6 % (13)	59.4 % (19)	30.6 % (11)	69.4 % (25)	-.86	.393
	t3	31.3 % (10)	62.5 % (20)	22.2 % (8)	77.8 % (28)	-1.00	.320
Film zu Hochwasser	t2	53.1 % (17)	46.9 % (15)	69.4 % (25)	27.8 % (10)	1.55	.126
	t3	59.4 % (19)	34.4 % (11)	66.7 % (24)	33.3 % (12)	.28	.781
Diskussionen zu Fragen der Lehrperson und Mitschülern	t2	59.4 % (19)	37.5 % (12)	58.3 % (21)	41.7 % (15)	-.24	.809
	t3	37.5 % (12)	56.3 % (18)	55.6 % (20)	44.4 % (16)	1.26	.214

Tab. 38 | Rückmeldungen zur Intervention mit dem Lernmedium WASSERverstehen aus der Sicht der Probanden der Experimental- und Vergleichsgruppe beim Messzeitpunkt t2
Ergebnisse zum Erhebungsinstrument E Standardisierter Fragebogen zu lernpsychologischen und didaktischen Einflüssen, prozentuale und absolute Häufigkeiten. EG = Experimentalgruppe (N=32), VG = Vergleichsgruppe (N=36)

7. Fragen zur Schullektion mit der Lernumgebung								
	EG in Prozent (absolut)				**VG** in Prozent (absolut)			
	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu	trifft zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
a) Waren die Texte in den Unterlagen verständlich	75.0 % (24)	21.9 % (7)	3.1 % (1)	0	80.6 % (29)	19.4 % (7)	0	0
b) War die Arbeit mit den Unterlagen interessant und hat zum Denken angeregt?	37.5 % (12)	46.9 % (15)	15.6 % (5)	0	38.9 % (14)	55.6 % (20)	5.6 % (2)	0
c) Hat es Sie überrascht, wie viele Faktoren Hochwassersituationen beeinflussen?	40.6 % (13)	18.8 % (6)	34.4 % (11)	6.3 % (2)	36.1 % (13)	30.6 % (11)	25.0 % (9)	8.3 % (3)
d) Haben Sie verstanden, wie Hochwasser entstehen?	59.4 % (19)	37.5 % (12)	3.1 % (1)	0	52.8 % (19)	47.2 % (17)	0	0
e) Ist das Verständnis der Hochwasserentstehung aus Ihrer Sicht wichtig?	43.8 % (14)	56.3 % (18)	0	0	55.6 % (20)	41.7 % (15)	2.8 % (1)	0

Weitere **Rückmeldungen zur Intervention mit der Lernumgebung WASSERverstehen** erfasst die Frage 7 mit einer 4-teiligen Skala von „trifft zu“ bis „trifft nicht zu“. Aus den Ergebnissen in Tabelle 38 geht hervor, dass die große Mehrheit der Probanden die Texte, Inhalte und komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Hochwasserfaktoren verstanden haben (Fragen a, c, d), das Thema als relevant erkannt wurde (Frage e) und die Arbeit mit den Unterlagen interessant ist und zum Denken anregt (Frage b). Die lernmittelbezogenen Fragen 7a, b und d werden von 84 bis 100 % der Probanden mit „trifft zu“ oder „trifft eher zu“ beantwortet, die Antwort „trifft nicht zu“ wird nie angekreuzt. Diese Rückmeldungen weisen darauf hin, dass mit dem Lernmedium WASSERverstehen fachliche, kognitive und affektive Denk- und Lernprozesse bei gymnasialen Schülerinnen und Schülern im Unterricht ausgelöst werden.

7.7. Fazit: Einordnung der Ergebnisse aus der quantitativen Wirksamkeitsstudie

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse aus der quantitativen Wirksamkeitsstudie zusammengefasst, deren Bedeutung eingeordnet sowie Grenzen der Studie diskutiert.

In der quantitativen Wirksamkeitsstudie zeigen die Ergebnisse beim Fragebogen zu Hochwasser (Erhebungsinstrument C), dass die **Wissens- und Transferleistung zu Hochwasser in der EG und VG** bezogen auf das Vorwissen (t1) durch die Intervention hochsignifikant zunimmt (t2) und auch zwei Monate später hochsignifikant beständig bleibt (t3). Dies deutet darauf hin, dass das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte (z. B. Texte, Bilder, Struktur, Verständlichkeit, Fachlichkeit) so berücksichtigt, dass das Wissen und die Transferleistung zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL hochsignifikant zunehmen und beständig hoch bleiben.

Der Vergleich der Gruppen EG und VG über die drei Messzeitpunkte zeigt, dass sich das Wissen zu Hochwasser in den Gruppen ähnlich verändert, jedoch **die Transferleistung in der EG** von t1 zu t3 signifikant und von t2 zu t3 hochsignifikant **stärker zunimmt und beständiger** bleibt als in der VG. Während diesen acht Wochen nach der Intervention nimmt in der VG die Transferleistung hochsignifikant ab und in der EG geringfügig zu. Diese Ergebnisse zeigen, dass über die drei Messzeitpunkte die Transferleistung mit dem Lernansatz AEL signifikant bis hochsignifikant stärker zunimmt und beständiger ist als bei einer Intervention ohne den Lernansatz AEL. Dieser Befund ist bemerkenswert, weil die Transferleistung der EG nach nur 90 Minuten Intervention in den folgenden zwei Monaten ohne weiteren Unterricht zu diesem Thema und fünf Wochen Sommerferien („andere Welt“) sogar noch geringfügig ansteigt. Es ist daher beachtlich, dass die Intervention mit

dem Lernansatz AEL eigenständiges Denken und Lernen zu Hochwasser wirksam unterstützt hat und eine beständig hoch bleibende Transferleistung ermöglicht. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Lernenden das erworbene Wissen auch in anderen Situationen im privaten und beruflichen Leben anwenden können. Bezogen auf schulische Anforderungen besteht zudem der Hinweis, dass mit dem Lernansatz AEL die Schülerinnen und Schüler im Unterricht wirksam auf Prüfungsfragen zu den Anforderungsbereichen II und III vorbereitet werden. **Als Gründe für die Beständigkeit des Wissens und der Transferleistung in der EG** erweisen sich in der vorliegenden Arbeit, dass der Lernansatz AEL aus lernpsychologischer und fachdidaktischer Sicht eine tiefgründige Auseinandersetzung mit dem Thema Hochwasser auslöst, indem das Vorwissen der Lernenden explizit und mit klarem fachlichem Bezug zugänglich gemacht wird, der Lernprozess in allen Phasen (Fokus, Wissen und Transfer) mit hoher Fachlichkeit auf die Lernenden und ihre Vorstellungen bezogen bleibt und so einen *Conceptual Change* ermöglicht und dabei auch persönliche und emotionale Bezüge zum Thema schafft (vgl. Kapitel 5.3.1 und 5.3.2). Nach den Gedächtnisforschern CRAIK und LOCKHART (1972) fördert denn auch eine tiefe Verarbeitung von Informationen das bessere Behalten und den Transfer auf andere Lernsituationen oder Aufgaben.

Bei allen drei Erhebungsinstrumenten A Spontane Aufzählung zu Hochwasser, B Bildanalyse zu Hochwasser und C Standardisierter Fragebogen zu Hochwasser nehmen die **Hochwasserfaktoren zu den Kategorien Mensch und Vegetation** von t1 zu t2 und von t1 zu t3 in beiden Gruppen signifikant bis hochsignifikant zu (Abb. 57, 59, 61, 63 und 65). Insbesondere bei den beiden Bildanalysen ist interessant, dass beim Vortest t1 die Hochwasserfaktoren dieser beiden Kategorien trotz ihrer hohen Präsenz im Bild von den Probanden kaum bemerkt wurden. Bei der Intervention hat das Lernmaterial von WASSERverstehen dann offensichtlich einen ***Conceptual Change*** in beiden Gruppen zu Hochwasserfaktoren der beiden Kategorien Vegetation und Mensch unterstützt. Bei t2 und t3 wenden alle Probanden ihr Wissen zu Hochwasser in der Bildanalyse jedenfalls bezüglich Hochwasserfaktoren dieser beiden Kategorien differenzierter und situationsbezogener an als vor der Intervention. Dies deutet darauf hin, dass der mit dem Lernmedium WASSERverstehen über drei Lernphasen vollzogene Lernprozess (inkl. *Conceptual Change*) auch den Transfer in andere Situationen wie dem Einzugsgebiet der Gürbe und dem Poschiavino unterstützt.

Im Unterschied zum Erhebungsinstrument C fallen bei den **Erhebungsinstrumenten A und B** die Ergebnisse der beiden Gruppen EG und VG über alle Messzeitpunkte auffallend ähnlich aus (Abb. 58, 62 und 64). Hierfür erscheinen verschiedene Gründe plausibel. Einerseits könnte sein, dass bei diesen Erhebungsinstrumenten die **allgemeine Fragestellung** zu Hochwasserfaktoren bei den Probanden auch eine eher allgemeine Analyse auslöst. D. h. es müssen zwar verschiedene

Hochwasserfaktoren aufgezählt oder im Bild erkannt werden, die Fragestellungen verlangen per se aber keine tiefgründig kognitiven Leistungen zu bestimmten Hochwasserfaktoren, beispielsweise zum Einfluss der Schneefallgrenze oder des Felsuntergrundes. Andererseits erscheint es auch naheliegend, dass die Motivation bei der dritten Erhebung dafür abnimmt, erneut möglichst viele Hochwasserfaktoren zur offenen Fragestellung aufzulisten und zu erläutern. Für diese Erklärung spricht auch, dass beim Erhebungsinstrument C mit fokussierten und abschließend zu beantwortenden Fragestellungen das Wissen in der EG und VG sowie die Transferleistung in der EG beim Messzeitpunkt t3 beständig hoch bleiben (Abb. 56 und 58). D. h. das Wissen und die Transferleistung zu Hochwasser sind bei den Probanden offenbar vorhanden, manifestieren sich aber nur bei einer fokussierten und abschließend beantwortbaren Fragestellung.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der **Erhebungsinstrumente A, B und C** führen zur Hypothese, dass fokussierte und abschließend beantwortbare Fragestellungen spezifischer und expliziter Wissens- und Transferleistungen zu Hochwasserfaktoren aufzeigen als offene Fragen. Demzufolge müsste die Bildanalyse bei einer nächsten Untersuchung mit fokussierten Fragestellungen zu bestimmten Bildinhalten kombiniert werden, um konkrete und spezifische Wissens- und Transferleistungen zu untersuchen. Diese methodische Schlussfolgerung wird durch den bei Bildanalysen nachgewiesenen **Effekt des *„Illusion of full understanding“*** (Behnke 2017, S. 21) gestützt. Demnach werden Bildmotive, die als bekannt oder alltäglich wahrgenommen werden (z. B. in ähnlicher Form mehrfach gesehene Landschaftsaufnahmen), oftmals nicht genau betrachtet. Sollen Lernende ein solches als bekannt eingeordnetes Bildmotiv verbunden mit einer allgemeinen Aufgabenstellung bearbeiten, erfolgt nach Behnke (2017) potenziell eine eher oberflächliche Betrachtung und ungenaue Bildanalyse. Nach Behnke (2017, S. 21) unterstütze jedoch eine **präzise und eindeutig formulierte Aufgabenstellung** die aktive und kritische Bildanalyse, weil diese strukturiert anleitet, wie Bildinformationen dekodiert werden sollen. Die Resultate der Erhebungsinstrumente A und B schmälern die Ergebnisse zum Fragebogen Hochwasser (Erhebungsinstrument C) nicht, da die unterschiedlichen Ergebnisse wie soeben dargelegt vorwiegend auf die Art der Erhebungsinstrumente und die Form der Fragestellung zurückzuführen sind.

Die **statistische Analyse der personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren** in Kapitel 7.6 zeigen, dass neben der Intervention mit dem Lernansatz AEL und dem Lernmedium WASSERverstehen auch motivationale und sozial-kulturelle Bedingungen die Veränderung der Wissens- und Transferleistung beeinflussen (Tab 33 und 34). Diese Ergebnisse stimmen mit den Positionen des kognitiven Konstruktivismus und Sozio-Konstruktivismus aus der Lernpsychologie überein (vgl. Kapitel

3.1), da sie unter Lernen kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung verstehen, beeinflusst von motivationalen, affektiven und sozial-kulturellen Bedingungen (z. B. STEINER 1997; SEEL 2016, S. 25).

Die **eigenen Erfahrungen zu Hochwasser** beurteilen direkt nach der Intervention 44 % der EG als hilfreich für das Lösen der Fragestellungen zu Hochwasser; bei t1 und t3 waren nur 20 % der EG dieser Ansicht. In der VG schwanken die Werte über die drei Messzeitpunkte kaum. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass bei der Intervention mit dem Lernansatz AEL den Lernenden ihre Bezüge zu Hochwasser bewusst und zugänglich gemacht wurden und diese Bezüge das fachliche Verständnis zu Hochwasser unterstützt haben (Tab. 36). Die **Intervention zu Hochwasser** hilft aus der Sicht von über 97 % der Probanden in EG und VG für die Beantwortung der Fragen bei t2 und t3 (Tab 36, Frage 5e). Die ähnliche Sicht der beiden Gruppen bestätigt das Ergebnis der Wirksamkeitsstudie, dass das Lernmedium WASSERverstehen unabhängig vom Lernansatz AEL in beiden Gruppen zu einem hochsignifikanten Zuwachs der Wissens- und Transferleistung von t1 zu t2 und von t1 zu t3 führt. Die Bedeutung von **unterrichtsbezogenen und didaktischen Faktoren** beurteilen die Probanden ähnlich, d. h. es ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der EG und der VG (Tab. 37). Jedoch weisen die gering höheren Prozentwerte in der EG bei den Aspekten „Foto von Sedrun“ und „aktive Beteiligung an der Diskussion“ bei t2 und t3 darauf hin, dass die Probanden insbesondere die Phase Fokus des Lernansatzes AEL als hilfreich für die spätere Anwendung von Gelerntem erachten.

Für die Einordnung der Ergebnisse aus allen Erhebungsinstrumenten muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der vorliegenden quantitativen Untersuchung um eine **explorative Studie** handelt, welche erste Hinweise zur wirksamen Förderung von Transferleistungen im Geographieunterricht gibt. Von daher dienen die Ergebnisse der Wirksamkeitsstudie vorwiegend auch als Ausgangspunkt für weitere quantitative und qualitative Studien zur Transferleistung. Aufgrund des festgestellten Forschungsdesiderats im Bereich unterrichtsbezogener fachdidaktischer Transferforschung kann der Bedarf und die Relevanz solcher Studien aus Sicht der Fachdidaktik, der Lernpsychologie und der Transferforschung als groß eingeordnet werden.

8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Dissertation hat sich zum Ziel gesetzt ein **Unterrichtsmodell zur Förderung der Transferleistung** im gymnasialen Geographieunterricht zu entwickeln sowie dieses Modell im Fachunterricht an verschiedenen Fallbeispielen zu erproben, beim Lernmedium WASSERverstehen konkret umzusetzen und schließlich seine Wirksamkeit zu untersuchen.

Der Transfer von Gelerntem wird von verschiedenen Fachwissenschaften und von der Bildungspolitik auf allen Schulstufen gefordert. Die Analyse der Ansprüche von der Hydrologie an Gesellschaft, Politik und Bildung zeigt, dass korrektes und **anschlussfähiges hydrologisches Grundwissen zu komplexen Themen** von der Bevölkerung verlangt wird, um mit anstehenden hydrologischen Herausforderungen im 21. Jahrhundert umsichtig umgehen zu können. Diese Forderung deckt sich mit dem immer wieder geäußerten Bildungsanspruch, dass Gelerntes anwendbar und übertragbar sein muss, um so späteres Lernen oder Problemlösen zu unterstützen.

Die zunächst notwendige **Analyse lernpsychologischer und fachdidaktischer Grundlagen zu Lernen und Transfer** zeigt, dass einerseits nur wenige unterrichtsbezogene Studien zur Transferleistung bestehen, andererseits der lernpsychologische Konstruktivismus und die Forschung zu Schülervorstellung, zum *Conceptual Change* und zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion wichtige Erkenntnisse zum Lernen und zum Transfer von Gelerntem bereit stellen. Die vorliegende Dissertation deckt damit ein Forschungsdesiderat ab, kann aber gleichzeitig auf ein umfassendes Forschungswissen zu Lernen und Transfer aus den vergangenen rund hundert Jahren zurückgreifen.

Ausgehend von lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen und unter Einbezug meiner Erfahrungen als praktizierender gymnasialer Geographielehrer, dozierender und forschender Geographiedidaktiker und Autor von geographischen Lernmedien entwickelte ich den **theorie- und praxisbezogenen Lernansatz AEL zur Transferförderung** für den gymnasialen Geographieunterricht. Die anschließende Einordnung des Lernansatzes AEL in die theoretischen Grundlagen zeigt, dass viele dieser Aspekte explizit berücksichtigt sind, der Lernansatz AEL aber auch einen Beitrag an die lernpsychologischen und fachdidaktischen Grundlagen zu Lernen und Transfer leistet. Einerseits besteht nun ein vielfältig einsetzbares Unterrichtsmodell, das diese Theorien der Praxis zugänglich und im Unterricht umsetzbar macht, d. h. die erwähnten Theorien werden praxisbezogen erweitert, was letztlich deren Reflexion und Weiterentwicklung im Fachunterricht unterstützt. Andererseits ermöglicht der Lernansatz AEL nun auch Aspekte dieser Theorien quantitativ und qualitativ im Fachunterricht zu beforschen, indem Interventionsstudien nach dem Lernansatz AEL im Unterricht angelegt werden können.

Mit dem Lernansatz AEL, dem Lernmedium WASSERverstehen und der Wirksamkeitsstudie liegen **erstmals im Verbund theoriebasierte, praxisbezogene und statistisch überprüfte Grundlagen zur Transferleistung im Geographieunterricht** vor. Damit bietet die vorliegende Dissertation Grundlagen zum Lerntransfer für praktizierende Geographielehrpersonen der Sekundarstufe II, für die Ausbildung von Geographielehrpersonen, für die geographiedidaktische und lernpsychologische Forschung, die Fachwissenschaft Hydrologie und für die Lernmedienentwicklung (Tab. 39).

Beim entwickelten **Lernansatz AEL** ist zentral, dass der Lernprozess von den Lernenden, ihren Vorstellungen, Erfahrungen, Beobachtungen, Analysen und ihren Hypothesen ausgeht und in jeder Lernphase das Fachwissen auf diese Aspekte bezogen wird, um so die Vorstellungen der Lernenden zu differenzieren (*Conceptual Change*) und eigenständig analytisches Denken mit starkem Fachbezug zu fördern. Dieses Vorgehen soll bei den Lernenden den Transfer des Gelernten in andere Situationen und Aufgaben unterstützen. Die durchgeführten **Erprobungen im gymnasialen Geographieunterricht** verdeutlichen, dass der Lernansatz AEL im Unterricht **flexibel und vielfältig einsetzbar** ist in komplexen physisch- und humangeographischen Themen, in unterschiedlich langen Unterrichtssequenzen sowie mit verschiedenen Medien und Methoden. Mit dieser flexiblen und vielfältigen Einsetzbarkeit besteht die Möglichkeit, dass dieses Modell zur Transferförderung auch auf anderen Bildungsstufen und in anderen Fächern eingesetzt werden kann. Weil eine stufen- und fachbezogen breitere Erprobung des Lernansatzes AEL den Rahmen dieser Dissertation gesprengt hätte, liefert die vorliegende Arbeit hierzu keine genaueren Angaben, d. h. eine breitere Anwendung des Lernansatzes AEL wäre in entsprechenden Fächern und Bildungsstufen noch zu prüfen (vgl. Tab. 39).

In der Praxiserprobung zeigt sich, dass der **Verbund von Lernansatz AEL, fokussierender Lernaufgabe und wissenschaftlichem Erklärungsansatz** einerseits sehr bedeutend für die Umsetzung eines **adaptiven Unterrichts** ist, wo Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen direkt in der Lernsituation systematisch, flexibel und situativ passend aufeinander bezogen werden. Andererseits unterstützt dieser Verbund die verständliche und transferbezogene **Vermittlung komplexer geographischer Themen**, wo eindeutige Lösungen mit „richtig und „falsch“ nicht zielführend sind und aus unterschiedlichen Perspektiven das dynamische Verhältnis von Umwelt und Mensch, Gesellschaft und Raum, Kultur und Natur erkannt und verstanden werden muss.

Bei der theoretischen Einordnung und der praktischen Erprobung zeigte sich auch, dass **der Lernansatz AEL das Modell der Didaktischen Rekonstruktion erweitert**, indem die beiden Modelle im Verbund einen adaptiven Unterricht ermöglichen,

wo Schüler- und Fachwissen direkt in der Lernsituation systematisch und situativ passend aufeinander bezogen werden. Mit dem Beitrag des Lernansatzes AEL ans MDR wird es auch möglich, verschiedene Schülervorstellungen in einer Klasse innerhalb der verfügbaren Unterrichtszeit zu berücksichtigen und weiterzuentwickeln, insbesondere auch zu komplexen human- und physisch-geographischen Themen.

Als Autor nehme ich nicht in Anspruch mit dem Lernansatz AEL *das* Modell für *den* transferorientierten Unterricht vorzulegen. Vielmehr hoffe ich, dass der flexibel und vielfältig einsetzbare **Lernansatz AEL als „Brille" für den Unterricht** verstanden wird,

- um den Unterrichtsablauf mit fokussierten Überlegungen der Lernenden anders zu beginnen und auf diese bezogen weiterzuführen,
- um die Rolle der Lehrperson zwischen Schülervorstellungen und fachlichen Vorstellungen in einem adaptiven Unterricht anders zu verstehen,
- um eine tiefgründige und verständliche Auseinandersetzung mit komplexen Themen bewusst anzugehen und
- um einen Lernprozess explizit auf eigenständig analytisches Denken und den Transfer des Gelernten auszurichten.

In diesem Sinn kann der **Lernansatz AEL auch als Modell** verstanden werden, mit welchem sich die Förderung der Transferleistung im Unterricht an methodisch und fachlich unterschiedlichen Beispielen erproben, diskutieren, reflektieren und weiterentwickeln lässt.

Bei der Entwicklung und Realisierung des **Lernmediums WASSERverstehen** wurde deutlich, dass sich der Lernansatz AEL auch **als Konzept für kompetenzorientierte Lernmedien** einsetzen lässt.
Um bei der Lernmedienentwicklung den Ansprüchen der Kompetenzorientierung und der Transferförderung einigermaßen gerecht zu werden, erweisen sich folgende Aspekte als sehr bedeutend: fokussierende Lernaufgabe, wissenschaftlicher Erklärungsansatz, anschlussfähige und strukturierte Fachinhalte und die Auswahl passender Materialien (Texte, Fotos, Filme, etc.). Es sind vorwiegend diese Aspekte, welche bei der Unterrichtsumsetzung die Lehrperson darin unterstützen, Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen flexibel aufeinander zu beziehen und so tiefgründige Verstehensprozesse zu gestalten.

Die Ergebnisse der **quantitativen Wirksamkeitsstudie** in vier gymnasialen Klassen im Geographieunterricht zeigen, dass die Intervention mit dem **Lernmedium WASSERverstehen** zu einer hochsignifikanten und beständigen Zunahme der Wissens- und Transferleistung in den Gruppen EG und VG führt. Offenbar berücksichtigt das Lernmedium WASSERverstehen didaktische und inhaltliche Aspekte so, dass das

Wissen und die Transferleistung zu Hochwasser unabhängig vom Lernansatz AEL hochsignifikant zunehmen und beständig hoch bleiben. Der Vergleich der Gruppen EG und VG über die drei Messzeitpunkte mit dem Erhebungsinstrument Fragebogen zu Hochwasser zeigt, dass sich das Wissen zu Hochwasser in den Gruppen ähnlich verändert, jedoch die Transferleistung bei der Intervention mit dem **Lernansatz AEL** in der EG hochsignifikant stärker zunimmt und beständiger bleibt als in der VG. So nimmt denn auch während den acht Wochen nach der Intervention die Transferleistung in der VG hochsignifikant ab und in der EG geringfügig zu. Ergänzend zu diesem Befund deuten die Ergebnisse der verschiedenen Erhebungsinstrumente zu Hochwasserfaktoren sowie zu personen- und umfeldbedingten Einflussfaktoren darauf hin, dass der Lernansatz AEL die Vorstellungen der Lernenden im Unterricht zugänglich macht und so einen *Conceptual Change* ermöglicht sowie den Wissenszuwachs, die Behaltensleistung, die Transferleistung und deren Beständigkeit zu Hochwasser hochsignifikant steigert.

Die quantitative Wirksamkeitsstudie ist eine **explorative Studie**, welche erste Hinweise zur Förderung von Transferleistungen im Geographieunterricht der Sekundarstufe II gibt. Die Ergebnisse sind bedeutend, da sie einerseits einen Beitrag zum festgestellten Forschungsdesiderat im Bereich unterrichtsbezogener Transferforschung leisten und andererseits erste Erkenntnisse zu einem Fachunterricht liefern, der explizit auf die in Leistungsbeurteilungen und Maturitätsprüfungen geforderten Anforderungsbereiche I, II und III vorbereitet. Die Ergebnisse dieser explorativen Studie sind jedoch nicht ausreichend, um die festgestellte Forschungslücke und den Bedarf an breit abgestützten und gesicherten Erkenntnissen zum Lerntransfer im Unterricht abzudecken. Aus diesem Grund sind in der Tabelle 39 Hinweise für Forschungsvorhaben aufgeführt, welche ausgehend und ergänzend zu dieser Dissertation die Forschungslücke zu unterrichtsbezogenen Transferleistungen weiter schließen würden.

Bei der Auseinandersetzung mit der Transferförderung in der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Anknüpfungsmöglichkeiten für **weitere Forschungsvorhaben zum Lerntransfer** deutlich (vgl. Tab. 39):
Die Analyse der bisherigen Transferforschung zeigt, dass in diesem Forschungsbereich vorwiegend in der Lernpsychologie und Pädagogik experimentelle Untersuchungen mit hochspezialisierten Aufgabenformaten durchgeführt wurden. Ergebnisse aus diesen Studien liefern zwar interessante Hinweise auf gewisse Aspekte des Lerntransfers, können aber kaum auf reale Unterrichtssituationen des Schulalltags übertragen werden. Dieser Befund verdeutlicht, dass eine **fachdidaktische Forschung zu Transferleistungen in realen Schulsituationen in verschiedenen Fächern und auf verschiedenen Schulstufen** verlangt ist, um praxis- und fachbezogene Erkenntnisse zum Lerntransfer im Unterricht zu erhalten.

Der entwickelte Lernansatz AEL selbst eröffnet vielfältige Möglichkeiten für Forschungsvorhaben zum Lerntransfer. So kann einerseits die **Wirksamkeit des Lernansatzes AEL** für die Förderung der Wissens- und Transferleistung in verschiedenen Fächern und auf verschiedenen Stufen (Grundschule bis Tertiäre Bildungsstufe) untersucht werden. Andererseits können mit dem Lernansatz AEL aber auch **spezifische Aspekte der Transferförderung** untersucht werden, wie beispielsweise die Bedeutung von fokussierenden Lernaufgaben, wissenschaftlichen Erklärungsansätzen, Lehrpersonen, Schülervorstellungen, hohen kognitiven Belastungen beim Lernen oder des Prinzips des Vergleichens.
Die quantitative Studie ermöglicht Aussagen zur Wirksamkeit des AEL und des Lernmediums, nicht aber zum Verlauf der Lernprozesse und Kompetenzentwicklung bei Lernenden und damit zu Hintergründen des Wissenszuwachs und der veränderten Transferleistung. Diese Aspekte müssten mit **qualitativen Studien** untersucht werden, welche die Lernpfade bezogen auf eine Unterrichtssequenz rekonstruieren. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Kompetenzorientierte, fachspezifische Unterrichtsentwicklung“ bietet sich die Möglichkeit, ergänzend zur vorliegenden Dissertation, mittels qualitativer Lernpfadanalysen die Entwicklung des Wissens und der Transferleistung bei Gymnasiastinnen und Gymnasiasten für die vorliegende Unterrichtssequenz zu Hochwasser zu rekonstruieren, um dadurch genauer zu verstehen, welche Faktoren für die Wissenskonstruktion und Transferleistung im Geographieunterricht bedeutsam sind.
Wünschenswert wären auch **Studien zu Lernmedien**, welche beispielsweise deren Möglichkeiten und Grenzen für die Transferförderung und Kompetenzorientierung grundsätzlich ausleuchten sowie deren Bedeutung für die Förderung der Transferleistung im Unterricht untersuchen.

Für die **Fachwissenschaft Hydrologie** bietet der Lernansatz AEL ein praxis- und theoriebasiertes Modell zur Vermittlung von anschlussfähigem hydrologischen Grundwissen auf der Sekundarstufe II an, mit dem Ziel, zukünftige Generationen auf einen umsichtigen Umgang mit anstehenden hydrologischen Herausforderungen vorzubereiten. Aus der fachlichen Perspektive hat die vorliegende Dissertation verdeutlicht, dass die Hydrologie in Bezug zu klimatischen und sozio-ökonomischen Veränderungen sehr aktuelle und komplexe Inhalte für den Geographieunterricht der Sekundarstufe II bietet und die unterrichtsbezogene Transferforschung ein relevantes fachwissenschaftliches und fachdidaktisches Forschungsfeld darstellt. Zudem kann die Dissertation mit der Entwicklung eines Lernansatzes und eines Lernmediums zur Transferförderung sowie deren Überprüfung mit einer quantitativen Wirksamkeitsstudie auf methodischer Ebene zeigen, wie in der fachdidaktischen Forschung die Bereiche Fachwissenschaften, Entwicklung und Forschung kombiniert werden können und welche Potenziale sich für die fachwissenschaftliche und fachdidaktische Forschung daraus ergeben.

Abschließend bleibt von meiner Seite noch zu bemerken, dass ich hoffe, mit dem Lernansatz AEL, den Fallbeispielen, dem Lernmedium WASSERverstehen und der Wirksamkeitsstudie auf verschiedensten Ebenen Anregungen zur Transferförderung gegeben zu haben und dass dies zu vielfältigen Transfers und damit zu vorwissensbezogenen, bereichernden und anschlussfähigen Erkenntnissen in neuen Situationen geführt hat und immer wieder führen wird!

Tab. 39 | Bedeutsamkeit der vorliegenden Forschungsarbeit sowie Ausweitungsmöglichkeiten und anknüpfbare Forschung (eigene Darstellung)

Zielgruppen	**Bedeutsamkeit der vorliegenden Dissertation**			**Ausweitungsmöglichkeiten und anknüpfbare Forschung**
	Lernansatz AEL	Lernmedium WASSERverstehen	Quantitative Wirksamkeitsstudie	
Unterricht Sekundarstufe II	Für den Geographieunterricht: • flexibel und vielfältig einsetzbarer Lernansatz AEL als Unterrichtsmodell zur Transferförderung, als „Brille“ für die Unterrichtsgestaltung und als Diskussionsgrundlage zur Transferförderung • Lernmedium WASSERverstehen zur Hydrologie • Fallbeispiele zu human- und physischgeographischen Themen • fokussierende Lernaufgaben • wissenschaftliche Erklärungsansätze • Vermittlung komplexer geographischer Themen			Im Unterricht anderer Fächer und anderer Bildungsstufen: • flexibel und vielfältig einsetzbarer Lernansatz AEL als Unterrichtsmodell zur Transferförderung, als „Brille“ für die Unterrichtsgestaltung und als Diskussionsgrundlage zu transferförderndem Unterricht • fokussierende Lernaufgaben • wissenschaftliche Erklärungsansätze • Vermittlung komplexer Themen
Entwicklung von Lernmedien	Für Lernmedien der Geographie • Entwicklung von transferfördernden und kompetenzorientierten Lernmedien • fokussierende Lernaufgaben, wissenschaftliche Erklärungsansätze, anschlussfähige und strukturierte Fachinhalte			Bei Lernmedien anderer Fächer und anderer Bildungsstufen: • Entwicklung von transferfördernden und kompetenzorientierten Lernmedien • fokussierende Lernaufgaben, wissenschaftliche Erklärungsansätze, anschlussfähige und strukturierte Fachinhalte

Ausbildung von Lehrpersonen	Für die Ausbildung von Geographielehrpersonen: • Lernansatz AEL als Unterrichtsmodell zur Transferförderung • Lernmedium WASSERverstehen, Fallbeispiele und Intervention Hochwasser als Umsetzungsbeispiele zum Lernansatz AEL • Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion – adaptiver Unterricht • Entwicklung von fokussierenden Lernaufgaben • Bedeutung und Umgang mit wissenschaftlichen Erklärungsansätzen • Vermittlung komplexer geographischer Themen	In der Ausbildung von Lehrpersonen anderer Fächer und anderer Bildungsstufen: • Lernansatz AEL als Unterrichtsmodell zur Transferförderung • Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion – adaptiver Unterricht • Entwicklung von fokussierenden Lernaufgaben • Bedeutung und Umgang mit wissenschaftlichen Erklärungsansätzen • Vermittlung komplexer Themen
Fachdidaktische Forschung	Für die geographiedidaktische Forschung: • Lernansatz AEL, Lernmedium WASSERverstehen und Wirksamkeitsstudie: Verbund theoriebasierter, praxisbezogener und statistisch untersuchter Grundlagen zur Transferförderung im Geographieunterricht • Erweiterung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion • Bedeutung von fokussierenden Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen • Vermittlung komplexer geographischer Themen	Fachdidaktische Forschung zum Lerntransfer in realen Schulsituationen in verschiedenen Fächern und auf verschiedenen Schulstufen, beispielsweise: • Quantitative Wirksamkeitsstudien zu Interventionen und Unterrichtsmaterialien • Qualitative Studien zur Entwicklung von Transferleistungen bei Lernenden • Studien zu spezifischen Aspekten der Transferförderung (z. B. Prinzip des Vergleichens, Form der Lernaufgaben)
Lernpsychologische und pädagogische Forschung	• Kenntnisse dieser Forschungsbereiche zu Lernen und Transfer werden mit dem Lernansatz AEL praxisbezogen erweitert, im Unterricht umsetzbar und weiterentwickelbar.	• Aspekte dieser Forschungsbereiche zu Lernen und Transfer mit Hilfe des Lernansatzes AEL quantitativ und qualitativ im Fachunterricht beforschen.
Fachwissenschaften	Für die Hydrologie und andere geographische Fachgebiete: • Lernansatz AEL zur Vermittlung von anschlussfähigem hydrologischem Grundwissen in der Bildung für einen umsichtigen Umgang mit anstehenden hydrologischen Herausforderungen • Bedeutung von fokussierenden Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen	In Natur- und Sozialwissenschaften: • Lernansatz AEL als Modell zur Transferförderung bei der Vermittlung komplexer Themen • Bedeutung von fokussierenden Lernaufgaben und wissenschaftlichen Erklärungsansätzen

Literaturverzeichnis

ADAMINA, M., HERTIG, PH., PROBST, M., STUCKI, P. UND REINFRIED, S. (2018): Klimabildung in allen Zyklen der Volksschule und in der Sekundarstufe II. Climate change education and science outreach (CCESO).

ANDERSON, J., REDER, L. M. AND SIMON, H. A. (1996): Situated learning and education. Educational Researcher, 25 (4), S. 5–11.

ANDERSON, J. and GERBING, D. (1988): Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. Psychological Bulletin, 103(3), Washington. S. 411–423.

ANDRES, N., BADOUX A., 2019: UNWETTERSCHÄDEN IN DER SCHWEIZ IM JAHRE 2018. RUTSCHUNGEN, MURGÄNGE, HOCHWASSER UND STURZEREIGNISSE. IN: WASSER ENERGIE LUFT, HEFT 1, BADEN

ANDERSON, R. C. (1984): Some reflections on the acquisition of knowledge. Educational Researcher.13 (9), S. 5–10.

ARTELT C. und WIRTH J. (2014): Kognition und Metakognition. In: SEIDEL T., KRAPP A. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. 6. Auflage. Beltz. Weinheim, Basel.

AUSUBEL D. P. (1968): Educational psychology. A cognitive view. Holt, Rinehart and Winston,New York.

BAALMANN W., FRERICHS V. und KATTMANN U. (2005): Genetik im Kontext von Evolution – oder: Warum die Gorillas schwarz wurden. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht MNU, 58. S. 420–427.

BAHRENBERG G., GIESE E., MEVENKAMP N. und NIPPER J. (2008): Statistische Methoden in der Geographie. Band 2: Multivariate Statistik. 3. Auflage. Studienbücher der Geographie. Berlin.

BANNERT M. (2003): Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17, S. 13–25.

BARLING J., WEBER T. and KELLOWAY E. K. (1996): Effects of transformationalleadership training on attitudinal and financial outcomes: A field experiment. Journal of Applied Psycho/ogy, 81, S. 827–832.

BARNETT S.M., CECI S.J. (2002): When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. Psychological Bulletin, 128. S. 612–637.

BASSOK M. and HOLYOAK K.J. (1989): Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics.Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15. S. 153–166.

BASTEN T. (2013): Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen: eine didaktische Rekonstruktion der Passatzirkulation. Dissertation an der Universität Hannover.

BEHNKE Y. (2017): Sagt ein Bild mehr als tausend Worte? In: GeoAgenda 2017, Nr. 4. Verband Geographie Schweiz ASG. S. 20–23.

BERRY, J. W. (1990): Psychology of acculturation. Understanding individuals moving between cultures. In: BRISLIN, R. (1990): Applied Cross-Cultural Psychology. Sage Pubn Inc. London.

BELENKY D.M. and SCHALK L. (2014): The effects of idealized and grounded materials on learning, transfer, and interest: An organizing framework for catergorizing external knowledge representations. Educational Psychology Review, 26. S. 27–50.

BEZZOLA G.R. und HEGG C. (Ed.) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Maßnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825.

BHUSHAN B., DWIVEDI C.B., MISHRA R. and MANDAL M.K. (2000): Performance on a mirror-drawing task by non-right-handers. Journal of General Psychology, 127. S. 271–277.

BLOOM B. S. (Hrsg.) (1972; engl. 1956): Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich. Beltz. Weinheim und Basel.

BRÖNNIMANN, S., ROHR C., Stucki P., SUMMERMATTER S., BANDHAUER M., BARTON Y., FISCHER A., FROIDEVAUX P., GERMANN U., GROSJEAN M., HUPFER F., INGOLD K., ISOTTA F., KEILER M., MARTIUS O., MESSMER M., MÜLCHI R., PANZIERA L., PFISTER L., RAIBLE C., REIST T., RÖSSLER O., RÖTHLISBERGER V., SCHERRER S., WEINGARTNER R., ZAPPA M., ZIMMERMANN M. und ZISCHG A. (2018a): 1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft. Geographica Bernensia, Bern.

BRÖNNIMANN, S., RÖSSLER O., MESSMER M., RAIBLE C. und FISCHER A. (2018b): Hochwasser am Ende des 21. Jahrhunderts. In: BRÖNNIMANN, S., et al. (2018): 1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft. Geographica Bernensia, Bern.

BÜHNER M. (2011): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. 3., aktualisierte Auflage. München.

BÜTTNER O. B. (2009): Kognitive Prozesse am Point of Sale. Zur Qualität von Datenerhebungsmethoden der Konsumentenforschung. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden

CARVER R. P. (1990): Intelligence and reading ability in grades 2–12. Intelligence, 12. S. 449–455.

CASNER S.M. (2005): Transfer of learning between a small technically advanced aircraft and a commercial jet transport simulator. International Journal of Applied Aviation Studies, 5. S. 307–319.

COLLINS A., BROWN J.S. and NEWMANN S.E. (1989): Cognitive apprenticeship:Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In: RESNICK L.T. (Ed.): Knowing, learning, and instruction. Erlham. Hilsdale, NJ. S. 453–494.

CAMPBELL D.T, COOK T.D. and SHADISH W.R. (2010): Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Belmont.

CONRAD, D. (2014): Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene. Eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik. Bayreuth. Universitätsbibliothek.

DARREN, G. and PAUL, M. (2003): SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 11.0 Update. 4. Auflage. Allyn & Bacon. Boston.

DAY S.B. and GOLDSTONE R.L. (2012): The Import of Knowledge Export: Connecting Findings and Theories of Transfer of learning. Educational Psychologist, 47:3. S. 153–176.

DENNIS, K.A. and HARRIS D. (1998): Computer-based simulation as an adjunct to ab initio flight training. International Journal of Aviation Psychology, 8. S. 261–276.

DIGNATH C. and BÜTTNER G. (2008): Components of fostering self-regulated learning among students. A meta-analysis on interven-

tion studies at primary and secondary school level. Metacognition & Learning, 3. S. 231–264.

DRIELING, K. (2005): Boden als Unterrichtsthema – Eine Pilotstudie mit Studienanfängern des Geographie-Lehramts. In: Geographie und ihre Didaktik, 33 Jg., H. 4. S. 192–210.

DRIELING, K. (2015): Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung. Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion. Geographiedidaktische Forschungen (GDF) Bd. 55. Monsenstein und Vannerdat. Münster.

DUIT, R. (2009): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In KIRCHER K., SCHNEIDER W. (Hrsg): Physikdidaktik in der Praxis. Springer. Berlin. S. 1–26.

DUIT, R. and TREAGUST D.F. (2003): Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. In: International Journal of Science Education, Vol. 25, No. 6. S. 671–688.

DUIT, R. (2008): Zur Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht. In: Geographie heute 29, Heft 265. S. 34–39.

DUIT, R., GROPENGIEßER, H. and KATTMANN, U. (2005): Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In FISCHER, H. E. (Ed.), Developing standards in research on science education. The ESERA Summer School 2004. London: Taylor & Francis. S. 1–9.

DUIT, R. (1992): Forschungen zur Bedeutung vorunterrichtlicher Vorstellungen für das Erlernen der Naturwissenschaften. In: RIQUARTS K., DIERKS W., DUIT R., EUELENFELD G., HAFT H., STORK H. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Band IV. Kiel, S. 47–84.

DGfG – Deutsche Gesellschaft für Geographie (2017): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen. Bonn 9. Auflage

EDELMANN W. (2000): Lernpsychologie. Beltz. Weinheim.

EDK – Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (1995): Reglement über die Anerkennung von gymnasialen Maturitätsausweisen (Maturitäts-Anerkennungsreglement, MAR).

FELZMANN, D. (2013): Didaktische Rekonstruktion des Themas "Gletscher und Eiszeiten" für den Geographieunterricht. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 41. Oldenburg.

GAGNÉ, R.M. (1965): The conditions of learning. New York: Holt, Rinehart und Winston (deutsch 1973: Die Bedingungen des menschlichen Lernens. Hannover: Schroedel).

GENTNER, D. and SMITH, L. (2012): Analogical reasoning. In: Ramachandran V.S (Ed.): Encyclopedia of human behavior. 2. ed. Elsevier. Oxford. S. 130–136.

GENTNER, D., LOEWENSTEIN, J. and THOMPOSON L. (2003): Learning and transfer: A general role for analogical encoding. Journal of Educational Psychology, 95. S. 393–408.

GICK, M.L. and HOLYOAK, K.J. (1983): Schema induction and analogical transfer. Cognitive Psycho/ogy, 15. S. 1–38.

GIRWIDZ, R. und WATZKA, B. (2012): Aufgabenformate und Kontextorientierung beim Physiklernen mit Sensoren – Konkretisierung und empirische Untersuchung am Beispiel des NDIR-CO^2-Gassensors. Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Mainz.

GIRWIDZ, R. und WATZKA, B. (2013): Lernaktivitäten steuern durch Aufgaben – Relevanz, Inittierung und Erhebung. Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Mainz.

GOSWAMI, U. and PAUEN, S. (2005): The effects of a "family" analogy on class inclusion reasoning by young children. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen, 64. S. 115–124.

GREENO, J.G. and HALL, R.P. (1997): Practicing representation learning with and about representational forms. Phi Delta Kappan, 78. S. 361–367.

GREENO, J.G., SMITH, D.R. and MOORE, J.L. (1993): Transfer of situated learning. In: DETTERMANN, D. K., STERNBERG, R.J. (Hrsg): Transfer on trial: Itelligence, cognition, and instruction Ablex. Norwood, NJ. S. 99–167.,

GROPENGIEßER, H. und KATTMANN, U. (2009): Didaktische Rekonstruktion – Schritte auf dem Weg zu gutem Unterricht. In: MOSCHER, B., HINZ, R., WENDT, V. (Hrsg.): Unterrichten professionalisieren. Schulentwicklung in der Praxis. Cornelson Verlag. Berlin. S. 159 – 164

GRUBER, H. (2006): Situiertes Lernen. In: ARNOLD, K.-H., SANDFUCHS, U. und WICHMANN J. (Hrsg.), Handbuch Unterricht. Klinkhardt. Bad Heilbrunn. S. 331–334.

GRUBER, H. (1994): Expertise. Opladen: Westdeutscher Verlag.

HAAG, L. and STERN, E. (2003): In search of the benefits of learning Latin. Journal of Educational Psychology, 95. S. 174–178.

HAAG, L. und STERN, E. (2000): Non scholae sed vitae discimus? Auf der Suche nach globalen und spezifischen Transfereffekten des Lateinunterrichts. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 14. S. 146–157.

HALL, P. und PFEIFFER U. (2000): URBAN 21. Der Expertenbericht zur Zukunft der Städte, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart-München.

HAMANN, S. (2004): Schülervorstellungen zur Landwirtschaft im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Dissertation an der Pädagogischen Hochschule in Ludwigsburg.

HASKELL, R. E. (2001): Transfer of learning. Cognition, instruction and reasoning. Academic Press. San Diego, CA.

HASSELHORN, M. und GOLD A. (2017): Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren. 4. Auflage. Stuttgart.

HATTIE, J. (2014a): Lernen sichtbar machen. 2. Korrigierte Auflage. Schneider Verlag. Baltmannsweiler.

HATTIE, J. (2014b): Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen. Schneider Verlag. Baltmannsweiler.

HAVERSATH, J-B. (2012): Geographiedidaktik. Theorie – Themen – Forschung. Das Geographische Seminar. Braunschweig.

HELMKE, A. (2013): Individualisierung: Hintergrund, Missverständnisse, Perspektiven. Pädagogik, Themenheft 02/2013 (Hrsg. von A. v. der Groeben: Individualisierung im Fachunterricht). S. 34–37.

HELMKE, A. (2017): Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität – Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Klett Kallmeyer. Seelze-Velber.

HOLDING, D.H. (1991): Transfer of training. In J.E. Morrison (Hrsg.), Training for perfomance: Principles of applied human learning. New York. S. 93–126.

HOLYOAK, K.J. and THAGARD P. (1989): Analogical mapping by constraint satisfatkion. Cognitive Science, 13. S. 295–355.

HOLYOAK, K.J. (1985): The pragmatics of analogical transfer. In BOWER, G.H., (Ed.): The psychology of learning and motivation, Vol. 19. Academic Press. New York. S. 59–87.

HOOGEN, A. (2016): Didaktische Rekonstruktion des Themas Illegale Migration. Argumentationsanalytische Untersuchung von Schülerinnenvorstellungen im Fach Geographie. GDF Bd. 59. Münster: Monsenstein & Vannerdat.

HÜBNER, S. (2000): Denkförderung und Strategieverhalten. Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 17. Waxmann Verlag. Münster.

HSGYM – Arbeitsgruppe Hochschule und Gymnasium (2008): Hochschulreife und Studierfähigkeit. Zürcher Analysen und Empfehlungen zur Schnittstelle. Zürich.

IVY-OCHS, S., KERSCHNER, H., REUTHER, A., MAISCH, M., SAILER, R., SCHAEFER, J., KUBIK, P. W., SYNAL, H.-A. and SCHLÜCHTER, C. (2006): The timing of glacier advances in the norhern European Alps based on surface exposure dating with cosmogenic 10Be, 26Al, 36Cl, and 21Ne. In SIAME, L.L., BOURLÈS, D.L., BROWN, E.T. eds. In Situ-produced Cosmogenic Nuclides and Quantification of Geological Processes. Ausgabe 415. S. 43–60.

JUDD, C.H. (1939): Educational psychology. Boston. Houghton Mifflin.

KATTMANN, U. (2005): Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften Jg. 2005. S. 165–174.

KATTMANN, U., DUIT R., GROPENGIEßER, H. und KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rhamen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3. S. 3 18.

KIENHOLZ, H, ZEILSTRA, P. und HOLLENSTEIN, K. (1998): Begriffsdefinitionen zu den Themen: Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.

KLAUER, K.J. (2011): Transfer des Lernens. Warum wir oft mehr lernen als gelehrt wird. Stuttgart.

KLAUER, K.J. (2011): Lerntransfer im Unterricht. In: Praxis Geographie Heft 12, S. 9–11.

KLAUER, K.J. and PHYE, G.D. (2008): Inductive reasioning: A training approach. Review of Educational Research 78. S. 85–123.

KLAUER, K.J. (1997): Lässt sich die Strategie des induktiven Denkens auf schuli-

sches Lernen transferierbar lehren? In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, Heft 3, S. 225–241.

KOURILSKY, M. and WITTROCK, M.C. (1992): Generative teaching: An enhancement strategy for thelearning of economics in cooperative groups. American Educational Research Journal 29. S. 861–876.

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

KRÜGER, D., PARCHMANN, I. und SCHECKER, H. (2014): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

KRÜGER, D. (2007): Die Conceptual Change-Theorie. In: KRÜGER, D., VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg, S. 81–92.

KURTZ, K.J., MIAO, C.-H. and GENTNER, D. (2001): Learning by analogical bootstrapping. The Journal of the Learning Sciences, 10. S. 417–446.

LABUDDE, P., (Hrsg.): Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.–9. Schuljahr. 2. Auflage. UTB, Haupt. Bern.

LANZ, K. (2016): Wasser im Engadin. Nutzung, Ökologie, Konflikte. Studie im Auftrag des WWF Schweiz. Zürich.

LASKE, J. (2013): Transfer/Lerntransfer. In: Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A–Z. Westermann. Braunschweig.

LASKE, J. (2012): Neue (?) Aufgabenkultur im Fach Geographie. In: Praxis Geographie, Heft 12, S. 4–8.

LE MONDE DIPLOMATIQUE (2007): Atlas der Globalisierung. Die neuen Daten und Fakten zur Lage der Welt. Berlin.

LEHMANN, K.S., RITZ, J. P., MAASS, H., CAKMAK, K.H., KUEHNAPFEL, U.G., GERMER, C. T., BRETTHAUER, G., BUHR H.]. (2005): A prospective randomized study to test the transfer of basic psychomotor skills from virtual reality to physical reality in a comparable training setting. Annals of Surgery, 241, S. 442–449.

LEITUNGSAUSSCHUSS DER SCHWEIZERISCHEN HOCHSCHULREKTORENKONFERENZEN CRUS, KFH und COHEP (2011): Qualifikationsrahmen für den schweizerischen Hochschulbereich nqf.ch-HS. Verfügbar unter http://www.qualifikationsrahmen.ch [21.12.2018]

LOEWENSTEIN, J., THOMPSON, L. and GENTNER, D. (1999): Analogical encoding facilitates knowledge transfer in negotiation. Psychonomic Bulletin & Review, 6.

S. 586–597.

LOHMANN, D. (1993): Learning and the nature of educational measurement. National Association of Secondary School Principles, 77. S. 31–37.

MACCHIARELLA, N.D., ARBAN, P.K. and DOHERTY, S.M. (2006): Transfer of training from flight training devices to flight for ab-initio pilots. International Journal of Applied Aviation Studies, 6. S. 299–314.

MÄHLER, C. und STERN E. (2018): Transfer. In: ROST, D.H., SPARFELDT, J.R., BUCH, S.R., (Hrsg): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Belz Verlag. Weinheim Basel.

MANDL, H., FRIEDRICH H. F. und HRON, A. (1988): Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In: MANDL, H. und SPADA, H. (Hrsg): Wissenspsychologie. München-Weinheim. Psychologie Verlags Uniol. S. 123–160.

MEMMERT, D. (2004): Kognitionen im Sportspiel. Kapitel6: Transfer elementarer Kognitionen im Sportspiel. Köln. S. 163–180.

METZGER, S. (2013): Didaktische Rekonstruktion: Fachsystematik und Lernprozesse in der Balance halten. In: LABUDDE, P. (Hrsg.):Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.–9. Schuljahr. 2. Auflage. UTB, Haupt. Bern. S. 45–56.

MÖLLER, K. (2018): Die Bedeutung von Schülervorstellungen für das Lernen im Sachunterricht. In ADAMINA, A., KÜBLER, M., KALCSICS, K., ENGELI E. (Hrsg): „Wie ich mir das denke und vorstelle…“ Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Klinkhardt. Bad Heilbrunn.

MONTADA, L. (2003): Die geistige Entwicklung aus der Sicht Jean Piagets. In OERTER, R. und MONTADA L. (Hrsg.), Entwicklungspsychologie. Beltz. Weinheim. S. 418–442.

MÜLLER, K. (2001): Der pragmatische Konstruktivismus. Das Modell zur Überwindung des Antagonismus von Instruktion und Konstruktion. In: MEIXNER, I. und MÜLLER, K. (Hrsg. 2001): Konstruktivistische Schulpraxis,. Beispiele für den Unterricht. Praxishilfen Schule/Pädagogik. Neuwied, S. 3–47.

MÜLLER, M. (2009): Meteoriteneinschläge auf der Erde – Fachliche Konzepte, Schülerperspektiven und didaktische Umsetzung. Geographiedidaktische Forschungen (GDF) Bd. 43. HGD.

MUTAFCHIEVA, M. and KOKINOV, B., (2007): Does the family analogy help young children to do relational mapping? Proceedings of the European Cognitive Science Conference. Hillsdale, NJ: Erlbaum. S. 407–413.

NAEF, F., SCHERRER, S. und ZURBRÜGG C., (1999): Große Hochwasser – unterschiedliche Reaktionen von Einzugsgebieten auf Starkregen. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Tafel 5.7. Bern.

NÜCKLES, M., HÜBNER, S., RENKL, A. (2009): Enhancing self-regulated learning by writing learning protocols. Learning and Instruction, 19, S. 259–271.

ORTNER, T.M., ASANGER, M., KUBINGER, K.D., PROYER, R.T. (2008): Zur Frage nach Auswirkungen von Lateinunterricht auf die kognitive Fähigkeit „Reasoning“. Psychologie in Erziehung und Unterricht, 55. S. 189–195.

OTTO, K.-H., (2012): Didaktische Modelle und Prinzipien. In HAVERSATH, J.-B. Goegraphiedidaktik, 37–55. Westermann. Braunschweig.

PINTRICH, P. R., MARX, R.W. and BOYLE, R.A. (1993): Beyond cold Conceptual Chang: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. In: Review of Educational Research, Vol. 63, No 2, S. 167–199.

PLASS, J.L., MORENO, R., BRÜNKEN, R. (Hrsg.) (2010): Cognitive Load Theory. Cambridge University Press.

PORST, R., (2014): Fragebogen. Ein Arbeitsbuch. 4. Auflage. Wiesbaden.

PRINZ, W. and SANDERS, A.F. (1984): Cognition and motor processes. Berlin.

PROBST, M. und PILLER, F. (2017): Aufeinandertreffen von Kulturen. Konzepte und Sichtweisen für den Unterricht. In: Geographie heute. 38 (335), S. 40–45.

PROBST, M. (2017). WASSERverstehen. Wallis – Wassernutzung im Wandel. Lernmedium zur Hydrologie für die Sekundarstufe II. Bern: hep Verlag. Verfügbar unter www.wasserverstehen.ch [21.12.2018].

PROBST, M. (2016a): Boden. In: PROBST, M., EGLI, HR., HASLER, M., (Hrsg), Geografie. Wissen und verstehen. Hep-Verlag. Bern. S. 171–184.

PROBST, M., und PILLER, F. (2016b): Nachhaltige Entwicklung. In: PROBST, M., EGLI, HR., HASLER, M. (Hrsg), Geografie. Wissen und verstehen. Hep-Verlag. Bern. S. 343–360.

PROBST, M. (2016c): Bougouni – ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung im Sahel. Geographie heute. Nr. 327, S. 46–49.

PROBST, M. (2015): WASSERverstehen. Hydrologische Extremereignisse. Lernmedium zur Hydrologie für die Sekundarstufe II. Bern: hep Verlag. Verfügbar unter www.wasserverstehen.ch [21.12.2018].

PROBST, M., (2013): Risiken aus Naturgefahren im Alpenraum analysieren – Von Kenntnissen zu Erkenntnissen im Raum. Geographie und Schule, 201, Aulis Verlag. S. 17–28.

PROBST, M., BACHMANN, F. und FANKHAUSER, U. (2013). Bougouni. Ein Strategiespiel zu nachhaltiger Entwicklung. hep-Verlag AG, Bern.

PROBST, M., (Autor Drehbuch) (2011): „Wetterwissen.ch“, Zentrum elektronische Medien ZEM, Bern. Verfügbar unter www.wetterwissen.ch [21.12.2018].

PROBST, M. und WILCKE W. (in Druck): Bodenlehrpfad Engehalbinsel – ein Geländepraktikum. Bern.

RAMMSTEDT B. (2004): Zur Bestimmung der Güte von Multi-Item-Skalen: eine Einführung. ZUMA Hot-to-Reihe Nr. 12. GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften.

RAPP, D.N. AND KURBY, C.A., (2008): The „ins“ and „outs“ of learning: International representations and external visualizations. In: Gilbert, J.K., Reiner, S., Nakhlelm M. (Ed.), Visualization: Theory and practice in science education. Springer. New York. S. 29–51.

REED, S.K., ERNST, G. W. and BANERJI, R. (1974): The role of analogy in transfer between similar problern states. Cognitive Psychology, 6. S. 436–450.

REINFRIED, S. (2016): Warum subjektive Erklärungen von geographischen Phänomenen Sinn machen – ein Blick in die Denkprozesse eines Schülers. In OTTO, K.H. (Hrsg.), Geographie und naturwissenschaftliche Bildung – Der Beitrag des Faches für die Schule, Lernlabor und Hochschule.

REINFRIED, S. und HAUBRICH, H. (2015): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie. Cornelsen Verlag, Berlin.

REINFRIED, S. (2015a): Wissen erwerben und Einstellungen reflektieren. In: REINFRIED, S. und HAUBRICH, H. (2015): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie. Cornelsen Verlag, Berlin.

REINFRIED, S. (2015b): Der Einfluss kognitiver und motivationaler Faktoren auf die Konstruktion hydrologischen Wissens – eine Analyse individueller Lernpfade. Zeitschrift für Geographiedidaktik (ZGD), 43(2), S. 107–138.

REINFRIED, S. und TEMPELMANN, S. (2014): Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik, Heft 1. S. 31–56.

REINFRIED, S., AESCHBACHER, U., KIENZLER, P.M. und TEMPELMANN, S. (2013): Mit einer

didaktisch rekonstruierten Lernumgebung Lernerfolg erzielen – das Beispiel Wasserquellen und Gebirgshydrologie. In: Zeitschrift für Didaktik und Naturwissenschaften, Jg. 19. S. 261–288.

REINFRIED, S. und KIENZLER, P. (2012): Warum gibt es Überschwemmungen? Die Ursachen von Hochwasser und Überschwemmungen verstehen. Geographie und Schule. Teil 1: Heft 195, S. 41–45. Teil 2: Heft 196, S. 43–49.

REINFRIED, S. (2010): Lernen als Vorstellungsänderung: Aspekte der Vorstellungsforschung mit Bezügen zur Geographiedidaktik. In: REINFRIED, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. S. 1–31. Logos Verlag Berlin.

REINFRIED, S., ROTTERMANN, B., AESCHBACHER, U. und HUBER, E. 2010): Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderung von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie. In: Geographie und ihre Didaktik 38, Heft 4, S. 218–239.

REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U. und HUBER, E. (2008). Der Treibhauseffekt – Folge eines Lochs in der Atmosphäre? Wie Schüler sich ihre Alltagsvorstellungen bewusst machen und sie verändern können. Geographie heute, 265/266. S. 24–33.

REINFRIED, S. (2007): Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lerntheorie am Beispiel des Conceptual Change. Geographie und Schule, 168, S. 19–28.

REINFRIED, S. (2006): Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. In: Geographie heute, Vol. 27, H. 244. S. 38–43.

REINMANN, G., Mandl H., (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP, A., WEIDENMANN, B., (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. 5. Aufl. Weinheim 2006, S. 613–658.

RENKL, A. (2018): Träges Wissen. In: ROST, D.H., SPARFELDT, J.R., BUCH, S.R., (Hrsg): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Belz Verlag. Weinheim Basel.

RENKL, A. (2014): Theoretische Konzepte und Prinzipien auf den Schulalltag beziehen: ein wenig Theorie und darauf begründete Vorschläge für die Referendariatsausbildung. Seminar, 2. S. 9–16.

RENKL, A., GRUBER, H., WEBER, S., LERCHE, T. und SCHWEIZER, K. (2003): Cognitive load beim Lernen aus Lösungsbeispielen. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17. S. 93–101.

RENKL, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. Psychologische Rundschau, 47. S. 78–92.

RESNICK, L. B., (1989): Introduction. In: RESNICK L.B., (Hrsg.): Knowing, Learning and Instruction. S. 1–24. Erlbaum. Hillsdale, N.J.

REUSSER, K. (2013): Aufgaben – das Substrat der Lerngelegenheiten im Unterricht. Profi-L, Nr. 3. Schulverlag plus AG. S. 4–6.

REUSSER, K., (2008): Konstruktivismus – vom erkenntnistheoretischen Leitbegriff zur Erneuerung der didaktischen Kultur. In: ADAMINA, M. und MÜLLER, H.: Lernwelten. Natur-Mensch-Mitwelt. Grundlagenband. Bern.

RIEMEIER, T. (2007): Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, D. und VOGT, H. (Hrsg).Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Springer Verlag. Berlin Heidelberg.

RINSCHEDE, G. (2007): Geographiedidaktik. Grundriss allgemeine Geographie. Paderborn.

RITTER, M. und REINFRIED, S. (2008): Wie entsteht eine Karstlandschaft? Schülervorstellungen von Dolinen weiterentwickeln. Geographie heute, 265/266, S. 14–19.

ROGERS, Y., SHARP, H. and PREECE, J. (2011): Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction. Chichester, UK: Wiley.

ROST, J. (2004): Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion. 2., vollst. Überarbeitete Auflage. Verlag Hans Huber. Bern.

ROYER, J.M. (1979): Theories of the transfer of learning. Educational Psychologist, 14. S. 53–69.

SCHELTEN, A. (1997): Testbeurteilung und Testerstellung. Grundlagen der Teststatistik und Testtheorie für Pädagogen und Ausbilder in der Praxis. Zweite, durchgesehene und erweiterte Auflage. Franz Steiner Verlag. Stuttgart.

SCHEUERMANN, H. (2017): Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie

beim Planen von Experimenten. In: Studien zum Physik- und Chemielernen, Nr. 237. Logos Verlag Berlin.

SCHMID, C. (2006): Lernen und Transfer: Kritik der didaktischen Steuerung. hep-Verlag. Bern.

SCHMIDTKE, V. (2012): Handlungszentrierung. Ein Konzept für den Geographieunterricht. Wochenschau Verlag. Schwalbach.

SCHNOTZ, W. (2001): Conceptual Change. In: ROST, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. 3. Auflage. Weinheim, S. 77–82.

SCHNOTZ, W. (1996): Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In: DUIT, R. und VON RHÖNECK, C. (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. IPN an der Universität Kiel, Nr. 151. S. 15–36.

SCHUBERT, J. (2013): Schülervorstellungen zur Desertifikation – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie zu vorunterrichtlichen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der 7. Klasse. In: Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education. Heft 4. S. 173–196.

SCHULER, S. (2011): Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Dissertation. Bochumer Geographische Arbeiten Bd. 78. Bochum: Europäischer Universitätsverlag.

SCHULER, S. (2002): Subjektive Theorien über globale Umweltprobleme: Eine Zusammenstellung von Forschungsergebnissen zum Thema globaler Wandel. In: Seybold, H. und RIESS, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Grundschule – methodische und konzeptionelle Ansätze. Gmünder Hochschulreihe Bd. 22. S. 145–158.

SCHULER, S. (2004): Alltagstheorien von Schülerinnen und Schülern zum globalen Klimawandel. In: KRASS, E. (Hrsg.): Globales Lernen im Geographieunterricht – Erziehung zu einer nachhaltigen Entwicklung. Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 38. Nürnberg. S. 145–158.

SCHULER, S. (2005): Umweltwissen als subjektive Theorie. Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In: Schrenk M., Holl-Giese W., (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg. S. 97–112.

SCHWITTER, R. und BUCHER, H. (2009): Hochwasser: Schützt der Wald

oder verstärkt er die Schäden? In: Wald und Holz, Heft 6/2009. Solothurn. S. 31–34.

SEEL, N.M. (2016): Psychologie des Lernens (PDF-E-Book). Lehrbuch für Pädagogen und Psychologen. UTB. Ernst Reinhardt Verlag München, Basel.

SELZ, O. (1913): Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufs. Eine experimentelle Untersuchung. Erster Teil. W. Spemann, Stuttgart.

SHUELL, T.J. (1993): Towards an integrated theory of teaching and learning. In: Educational Psychologist, Vol. 28, H. 3. S. 291–311.

SPÖRER, N., Brunstein,].C. and KIESCHKE, U. (2009): Improving students' reading comprehension skills: Effects of strategy instruction and reciprocal teaching. Learning and Instruction, 19, S. 272–286.

SPREAFICO, M., WEINGARTNER, R., BARBEN, M. und RYSER, A. (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe. Berichte des BWG – Serie Wasser, Nr. 4, Bern.

STEINER, G., (1997): Educational learning theory. In: Tennyson, Schott, Seel, Dijkstra, S. 79–112.

STERN, E. und SCHUMACHER, R. (2004): Intelligentes Wissen als Lernziel. Universitas, 59 (2). S. 121–134.

STERNBERG, R. J. (1985): Beyond IQ: A triarchic theory of human intelligence. Cambridge University Press, New York.

STREINER, D. L. (2003): Starting at the beginning: An introduction to coefficient alpha and internal consistency In: Journal of Personality Assessment. Ban 80, Michigan. S. 99–103.

SUTER, D., KÜRY, D., BALTES, B., NAGEL, P. und LEIMGRUBER, W. (2007): Kulturelle und soziale Hintergründe zu den Wahrnehmungsweisen von Wasserquellen. In: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel, 10. S. 81–100.

SWELLER, J. (1988): "Cognitive load during problem solving: Effects on learning". Cognitive Science. 12 (2). S. 257–285.

TACKE, G. (2005): Evaluation eines Lesetrainings zur Förderung lese-rechtschreibschwacher Grundschüler der zweiten Klasse. Psychologie in Erziehung und Unterricht, 52. S. 198–209.

THORNDIKE, E.L. (1924): Mental discipoline in high schools. Jounal of Educational Psychology, 15. S. 83–98.

TIEDEMANN, H. (1988): Berge – Wasser – Katastrophen. Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft. Zürich

TILLMANN, A. (2014): Eigenständiges Concept Mapping und die Nutzung von Expertenmaps. Eine Vergleichsstudie zu Lerneffektivität und individuellen Präferenzen. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik, Heft 2, S. 75–96.

TORKINGTON, S.G.T., SMITH, B.I. and DARZI, A. (2001): Skill transfer from virtual reality to a reallaparoscopic task. Surgical Endoskopy, 15. S. 1076–1079.

ULRICH, H. und PROBST, G. (1995): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Verlag Haupt. Bern.

UNO (2015): Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 1. September 2015, Resolution 69/315. Entwurf des Ergebnisdokuments des Gipfeltreffens der Vereinten Nationen zur Verabschiedung der Post-2015-Entwicklungsagenda, UN-Generalversammlung.

VAN DIJK, E. M. AND KATTMANN, U. (2007): A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. Teaching and Teacher Education, 23. S. 885–897.

VEENMAN, M.V.J. (2011): Learning to self-monitor and self-regulate. In MAYER, R.E. AND ALEXANDER, P.A., (Eds.): Handbook of research on learning and instruction. Routledge. NewYork. S. 197–218.

Voss, J. F. (1987): Learning and transfer in subject-matter learning: A problem-solving model. International Journal of Educational Research, 11. S. 607–622.

VYGOTSKI, L. S. (1978): Mind in society. The Development of higher Psychological Prozesses. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

WEINGARTNER, R. und RÖSSLER, O. (2018): Entstehung von Hochwassern – Grunddisposition. In: BRÖNNIMANN, S. et al. (2018): 1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft. Geographica Bernensia, Bern.

WEINGARTNER, R., RÖSSLER, O. und STUCKI, P. (2018): Entstehung von Hochwassern – Variable Disposition und Auslösung. In: BRÖNNIMANN, S. et al. (2018): 1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft. Geographica Bernensia, Bern.

WEINGARTNER, R. (2007). In: Der Bund 23.4.2007. Bern.

WEINGARTNER, R. und SPREAFICO, M. (2005): Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

WEINERT, F.E. und SCHRADER, F.-W. (1997): Lernen lernen als psychologisches Problem. In Weinert F.E., Mandl H., (Hrsg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Hogrefe. Göttingen. S. 295–335.

WHITE, B.Y. (1993): Thinker Tools: Causal models, conceptual change, and science education. Cognition & Instruction, 10. S. 1–100.

WILD, E., und MÖLLER, J. (Hrsg.) (2015): Pädagogische Psychologie. 2. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer Verlag. Berlin Heidelberg.

WIRSIG, C., ZASADNI, J., CHRISTL, M., AKÇAR, N. and IVY-OCHS, S. (2016): Dating the onset of LGM ice surface lowering in the High Alps. Quaternary Science Reviews. Elsevier. Volume 143. S. 37–50.

Anhang – Lernmedium WASSERverstehen

Im Anhang liegt alle Materialien des Lernmediums **WASSERverstehen** vor, das wichtige hydrologische Inhalte für den Geographieunterricht der Sekundarstufe II vermittelt (vgl. Erläuterungen in Kapitel 6). Zu diesem Lernmedium wurden im Rahmen der Dissertation das **Modul 1 Hydrologische Extremereignisse** (S. 263 – 294) und das **Modul 2 Wallis Wassernutzung im Wandel** (S. 295 – 329) erstellt. Beide Module beinhalten vier in sich geschlossene Themen, bestehend aus je einem Themenblatt, Arbeitsblatt und didaktischen Informationen. Die Themen sind flexibel einsetzbar, verlangen keine bestimmte Reihenfolge und sind als gedrucktes Themenblatt und als elektronisches Lernbuch (E-Book) verfügbar unter www.wasserverstehen.ch.

Die sich ergänzenden gedruckten und elektronischen Materialien unterstützen eine vertiefte und analytische Auseinandersetzung mit aktuellen Fragestellungen der Hydrologie und weisen dieselbe Struktur auf:

Der **Fokus** bietet auf der ersten Seite eines Themenblattes eine zentrale und leitende Problem- und Fragestellung. Mit dem eigenen Vorwissen und den Materialien werden anhand eigener Überlegungen Hypothesen formuliert.

Mit dem gesicherten Grundlagen- und Forschungs**wissen** auf der zweiten und dritten Seite werden die eigenen Überlegungen zur Problem- und Fragestellung überprüft und analytisch vertieft.

Mit dem **Transfer** auf der vierten Seite werden die gewonnenen Kenntnisse an einer anderen Situation und Fragestellung analytisch angewendet und weiterentwickelt. Dadurch werden die Relevanz des Themas und die Alltagstauglichkeit des Gelernten fassbar sowie neue Erkenntnisse gewonnen.

Das **Arbeitsblatt** enthält leitende Lernaufgaben zu den drei Teilen Fokus, Wissen und Transfer und gibt Hinweise zu weiterführender Literatur.

Das **elektronische Lernbuch** (www.wasserverstehen.ch) ergänzt die gedruckten Unterlagen mit ausgewählten Medien und einem **Glossar** mit zentralen Begriffen.

Der **didaktische Begleitkommentar** (www.wasserverstehen.ch) gibt Anregungen zum Einsatz der gedruckten und elektronischen Lernmodule im Unterricht der Sekundarstufe II.

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Starkniederschlag

Beeindruckende Gewitterwolken sind sichtbare Anzeichen für möglichen Starkniederschlag (Abb. 1). Der wesentliche Anteil an Wasser in der Atmosphäre kommt jedoch nicht in den Wolken als sichtbare Wassertröpfchen vor, sondern unsichtbar als gasförmiger Wasserdampf. Die Hebung dieser feuchten Luftmassen kann zu Starkniederschlag führen, weil mit der Abkühlung viel Wasserdampf zu Wassertröpfchen kondensiert. Beide Faktoren, Hebung und grosse Mengen Feuchtigkeit, führten beispielsweise in Camedo (Tessin) zum höchsten, je an einem Tag gemessenen Starkniederschlag von 455 mm. So viel regnet es in Ackersand (Wallis) durchschnittlich in einem ganzen Jahr (Tab 1).

Starkniederschlag wird definiert als Niederschlag, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und daher selten auftritt. Als Starkniederschlag eingeordnete Ereignisse umfassen meistens eine Dauer von 10 Minuten bis 5 Tage und treten jährlich nur vereinzelt auf. Starkniederschläge führen vor allem in Gewässern mit kleinem Einzugsgebiet zu Hochwasser und verursachen Bodenerosion, Rutschungen sowie Murgänge. Wenn Starkniederschläge mit Blitzen, Sturmböen oder Hagel einhergehen, können sie zudem Menschenleben fordern und hohe Schäden anrichten.

Die **Niederschlagsmenge** für einen bestimmten Ort wird in der Regel als Niederschlagshöhe in Millimeter von flüssigem Niederschlag über der Erdoberfläche angegeben. Wobei eine Niederschlagshöhe von 1 Millimeter der Niederschlagsmenge von 1 Liter pro Quadratmeter entspricht. Der tiefste gemessene mittlere **Jahresniederschlag** in der Schweiz beträgt 545 mm, der höchste 2837 mm (Tab. 1).

Abb. 1: Wärmegewitter mit Blick von Zimmerwald BE in Richtung Südosten (Foto: P. Gyarmati)

Niederschlagsdauer	Niederschlagsmenge	Messstation	Zeitraum
10 Minuten	33.6 mm	Locarno-Monti (Tessin) 366 m ü.M.	29. August 2003
1 Stunde	91.2 mm	Locarno-Monti (Tessin) 366 m ü.M.	28. August 1997
1 Tag	455 mm	Camedo (Tessin) 550 m ü.M.	26. August 1935
2 Tage	612 mm	Mosogno (Tessin) 760 m ü.M.	23./24. September 1924
3 Tage	768 mm	Camedo (Tessin) 550 m ü.M.	3.–5. September 1948
1 Monat	1239 mm	Camedo (Tessin) 550 m ü.M.	April 1986
1 Jahr	4173 mm	Säntis (St. Gallen) 2502 m ü.M.	1922
höchster mittlerer Jahresniederschlag	*2837 mm*	*Säntis (St. Gallen) 2502 m ü.M.*	*1981–2010*
tiefster mittlerer Jahresniederschlag	*545 mm*	*Ackersand (Wallis) 700 m ü.M.*	*1981–2010*

Tab. 1: Gemessene Niederschlagsrekorde in der Schweiz (MeteoSchweiz, Februar 2013)

Fokus

Abb. 66 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

Woher die Feuchtigkeit kommt

Aus welchem Gebiet wie viel Feuchtigkeit in die Schweiz transportiert wird, hängt von der grossräumigen Wetterlage mit ihren Winden ab. Im Durchschnitt stammen 40 % des Niederschlags in der Schweiz aus dem Nordatlantik. Andere wichtige Herkunftsgebiete sind das Mittelmeergebiet, das mitteleuropäische Festland und Nordeuropa (Abb. 2). Aus diesen Gebieten gelangt die Feuchtigkeit als gasförmiger Wasserdampf und in Wolken als schwebende Wassertröpfchen in die Schweiz.

Hebung von Luftmassen

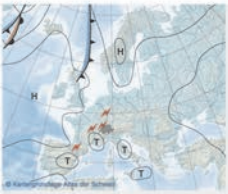
Entscheidend für die Bildung von Starkregen ist die Hebung der feuchten Luftmassen. So führen die folgenden drei Prozesse zu Wolken- und Niederschlagsbildung. Bei der **Konvektion** steigen warme Luftmassen in kältere Umgebungsluft auf. Bei der **Advektion** werden durch die horizontale Bewegung der Luft unterschiedlich warme Luftmassen herangeführt. Dabei gleiten wärmere Luftmassen über kältere auf. Bei der **orographischen Hebung** müssen die Luftmassen beim Anströmen auf ein Gebirge aufsteigen. Mit der Hebung kühlen die feuchten Luftmassen ab und bilden Wassertröpfchen durch die Anlagerung von Millionen von Wassermolekülen an schwebende Kondensationskerne, die aus Salzkristallen, Staubpartikeln oder Eiskeimen bestehen können. Die Wassertröpfchen in einer Wolke sind in Bewegung, kollidieren und verbinden sich zu Regentropfen. Rund eine Million Wassertröpfchen bilden einen Regentropfen mit einem Durchmesser von 2 mm. Nicht jede Wolke führt zwangsläufig zu Niederschlag. Erst ab einer Wolkenmächtigkeit von mindestens 1.5 Kilometer können sich genügend grosse Regentropfen bilden. Für intensive Niederschläge muss die Wolkenmächtigkeit sogar mehrere Kilometer erreichen.

Konvektion bei Wärmegewittern

Im Sommer führen vorherrschende **Flachdrucklagen**, intensive Sonneneinstrahlung und hohe Luftfeuchtigkeit häufig zu intensiven, kleinräumigen **Wärmegewittern** am späteren Nachmittag. Auf der Wetterkarte sind die geringen Luftdruckgegensätze über West- und Mitteleuropa am grossen Abstand der einzelnen Isobaren erkennbar (Abb. 3). Die horizontale Luftbewegung ist daher nur schwach und das lokale Wettergeschehen wird von anderen Faktoren, wie Sonneneinstrahlung, Vegetation, Wasseroberfläche oder Relief bestimmt.

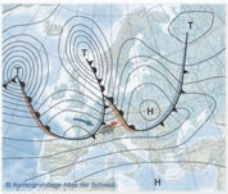
Die Topografie der Schweiz mit verschiedenen Hangneigungen und Expositionen auf kleinem Raum begünstigt lokal unterschiedliche Erwärmungen durch die Sonne. Die aufgeheizte Erdoberfläche erwärmt die bodennahe Luft und warme Luftmassen steigen auf, da sie wegen ihrer geringeren Dichte leichter sind als kalte (Konvektion). Weil wärmere Luftmassen mehr Feuchtigkeit aufnehmen können, steigen mit den Luftmassen grosse Mengen Wasserdampf auf, welche durch die Abkühlung in der Höhe zu Wassertröpfchen kondensieren und Quellwolken bilden. Bei der Kondensation wird zudem Wärme frei, was die **Aufwinde** in der Wolke verstärkt und die Luftmassen weiter aufsteigen lässt. An der Basis der Wolke wird fortlaufend feuchte Warmluft angesogen, wodurch Haufenwolken (Cumulonimbus) von bis zu 12 Kilometer Höhe heranwachsen können (Abb. 1 und 3). In solchen Wolkentürmen entwickeln sich Aufwinde mit einer Geschwindigkeit von bis zu 150 km/h, welche die Wassertröpfchen nach oben transportieren. Diese gefrieren bei Minustemperaturen zu Eiskörnern, welche durch das Eigengewicht und die Aufwinde immer wieder hinunterfallen und aufsteigen. Dabei frieren immer weitere Wassertröpfchen an den Eiskörnern an. Das Auf und Ab kann sich unterschiedlich lang wiederholen, wodurch verschieden grosse Eiskörner gebildet werden. Durch die fallenden **Eiskörner** und Regentropfen sowie durch die stark abgekühlte Luft in der Höhe (–50 °C in 12 km Höhe) entstehen Abwinde. Die starken Auf- und Abwinde erzeugen elektrische Spannungen, welche sich

Abb. 2: Feuchtequellen der Schweiz 1995 – 2002 (nach Sodemann et al., 2010)

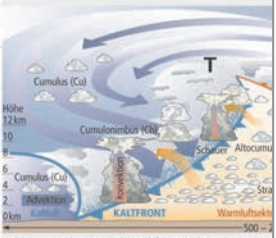


Flachdrucklage im Sommer

Abb. 3: Wetterlage und Entstehung von Wärmegewitter



Westwindlage



Zyklon mit Schauer an der Kaltfront und Landregen an

Abb. 4: Wetterlage und Entstehung von Schauer und La

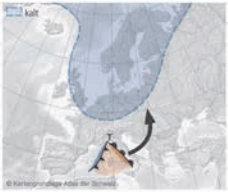
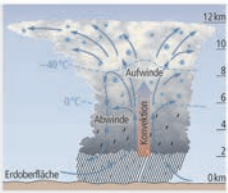
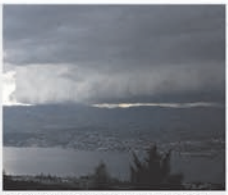


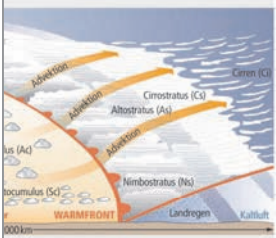
Abb. 5: 5b-Wetterlage (Blanc P., Schädler B., 2013)



Entstehung von Wärmegewittern



Kaltfront mit Blick vom Pfannenstiel ZH in Richtung Süden (© MeteoSchweiz)



der Warmfront (nach VBS/DDPS ZEM, 2011)

durch **Blitze** abbauen. Die grösser gewordenen Wassertröpfchen und Eiskörner fallen durch die Wolke und lösen ein kurzes, heftiges Gewitter aus, welches im Extremfall von Hagel, heftigen Sturmböen und Blitzen begleitet wird. Das intensive Wärmegewitter zieht nur über ein kleinräumiges Gebiet und löst sich nach wenigen Stunden auf.

Advektion und Konvektion bei Schauer und Landregen

Die ganzjährig häufig auftretende **Westwindlage** bringt immer wieder feuchte Luftmassen vom Atlantik in die Schweiz (Abb. 4). Dies erhöht die Gefahr von Starkniederschlag, besonders am Alpennordrand, wo die feuchten Luftmassen aufgleiten. Der Niederschlag und das insgesamt wechselhafte Wetter werden bei Westwindlage durch den häufigen Durchzug von **Zyklonen** (Tiefdruckwirbeln) mit ihren Warm- und Kaltfronten verursacht (Abb. 4).

An der **Kaltfront** kommt dichte Kaltluft gegen die leichte Warmluft einfach voran (Advektion) und bildet daher eine steil ansteigende und mächtige Front. Die davor liegende feuchte Warmluft wird rasch in die Höhe verdrängt und abgekühlt. In kurzer Zeit kondensiert viel Wasserdampf, wobei die frei werdende Kondensationswärme das Aufsteigen der feuchten Warmluft verstärkt (Konvektion). Es bilden sich mächtige Haufenwolken (Cumuluswolken), die zu kurzem, heftigen Starkregen, dem **Schauer**, führen. Der Durchzug von Kaltfronten ist selten von Blitz, häufig jedoch von unvermittelt einsetzenden starken Böen sowie gelegentlich von Hagel begleitet.

An der **Warmfront** kann die Warmluft über die dichte Kaltluft nur langsam und flach ansteigend aufgleiten (Advektion). In der Warmluft kondensiert der Wasserdampf daher langsam, aber kontinuierlich. Es bilden sich Schichtwolken (Stratuswolken) begleitet von einem mehrere Stunden oder Tage andauernden, schwachen **Landregen** mit kleinen Tropfen. Führt die Warmluft hinter der Warmfront sehr viel Feuchtigkeit heran, so kann sich unter orographischem Einfluss ein Starkniederschlag von mehreren Tagen entwickeln.

Orographischer Einfluss

Die grössten Starkniederschläge mit längerer Dauer (ein bis mehrere Tage) entstehen beim Aufgleiten feuchter Luftmassen am Alpennord- und Alpensüdrand. Diese orographische Hebung verstärkt Wärmegewitter, Schauer und Landregen erheblich und hat für die Entstehung von Starkniederschlag in der Schweiz eine grosse Bedeutung. Durch den Stauefekt der Alpen werden die Luftmassen zum Aufsteigen gezwungen. Infolge der weiteren Abkühlung kondensiert noch mehr Wasserdampf und es bildet sich zusätzlicher Niederschlag. So tritt besonders intensiver Niederschlag auf der Alpensüdseite bei der Entstehung und Intensivierung eines Tiefdruckwirbels über dem Golf von Genua auf. Die Verdunstung über dem Mittelmeer bei warmen Wasser- und Lufttemperaturen ist hoch, eine südliche Strömung mit hohen Temperaturen kann viel Feuchtigkeit transportieren und diese feuchten Luftmassen gleiten am Alpensüdrand auf. Wie stark diese **Stauniederschläge** sind und wie lange sie anhalten, hängt zusätzlich von der Zugbahngeschwindigkeit und der Dynamik des Tiefdruckgebietes ab. Beispielsweise erhöht sich die Niederschlagsintensität, wenn sich der Tiefdruckwirbel nur langsam über den Golf von Genua verlagert oder dort sogar verbleibt und wenn die Luftmassen im Tiefdruckwirbel räumlich konzentriert und mit hoher Geschwindigkeit aufsteigen. Betroffen sind vor allem die südlichen Alpentäler und die Poebene.

Der Tiefdruckwirbel kann bei einer sogenannten **5b-Wetterlage** aber auch vom Golf von Genua in einem Bogen über die Adria um die Alpenostseite herum ziehen und «über die Hintertüre» in Polen, Tschechien, Österreich, Deutschland und in der Ostschweiz zu Starkregen führen (Abb. 5).

Wissen

Abb. 67 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Tendenzen und Warnung

Ob die Starkniederschläge aufgrund der **globalen Erwärmung** zugenommen haben und weiter zunehmen werden, lässt sich wegen der Seltenheit der Extremereignisse nicht mit Sicherheit sagen. Untersuchungen von häufigeren Ereignissen, die nicht notwendigerweise zu Schäden führen, konnten in verschiedenen Regionen von Zentral- und Nordeuropa eine zunehmende Häufigkeit von intensiven Niederschlägen in den vergangenen Jahrzehnten nachweisen. Dies gilt für Herbst und Winter; für den Sommer ist kein Trend erkennbar. Für die Zukunft wird davon ausgegangen, dass die globale Klimaänderung die Häufigkeit, die Dauer, die Ausdehnung und das saisonale Auftreten von Starkniederschlägen verändern kann. Verlässliche Aussagen können zurzeit aber noch nicht gemacht werden. MeteoSchweiz ist als nationaler Wetter- und Klimadienst für die rechtzeitige Warnung der Behörden und der Bevölkerung bei wetterbedingten Ereignissen zuständig. Zur Erkennung und Vorhersage von meteorologischen Extremereignissen verwendet MeteoSchweiz verschiedene Wettermodelle, welche nach Ereignissen immer wieder überprüft und angepasst werden.

Hagelschäden

Hagel ist eine Begleiterscheinung von Starkniederschlag und entsteht in der Schweiz durchschnittlich nur bei jedem zehnten Schauer- oder Gewitterereignis. In Europa gehört die Schweiz zu den Ländern mit der grössten Hagelgefahr. Jährlich werden hierzulande Schäden in zweistelliger Millionenhöhe verursacht, vor allem an landwirtschaftlichen Kulturen (Abb. 6 und 7), aber auch an Fahrzeugen und Gebäuden. Bei einem Wärmegewitter sind die Schäden durch **Hagel** lokal begrenzt. Dagegen können bei einem Kaltfrontdurchzug Hagelzüge bilden, die sich als mehrere Kilometer breites Band über das ganze Schweizer Mittelland von Südwesten nach Nordosten ziehen. Begünstigt durch die Hebungseffekte an Bergflanken tritt Hagelschlag vermehrt im Voralpenraum auf (Abb. 8).

Abb. 6: Hagelereignis in Interlaken am 19. Juni 2007 (Foto: Pascal Blanc)

Abb. 7: Hagelschaden an Birnen am 7. Juli 2011 in Samstagern ZH (Foto: Schweizer Hagel)

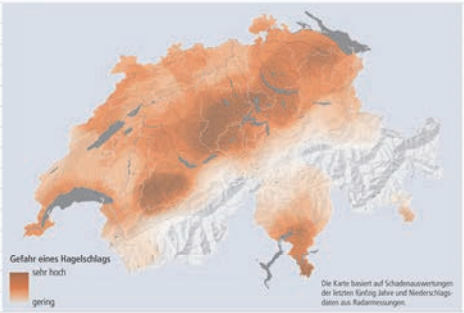


Abb. 8: Hagelgefahr in der Schweiz (© Schweizer Hagel 2011)

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 68 | Themenblatt Starkniederschlag zur Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Arbeitsblatt: Starkniederschlag

Starkniederschläge können zu Hochwasser, Murgängen und Rutschungen führen und so Menschenleben gefährden und hohe Schadenssummen zur Folge haben. Von Starkniederschlägen ausgelöste Hochwasser verursachen weltweit und in der Schweiz 70–80 Prozent der Schadenssummen aller Naturereignisse. In der Schweiz bestehen aus verschiedenen Gründen «ideale» Bedingungen für Starkniederschläge.

Fokus

Welche Voraussetzungen begünstigen Starkniederschläge in der Schweiz?
Beziehen Sie in Ihre Überlegungen meteorologische Aspekte der Niederschlagsbildung mit ein.

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu den Ursachen von Starkniederschlägen in der Schweiz. Stellen Sie die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

Transfer

Die Schweiz gehört zu den Ländern mit der grössten Hagelgefahr Europas. Jährlich werden hierzulande Schäden in zweistelliger Millionenhöhe verursacht.

Wie hoch ist die Hagelgefahr in Ihrer Wohnregion?
Begründen Sie Ihre Einstufung aus meteorologischer Sicht.

Abb.: 69 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Starkniederschlag, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2006: Starkniederschlagsereignis August 2005. Zürich.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (Jahr unbekannt): Typische Wetterlagen im Alpenraum. Zürich

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Probst M., 2011: Wetterwissen.ch. Zentrum elektronische Medien (VBS/DDPS ZEM). Bern.

Schweizer Hagel-Versicherungs-Gesellschaft, 2005: Jubiläumsschrift zum 125jährigen Bestehen der Schweizer Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. Zürich.

Sodemann H. et al., 2010: Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995–2002. International Journal of Climatology.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, 2007: Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Bern.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

Abb. 70 | Literaturangaben zu Themenblatt Starkniederschlag, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Teil II
Module – leitende Lernziele und Lösungsvorschläge

Modul 1 Hydrologische Extremereignisse

Starkniederschlag

Leitendes Lernziel

Die Lernenden verstehen die Entstehung von Starkniederschlägen in der Schweiz und setzen diese Kenntnisse mit typischen Wetterlagen in Mitteleuropa in Verbindung, um Anzeichen für mögliche Starkniederschläge in den Wetterprognosen selber zu erkennen.

Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Starkniederschlägen, dienen der Beobachtung von Starkniederschlagssituationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag.

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

- Die Topografie mit verschiedenen Hangneigungen und Expositionen begünstigt die lokale Erwärmung durch die Sonne und damit die Bildung von Wärmegewittern.
- Die mittlere Breitenlage der Schweiz ermöglicht im Sommer eine intensive Sonneneinstrahlung, welche Wärmegewitter verursacht.
- Die ganzjährig häufige Westwindlage bringt vom Atlantik her feuchte Luftmassen sowie Tiefdruckwirbel in die Schweiz, welche von heftigen Schauern und schwachem Landregen begleitet sein können.
- Der orographische Einfluss verstärkt entscheidend Wärmegewitter, Schauer und Landregen; feuchte Luftmassen werden am Gebirge zum Aufsteigen gezwungen, was zusätzlichen Stauniederschlag bewirkt.
- Ein Tiefdruckgebiet über dem Golf von Genua kann auf der Alpensüdseite – bei einer entsprechenden Zugbahn um die Alpenostseite herum (5b-Wetterlage) auch im gesamten östlichen Alpenraum – viel Feuchtigkeit vom Mittelmeer an den Alpenrand heran führen und mit dem orographischen Einfluss zu intensivem und langandauerndem Starkregen führen.

Transfer

Individuelle Lösungen, welche die Analyse der Karte zur Hagelgefahr in der Schweiz sowie die Beurteilung der Einflüsse auf die Bildung von Wärmegewitter und Schauer (vgl. Lösung zu «Wissen») in der eigenen Wohnregion berücksichtigen.

Ganz allgemein ist in der Schweiz die Hagelgefahr hoch, weil

- die häufig vorherrschenden Westwinde feuchte Luftmassen heranführen,
- in den mittleren Breiten ganz allgemein polare Kaltluftmassen und subtropische Warmluftmassen aufeinandertreffen und sich bei diesen Temperaturgegensätzen Kalt- und Warmfronten bilden,
- die Kaltfronten mit Advektion und Konvektion heftige Schauer mit starken Auf- und Abwinden (Hagelbildung) verursachen,
- die Topographie in der Schweiz die Bildung von Wärmegewittern begünstigt,
- der orographische Einfluss am Alpenvorland die Hebung von feuchten Luftmassen verstärkt.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 71 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Starkniederschlag, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Hochwasser

Über die Medien erreichen uns nach Hochwasserereignissen immer wieder erschütternde Bilder der Zerstörung. Hochwasser verursachen in der Schweiz jedes Jahr Schäden in der Höhe von durchschnittlich 340 Millionen Schweizer Franken. Um die Schäden durch wirkungsvolle Massnahmen zu minimieren, braucht es umfassende Kenntnisse der Ursachen von **Hochwasser**.

Gefahrenbeurteilung

Zur allgemeinen Gefahrenbeurteilung von Hochwasser, aber auch von Rutschungen, Felssturz, Lawinen und anderen Naturgefahren ist in einem ersten Schritt die Kenntnis der Grunddisposition notwendig. Unter **Grunddisposition** versteht man all jene Voraussetzungen für gefährliche Prozesse, welche über längere Zeit gleich bleiben, beispielsweise die Parameter Relief, Geologie, Boden und Klima. Falls es Aufzeichnungen von Schadensereignissen gibt (z.B. Hochwassermarken, historische Berichte), können auch diese zur Abschätzung der allgemeinen Gefahr herangezogen werden.

Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit von Hochwasser und anderen Naturgefahren muss bekannt sein, wie häufig mit einer variablen Disposition und mit potentiell auslösenden Ereignissen zu rechnen ist.

Unter **variabler Disposition** versteht man die zeitlich variablen, von Tages- und Jahreszeit abhängigen Grössen, beispielsweise die vorherrschende Wetterlage oder den Zustand von Boden und Vegetation.

Ein **auslösendes Ereignis** setzt bei gegebener Disposition den gefährlichen Prozess in Gang. Auslösende Ereignisse sind beispielsweise intensive Gewitter.

Abb. 1: Sedrun GR mit den drei Wildbächen Strem, Drun und Drun da Bugnei (von links nach rechts) (© Schweizer Luftwaffe)

Abb. 2: Sarner Aa OW beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

Abb. 3: Aare in Bern beim Hochwasserereignis am 24. August 2005
(© AWA Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Foto: Beat Baumann)

Fokus

Abb. 72 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 8.8.2019]

Kenntnis von Hochwasser

Die Kenntnisse zu Hochwasser bilden eine unentbehrliche Grundlage für das Leben und Bauen am Wasser. Hochwassermarken und zahlreiche historische Berichte zeugen vom Versuch, das Wissen über Extremereignisse vor dem Vergessen zu bewahren und kommende Generationen auf die Möglichkeit sehr seltener Hochwasserabflüsse vorzubereiten (Abb. 4).

Meteorologische Ursachen

Ausgelöst werden Hochwasser meistens durch **intensive** oder **lang anhaltende Niederschläge**. Hohe Temperaturen können zusätzlich die Nullgradgrenze ansteigen lassen, was zum einen im Gebirge die Schneeschmelze begünstigt. Zum anderen führt eine hochliegende Nullgradgrenze dazu, dass Niederschläge vermehrt in Form von schnell abfliessendem Regen anstatt von Schnee auftreten. Ob Niederschläge sowie Schneeschmelze jedoch ein Hochwasser auslösen und schliesslich zu Überschwemmungen führen, hängt vom Zusammenspiel verschiedener weiterer Faktoren ab (Abb. 5).

Einfluss des Bodens

Bei der Abflussbildung ist der Boden eine Schlüsselgrösse. In wassergesättigtem, gefrorenem oder anfänglich ausgetrocknetem Boden kann Niederschlagswasser kaum oder gar nicht versickern und fliesst als **Oberflächenabfluss** schnell ab. Flachgründige und schlecht durchlässige Böden sind schnell mit Wasser gesättigt. Ist der Boden aber gut durchlässig, tiefgründig und liegt über einem durchlässigen geologischen Untergrund (Lockergestein oder Fels mit vielen Klüften und Spalten), kann viel Regenwasser per Tiefensickerung eindringen und zwischengespeichert werden. Dieses Wasser kommt erst mit entsprechender Verzögerung über Quellen oder das Grundwasser wieder in die Fliessgewässer und Seen.

Einfluss der Vegetation

Die Vegetation, insbesondere der Wald, vergrössert die Wasserspeicherkapazität des Bodens, indem die Bäume die Bodenbildung fördern und mit ihren Wurzeln Versickerungskanäle schaffen. Durch diese Makroporen kann das Regenwasser besser im Boden versickern und dort vorübergehend gespeichert werden. Im Wald lässt auch der lockere Auflagehorizont mit Streu aus Pflanzenmaterial und Humus das Wasser gut in den Boden eindringen. Zudem erreicht ein Teil des Niederschlags den Boden nicht, weil er an der Vegetation hängen bleibt **(Interzeption)**. So können Wälder bei einem einzelnen Niederschlagsereignis je nach Zusammensetzung der Baumarten und Dichte des Kronendaches 4 bis 6 Liter Wasser pro Quadratmeter (= 4 – 6 mm Niederschlag) im Kronenraum zurückhalten. Von den Bäumen verdunstet das meiste Wasser direkt in die Atmosphäre. Zudem entziehen die tief reichenden Wurzeln dem Boden bis in grössere Tiefen viel Wasser, das die Pflanzen über aktive Verdunstung **(Transpiration)** wieder an die Atmosphäre abgeben. An einem sonnigen Sommertag verdunstet beispielsweise ein Buchenwald durchschnittlich 5 Liter Wasser pro Quadratmeter. Dadurch wird der Bodenspeicher teilweise entleert und er ist aufnahmefähiger für ein Niederschlagsereignis. Bei lang anhaltenden oder sehr intensiven Niederschlägen kann aber auch der Wald ein Hochwasser nicht verhindern, da auch ein Waldboden einmal gesättigt ist und der Oberflächenabfluss einsetzt.

Wald kann bei Hochwasser jedoch auch zum Problem werden, wenn entlang von Bächen und Flüssen Bäume mitgerissen werden und diese als Schwemmholz Schäden verursachen. So haben beim verheerenden Hochwasser im August 2005 zehntausende Kubikmeter Schwemmholz in den Flüssen und Seen bis weit ins Mittelland hinaus Probleme verursacht. Häufig verkeilen sich mitgeführte Bäume in einer Verengung oder Brücke und weiteres Material bleibt hängen – es entsteht eine **Verklausung**. In der Folge stauen sich Wasser und Geschiebe und das Fliessgewässer kann aus seinem Gerinne ausbrechen und

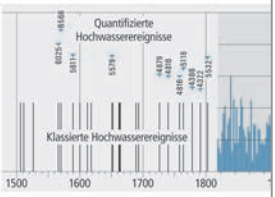


Abb. 4: Rhein in Basel: klassierte und quantifizierte Hochwasserspitzen (1808 – 2012)

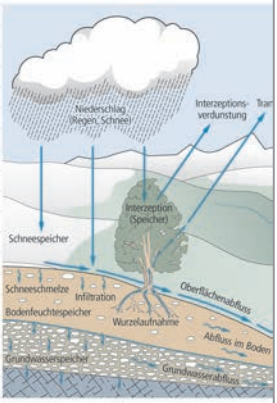
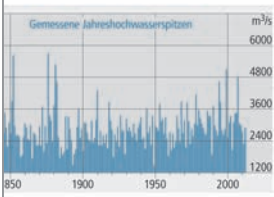
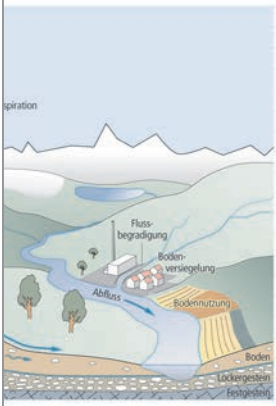


Abb. 5: Hochwasser – Zusammenspiel verschiedener Fa



hwasserereignisse (1500–1807) und gemessene Jah-



ktoren

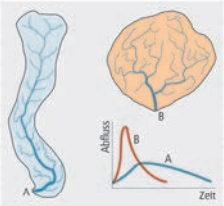


Abb. 6: Auswirkungen der Form des Einzugsgebiets auf die Hochwasserspitze und den Hochwasserverlauf

so eine Überschwemmung und Übersarung verursachen.

Anthropogene Ursachen

Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen oft weniger Poren auf als Waldböden, da die Wurzeltiefe und -dichte geringer ist und der Boden durch die Beweidung und das Befahren mit Maschinen über Generationen verdichtet wurde. Daher kommt es auf Wiesen-, Weiden- und Ackerböden meistens schneller zu Oberflächenabfluss als auf Waldböden.

Durch den Bau von Strassen, Plätzen und Gebäuden findet eine zunehmende **Bodenversiegelung** statt. Auf verbauten Flächen kann das Regenwasser nur oberflächlich abfliessen, da es nicht in den Boden versickern kann und auch kaum von Pflanzen abgefangen, aufgenommen und verdunstet wird. Wegen dem erhöhten Oberflächenabfluss fliesst in Siedlungsgebieten mehr Regenwasser direkt via Kanalisation in die Flüsse ab und lässt diese schnell ansteigen.

Bei **Flussbegradigungen** wird der Verlauf durch das Entfernen von Flussschlingen kürzer und gerader gemacht. Dadurch kann Land trockengelegt und gewonnen werden oder der Fluss wird für die Schifffahrt nutzbar gemacht. Die Begradigung kann jedoch die Hochwassergefahr erhöhen: Kürzere Fliesswege führen zu höheren Fliessgeschwindigkeiten, was die Seiten- und Tiefenerosion verstärkt. Zudem erhöhen baulich verengte Bachläufe und die intensivere Nutzung entlang von Gewässern das Schadenspotential bei einem Hochwasserereignis.

Topografische Ursachen

Während Hochwasser grosser Flüsse meistens durch grossflächige, lang anhaltende Niederschläge sowie Schneeschmelze ausgelöst werden, sprechen Bäche aus kleineren und mittleren Einzugsgebieten stärker auf kurze und intensive Gewitter an. Auch die Form des **Einzugsgebiets** beeinflusst die Art und den Verlauf des Hochwassers (Abb. 6).

Bei Starkniederschlag fliesst in einem eher kreisförmigen Einzugsgebiet das Wasser aufgrund gleich langer Sammelwege gleichzeitig zusammen und führt so zu grossen Hochwasserspitzen. In einem länglichen Einzugsgebiet ist der Abfluss zeitlich besser verteilt und erreicht erst allmählich seinen Höchststand. Die Topografie des Einzugsgebiets spielt ebenfalls eine wichtige Rolle: Bei starker Hangneigung sowie steilem und engem Bachgerinne nimmt die Hochwassergefahr zu. In einem solchen Gelände fehlen meistens auch Seen, Auen oder Überflutungsflächen, welche das Wasser zwischenzeitlich speichern und somit die Abflussspitzen brechen könnten.

Begriffe

Mit **Hochwasser** wird der Zustand in einem Fliessgewässer oder einem See bezeichnet, bei dem der Abfluss oder der Wasserstand einen bestimmten Schwellenwert erreicht oder überschreitet. Tritt das Wasser über die Ufer und bedeckt vorübergehend eine Landfläche, bezeichnet man dies als **Überschwemmung** oder **Überflutung**. Während **statische Überschwemmungen** mit langsam fliessendem und langsam ansteigendem Wasser in flachem Gelände oder entlang von Seen auftreten, kommen **dynamische Überschwemmungen** bei rasch fliessendem Wasser vor. Durch die meist hohe Fliessgeschwindigkeit wird viel Schutt und Geröll transportiert. Wird dieses Geröll ausserhalb des Gerinnes abgelagert, bezeichnet man dies als **Übersarung**. Die dynamische Überschwemmung dauert meistens nur einige Stunden, da das Wasser im geneigten Gelände wieder abfliesst.

Wissen

Abb. 73 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Hochwasserschäden

Hochwasser können je nach Gewässertyp ganz unterschiedliche Prozesse auslösen und in mehrfacher Hinsicht gefährlich sein. **Wildbäche** und **Gebirgsflüsse** weisen streckenweise ein hohes Gefälle auf, welches bei Starkniederschlägen einen rasch ansteigenden Abfluss hervorruft (Abb. 7–8). Die hohen Fliessgeschwindigkeiten erhöhen die **Seiten- und Tiefenerosion**, wodurch grosse Mengen an Feststoffen abgetragen, transportiert und in flacherem Gelände wieder abgelagert werden. Erreicht das fliessende Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Steine, Blöcke, Holz usw.) einen Feststoffanteil von 30 bis 60 Prozent, spricht man von einem **Murgang**. Wildbäche stellen durch den kurzzeitig stark wechselnden Abfluss und die hohen Feststoffumlagerungen für Mensch und Tier eine grosse Gefahr dar.

Gewässer im Tal können Landwirtschaftsflächen, Verkehrswege und Siedlungen überfluten (Abb. 9). Dabei kann neben dem Wasser auch das mitgeschleppte Geschiebe zu Schäden an Kulturland und Bauten führen und Menschenleben fordern. Zudem treten auch hier bei Hochwasser häufig Seiten- und Tiefenerosion auf, was zu Unterspülungen von Brücken, exponierten Gebäuden und Strassen führt.

In flachem Gelände steigt der Wasserspiegel von **Seen** und Fliessgewässern meist nur langsam an. Bei solchen statischen Überschwemmungen beschädigen Wasser und liegengebliebenes Geschiebe Erd- und Kellergeschosse von Bauwerken sowie Kulturland.

Abb. 7: Wildbach Glissibach in Brienz BE beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

In **Wildbächen** dominierende Prozesse:
- Dynamische Überschwemmung
- Verklausung
- Tiefen- und Seitenerosion
- Murgang, Übersarung

Abb. 8: Chärstelenbach im Reussgrund in Bristen UR beim Hochwasserereignis am 23. August 2005 (© Kanton Uri Tiefbauamt)

In **Gebirgsflüssen** dominierende Prozesse:
- Dynamische Überschwemmung
- Sohleneintiefung (Tiefenerosion)
- Seitenerosion
- Sohlenhebung (Auflandung)
- Gerinneverlagerung

Abb. 9: Dammbruch an der Aare bei Meiringen BE beim Hochwasserereignis am 24. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

In **Talflüssen** dominierende Prozesse:
- Dynamische und statische Überschwemmung
- Sohleneintiefung (Tiefenerosion)
- Sohlenhebung (Auflandung)
- Seitenerosion
- Dammbruch

Abb. 10: Statische Überschwemmung mit Schwemmholz bei Ennetbürgen NW am Vierwaldstättersee am 23. August 2005 (© Schweizer Luftwaffe)

Bei **Seen** vorherrschende Prozesse:
- Statische Überschwemmung
- Akkumulation

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 74 | Themenblatt Hochwasser zur Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Arbeitsblatt: Hochwasser

«Die erhöhte Wetter-Prognosequalität dürfte die Wochenendausflügler freuen. Eine präzise Vorhersage von Hochwassern und Überschwemmungen bleibt dagegen schwierig: ‹Eine Beurteilung der Hochwassersituation ist nicht nur davon abhängig, wie viel Niederschlag mit welcher Intensität fällt›, bemerkt Hydrologie-Professor Rolf Weingartner von der Uni Bern.» (Zeitung ‹Der Bund›, 23. April 2007)

Fokus

Welche weiteren Faktoren beeinflussen die Hochwassergefahr in einer Region?
Stellen Sie anhand der Bilder und des Films eigene Hypothesen zu Anzeichen und Ursachen (Grunddisposition, variable Disposition, auslösendes Ereignis) von Hochwasser zusammen.

	Hypothesen	Wissenschaftliche Kenntnisse
Anzeichen		
Grunddisposition		
Variable Disposition		
Auslösendes Ereignis		

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu Anzeichen und Ursachen von Hochwasser. Stellen Sie in der Tabelle die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

Transfer

Die vier Fotos zum Hochwasser 2005 dokumentieren nur einen kleinen Teil der Folgen dieses Ereignisses, welches mit einer Gesamtschadensumme von knapp 3 Milliarden Schweizer Franken eines der schadenreichsten Hochwasser in der Schweiz war.

Welche Ursachen haben zum letzten schadenreichen Hochwasser in Ihrer Region geführt?
Analysieren Sie zu diesem Hochwasserereignis die Grunddisposition, die variable Disposition und das auslösende Ereignis in Ihrer Region mit Hilfe von Informationen aus dem Internet (Texte, Bilder, Film- und Radioberichte).

Abb.: 75 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern AG NAGEF, 2011: Achtung Naturgefahr! Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2008: Hochwasser 2005 in der Schweiz – Synthesebericht. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005 Teil 1 und 2. Bern, Birmensdorf.

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, 2009: Strategie Naturgefahren Schweiz – Glossar. Bern.

Schwitter R., Bucher H., 2009: Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? In: Wald und Holz, Heft 6/2009: 31–34. Solothurn.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

Abb. 76 | Literaturangaben zu Themenblatt Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Hochwasser

Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Hochwassergefahr einer Region begründet beurteilen können, indem sie die vorhandenen Grunddispositionen, die möglichen variablen Dispositionen sowie mögliche auslösende Ereignisse in ihre Untersuchung einbeziehen.
Mit den verschiedenen anthropogenen Einflussnahmen auf die Hochwasserentstehung sollen die Schülerinnen und Schüler die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt erkennen und in ihre Überlegungen einbeziehen. Mit dem Transfer zu den Folgen auf Siedlungen, Wirtschaft und Infrastruktur bietet sich zudem eine Überleitung zum äusserst wichtigen Aspekt des Umgangs mit Hochwasser im folgenden Themengebiet an.

Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Hochwasser, dienen der Beobachtung von Hochwasser-Situationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag. Insbesondere das Foto von Sedrun ist für die Analyse und die Entwicklung von Hypothesen sehr geeignet, da sich die Einzugsgebiete der drei Wildbäche bezüglich Gefälle, Vegetation, Böden, Felsflächen und Höhenlage unterscheiden und daher zu einer vertieften Auseinandersetzung anregen. Vergleiche fördern ganz allgemein das induktive Denken und führen zur Entdeckung von Regelhaftigkeiten (Klauer, 2011).

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

	Wissenschaftliche Kenntnisse
Anzeichen	• intensiver Niederschlag im Einzugsgebiet • Wasser verfärbt sich braun • Wasserstand steigend und Geschiebeanteil zunehmend
Grunddisposition	Topografie: • steiles und enges Bach- und Flussgerinne • Fliessgewässer ohne wasserspeichernde Seen, Überflutungsflächen oder Auen • Form des Einzugsgebiet: raschere Konzentration des abfliessenden Wassers in rundem als in länglichem Einzugsgebiet Geologie: • Untergrund: Gesteinsart und dessen Verwitterungsgrad (fester Fels, Klüfte und Lockermaterial beeinflussen die Tiefensickerung des Wassers) • Oberfläche: fester Fels oder Lockermaterial Boden: • Bodenart: lehmige oder felsige Böden nehmen kaum oder kein Niederschlagswasser auf, in lockeren Waldböden versickert es langsam • Tiefgründigkeit des Bodens: flachgründige Böden haben ein geringeres Speichervermögen als tiefgründige Böden Vegetation: • tiefgründige Durchwurzelung: Porenraum, Versickerung von Regenwasser • Interzeption und Transpiration • Durchwurzelung von Boden und Lockermaterial: vermindert Rutschung in Gerinne und Geschiebeanteil im Bach

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

	Wissenschaftliche Kenntnisse
Grunddisposition	Mensch: • Bach- und Flussverbauungen • Bodenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen, verminderte Versickerung sowie erhöhter Oberflächenabfluss
Variable Disposition	• lange Niederschlagsperiode • Wassersättigung der Böden • gefrorene oder sehr trockene Böden • hohe Nullgradgrenze führt zu Niederschlägen über grossem Gebiet in Form von Regen anstatt Schnee • angehäufte Schneemengen • Schneeschmelze
Auslösendes Ereignis	• intensive und langanhaltende Niederschlagsereignisse • starke Schneeschmelze • Verklausung des Bach- oder Flusslaufes durch mitgerissenes Holz und Geröll an Verengungen oder Brücken • Stauung des Bach- oder Flusslaufes durch Erdrutsch oder Steinschlag von seitlichen Hängen

Transfer

Individuelle Lösungen zu den Ursachen (Grunddisposition, variable Disposition und auslösendes Ereignis) und den Folgen des Hochwassers 2005 in der eigenen Region. Unterlagen für die Recherche bieten die Medien der elektronischen Version an.

Mit der Thematisierung der Folgen des Hochwassers 2005 bietet sich eine Überleitung zum Umgang mit Hochwasser in der eigenen Region und damit auch zum Themenblatt «Umgang mit Hochwasser» an.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 77 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Umgang mit Hochwasser

«Katastrophen kennt allein der Mensch, sofern er sie überlebt. Die Natur kennt keine Katastrophen.» Mit diesen Worten zeigt Max Frisch 1979 auf, was unseren Umgang mit entfesselten Naturgewalten prägt: Naturgefahren werden ausschliesslich aus der Sicht des Menschen definiert. **Naturgefahren** sind sämtliche Vorgänge in der Natur, die für Menschen, Siedlungen, Kulturlandschaften oder Infrastrukturen schädlich sein können. Das **Gefahrenpotential** in einem bestimmten Gebiet umfasst die Häufigkeit und Intensität einer Naturgefahr.

Dagegen wird bei Naturgefahren mit dem Begriff **Risiko** das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens bezeichnet. Das Risiko lässt sich mit der Eintretenshäufigkeit einer Naturgefahr in einem Gebiet und dem möglichen Ausmass der davon verursachten Schäden bestimmen. Das **Schadenpotential** umfasst diejenigen Werte (Menschenleben und Sachwerte), die einem möglichen Schadenereignis ausgesetzt sind.

Heute wird in der Schweiz ein Umgang mit Naturgefahren gefordert, der die Gefahren- und Risikobeurteilung bei der Siedlungsentwicklung mit einschliesst (Abb. 1–4).

Abb. 1: Dynamische Überschwemmung und Murgang in Klosters Platz GR am 21. Juli 1900, im Hintergrund das Einzugsgebiet des Talbachs (Foto: Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden)

Abb. 2: Klosters Platz, 2013 (Foto: Selina Jäckle, Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden)

Abb. 3: Topografischer Atlas der Schweiz, 1884 (© swisstopo)

Abb. 4: Landeskarte der Schweiz, 2013 (© swisstopo)

Fokus

Abb. 78 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Von der Gefahrenabwehr...

Nach einer Reihe von verheerenden Hochwassern im 19. Jahrhundert begann man die Naturgefahren in der Schweiz mit forstlichen Massnahmen und grossen baulichen Anstrengungen zu bekämpfen. Erst diese Massnahmen ermöglichten überhaupt eine wirtschaftliche Entwicklung in manchen Gegenden, weil nun entlang der Flüsse (scheinbar) sicheres Kultur- und Bauland verfügbar war. In der Folge nahm das Schadenpotential in diesen Gebieten stark zu. Von 1882–1976 blieb die Schweiz von Naturkatastrophen jedoch weitgehend verschont. Diese «Katastrophenlücke» trug dazu bei, dass Naturrisiken unterschätzt wurden.

Nach den grossen Hochwasserereignissen im Jahr 1987 reifte dann die Erkenntnis, dass allein **bauliche Massnahmen** an der Gefahrenquelle oder im gefährdeten Gebiet nicht genügen, um das **Gefahrenpotential** von Hochwassern entsprechend den Ansprüchen der Gesellschaft zu vermindern. Die Strategie der reinen **Gefahrenabwehr** stiess zunehmend an technische, ökonomische und ökologische Grenzen: Nicht alles lässt sich schützen.

...zum integralen Risikomanagement

Aufgrund dieser Einsicht wird die reine Gefahrenabwehr inzwischen durch eine grundsätzlich andersartige Vorgehensweise ergänzt, die sogenannte **Risikominimierung**. Um das Hochwasserrisiko zu minimieren, passt man mit **raumplanerischen** und **organisatorischen Massnahmen** die Raumnutzung den drohenden Naturgefahren an und vermindert so das **Schadenpotential**. Diese Massnahmen können Sicherheit langfristig am kostengünstigsten gewährleisten, da mit der Anpassungsstrategie die Risiken direkt reduziert oder gar nicht erst eingegangen werden. Den gleichen Grundsatz befolgten im Grunde schon unsere Vorfahren, wenn auch vielfach aus Not, da sie meist keine andere Möglichkeit hatten, als sich dem Diktat der Natur zu beugen. Die Anpassung an die Natur hat inzwischen ihren Sinn wiedererlangt, da mit baulichen Massnahmen allein den steigenden Schutzbedürfnissen im immer dichter besiedelten und intensiver genutzten Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum der Schweiz nicht entsprochen werden kann.

Während in den letzten Jahrzehnten das Todesfallrisiko bei Naturgefahren in der Schweiz abgenommen hat, ist das Risiko für Sachschäden weiter angestiegen. Bestehende Gebäude und Infrastrukturen können nicht einfach aus dem Gefahrenbereich verschoben werden, der intensive Siedlungsbau hat die Risiken weiter erhöht; in vielen Gemeinden wurde die «neue» Strategie nur ansatzweise umgesetzt und die Hochwasser sind häufiger und intensiver aufgetreten. Die Hochwasserereignisse von 1999, 2000, 2005, 2007, 2011 und 2014 haben zudem deutlich aufgezeigt, dass jede baulich-technische Schutzmassnahme überlastet werden kann und auch diese Situation beim Umgang mit Naturgefahren berücksichtigt werden muss.

Vor Extremereignissen gibt es also keinen absoluten Schutz; Risiken lassen sich jedoch durch eine gefahrengerechte Nutzung des Raumes meiden, durch baulich-technische, biologische und organisatorische Massnahmen mindern sowie mit Hilfe von Versicherungen tragen. Aus diesem Grund erfolgt heute der Schutz vor Naturgefahren nach den Grundsätzen des **integralen Risikomanagements**. Dabei soll das Risiko aus Naturgefahren erkannt, beurteilt und durch Massnahmen im Bereich Prävention, Vorsorge und Vorbereitung unter Einbezug aller betroffener Akteure nachhaltig reduziert werden (Abb. 5). Diese Aspekte gehören zur Vorbeugung, die zusammen mit der Bewältigung und der Regeneration die Bestandteile des integralen Risikomanagements bilden. Nach einem Hochwasserereignis müssen die zerstörten Bauten und Infrastrukturen wieder provisorisch instand gesetzt werden (Bewältigung). Parallel dazu wird eine Ereignisanalyse durchgeführt, um Schwachpunkte zu identifizieren und daraus

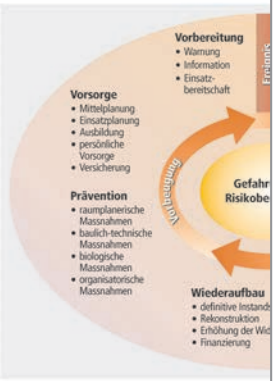


Abb. 5: Kreislauf des integralen Risikomanagements (na

Baulich-technische Massnahmen	
Rückhaltemassnahmen	
• Überflutungsflächen	• Geschiebesammler
• Freihalteräume	• Rückhaltebecken
• Rechen	
Funktionsweise: bewusste Flutung von dafür vorgeseh Flächen oder Auffangen von Geschiebe und Schwemm oder Rückhalten von Wassermassen	
Massnahmen zur Kapazitätserhöhung	
• Gerinneaufweitung	• Hochwasserdämme
• Gerinneausräumung	• Hubbrücken
• Sicherung von Abflusskorridoren	• Entlastungsstollen
Funktionsweise: «Sicherheitsventile» schaffen, die den von aussergewöhnlichen Wassermassen gewährleisten	
Stabilisierungsmassnahmen	
• Schwellen, Sperren, Buhnen	• Blockrampen, Raub
• Ufermauern und -verbauungen	• Gerinneaufweitung
Funktionsweise: Verminderung der Sohlen- und Uferero durch Senkung der Fliessgeschwindigkeit sowie Stabili und Rückhalten des Lockermaterials	

Tab. 1: Baulich-technische Massnahmen gegen Wasserg

ch BABS 2003, ergänzt)

Beispiele

Abb. 6: Geschiebesammler Gryfenbach in Lauterbrunnen BE (Foto: Matthias Probst)

Abb. 7: Gerinneaufweitung am Alpenrhein bei Felsberg GR (© Schweizer Luftwaffe)

Abb. 8: Wildbachschwellen bei Villeneuve VD (© Schweizer Luftwaffe)

Folgerungen für den definitiven Wiederaufbau zu ziehen (Regeneration). Die Ereignisauswertung bildet auch die Grundlage für die Optimierung der Einsatzplanung und für die Planung präventiver Hochwasserschutzmassnahmen (Vorbeugung). Im Rahmen der Prävention werden raumplanerische, baulich-technische, biologische und organisatorische Massnahmen so aufeinander abgestimmt, dass das Schadenpotential möglichst effektiv und vertretbar reduziert werden kann.

Organisatorische Massnahmen werden zur Vorbereitung auf allfällige Ereignisse ergriffen, z.B. Notfallpläne, Überwachungsanlagen, Frühwarnsysteme, mobiler Hochwasserschutz.

Bei den **biologischen Massnahmen** kann die Hochwassergefahr durch die Pflege von Schutzwald oder die Bepflanzung von erosionsgeschädigten Steilhängen (z.B. mittels Einsaat) vermindert werden. Einerseits bleibt an der Vegetation ein kleiner Teil des Niederschlags hängen, ohne den Boden zu erreichen (Interzeption). Andererseits entziehen Pflanzen dem Boden Wasser, das direkt an die Atmosphäre verdunstet wird (Transpiration). Zudem kann das Niederschlagswasser im durchwurzelten Boden besser versickern und vorübergehend besser gespeichert werden. Mit den Wurzeln stabilisiert der Wald auch Lockermaterial und das Ufer, was die Erosion von Feinmaterial und Geschiebe verringert. Bei Dauerregen mit sehr grossen Niederschlagsmengen oder bei Gewittern mit hoher Niederschlagsintensität kann der Wald ein Hochwasser aber nur unwesentlich abschwächen.

Verschiedene **baulich-technische Massnahmen** vermindern die Gefahr durch ein Naturereignis, indem sie den Ablauf des Ereignisses direkt beeinflussen. Vor allem bei Verkehrswegen, dauernd bewohnten Siedlungen sowie Objekten mit hohem Sachwert kommen solche Massnahmen zur Anwendung.

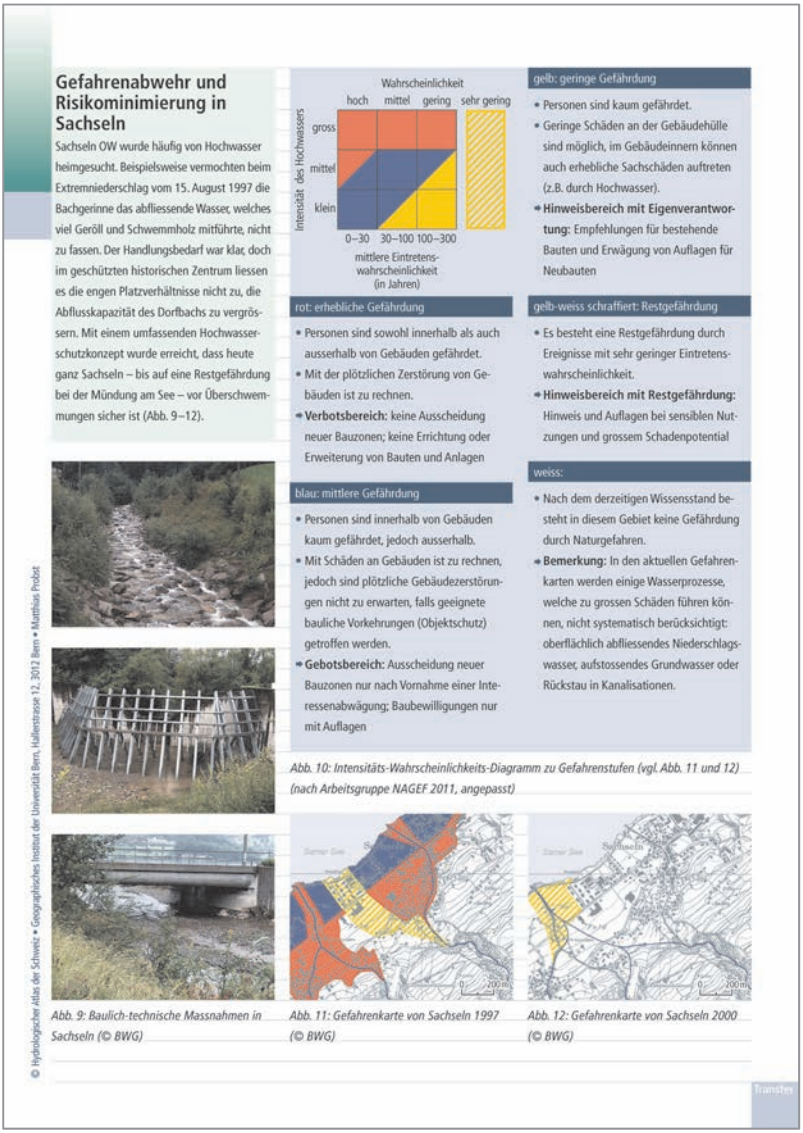
Die reine Gefahrenabwehr durch baulich-technische Massnahmen stösst jedoch an verschiedene Grenzen:

- technische Grenzen: Selbst mit aufwendigen Verbauungen wird nie ein absoluter Hochwasserschutz erreicht.
- ökologische Grenzen: Bauliche Eingriffe stehen oft im Widerspruch zu den Bestrebungen, möglichst wenige Eingriffe in die Landschaft vorzunehmen.
- ökonomische Grenzen: Angesichts der hohen Kosten für Bund, Kantone und Gemeinden sind Planung, Ausführung und Unterhalt aufwendiger Schutzbauten nicht mehr ohne weiteres möglich.
- Grenzen der Effizienz: Die trügerische Erwartung, dass bauliche Massnahmen vor allen Naturgefahren schützen, führte in unmittelbarer Nähe von Gefahrenbereichen oftmals zu einer wachsenden Konzentration von Werten (Gebäude, Infrastruktur) und Personen, welche wiederum erhöhte Schutzansprüche verlangt.

Aufgrund dieser Einschränkungen wird heute der Schutz von Leben und Sachwerten durch eine risikoorientierte Schutzmassnahmenplanung angestrebt, die das Prinzip der Verhältnismässigkeit berücksichtigt. So hat der Schutz von Personen oberste Priorität und das angestrebte Sicherheitsniveau liegt bei Gebäuden höher als bei landwirtschaftlichen Flächen. Wegen der beschränkten Effizienz der baulich-technischen Massnahmen kommt den **raumplanerischen Massnahmen** in der Schweiz zunehmend eine prioritäre Bedeutung zu. Grundlage für diese Massnahmen bildet die Gefahrenkarte (Abb. 10–12). Sie zeigt für jede durch Hochwasser gefährdete Parzelle, wie häufig und mit welcher Intensität eine Überschwemmung auftritt. Es werden drei Gefahrenstufen (rot, blau, gelb) und ein Hinweisbereich unterschieden: Liegt beispielsweise eine Parzelle im blauen Bereich, müssen an bestehenden Gebäuden präventive Objektschutzmassnahmen ergriffen werden. Die Gefahrenkarte ist somit eine wichtige Grundlage für die Planung von angemessenen Massnahmen zur Verminderung der Hochwasserrisiken.

Wissen

Abb. 79 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]



Gefahrenabwehr und Risikominimierung in Sachseln

Sachseln OW wurde häufig von Hochwasser heimgesucht. Beispielsweise vermochten beim Extremniederschlag vom 15. August 1997 die Bachgerinne das abfliessende Wasser, welches viel Geröll und Schwemmholz mitführte, nicht zu fassen. Der Handlungsbedarf war klar, doch im geschützten historischen Zentrum liessen es die engen Platzverhältnisse nicht zu, die Abflusskapazität des Dorfbachs zu vergrössern. Mit einem umfassenden Hochwasserschutzkonzept wurde erreicht, dass heute ganz Sachseln – bis auf eine Restgefährdung bei der Mündung am See – vor Überschwemmungen sicher ist (Abb. 9–12).

rot: erhebliche Gefährdung

- Personen sind sowohl innerhalb als auch ausserhalb von Gebäuden gefährdet.
- Mit der plötzlichen Zerstörung von Gebäuden ist zu rechnen.
- **Verbotsbereich:** keine Ausscheidung neuer Bauzonen; keine Errichtung oder Erweiterung von Bauten und Anlagen

blau: mittlere Gefährdung

- Personen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, jedoch ausserhalb.
- Mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen, jedoch sind plötzliche Gebäudezerstörungen nicht zu erwarten, falls geeignete bauliche Vorkehrungen (Objektschutz) getroffen werden.
- **Gebotsbereich:** Ausscheidung neuer Bauzonen nur nach Vornahme einer Interessenabwägung; Baubewilligungen nur mit Auflagen

gelb: geringe Gefährdung

- Personen sind kaum gefährdet.
- Geringe Schäden an der Gebäudehülle sind möglich, im Gebäudeinnern können auch erhebliche Sachschäden auftreten (z.B. durch Hochwasser).
- **Hinweisbereich mit Eigenverantwortung:** Empfehlungen für bestehende Bauten und Erwägung von Auflagen für Neubauten

gelb-weiss schraffiert: Restgefährdung

- Es besteht eine Restgefährdung durch Ereignisse mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit.
- **Hinweisbereich mit Restgefährdung:** Hinweis und Auflagen bei sensiblen Nutzungen und grossem Schadenpotential

weiss:

- Nach dem derzeitigen Wissensstand besteht in diesem Gebiet keine Gefährdung durch Naturgefahren.
- **Bemerkung:** In den aktuellen Gefahrenkarten werden einige Wasserprozesse, welche zu grossen Schäden führen können, nicht systematisch berücksichtigt: oberflächlich abfliessendes Niederschlagswasser, aufstossendes Grundwasser oder Rückstau in Kanalisationen.

Abb. 10: Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm zu Gefahrenstufen (vgl. Abb. 11 und 12) (nach Arbeitsgruppe NAGEF 2011, angepasst)

Abb. 9: Baulich-technische Massnahmen in Sachseln (© BWG)

Abb. 11: Gefahrenkarte von Sachseln 1997 (© BWG)

Abb. 12: Gefahrenkarte von Sachseln 2000 (© BWG)

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Transfer

Abb. 80 | Themenblatt Umgang mit Hochwasser zur Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Arbeitsblatt: Umgang mit Hochwasser

Bauliche Massnahmen genügen heute nicht mehr, um das Gefahrenpotential von Hochwasser entsprechend den Ansprüchen der Gesellschaft in der Schweiz zu vermindern. So wird seit rund 10 Jahren ein Umgang mit Naturgefahren gefordert, der die Gefahren- und Risikobeurteilung bei der Siedlungsentwicklung mit einschliesst.

Fokus

Wie haben sich Hochwassergefahr und -risiko in den letzten 100 Jahren in Klosters verändert?
Lokalisieren Sie die Hochwassergefahren und -risiken in Klosters (Abb. 1–4) und beurteilen Sie deren Veränderungen zwischen 1900 und 2013.

Erstellen Sie ein Schutzkonzept mit geeigneten Massnahmen zur Verminderung von Hochwassergefahren und -risiken in Klosters und begründen Sie Ihre Vorschläge.

Wissen

Überprüfen und vergleichen Sie Ihre Beurteilung der Hochwassergefahren und -risiken in Klosters und Ihr entwickeltes Schutzkonzept mit dem Grundlagen- und Forschungswissen.

Transfer

Nachdem Sachseln bis 1997 wiederholt von Hochwasser heimgesucht wurde, ist das Dorf heute weitgehend sicher vor Überschwemmungen (Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, März 2004).

Mit welchen Massnahmen konnten in Sachseln Gefahren- und Risikopotential reduziert werden?
Beziehen Sie in Ihre Analyse die Gefahrenkarten und Fotos mit ein und diskutieren Sie zu diesem Beispiel die Begriffspaare «Gefahrenabwehr – Risikominimierung», «bauliche Massnahmen – raumplanerische Massnahmen» sowie «Gefahrenpotential – Schadenpotential».

Abb. 81 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Umgang mit Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Amt für Wald Graubünden, 2008: Murgang- und Lawinenschutz «Tal» – Technische Aspekte. Chur.

Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern AG NAGEF, 2011: Achtung Naturgefahr! Bern.

Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Hydologische Kommision (CHy) (Hrsg.), 2011: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 38, Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Bern.

Bundesamt für Umwelt, BAFU 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 und 2. Bern, Birmensdorf.

Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, 2004: Sachseln: Drei Bäche neu gebettet. Bern.

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2008: Hochwasser 2005 in der Schweiz – Synthesebericht zur Ereignisanalyse. Bern.

Frisch M., 1979: Der Mensch erscheint im Holozän. Eine Erzählung. Frankfurt.

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, 2009: Strategie Naturgefahren Schweiz – Glossar. Bern

Schwitter R., Bucher H., 2009: Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? In: Wald und Holz, Heft 6/2009: 31–34, Solothurn.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

Abb. 82 | Literaturangaben zu Themenblatt Umgang mit Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Umgang mit Hochwasser

Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler lernen die Risiken aus Naturgefahren in Landschaften «lesen», und dabei die Wechselwirkungen zwischen Naturraum, Gesellschaft und Wirtschaft im Raum erkennen. Die differenzierte Auseinandersetzung mit den Begriffen «Gefahr» und «Risiko» ermöglicht es, die Kenntnisse zum Umgang mit Naturgefahren im eigenen Lebensraum oder in anderen Räumen anzuwenden und weiterzuentwickeln.

Fokus

Das Beispiel Klosters veranschaulicht die Bedeutung der Begriffe «Gefahr» und «Risiko» sowie deren Veränderung in den letzten rund 100 Jahren. Mit der Analyse soll unter Einbezug des Vorwissens die Situation in Klosters begründet beurteilt werden.

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Beurteilung der Hochwassergefahr in Klosters:

- Hochwasser- und Murganggefahr: Der Talbach weist ein grosses trichterförmiges Einzugsgebiet auf mit starker Hangneigung (35–39°); es ist Lockermaterial vorhanden und die Flächen sind weitgehend vegetationslos.
- Die Gefahrendisposition für Hochwasser und Murgänge im Einzugsgebiet des Talbachs hat sich in den letzten rund 100 Jahren wenig verändert. Das Gefahrenpotential hat sich kaum verändert: nur geringe Waldzunahme; kein Permafrost an den südexponierten Hängen im «Tal». Die Klimaerwärmung erhöht grundsätzlich die Gefahr von Murgängen im Alpenraum, weil der Permafrost auftaut, der in Gebieten oberhalb der Waldgrenze (1800–2300 m ü.M.) vorkommen kann.

Beurteilung der Hochwasserrisiken in Klosters:

- Die Siedlung Klosters Platz steht auf dem Schwemmfächer des Talbachs.
- Der Bild- und Kartenvergleich von Klosters zeigt eindrücklich das wachsende Siedlungsgebiet im Zeitraum von 1900 bis 2013. Die zunehmende Siedlungsfläche ist einerseits auf die Verdoppelung der Einwohnerzahl von 1955 im Jahr 1900 auf 3887 im Jahr 2011 zurückzuführen. Andererseits ist der Wohnraumbedarf pro Person gestiegen.
- Zudem lässt sich mit dem Kartenvergleich der Ausbau der touristischen Infrastruktur in den letzten rund 100 Jahren feststellen.
- Durch das wachsende Siedlungsgebiet, den Ausbau der touristischen Infrastruktur und der Verkehrswege sowie den hohen Bau- und Erschliessungsstandard (unterirdische Zu- und Ableitungen von Wasser, elektrische Leitungen usw.) hat sich das Hochwasserrisiko in Klosters in den letzten rund 100 Jahren stark erhöht.

Transfer

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Die Gemeinde Sachseln setzte folgende Massnahmen um:

- Als raumplanerische Grundlage wurde eine Gefahrenkarte erstellt, um die zukünftige Raumnutzung den bestehenden Gefahren anpassen und bestehende Risiken effektiv vermindern zu können (vgl. Abb. 11 und 12).
- Im Oberlauf des Dorfbaches wurde ein Geschiebesammler mit Grobrechen errichtet, um Geröll und Schwemmholz zurückzuhalten (Abb. 9, Mitte).
- Die Fliessgewässer Dorf-, Edisrieder- und Totenbüelbach wurden durch weitgehend unverbautes Gebiet umgeleitet (vgl. Abb. 11 und 12).
- Die Fliessgewässer Edisrieder- und Totenbüelbach wurden so erweitert, dass sie ein Jahrhunderthochwasser zu fassen vermögen.
- Im Edisrieder- und Totenbüelbach wurde ein Rauhbett errichtet , um die Fliessgeschwindigkeit des Wassers zu mindern und die Erosion herabzusetzen (vgl. Abb. 9, oberes Foto)
- Die Brücke wurde mit einem gerundeten Stauschild mit glatter Oberfläche versehen (Brückenverschalung), um die Gefahr einer Verklausung zu vermindern (vgl. Abb. 9 unteres Foto).

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 83 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Umgang mit Hochwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Niedrigwasser

Obschon die Schweiz mit ihrer gebirgigen Landschaft und den vielen Seen, Flüssen und Gletschern als das Wasserschloss Europas gilt, sind in der Vergangenheit verschiedene Trockenphasen mit Niedrigwasser aufgetreten. Insbesondere die Niedrigwasser von 2003, 2009 und 2011 haben die Auswirkungen von Trockenheit und Hitzewellen auf die Gewässer und deren Bewirtschaftung drastisch aufgezeigt.

Mit **Niedrigwasser** wird ein Wasserstand oder Abfluss bezeichnet, der deutlich unter dem langjährigen Mittelwert liegt. Der Schwellenwert für den Niedrigwasserstand wird abhängig von der Art der Gewässernutzung festgelegt: Eine bestimmte Niedrigwasserabflussmenge bzw. der damit verbundene Wasserstand kann beispielsweise für die Schifffahrt schon Probleme bereiten, während sie für die Einleitung von geklärtem Abwasser noch unbedenklich ist.

In der Schweiz treten Niedrigwasser einerseits im Winter auf, wenn der Niederschlag als Schnee zwischengespeichert wird und deshalb nicht direkt zum Abfluss gelangt, andererseits bei Trockenheit, wenn der Niederschlag ganz ausbleibt. Durch die erhöhte Verdunstung wird die Trockenheit im Sommer noch verstärkt. Dann reicht das verfügbare Wasser nicht aus, um den Bedarf von Pflanzen, Tieren und Menschen zu decken. Verschärft sich dieses Wasserdefizit durch das Ausbleiben von Niederschlag über längere Zeit, spricht man von **Dürre**.

Abb. 1: Niedrigwasser in der Seebucht von Arbon am Bodensee im August 2003 (© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Foto: Anita Enz)

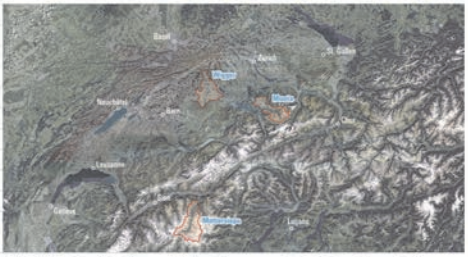


Abb. 2: Wie Trockenheit, Hitze und Niederschlagsmengen den Gewässerabfluss der Mattervispa, der Muota und der Wigger beeinflussen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes (z.B. Höhenlage, Klima, Vergletscherung) ab. (Satellitenbild © swisstopo)

Dringende Information: Trinkwasserknappheit

Aufgrund der minimalen Niederschläge und der grossen Hitze ist die Schüttungsmenge der Quellen bereits relativ gering. (...) Die Bevölkerung wird gebeten, sehr sparsam mit dem Trinkwasser umzugehen. Wir machen darauf aufmerksam, dass es gemäss Art. 3 unseres Trinkwasserreglements untersagt ist, dauernd Wasser fliessen zu lassen. Das Bewässern von Wiesen mit Wasser aus der Trinkwasserversorgung ist verboten. Diesbezüglich verweisen wir auf Art. 15, wonach der Gemeinderat gegen Reglementsverstösse Bussen bis zu Fr. 15'000.– aussprechen kann. (...)

Die Gemeindeverwaltung, Guttet-Feschel, 22. Juli 2010
(nach www.guttet-feschel.ch, 16. Januar 2013)

Fokus

Abb. 84 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Meteorologische Ursachen

Drei Faktoren machen die Alpen zum Wasserschloss Europas: die überdurchschnittlich hohen Niederschläge, eine geringe Verdunstung sowie die Speicherung von Wasser in Form von Schnee und Eis. Nicht weit von drei Meeren (Atlantik, Mittelmeer und Nordsee) und in der Westwindzone gelegen, werden reichlich feuchte Luftmassen gegen den Alpenrand geführt, wo sie sich stauen, mit zunehmender Höhe abkühlen, kondensieren und überdurchschnittlich hohen Jahresniederschlag erzeugen. Dieser wird je nach Höhenlage und Jahreszeit in Form von Schnee und Eis zwischengespeichert. Die Verdunstung nimmt mit der Höhe ab, weil die Temperaturen tiefer sind, Schneeflächen durchschnittlich 70 Prozent der Sonneneinstrahlung reflektieren und weil durch die spärliche Vegetation, die flachgründigen Böden und das hohe Gefälle weniger Wasser gespeichert wird. Insgesamt erzeugt der Alpenraum durch die hohen Niederschlagsmengen in Kombination mit der tiefen Verdunstung deutlich mehr Abfluss als die umliegenden Gebiete.

Doch auch in der Schweiz kann Niederschlag über lange Zeit ausbleiben, so dass es zu Trockenheit oder Dürre mit entsprechenden Niedrigwasserabflüssen kommt. Dies ist insbesondere der Fall, wenn auf einen niederschlagsarmen Winter ein trockener Frühling und ein heisser Sommer folgen. Geringe Bodenfeuchte und tiefe Grundwasserstände können die Verdunstung und damit auch den kühlenden und niederschlagsbildenden Effekt vermindern.

Niederschlagsarme Perioden treten in der ganzen Schweiz vorwiegend im Winter auf, wenn die Landmasse sich abkühlt und sich in der Folge ein Kältehoch mit absinkenden trockenen Luftmassen bildet. Auf der Alpennordseite können trockene Phasen ebenfalls bei Nordost- oder Südostlage auftreten. Die Nordostlage bringt kalte und trockene Kontinentalluft in die Schweiz; bei Südostlage sinken nach dem Überqueren der Alpen Luftmassen auf der Alpennordseite ab und trocknen dabei aus (Föhn). Auf der Alpensüdseite führt der Föhn bei Nordost- und Nordwestlage zu trockenen Perioden. In allen Jahreszeiten und in der gesamten Schweiz führt die Omega-Lage (Abb. 3) mit einem ausgeprägten und stabilen Hoch über Europa zu Trockenperioden, wie im Sommer 2003. Die atlantischen Tiefdruckgebiete werden bei dieser Wetterlage in weitem Bogen um Mitteleuropa herumgeführt.

Hydrologische Ursachen

Wie Trockenheit, Hitze und Niederschlagsmenge den Gewässerabfluss beeinflussen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes ab: Höhenlage, Klima, Vergletscherung, Topografie, Geologie und Boden. Diese Faktoren bestimmen auch das charakteristische saisonale Abflussverhalten eines Fliessgewässers, das sogenannte **Abflussregime** (Abb. 4). Bei alpinen Einzugsgebieten ist das Abflussregime von der Schneeschmelze (**nivales Regime**) oder von der Gletscherschmelze (**glaziales Regime**) geprägt. In diesen Gewässern treten Niedrigwasser vorwiegend in den kälteren Monaten Januar bis März auf, da in dieser Jahreszeit der Niederschlag in Form von Schnee oder Eis gespeichert wird und somit auch die Grundwasserspeicher nicht gespeist werden. Hingegen führen diese Gewässer wegen des hohen Schmelzwasseranteils im Sommer grosse Abflussmengen und wirken so Niedrigwasser bei sommerlicher Trockenheit entgegen.

In Gewässern aus tiefer liegenden Einzugsgebieten in Mittelland und Jura sind die Abflussmengen überwiegend durch den zeitlichen Verlauf der Niederschläge geprägt (**pluviales Regime**). Obwohl hier die Niederschlagsmengen über das ganze Jahr ausgeglichen sind, treten Niedrigwasser vorwiegend in Sommer und Herbst auf. Gründe dafür sind die erhöhte Verdunstung und der gesteigerte Wasserbedarf der Vegetation in diesen Jahreszeiten sowie die abnehmende Wassermenge im Untergrund. Bei ausbleibendem Niederschlag und Hitzewellen können in diesen

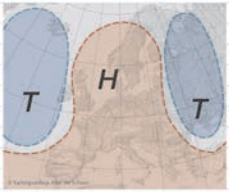


Abb. 3: Omega-Lage mit blockierendem Hochdruckgebiet über Europa (Blanc P., Schädler B., 2013)

- Typ A: starke Beeinflussung durch Ableitungen
- Typ B: mässige bis starke Beeinflussung durch Ableitunger
- Typ C: Verminderung der Abflüsse im Sommerhalbjahr unc im Winterhalbjahr durch die Speicherbewirtschaftur
- Typ D: wie Typ C, Auswirkungen durch Seeeinfluss gedämp

Abb. 5: Beeinflussung einiger Fliessgewässer durch Kra

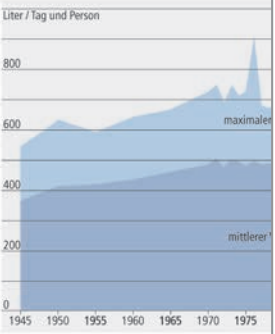


Abb. 6: Entwicklung des mittleren und des maximalen Gewerbe, Industrie, öffentliche Zwecke und Verluste) v

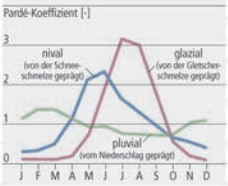
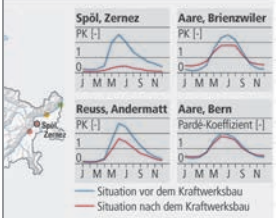
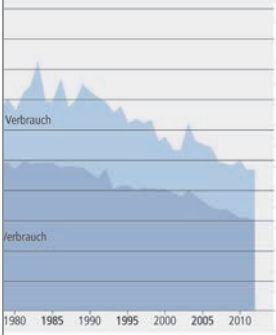


Abb. 4: Hauptregimetypen des Abflusses



Erhöhung
g
ft

twerke (nach Spreafico M., Weingartner R., 2005)



rinkwasserverbrauchs pro Einwohner und Tag (inkl.
n 1945 bis 2011 (Daten SVG, www.trinkwasser.ch)

Gewässern daher extremere Niedrigwassersituationen auftreten als in Gewässern mit alpinem Einzugsgebiet.

Niedrigwasser treten in der Schweiz aufgrund der unterschiedlichen Auslösung in den verschiedenen Abflussregimes nicht flächendeckend auf. Meistens sind nur einzelne Regionen betroffen.

Anthropogene Ursachen

Der Niedrigwasserstand von Gewässern wird zusätzlich stark von menschlichen Aktivitäten beeinflusst. So weisen heute nur noch wenige Fliessgewässer in der Schweiz natürliche Abflussverhältnisse auf; die meisten sind mehr oder weniger stark durch Stauseen, Kraftwerke, Seeregulierungen, Einleitungen von Abwasserreinigungsanlagen sowie Entnahmen für Trinkwassernutzung und Bewässerung beeinflusst (Abb. 5).

Der Trinkwasserverbrauch pro Kopf ist aus verschiedenen Gründen rückläufig. Die Bevölkerung ist sensibilisierter und Haushaltsgeräte (z.B. Geschirrspüler) sind effizienter geworden (Abb. 6). Ein wesentlicher Teil der Einsparungen ist aber durch die Verlagerung der wasserintensiven Industrie ins Ausland erreicht worden (z.B. Textilindustrie). In Trockenzeiten ist zudem das Einsparungspotential von Haushalten und Industrie nur begrenzt sinnvoll, da das Abwasser in der Schweiz zur Spülung der Fäkalien dient.

Auswirkungen und Massnahmen

In Trockenzeiten führt der **Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft** zu Interessenkonflikten mit anderen Nutzern und mit dem Gewässerschutz. Die für solche Fälle vorgesehenen Massnahmen, die von Kanton zu Kanton unterschiedlich sind, reichen von Verboten für die Wasserentnahme bis hin zur zeitlichen Einschränkung der Bewässerung.

Da in der Schweiz die **Wasserkraftwerke** an Standorten mit unterschiedlichen Abflussregimes liegen, ist das Risiko für die Energieproduktion diversifiziert. Beispielsweise können in heissen, trockenen Sommern die Produktionseinbussen von Wasserkraftwerken im Mittelland dank alpiner Kraftwerke mit erhöhten Zuflüssen aus der Gletscherschmelze wettgemacht werden. Niedrigwasser mit hohen Wassertemperaturen führt auch zu tieferer Stromproduktion von AKWs. Einerseits steht ihnen weniger Wasser für die Kühlung zur Verfügung, andererseits dürfen sie weniger erwärmtes Kühlwasser in die Flüsse zurückleiten (Gewässerschutzverordnung des Bundes).

Während bei Niedrigwasser die regulierten grossen **Seen** das Niveau je nach Situation halten können, sind bei den nichtregulierten Seen (z.B. Bodensee und Walensee) tiefe Seespiegel kaum zu verhindern. So muss die Rheinschifffahrt zwischen Basel und Rotterdam häufig stark eingeschränkt werden, während die Schifffahrtsunternehmen auf den regulierten Seen vom idealen Ausflugswetter profitieren können.

Die **Grundwasserstände** und **Quellschüttungen** (Abfluss einer Quelle) reagieren bei Trockenheit sehr träge mit einer Absenkung oder einem Rückgang – in Abhängigkeit der geologischen Bedingungen. Sie erholen sich auch nur langsam. Nach dem Hitzesommer 2003 normalisierten sich einige Grundwasserstände erst wieder nach drei Jahren. Gemeinden können mit Wasserverbundsystemen und verschiedenen Wasserbezugsmöglichkeiten die Wasserversorgung bei langandauernder Trockenheit gewährleisten.

Fischbestände sind bei tiefem Wasserstand einerseits in isolierten sauerstoffarmen Tümpeln bedroht. Andererseits sind die hohen Wassertemperaturen insbesondere für kälteliebende Fischarten wie Forellen und Äschen lebensbedrohlich. Niedrigwasser bei tiefer Temperatur ist für die Fische weniger bedrohlich, da im kalten Wasser mehr Sauerstoff gebunden ist und die wechselwarmen Tiere weniger Energie benötigen.

Wissen

Abb. 85 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Folgen des Klimawandels

Mit dem Klimawandel wird der Niederschlag in der Schweiz im Laufe des Jahrhunderts im Sommer um rund einen Fünftel zurückgehen, während des übrigen Jahres jedoch zunehmen. Die Schneefallgrenze steigt bis ins Jahr 2100 weiter an. Damit wird ein immer grösserer Anteil des Niederschlags ohne Zwischenspeicherung abfliessen und der Anteil der Schneeschmelze am Abfluss von aktuell 40 Prozent bis Ende dieses Jahrhunderts auf 25 Prozent sinken. Der Jahresabfluss der sommerlichen Gletscherschmelze macht heute nur 2 Prozent des Abflusses aus. Bei den volumenmässig grösseren Gletschern werden bis 2040 zusätzliche Abflüsse erwartet, danach werden sie abnehmen. Die Abflüsse der kleineren Gletscher gehen bereits zurück. Bis 2100 wird voraussichtlich noch 30 Prozent des heutigen Eisvolumens in den Schweizer Alpen übrig bleiben.

Die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse wird sich beinahe in der ganzen Schweiz verändern (Abb. 7). Im Laufe dieses Jahrhunderts werden insbesondere glaziale aber auch nivale Abflussregimes zurückgehen. Ihre Niedrigwasser werden sich vom Winter in den Spätsommer verschieben und weniger ausgeprägt sein. In pluvialen Abflussregimes im Mittelland und im Jura werden Niedrigwasser im Sommer häufiger und ausgeprägter auftreten. Insgesamt werden die Ökosysteme der Fliessgewässer im Sommer durch die erhöhte Luft- und Wassertemperatur sowie durch die tieferen und länger andauernden Niedrigwasser doppelt betroffen sein.

Die veränderten Abflussregimes und die höheren Wassertemperaturen werden Anpassungen bei der Wassernutzung und den rechtlichen Regelungen erfordern. Die Beurteilung des klimabedingten Handlungsbedarfs für die Wasserwirtschaft zeigt indirekt den erwarteten Einfluss der geringeren Abflüsse, der zunehmenden Trockenheit, von Niedrigwasser und Wassertemperaturen im Sommer, aber auch der häufigeren Hochwasser auf verschiedene Bereiche auf (Abb. 8).

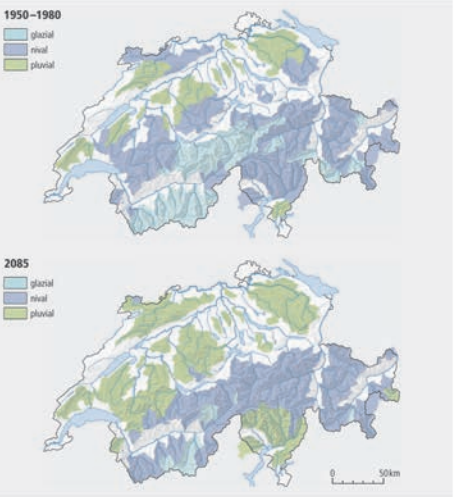
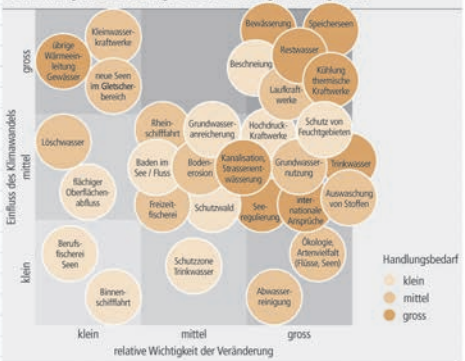


Abb. 7: Abflussregimes zwischen 1950 und 1980 und um das Jahr 2085 (BAFU, 2012)

Sektor Wasserwirtschaft Beurteilung der relevanten Bereiche bezüglich Einfluss des Klimawandels, relativer Wichtigkeit der Veränderungen und des klimabedingten Handlungsbedarfs



Zu Handlungsfeldern für die Anpassung werden nur solche Bereiche, die in allen drei Dimensionen (Einfluss des Klimawandels, relative Wichtigkeit der Veränderung und Handlungsbedarf) als mittel oder gross eingestuft sind. Quelle: BAFU

Abb. 8: Klimabedingter Handlungsbedarf für die Wasserwirtschaft

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Transfer

Abb. 86 | Themenblatt Niedrigwasser zur Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Arbeitsblatt: Niedrigwasser

Auch in der Schweiz, dem Wasserschloss Europas, kommen Trockenheit und Niedrigwasser vor. Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften der Einzugsgebiete treten solche Ereignisse jedoch nicht flächendeckend auf.

Fokus

Welche Schweizer Gewässer sind vorwiegend und zu welchen Jahreszeiten von Niedrigwasser bedroht?
Beziehen Sie bei Ihrer Beurteilung die drei Gewässer Mattervispa bei Zermatt, Muota bei Muotathal und Wigger bei Zofingen (Abb. 2) mit ein und begründen Sie Ihre Hypothesen.

	Hypothesen	Wissenschaftliche Kenntnisse
Mattervispa	Jahreszeit: Begründung:	
Muota	Jahreszeit: Begründung:	
Wigger	Jahreszeit: Begründung:	

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu Niedrigwassersituationen in den drei Einzugsgebieten mit dem Grundlagen- und Forschungswissen. Stellen Sie in der Tabelle die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

Transfer

Der Klimawandel wird sich auf den Abfluss der Fliessgewässer in der Schweiz unterschiedlich auswirken.

Wie wird sich die Niedrigwasserproblematik in Ihrem Lebensraum in Zukunft verändern?
Beurteilen Sie für ein Fliessgewässer in Ihrem Lebensraum die aktuelle Gefahr von Niedrigwasser sowie die möglichen Auswirkungen des Klimawandels für die Zeit um 2085 (Abb. 7).

Klären Sie die Wasserversorgung in Ihrer Gemeinde bezüglich Versorgungssicherheit während Hitze- und Trockenereignissen ab und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit der Abbildung 8 zum klimabedingten Handlungsbedarf für die Wasserwirtschaft.

Abb. 87 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Niedrigwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Factsheet Wasser in der Schweiz. Akademien der Wissenschaften Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Umwelt-Wissen Nr. 1217. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004: Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer? Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2000: Angemessene Restwassermengen: Wie können sie bestimmt werden? Bern.

ProClim (Hrsg.), 2005: Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. Bern.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.

Abb. 88 | Literaturangaben zu Themenblatt Niedrigwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Niedrigwasser

Leitendes Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler können die Gefahr von Niedrigwasser eines Gewässers beurteilen, indem sie die Eigenschaften des Einzugsgebietes sowie die anthropogene Einflussnahme auf den Abfluss beurteilen und mögliche saisonale Witterungsverhältnisse einbeziehen.
Mit den verschiedenen Auswirkungen von Niedrigwasser und dem möglichen Einfluss des Klimawandels sollen die Lernenden die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt erkennen und mögliche Szenarien für die Zukunft entwickeln.

Fokus

Filme und Fotos veranschaulichen die Relevanz von Niedrigwasser, dienen der Beobachtung von Niedrigwasser-Situationen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen zum Arbeitsauftrag. Insbesondere der Vergleich der unterschiedlichen Einzugsgebiete der Mattervispa, Muota und Wigger ist für die Analyse und Entwicklung von Hypothesen geeignet.

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

1. Mattervispa bei Zermatt: glaziales Abflussregime
- Niedrigwasser tritt vorwiegend in den kälteren Monaten von Oktober bis März auf.
- Grund: In dieser Jahreszeit wird der Niederschlag vorwiegend in Form von Schnee oder Eis an der Oberfläche gespeichert, wodurch auch die Grundwasserspeicher nicht aufgefüllt werden.

2. Muota bei Muotathal: nivales Abflussregime
- Niedrigwasser tritt vorwiegend in den kälteren Monaten von Oktober bis März auf.
- Grund: In dieser Jahreszeit wird der Niederschlag vorwiegend in Form von Schnee oder Eis an der Oberfläche gespeichert, wodurch auch die Grundwasserspeicher nicht aufgefüllt werden.
Achtung: Der Abfluss der Muota ist auch von Karstphänomenen beeinflusst.

3. Wigger bei Zofingen: pluviales Abflussregime
- Niedrigwasser tritt vorwiegend im Sommer und im Herbst auf.
- Grund: In dieser Jahreszeit sind der Wasserbedarf der Vegetation und die Verdunstung der Pflanzen erhöht sowie der Wasserspeicher im Boden und der Grundwasserspeicher beschränkt.
- Kombiniert mit ausbleibendem Niederschlag und Hitzewellen können in diesen Gewässern in Sommer und Herbst extreme Niedrigwassersituationen auftreten.

Transfer

Individuelle Lösungen, welche die Analyse des Einzugsgebietes, der menschlichen Nutzung des Gewässers sowie die zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel einbeziehen.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 89 | Didaktische Informationen zum Themenblatt Niedrigwasser, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 1 Hydrologische Extremereignisse (Probst 2015) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Wasserdargebot

Die Alpen als natürliche Barriere zwingen Luftmassen zum Aufsteigen, was zu höheren jährlichen Niederschlagsmengen im Vergleich zum Vorland führt. Gebirge und Höhenlage beeinflussen so das **Wasserdargebot**. Dies ist jener Anteil des Niederschlags, der nicht verdunstet und daher in Bächen und Flüssen abfliesst sowie in Seen, Grundwasser und Gletschern zwischengespeichert wird. Diese Speicher sind über mehrere Jahre ausgeglichen, im Gegensatz zum Schnee, der (fast) jedes Jahr abschmilzt.

In der Region Crans-Montana-Sierre im Wallis ist das Wasserdargebot durch die hochalpine Lage geprägt (Abb. 1 und 2). Während der **Jahresniederschlag** im Rhonetal weniger als 600 mm beträgt, erreicht er im Gebirge 2500 mm. Mit der Schnee- und Gletscherschmelze im Sommer ergibt die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse für diesen Raum ein **glazio-nivales Abflussregime** (Abb. 3).

Seit dem Jahr 1850 (vorindustrielle Zeit) ist es in der Schweiz um 1.8 Grad wärmer geworden. Mit dem **Klimawandel** ändern sich neben der Lufttemperatur auch Niederschlagsmenge und -intensität und damit die Abflussmenge und das Wasserdargebot.

Schreitet die heutige weltweite Entwicklung fort, prognostizieren Szenarien bis zum Jahr 2085 für die Alpennordseite eine Temperaturerhöhung um rund 3 °C. Die jährliche Niederschlagsmenge wird gleich bleiben, im Sommer jedoch um rund ein Fünftel zurückgehen und in den übrigen Jahreszeiten entsprechend zunehmen. Weil die Schneefallgrenze im gleichen Zeitraum um rund 400–500 m ansteigt, wird ein grösserer Anteil des Niederschlags direkt abfliessen und nicht mehr in Form von Schnee und Eis zwischengespeichert.

Abb. 1: Die rund 100 km² grosse Region Crans-Montana-Sierre VS reicht vom Rhonetal mit 520 m ü.M. bis zu den höchsten Bergen mit rund 3000 m ü.M. (Foto: Emmanuel Rey)

Abb. 2: Gemeinden in der Region Crans-Montana-Sierre VS 2016

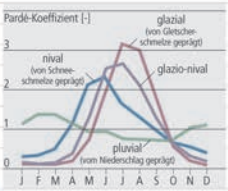


Abb. 3: Hauptregimetypen und glazio-nivales Abflussregime (Pardé-Koeffizient = mittlerer Monatsabfluss / mittlerer Jahresabfluss)

Fokus

Abb. 90 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Das jährliche Wasserdargebot einer Region hängt von verschiedenen Faktoren ab: der klimatischen Situation (z.B. Niederschlag, Temperatur), der hydrologischen Situation (z.B. Schneeschmelze, Abflussverhalten), der glaziologischen Situation (z.B. Gletscherrückgang oder -vorstoss) und der hydrogeologischen Situation (z.B. Grundwasser, Quellen). Entscheidend für die saisonale Verteilung des Wasserdargebots sind die beiden Speicher Schnee und Gletscher, welche den Niederschlag zwischenspeichern und so den Abfluss verändern.

Als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» hat das Projekt MontanAqua die aktuellen und zukünftigen Wasservorkommen und -nutzungen in der Region Crans-Montana-Sierre unter Berücksichtigung des Klimawandels und der sozioökonomischen Veränderungen untersucht. Hauptziel der Studie war es, anhand der Erkenntnisse mögliche Strategien für eine **nachhaltige Wasserbewirtschaftung** in dieser eher trockenen inneralpinen Region zu entwickeln. Im Folgenden werden die Erkenntnisse der Studie zum Wasserdargebot in dieser Region ausgeführt.

Hydroklimatische Situation

Zum rund 100 km² grossen Gebiet von Crans-Montana-Sierre gehört mit dem Rhonetal (520 m ü.M.) eines der trockensten Gebiete der Schweiz. Berge umschliessen dieses **inneralpine Trockental** und zwingen die feuchten Luftmassen zum Aufsteigen. Während in den Gipfelregionen durch den **Stauefekt** und die **Konvektion** jährlich Niederschlagssummen von rund 2500 mm fallen, sind es im Rhonetal weniger als 600 mm (Abb. 4). Insgesamt wird das **Wasserdargebot** der Region durch die hochalpine Lage geprägt (glazio-nivales Abflussregime, Abb. 3).

Die mittlere Abflussmenge aus den oberen **Einzugsgebieten** (Liène/Lienne, Vatseret, Ertentse, Boverèche und Tièche) beträgt durchschnittlich rund 106 Millionen Kubikmeter pro Jahr (entspricht einem Würfel mit 475 m Kantenlänge). Sie variiert im Jahresverlauf beträchtlich: In der kalten Wintersaison (November bis März) fliesst nur wenig Wasser aus **Quellen** und in Bächen der Region (Abb. 5). Im Frühjahr (April bis Juni) wird der Abfluss von der Schneeschmelze dominiert, ab Juli von der Gletscherschmelze, im September und Oktober überwiegt Regenwasser. So steigen die Abflüsse in der Schmelzwassersaison bis im Juni an, anschliessend nehmen sie wieder deutlich ab. Die saisonale Verteilung des Abflusses wird demnach von der Höhe und der räumlichen Ausdehnung der Schneedecke, von der Gletscherschmelze sowie der zeitlichen Verteilung des Niederschlags und der Verdunstung geprägt. Ein trockener Frühling, kombiniert mit einer dünnen Schneedecke, führt zu erheblich geringeren Abflüssen im Sommer. Beispielsweise erreichten im Jahre 2011 infolge einer trockenen Periode im Frühjahr die Abflüsse nur 80 Prozent des Mittelwertes der Jahre 2007–2012 (Abb. 5).

Bis Ende des 21. Jahrhunderts werden gemäss Modellrechnungen die höheren Temperaturen in Winter und Frühling bereits im Mai saisonale Abflussspitzen auslösen, statt wie bisher im Juni (Abb. 5). Diese Veränderungen führen zusammen mit dem vollständigen Abschmelzen des Plaine-Morte-Gletschers um das Jahr 2085 zu einem **nivalen Abflussregime** (Abb. 3) mit einer jahreszeitlich früheren Schmelzwasserspitze und einer verlängerten nachfolgenden, wasserarmen Periode. Bis 2050 steigt der Jahresabfluss jedoch wegen zunehmender Gletscherschmelze vorübergehend an. Mit dem Verschwinden der Gletscher ab 2085 könnte der Jahresabfluss in der Region um rund 9 Prozent gegenüber heute abnehmen (Tab. 1). Mit dem Rückgang von Schnee und Eis folgt das Abflussverhalten mehr dem Niederschlagsgeschehen. Deshalb werden die Abflussmengen von Jahr zu Jahr stärker als heute schwanken. Trockenperioden mit **Niedrigwasser**, ähnlich denjenigen von 2003 oder

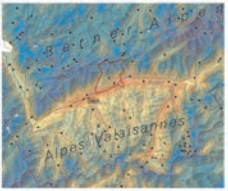
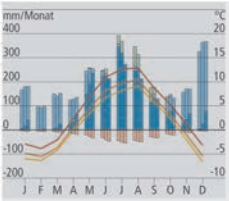


Abb. 4: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen 1971–19



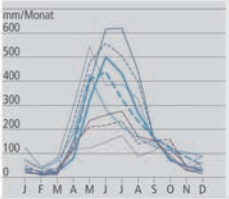
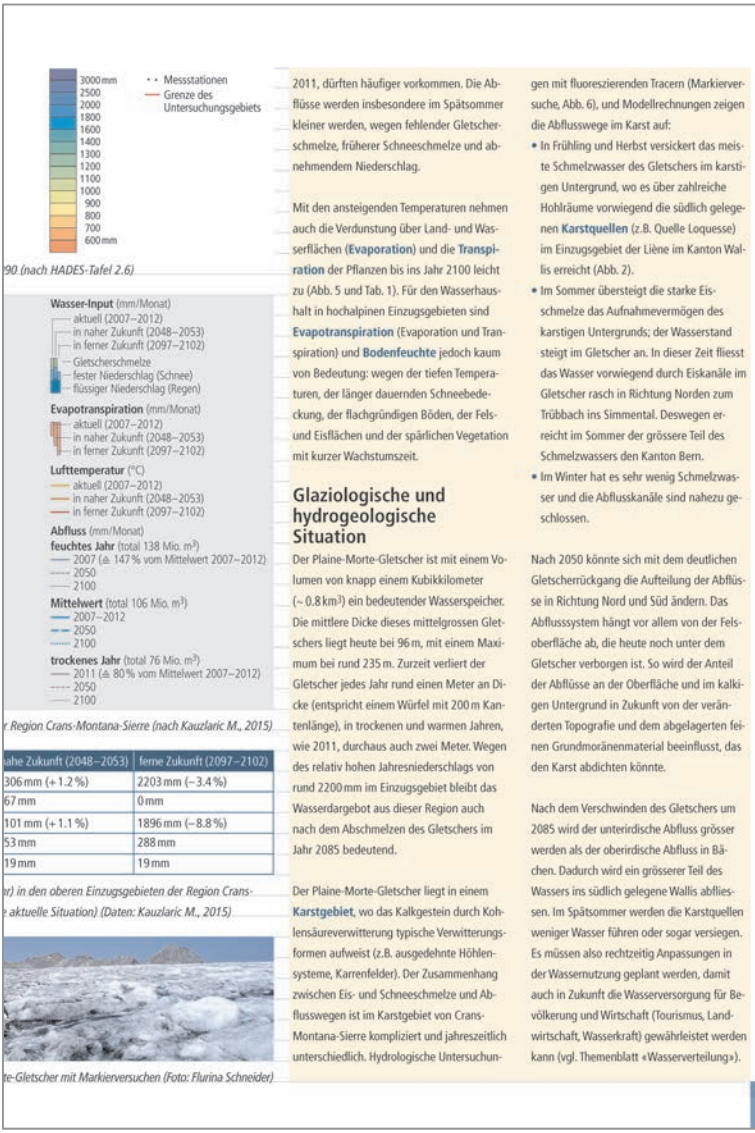


Abb. 5: Wasserhaushalt in den oberen Einzugsgebieten de

	aktuell (2007–2012)	
Niederschlag (Input I)	2280 mm	2
Gletscherschmelze (I)	166 mm	1
Abfluss (Output O)	2079 mm	2
Evaporation (O)	210 mm	2
Speicher, z.B. Schnee (O)	157 mm	1

Tab. 1: Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrössen (mm/Ja
Montana-Sierre (Veränderung in Prozent bezogen auf di

Abb. 6: Untersuchung der Abflusswege auf dem Plaine-Mor



3000 mm
2500
2000
1800
1600
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600 mm

• • Messstationen
— Grenze des Untersuchungsgebiets

90 (nach HADES-Tafel 2.6)

Wasser-Input (mm/Monat)
- aktuell (2007–2012)
- in naher Zukunft (2048–2053)
- in ferner Zukunft (2097–2102)
- Gletscherschmelze
- fester Niederschlag (Schnee)
- flüssiger Niederschlag (Regen)

Evapotranspiration (mm/Monat)
- aktuell (2007–2012)
- in naher Zukunft (2048–2053)
- in ferner Zukunft (2097–2102)

Lufttemperatur (°C)
- aktuell (2007–2012)
- in naher Zukunft (2048–2053)
- in ferner Zukunft (2097–2102)

Abfluss (mm/Monat)

feuchtes Jahr (total 138 Mio. m³)
- 2007 (≙ 147 % vom Mittelwert 2007–2012)
- 2050
- 2100

Mittelwert (total 106 Mio. m³)
- 2007–2012
- 2050
- 2100

trockenes Jahr (total 76 Mio. m³)
- 2011 (≙ 80 % vom Mittelwert 2007–2012)
- 2050
- 2100

r Region Crans-Montana-Sierre (nach Kauzlaric M., 2015)

ahe Zukunft (2048–2053)	ferne Zukunft (2097–2102)
306 mm (+ 1.2 %)	2203 mm (– 3.4 %)
67 mm	0 mm
101 mm (+ 1.1 %)	1896 mm (– 8.8 %)
53 mm	288 mm
19 mm	19 mm

r) in den oberen Einzugsgebieten der Region Crans-
e aktuelle Situation) (Daten: Kauzlaric M., 2015)

te-Gletscher mit Markierversuchen (Foto: Flurina Schneider)

2011, dürften häufiger vorkommen. Die Abflüsse werden insbesondere im Spätsommer kleiner werden, wegen fehlender Gletscherschmelze, früherer Schneeschmelze und abnehmendem Niederschlag.

Mit den ansteigenden Temperaturen nehmen auch die Verdunstung über Land- und Wasserflächen (**Evaporation**) und die **Transpiration** der Pflanzen bis ins Jahr 2100 leicht zu (Abb. 5 und Tab. 1). Für den Wasserhaushalt in hochalpinen Einzugsgebieten sind **Evapotranspiration** (Evaporation und Transpiration) und **Bodenfeuchte** jedoch kaum von Bedeutung: wegen der tiefen Temperaturen, der länger dauernden Schneebedeckung, der flachgründigen Böden, der Fels- und Eisflächen und der spärlichen Vegetation mit kurzer Wachstumszeit.

Glaziologische und hydrogeologische Situation

Der Plaine-Morte-Gletscher ist mit einem Volumen von knapp einem Kubikkilometer (~ 0.8 km³) ein bedeutender Wasserspeicher. Die mittlere Dicke dieses mittelgrossen Gletschers liegt heute bei 96 m, mit einem Maximum bei rund 235 m. Zurzeit verliert der Gletscher jedes Jahr rund einen Meter an Dicke (entspricht einem Würfel mit 200 m Kantenlänge), in trockenen und warmen Jahren, wie 2011, durchaus auch zwei Meter. Wegen des relativ hohen Jahresniederschlags von rund 2200 mm im Einzugsgebiet bleibt das Wasserdargebot aus dieser Region auch nach dem Abschmelzen des Gletschers im Jahr 2085 bedeutend.

Der Plaine-Morte-Gletscher liegt in einem **Karstgebiet**, wo das Kalkgestein durch Kohlensäureverwitterung typische Verwitterungsformen aufweist (z.B. ausgedehnte Höhlensysteme, Karrenfelder). Der Zusammenhang zwischen Eis- und Schneeschmelze und Abflusswegen ist im Karstgebiet von Crans-Montana-Sierre kompliziert und jahreszeitlich unterschiedlich. Hydrologische Untersuchungen mit fluoreszierenden Tracern (Markierversuche, Abb. 6), und Modellrechnungen zeigen die Abflusswege im Karst auf:

- In Frühling und Herbst versickert das meiste Schmelzwasser des Gletschers im karstigen Untergrund, wo es über zahlreiche Hohlräume vorwiegend die südlich gelegenen **Karstquellen** (z.B. Quelle Loquesse) im Einzugsgebiet der Liène im Kanton Wallis erreicht (Abb. 2).
- Im Sommer übersteigt die starke Eisschmelze das Aufnahmevermögen des karstigen Untergrunds; der Wasserstand steigt im Gletscher an. In dieser Zeit fliesst das Wasser vorwiegend durch Eiskanäle im Gletscher rasch in Richtung Norden zum Trübbach ins Simmental. Deswegen erreicht im Sommer der grössere Teil des Schmelzwassers den Kanton Bern.
- Im Winter hat es sehr wenig Schmelzwasser und die Abflusskanäle sind nahezu geschlossen.

Nach 2050 könnte sich mit dem deutlichen Gletscherrückgang die Aufteilung der Abflüsse in Richtung Nord und Süd ändern. Das Abflusssystem hängt vor allem von der Felsoberfläche ab, die heute noch unter dem Gletscher verborgen ist. So wird der Anteil der Abflüsse an der Oberfläche und im kalkigen Untergrund in Zukunft von der veränderten Topografie und dem abgelagerten feinen Grundmoränenmaterial beeinflusst, das den Karst abdichten könnte.

Nach dem Verschwinden des Gletschers um 2085 wird der unterirdische Abfluss grösser werden als der oberirdische Abfluss in Bächen. Dadurch wird ein grösserer Teil des Wassers ins südlich gelegene Wallis abfliessen. Im Spätsommer werden die Karstquellen weniger Wasser führen oder sogar versiegen. Es müssen also rechtzeitig Anpassungen in der Wassernutzung geplant werden, damit auch in Zukunft die Wasserversorgung für Bevölkerung und Wirtschaft (Tourismus, Landwirtschaft, Wasserkraft) gewährleistet werden kann (vgl. Themenblatt «Wasserverteilung»).

Wissen

Abb. 91 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Ökologische Verantwortung

Für eine ganzheitliche Betrachtung des Wasserdargebots einer Region müssen neben den Ansprüchen von Wirtschaft und Gesellschaft auch diejenigen der Umwelt berücksichtigt werden. Diese umfassen den Zustand der Ökosysteme sowie Wasserqualität und -menge von Grundwasser und Oberflächengewässern (Abb. 7).

In der Region Crans-Montana-Sierre fliesst das **Grundwasser** vorwiegend durch Hohlräume im Kalkgestein und erreicht über Karstquellen die Oberfläche (Abb. 8). Diese Quellen können im Normalfall kaum übernutzt werden. Dies gilt auch für die grossen Grundwasserleiter im Lockermaterial der Talsohle, die von der Rhone durch Infiltration immer wieder Wasser erhalten.

Trotz der reichlichen Wasservorkommen in der Region ist der Wasserstand in kleineren Gebirgsbächen tief (z.B. Liène). Hier muss die Wasserkraft bei der Wasserentnahme die **Restwasserbestimmungen** von 1991 noch nicht berücksichtigen. Im Einzugsgebiet der Liène werden diese erst mit der Erneuerung der **Wasserkraftkonzession** im Jahr 2037 umgesetzt. Wann und wie Restwassermengen für die landwirtschaftliche **Bewässerung** gelten, ist unklar.

Die meisten Häuser in der Region sind ans Abwassernetz von Sierre angeschlossen. Der kleine Anteil an intensiver landwirtschaftlicher Nutzung führt zu geringen Wasserverunreinigungen der Ökosysteme mit Dünger und Pestiziden (Abb. 9). Jedoch treten bei der Viehhaltung gelegentlich Probleme auf und in einigen Teichen ist Algenwachstum infolge von übermässigem **Nährstoffeintrag** (Eutrophierung) zu beobachten. Gewässer in Karstregionen werden wenig von Verunreinigungen gefiltert, weil das Wasser schnell durch die Hohlräume abfliesst. In Grundwasserleitern aus festem porösem Gestein oder Lockergestein ist die Filterwirkung besser.

Abb. 7: Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser (nach Schneider F. et al., 2014; Weingartner R. et al., 2014; Schmid F. et al., 2014)

Abb. 8: Karstquelle Loquesse (Foto: Tom Reist)

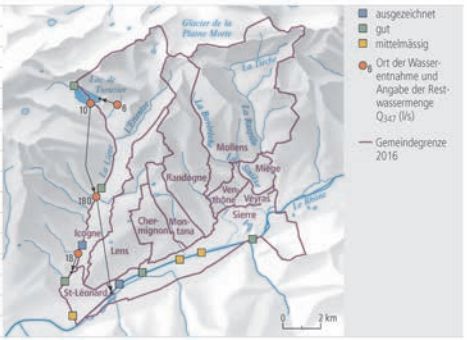


Abb. 9: Biologischer Index und Restwassermengen Q_{347} (nach Bonriposi M., 2014; HADES-Tafel 5.10)

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Transfer

Abb. 92 | Themenblatt Wasserdargebot zu Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Arbeitsblatt: Wasserdargebot

Insgesamt steht der Schweiz auch in Zukunft genügend Wasser zur Verfügung. Der Klimawandel führt jedoch regional und saisonal vermehrt zu Wasserknappheit.

Fokus

Wie wird sich die saisonale Verfügbarkeit der verschiedenen Wasserressourcen in der Region Crans-Montana-Sierre mit dem Klimawandel verändern?

Begründen Sie Ihre Einschätzungen mit Hilfe der Materialien im Fokus. Stellen Sie hierzu in der Tabelle die verschiedenen Wasserressourcen von heute und für die Zukunft zusammen und schätzen Sie deren saisonale Verfügbarkeit sowie die Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit ab.

Natürliches Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Wasserressource	saisonale Wasserverfügbarkeit heute (inkl. Begründung)	Veränderung der saisonalen Wasserverfügbarkeit durch Klimawandel (inkl. Begründung)

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit heute:

-
-
-

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit in Zukunft:

-
-
-

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zum heutigen und zukünftigen Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre. Übertragen Sie hierzu die wissenschaftlichen Erkenntnisse mit anderer Farbe in die Tabelle (oben), indem Sie Ihre Hypothesen aus der vorherigen Aufgabe (Fokus) korrigieren, bestätigen und differenzieren.

Transfer

Eine ganzheitliche Betrachtung der Wasserressourcen einer Region muss neben den Ansprüchen von Gesellschaft und Wirtschaft auch diejenigen des Ökosystems berücksichtigen.

Wie zeigt sich die Situation des Wasserdargebots bezüglich der Ökologie in der Region Crans-Montana-Sierre?

Bewerten Sie die vier Umweltkriterien in Abbildung 7 für den Untersuchungsraum anhand der Informationen in Wissen und Transfer mit «sehr gut», «gut», «mittelmässig», «schlecht» oder «sehr schlecht» und begründen Sie.

Abb. 93 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserdargebot, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Björnsen Gurung A., Stähli M., 2014: Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Bonriposi M., 2014: Analyse systématique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Géovisions 43, Lausanne.

Kauzlaric M., 2015: A physically based hydrological framework to assess the effects of climate change in a data sparse alpine environment. Bern.

Schmid F. et al., 2014: Wege zur nachhaltigen Wassergouvernanz. In: «Aqua & Gas», Nr. 11, Zürich.

Schneider F. et al., 2014: Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. In: Journal of Environmental Planning and Management, London.

Weingartner R. et al., 2014: MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Abb. 94 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserdargebot, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel

Leitendes Lernziel

In diesem Modul lassen sich die drei ersten Themenblätter nach der Methode von Expertenpuzzles bearbeiten oder in der angegebenen Reihenfolge mit der gesamten Klasse diskutieren und vertiefen.

Das letzte Themenblatt «Wasserbewirtschaftung bis 2100» setzt die Kenntnisse der anderen Themenblätter voraus und ist daher für den Schluss des Moduls vorgesehen. Dieses letzte Themenblatt bietet die Möglichkeit einer zukunftsorientierten Synthese zur Wassernutzung unter Einbezug sämtlicher Erkenntnisse aus dem Modul.

Wasserdargebot

Leitendes Lernziel

Die Lernenden sollen in einer Region die saisonale Wasserverfügbarkeit für heute und für die Zukunft begründet abschätzen, anhand von Überlegungen bezüglich Wasserspeicher (Gletscher, Schnee, Höhenlage), Lage und Relief (Niederschlag) sowie Geologie (Grundwasser).

Im Transfer beurteilen die Lernenden das Wasserdargebot aus einer anderen Perspektive, aus jener der ökologischen Verantwortung. Dabei lernen sie Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser kennen.

Das Schnittmengenmodell zum nachhaltigen Umgang mit Wasser bietet zudem eine ideale Überleitung (und einen Ausblick) zu den anderen Themenblättern Wassernutzung (Wirtschaft), Wasserverteilung (Gesellschaft) und zur Entwicklung einer zukunftsorientierten Wasserbewirtschaftung.

Fokus

Mit den Filmen und Fotos können der Raum und das Wasserdargebot beobachtet und beschrieben werden. Der Einbezug des Vorwissens ermöglicht es, Hypothesen zur saisonalen Verfügbarkeit der verschiedenen Wasserressourcen für heute und für die Zukunft begründet zu formulieren.

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:

Natürliches Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Wasserressource	saisonale Wasserverfügbarkeit heute (inkl. Begründung)	Veränderung der saisonalen Wasserverfügbarkeit durch Klimawandel (inkl. Begründung)
Gletscher	Gletscherschmelze Mai – Oktober (v.a. Juli / August)	bis 2060 Gletscherschmelze erhöht, anschliessend stark abnehmend, ab 2085 ist Gletscher abgeschmolzen
Schnee	Schneeschmelze April bis September (v.a. Juni)	geringere Schneemenge (weniger Schneefall und höhere Schneefallgrenze) Schneeschmelze März – September (v.a. Mai)
Niederschlag	stark von Höhenlage und Topografie abhängiger Niederschlag: im Gebirge (rund 3000 m ü.M.) 2500 mm, im Rhonetal (520 m ü.M.) weniger als 600 mm	weniger Niederschlag im Sommer, mehr in den anderen Jahreszeiten (v.a. im Winter)
Grundwasser	saisonal unterschiedliche Abflusswege vom Plaine-Morte-Gletscher im Karst: im Frühling / Herbst v.a. nach Süden, im Sommer v.a. nach Norden und im Winter wenig Grundwasser	nach 2085 überwiegend unterirdischer Abfluss ins südlich gelegene Wallis, im Spätsommer stark abnehmend

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit heute:

- im kalten Winterhalbjahr (Oktober bis März) nur wenig Wasser in Quellen und Bächen
- hoher Jahresniederschlag
- Schneefall über das ganze Jahr im Gebirge
- relativ tiefe Verdunstungsrate
- hoher Abfluss im Sommer durch Schnee- und Gletscherschmelze

Begründung: hochalpines Einzugsgebiet

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit in Zukunft:

- Jahresabfluss nimmt bis 2060 durch Gletscherschmelze zu, anschliessend nimmt er ab
- ab 2085 ein nivales Abflussregime, weil die saisonale Schneeschmelze früher stattfindet und der Plaine-Morte-Gletscher vollständig abschmilzt
- ab 2085 Jahresabfluss um 9 % reduziert und stärker schwankend aufgrund fehlender Gletscherschmelze
- ab 2085 v.a. im Spätsommer kleinere Abflüsse und häufigere Trockenperioden wegen fehlender Gletscherschmelze, jahreszeitlich früherer Schneeschmelze, erhöhter Verdunstung, gesteigertem Wasserbedarf der Vegetation und abnehmendem Niederschlag
- insgesamt auch in Zukunft relativ hohes jährliches Wasserdargebot, wegen hohem Jahresniederschlag von rund 2200 mm im Einzugsgebiet der Plaine-Morte

Wissenslücken:

- Menge und Richtung des unterirdischen Abflusses nach 2060, d.h. nach starkem Gletscherrückgang
- Veränderungen in Zukunft nur als Tendenzen und Mittelwert bekannt; Einzeljahre können (wie bisher) stark abweichen

Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsresultaten des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.
Der ökologische Zustand von Wasser und Gewässern in der Region Crans-Montana-Sierre wird von Expertinnen und Experten nach den Umweltkriterien (ökologische Verantwortung) als mittelmässig beurteilt. Die Beurteilung der einzelnen Kriterien fällt jedoch sehr unterschiedlich aus. Während die Grundwassermenge als sehr gut und die Wasser- und Gewässerqualität als gut bewertet sind, wird die Wassermenge in den Oberflächengewässern als sehr schlecht beurteilt. Das Kriterium «Ökosysteme und Artenvielfalt» wurde im NFP 61 aufgrund unzureichender Kenntnisse nicht bewertet.

Grundwassermenge: «sehr gut»
Die Karstquellen in der Region sind nicht übernutzt, insbesondere weil ihnen in der Schmelzsaison (Frühling und Frühsommer) und nach Niederschlagsperioden immer wieder Wasser zufliesst. Das Gleiche gilt für die grossen Grundwasserleiter in der Talsohle, die von der Rhone während der saisonalen Hochwasser von März bis September durch Infiltration immer wieder Wasser erhalten.

Mindestmenge in Oberflächengewässern: «sehr schlecht»
Obschon die Region Crans-Montana-Sierre über reichliche Wasservorkommen verfügt, sind in vielen kleineren Fliessgewässern tiefe Wasserstände zu beobachten. Grund ist die Wasserentnahme für Wasserkraft und Landwirtschaft und die Tatsache, dass mit den bestehenden Konzessionen zur Wasserentnahme vorläufig keine Restwasserbestimmungen auferlegt werden. Das Schweizer Gewässerschutzgesetz schreibt seit 1991 Restwassermengen vor, jedoch müssen die Restwasserstrecken nur dann saniert werden, wenn es wirtschaftlich verkraftbar ist. Im Einzugsgebiet der Liène wird die Restwassermenge mit der Erneuerung der Wasserkraftkonzession im Jahr 2037 ultimativ umgesetzt.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Wasser- und Gewässerqualität: «gut»

Die meisten Häuser in der Region sind ans Kanalisationsnetz angeschlossen, welche sämtliche Abwässer aus der Untersuchungsregion in die zentrale Abwasseranlage in Sierre leitet. Der Anteil der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist klein, daher sind auch Wasserverunreinigungen mit Dünger oder Pestiziden im Allgemeinen gering. So stellt die Wasserqualität kein signifikantes Problem in der Region dar. Gelegentlich können jedoch Probleme aufgrund der Viehhaltung auftreten. Zu beachten ist, dass Gewässer in Karstregionen allgemein sehr anfällig für Verschmutzung sind. So ist eine Eutrophierung in einigen Teichen trotz insgesamt guter Wasserqualität zu beobachten. Bei den Rebbergen ist mit Schwefeleintrag zu rechnen, Messungen liegen in der Region jedoch keine vor.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 95 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserdargebot, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

hep

Nutzung des Wassers

Durch wachsende Siedlungen, den Klimawandel, energiepolitische Entscheidungen und neue Ansprüche von Landwirtschaft, Gesellschaft und Tourismus verändern sich sowohl die Verfügbarkeit wie die Nutzung von Wasser. Eine zukunftsorientierte **Wasserwirtschaft** ist mit den verschiedenen Ansprüchen in drei Aufgabenbereichen gefordert (Abb. 3): «Wasser nutzen», «Schutz vor dem Wasser» und «Wasser schützen».

Es werden zwei Arten der Wasserentnahme unterschieden. Bei der **Wassernutzung** wird das Wasser nach Gebrauch sauber zurückgegeben, z.B. Energiegewinnung, Kühlung. Demgegenüber wird es beim **Wasserverbrauch** verbraucht oder verschmutzt, z.B. Trinkwasser, Bewässerung. In der Schweiz beträgt das natürliche **Wasserdargebot** 40 km³ pro Jahr (Niederschlag minus Verdunstung). Davon verwendet die Wassernutzung 14 Prozent, der Wasserverbrauch 5 Prozent (Abb. 1).

Obschon in der Schweiz insgesamt genügend Wasser zur Verfügung steht, kommt es aufgrund saisonaler und regionaler Schwankungen bei Wasserverfügbarkeit, -verbrauch und -nutzung zu Engpässen. In der inneralpinen Region Crans-Montana-Sierre beträgt das durchschnittliche Wasserdargebot 0.106 km³ pro Jahr. Mit der Klimaerwärmung werden die Schmelzwassermengen vom Plaine-Morte-Gletscher bis 2050 zunehmen, anschliessend abnehmen und ab 2085 nach dem Verschwinden des Gletschers ganz fehlen. Dank der hochalpinen Lage bleibt die **jährliche Niederschlagsmenge** jedoch hoch. In der Region wird das Wasser von Vielen beansprucht: Wasserkraft, Rebbau, Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung für Einheimische und Gäste, Beschneiung der Pisten und Bewässerung der Golfrasen (Abb. 2).

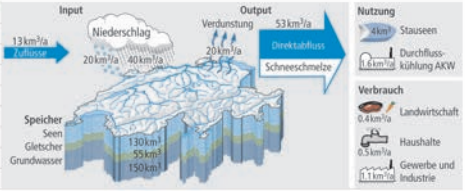


Abb. 1: Wasserdargebot sowie Wassernutzung und -verbrauch, Volumina in km³ (nach Blanc P., Schädler B., 2013)

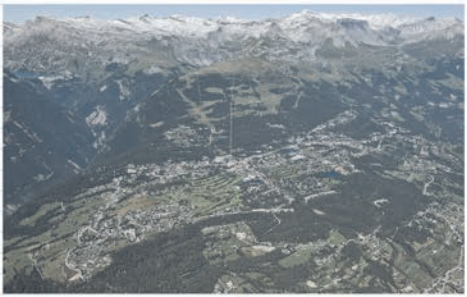


Abb. 2: Die rund 100 km² grosse Region Crans-Montana-Sierre reicht vom Rhonetal mit 520 m ü.M. bis zu den höchsten Bergen mit rund 3000 m ü.M. (Foto: © VBS)

Abb. 3: Wasserwirtschaft und ihre **Anspruchsbereiche** *(Schmid F. et al., 2014a)*

Fokus

Abb. 96 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Nutzung des Wassers

Im Rahmen des Forschungsprojekts Montan-Aqua wurden 2014 die aktuellen und zukünftigen Wasservorkommen und -nutzungen in der Region Crans-Montana-Sierre unter Einbezug des Klimawandels und der sozioökonomischen Veränderungen untersucht. Im Folgenden werden die Erkenntnisse der Studie zur Entwicklung von **Wasserverbrauch und -nutzung** beschrieben.

Gesellschaftlicher Wandel und Wasserbedarf

Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte sich die zuvor agrarisch geprägte Region Crans-Montana-Sierre zu einem Ort für Gesundheit (Höhenkliniken) und Sporttourismus (Golf, Wintersport). Dies löste einen bis heute andauernden Bauboom aus. Der Wasserbedarf stieg jedoch nicht nur wegen dem wachsenden Tourismus und der Bevölkerungszunahme, sondern auch wegen der Intensivierung der Landwirtschaft und des Weinbaus. Im Jahr 1957 kam die Wasserkraft hinzu. Sie erhöhte zwar den Wasserbedarf, entschärfte jedoch den landwirtschaftlichen Nutzungsdruck, indem sie die industrielle Entwicklung im Tal ermöglichte (z.B. entstanden Arbeitsplätze in den Aluminiumwerken Sierre).

Heute konkurrenzieren sich in den Gemeinden der Region verschiedene Wassernutzungen (Abb. 4, 7). Obschon der jährliche Wasserverbrauch nur bei rund 10 Prozent des Wasserdargebots in der Region liegt (Abb. 4), kommt es bereits heute zu saisonaler und örtlicher Wasserknappheit, insbesondere im Winter bei geringen Abflussmengen und stark schwankendem Verbrauch durch den Tourismus.

Wasserkraftnutzung

Im Jahr 1957 hat die Electricité de la Lienne SA von den Gemeinden Icogne, Ayent, St-Léonard und Sion eine **Konzession zur Nutzung des Wassers** für die Stromerzeugung erhalten. Weil es damals noch keine **Restwasserbestimmungen** für die Wasserentnahme aus Gebirgsbächen gab, muss die Electricité de la Lienne SA die Restwassermenge erst ab 2037 berücksichtigen, wenn sie ihre Konzession erneuert. Heute werden rund 85 Prozent der jährlich genutzten Wassermenge (60 – 80 Mio. m³ Wasser) in den Stausee Lac de Tseuzier auf 1800 m ü.M. umgeleitet (Abb. 4 und 5). Dieses Wasser gelangt erst im Rhonetal wieder ins Gewässersystem zurück.

Die Energiepolitik der Schweiz zielt in den kommenden Jahrzehnten darauf, erneuerbare Energien verstärkt zu nutzen. Die **Wasserkraftproduktion** in der Region Crans-Montana-Sierre bleibt damit relevant und kann durch den erhöhten Gletscherabfluss bis 2050 noch gesteigert werden. Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen im Gebirge wird die Stromproduktion mit Speicherseen auch nach dem vollständigen Abschmelzen des Gletschers um 2085 möglich sein.

Saisonale und örtliche Wasserknappheit sind ohne wasserspeichernde Gletscher häufiger zu erwarten. Um solchen Situation entgegenzuwirken, könnten Stauseen wie der Lac de Tseuzier vermehrt als **Mehrzweckspeicher** für Wasserkraft, Trinkwasser, Bewässerung, Beschneiung sowie für den Hochwasserschutz genutzt werden. Diese Möglichkeiten bestehen bereits heute, allerdings verbunden mit hohen Kosten.

Liegt der Stausee tiefer als das Skigebiet, sind für die Beschneiung kleinere Speicherseen in höheren Lagen besser geeignet, weil das Wasser nicht mehr hochgepumpt werden muss (Energieverbrauch und -kosten).

Landwirtschaft

An den trockenen Hängen der Region ist die Bewässerung von Wiesen eine entscheidende Voraussetzung für die Viehhaltung, die Erzeugung lokaler Produkte wie Käse und Wein und die Erhaltung der traditionellen Kulturlandschaft. Daher leitet die Landwirtschaft seit dem Mittelalter das Wasser der Bergbäche in offenen Kanälen, den **Suonen** (französisch «bisses»), zur Bewässerung auf ihre Wiesen

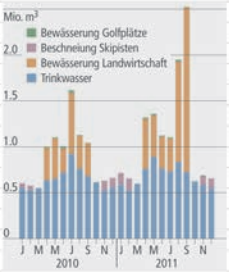


Abb. 4: Wasserverbrauch in der Region Crans-Montana-S trockenes Jahr (gerundete Zahlen). (nach Weingartner R.

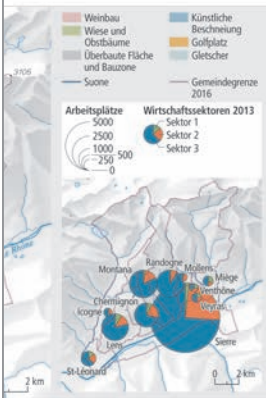
Abb. 5: Tseuzier-Stausee mit einer Kapazität von 50 Mio. m³ Wasser auf 1800 m ü.M. (Foto: Hanspeter Liniger)

Abb. 7: Wassernutzung und Wasserressourcen rechts der der Region Crans-Montana-Sierre (nach Bonriposi M., 20

	m³ pro Jahr 2010	m³ pro Jahr 2011
Bewässerung Golfplätze	80 000	90 000
Beschneiung Skipisten	300 000	450 000
Bewässerung Landwirtschaft	2 400 000	4 800 000
Trinkwasser	7 700 000	8 200 000
Total (ohne Wasserkraft)	**10 500 000**	**13 600 000**
Wasserkraft	76 500 000	61 200 000

ierre. 2010 war ein vergleichsweise normales, 2011 ein et al., 2014)

Abb. 6: Suonen für die traditionelle Wiesenbewässerung werden jährlich gereinigt. (Foto: Mariano Bonriposi)



Rhone sowie Wirtschaftssektoren nach Arbeitsplätzen in 14; Kanton Wallis, 2013)

(Abb. 6). In Crans-Montana-Sierre führen die Suonen jährlich rund 5–6 Mio. m³ Wasser aus höheren Lagen in die Region. Davon werden je nach Witterung rund 2–5 Mio. m³ für die landwirtschaftliche Bewässerung verwendet (Abb. 4). Meistens kann der **Bewässerungsbedarf** auf diese Art und Weise gedeckt werden. Im extremen Dürrejahr 2003 mit einem Bedarf von 7.3 Mio. m³ Wasser reichte das Suonenwasser jedoch nicht aus.

Das in Suonen verfügbare Wasser wird voraussichtlich mit dem Verschwinden des Plaine-Morte-Gletschers stark zurückgehen. Insbesondere im Spätsommer ist mit häufigeren Trockenphasen und je nach Gemeinde mit Engpässen beim Bewässerungswasser zu rechnen. Dies wird sich vor allem auf den zweiten Grasschnitt auswirken. Der Weinbau ist weniger betroffen, weil Reben bis zu einem gewissen Grad trockenresistent sind. Die bewässerungsabhängige Landwirtschaft ist durch den Klimawandel gefordert; als Massnahmen werden technische Verbesserungen (z.B. Tröpfchenbewässerung), Weiterbildung, Regeln für die Wasserentnahme und ökonomische Anreize für Einsparungen diskutiert.

Tourismus

Auf dem Plateau von Montana leben rund 15 000 Personen. Während der Hochsaisons in Sommer und Winter steigt die Bevölkerung mit den Feriengästen auf 50 000 Personen an. Es braucht Wasser, um die Gäste zu versorgen, Rasen und Gärten zu bewässern, die Skipisten zu beschneien und für den Unterhalt des Golfplatzes (Abb. 4). Insbesondere der **Trinkwasserverbrauch** unterliegt beträchtlichen saisonalen und täglichen Schwankungen. Beispielsweise entstehen Nutzungsspitzen am späten Nachmittag, wenn die Touristinnen und Touristen von der Piste oder den Wanderungen zurückkehren.

Der Wasserbedarf für die **Beschneiung** hängt hauptsächlich von der Schneefallmenge von Oktober bis Dezember ab, da in dieser Zeit die Grundlage für den Pistenaufbau gelegt wird. In den folgenden Monaten reicht der natürliche Schneefall in der Regel für die weitere Pistenpräparation aus. Beispielsweise benötigten die Beschneiungsanlagen im Winter 2010/2011 wegen des ausbleibenden Schneefalls in der gesamten Jahreszeit 50 Prozent mehr Wasser als in der vorangehenden Saison.

Die Landschaft in Crans-Montana-Sierre ist geprägt von attraktiven Seen, Fliessgewässern und Gletschern, historischen Wasserkanälen und bewässerten Kulturlandschaften. Einheimische und Gäste können die abwechslungsreiche Landschaft geniessen und Freizeitaktivitäten wie Wandern oder Skifahren nachgehen.

Mit dem Klimawandel erhöht sich der Bedarf an künstlicher Beschneiung, verändert sich die Attraktivität der Region Crans-Montana-Sierre (z.B. Karstfelsen anstatt Gletscher) und entstehen neue **Gefahrenpotentiale** (z.B. Steinschlag). Diese Veränderungen müssen bei der Planung von touristischen Angeboten berücksichtigt werden.

Trinkwasserversorgung

Der jährliche **Trinkwasserverbrauch** pro Kopf ist in den Gemeinden der Region Crans-Montana-Sierre sehr unterschiedlich. In einigen Gemeinden entspricht er dem schweizerischen Durchschnitt (115 m³ pro Einwohner und Jahr, inkl. Verbrauch in Gewerbe und Industrie), in anderen ist er wegen dem Tourismus und der Bewässerung von Gärten deutlich höher. Mit der Vervierfachung der Bevölkerungszahl seit 1910 in der Region hat auch der gesamte Trinkwasserverbrauch stark zugenommen.

Etwa ein Achtel der jährlichen Trinkwassermenge wird heute im Sommer für die Bewässerung von privaten Gärten und Rasenplätzen verwendet. Dies ist insbesondere im Spätsommer ein Problem, wenn das Wasser knapp wird. Den Haushalten in der Region wird das Wasser oft unabhängig vom Verbrauch über eine Pauschale verrechnet; die finanziellen Anreize für das Sparen beim Wasserverbrauch sind daher gering.

Wissen

Abb. 97 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Nachhaltige Wassernutzung

Eine **nachhaltige Wassernutzung** muss die Wasseransprüche von Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft kontinuierlich erfassen, um bestehende und zukünftige Konflikte frühzeitig zu erkennen und Synergien zu nutzen (Abb. 8). Ziel ist die Erhaltung der Ressource Wasser und ihrer natürlichen Regenerationsfähigkeit.

Die Wirtschaft sollte Interesse an einem nachhaltigen Umgang mit Wasser haben, damit:

- Bedürfnisse der Wirtschaftsbereiche (z.B. Landwirtschaft, Tourismus, Wasserkraft) nach Wasser befriedigt sind (Abb. 9 und 10);
- Kosten für die verschiedenen Wassernutzer (z.B. Industrie, Haushalte, Landwirtschaft) tragbar und fair verteilt sind;
- Schäden durch Hochwasser klein sind.

Die nachhaltige Nutzung von Wasser wird in der Schweiz seit Jahrzehnten weiterentwickelt, beispielsweise mit Kläranlagen zur Verbesserung der Wasserqualität, Sparmassnahmen beim Trinkwasserverbrauch oder dem **integralen Risikomanagement** von Hochwasser (vgl. Modul 1 «Hydrologische Extremereignisse»).

Das **Wassermanagement** in der Region Crans-Montana-Sierre befriedigt die Nachfrage nach Trinkwasser und Abwasserentsorgung und es hat die Entwicklung der Wasserkraft und von Freizeitangeboten ermöglicht. Die Wassernutzung der Region ist dennoch herausgefordert. Bestrebungen sind selten, die Ressource Wasser effizienter zu nutzen und so Wasserknappheitsprobleme zu mildern, z.B. durch die Trennung von Trink- und Bewässerungswasser, die Förderung effizienter Bewässerung mit **Tröpfchenbewässerung** oder den Ersatz undichter Wasserleitungen. Nur bei akuter Wasserknappheit werden die Menschen aufgefordert, vorübergehend Wasser zu sparen, beispielsweise durch ein Verbot der Land- und Gartenbewässerung oder der Autoreinigung.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 8: Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser (nach Schneider F. et al., 2014; Weingartner R. et al., 2014; Schmid F., 2014a/b)

Abb. 9: Bewässerung von Grasland mit Wasser aus Fliessgewässern (Foto: Hanspeter Liniger)

Abb. 10: In grossen Tourismusdestinationen wie Crans-Montana folgt der Trinkwasserverbrauch den saisonalen Schwankungen der Gästezahl. (Foto: Mariano Bonriposi)

Transfer

Abb. 98 | Themenblatt Nutzung des Wassers zu Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Arbeitsblatt: Nutzung des Wassers

«Die klimatischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen in der Schweiz führen in den nächsten Jahrzehnten zu Wassergengpässen für Mensch und Natur.» (Bruno Schädler, Hydrologe)

Fokus Für welche Ansprüche ist Wasser in der Region Crans-Montana-Sierre von zentraler Bedeutung? Welche Veränderungen führen zu Wasserkonflikten, welche ermöglichen Synergien und welche verlangen Massnahmen?

Stellen Sie die verschiedenen Ansprüche an die Nutzung von Wasser im Raum Crans-Montana-Sierre zusammen und schätzen sie mögliche Wasserkonflikte, Synergien sowie Massnahmen ab. Stellen Sie in der Tabelle Ihre Überlegungen und Begründungen zusammen.

Nutzung des Wassers in Crans-Montana-Sierre heute und morgen

Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen

Wissen Überprüfen Sie Ihre Überlegungen zu Ansprüchen, Konflikten, Synergien und Massnahmen bei der Nutzung von Wasser in Crans-Montana-Sierre.

Korrigieren, bestätigen und differenzieren Sie Ihre Überlegungen aus der vorherigen Aufgabe (Fokus), indem Sie die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) mit einer anderen Farbe in die Tabelle (oben) eintragen.

Transfer Für eine ganzheitliche Betrachtung der Wassernutzung in einer Region müssen die Ansprüche von Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft berücksichtigt werden.

Ist die Nutzung von Wasser in der Region Crans-Montana-Sierre aus wirtschaftlicher Sicht nachhaltig?

Bewerten Sie die Nachhaltigkeit der Nutzung von Wasser nach den fünf wirtschaftlichen Kriterien in Abbildung 8 für den Untersuchungsraum anhand der Informationen in Wissen und Transfer mit «sehr gut», «gut», «mittelmässig», «schlecht» oder «sehr schlecht» und begründen Sie.

Abb. 99 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Nutzung des Wassers, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Björnsen Gurung A., Stähli M., 2014: Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission, Bern.

Bonriposi M., 2014: Analyse systématique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Géovisions 43, Lausanne.

Lanz K. et al., 2014: Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Schmid F. et al., 2014a: Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft. Thematische Synthese 4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Schmid F. et al., 2014b: Wege zur nachhaltigen Wassergouvernanz. In: «Aqua & Gas», Nr. 11, Zürich.

Schneider F. et al., 2014: Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. In: Journal of Environmental Planning and Management, London.

Weingartner R. et al., 2014: MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Abb. 100 | Literaturangaben zu Themenblatt Nutzung des Wassers, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Nutzung des Wassers

Leitendes Lernziel

Die Lernenden erkennen verschiedene Ansprüche an die Wassernutzung in einer Region und erfassen den Einfluss von klimatischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen auf diese Ansprüche. Die daraus abgeleiteten Wasserkonflikte und Synergien sind Grundlage für die Diskussion einer nachhaltigen Wassernutzung.

Fokus

Filme und Fotos dienen der Beobachtung des Raumes und der verschiedenen vorkommenden Wassernutzungen und unterstützen mit dem Einbezug des Vorwissens die Formulierung von Hypothesen.

Wissen

Lösungsvorschlag Nutzung des Wasser in Crans-Montana-Sierre heute und morgen:

Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen
Wasserkraft	• Klimawandel: der erhöhte Gletscherabfluss bis 2050 ermöglicht eine Steigerung der Wasserkraftproduktion, anschliessend gewährleistet die im Gebirge hoch bleibende Niederschlagsmenge die Wasserkraftproduktion	• Restwassermengen nicht berücksichtigt mit Auswirkungen auf das Ökosystem und nachfolgende Wassernutzung • Abflussveränderungen durch Abschmelzen des Gletschers	• multifunktionale Nutzung des Stausees	• multifunktionale Nutzung des Stausees • Restwassermengen berücksichtigen
Landwirtschaft	• Klimawandel: veränderter Abfluss durch Abschmelzen des Gletschers, häufigere Trockenphasen • Bewässerung mit Wasser von Suonen reicht in extremen Trockenphasen (z.B. Dürrejahr 2003) nicht mehr aus • Viehwirtschaft (Weide) und Weinbau werden von Bewässerungswasser abhängiger, aufgrund häufigeren Trockenphasen • touristische attraktive Kulturlandschaften erhalten	• Bewässerungsbedarf (Landwirtschaft und Tourismus), insbesondere im Spätsommer bei hoher Verdunstung und geringem Niederschlag sowie Abfluss • Klimawandel: Trockenheit zunehmend, Bewässerung existenziell	• multifunktionale Nutzung des Stausees	• verbesserte Bewässerungstechniken • wassersparende Anbaumethoden (z.B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge) • ökonomische Anreize • Preis für Wasser • Vereinbarungen, Vorschriften, Auflagen, Regeln • Direktzahlungen für Unterhalt der Kulturlandschaft nach Vorgaben
Bevölkerung (Trinkwasserversorgung und Erholungsräume)	• Bevölkerungszunahme seit 1900 • Hochsaison Tourismus: plus 35 000 Personen • Klimawandel: veränderter Abfluss • Verbauung und Trockenlegung von Ökosystemen im und am Gewässer	• saisonale und tägliche Schwankungen wegen Tourismus • Raumplanung: Raumnutzungskonflikte	• multifunktionale Nutzung des Stausees • Hochwasserschutz	• Bewässerung von Gärten und Rasen nicht mit Trinkwasser • Grünanlagen wassersparender gestalten • Preis für Wasser • Renaturierung, Schutzgebiete

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Ansprüche an Wasser und Gewässer	Veränderungen	Konflikte	Synergien	Massnahmen
Tourismus (Bewässerung von Golfplatz und Gärten, Beschneiung und Erholungsräume, vgl. oben)	• Wachstum ab 1900, mit Bauboom ab 1960 • Hochsaison: plus 35 000 Personen (Trinkwasser, Rasen, Gärten, Golf, Beschneiung) • Klimawandel (vgl. Spalte rechts)	• Bewässerungsbedarf von Golfrasen und Gärten (vgl. Landwirtschaft) • Wasserkraft: Niedrigwasser vermindert die Attraktivität der Landschaft • Klimawandel: Ansteigen der Schneefallgrenze, Attraktivität der Landschaft (Trockenphasen und Abschmelzen der Gletscher), neue Gefahrenpotentiale	• multifunktionale Nutzung des Stausees	• dito Bevölkerung • touristische Angebote den klimabedingten Veränderungen anpassen
Fazit	• Untersuchungen in der Region Crans-Montana-Sierre zeigen, dass bis 2050 genügend Wasser zur Verfügung steht. Es kann jedoch zu saisonaler und örtlicher Wasserknappheit kommen, was vor allem durch die sozioökonomische Entwicklung (Intensität der Landnutzung, Siedlungs- und Wirtschaftswachstum) beeinflusst wird und weniger durch den Klimawandel. • Nach 2050 wird die Wasserverfügbarkeit immer stärker durch den Klimawandel beeinflusst. Wasserknappheit dürfte dann in zwei Perioden regelmässiger auftreten. einerseits im Spätsommer, wegen der jahreszeitlich früheren Schneeschmelze, dem geringeren Niederschlag, dem gesteigerten Wasserbedarf der Vegetation und der zunehmenden Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen und Gärten, andererseits im Winter mit dem erhöhten Trinkwasserverbrauch durch den Tourismus.	• viele verschiedene Wassernutzungen verteilt über 11 Gemeinden • jährliches Wasserdargebot ist grösser als Wasserverbrauch und -nutzung, trotzdem tritt saisonale Wasserknappheit auf	• multifunktionale Nutzung des Stausees (Wasserkraft, Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneiung)	• multifunktionale Nutzung des Stausees kombiniert mit wassersparenden Massnahmen • Preismodelle für Wasser • von der aktuell dominierenden Angebotssteuerung (Wasserverfügbarkeit verbessern) hin zur Nachfragesteuerung, (Wasserbedarf reduzieren, verschiedene Nutzungen besser koordinieren)

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Kommentar

Forscherinnen und Forscher starteten mit der Hypothese, dass die Pistenbeschneiung im Winter und die Bewässerung der Golfanlagen im Sommer sehr viel Wasser verbrauchen. Das Projekt zeigte aber, dass dieser Wasserverbrauch vernachlässigbar ist (Abb. 4). Im Winter leben viermal mehr Leute in Montana als im Sommer. Das meiste Wasser wird aber nicht im Winter, sondern im Sommer verbraucht, insbesondere für die Bewässerung der Gärten und in der Landwirtschaft.

Wassernutzungen in Crans-Montana-Sierre:

- Rund 88 Prozent der gesamten genutzten Menge dient der Elektrizitätsgewinnung (60 – 80 Mio. m^3 pro Jahr).
- Bewässerung, Trinkwasser, Beschneiung machen ca. 12 Prozent der genutzten Menge aus (10.5 – 13.5 Mio. m^3 pro Jahr).
- Innerhalb dieser 12 Prozent stellt die Trinkwasserversorgung den grössten Nutzer dar (4.65 Mio. m^3 pro Jahr), wobei ein grosser Teil des Trinkwassers ebenfalls der Bewässerung dient.
- Der maximale Wasserverbrauch (zum grossen Teil für die Bewässerung) steigt während trockener Jahre stark, die Bewässerungsmengen waren im Trockenjahr 2011 doppelt so hoch wie 2010. Der Druck auf die Wasserressourcen wird im Winter (Touristensaison) und in der zweiten Sommerhälfte (Bewässerung) generell steigen.

(aus: NFP 61 Thematische Synthese 2: Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck)

Im Einzugsgebiet des Tseuzier-Stausees besteht ein grosses Wasserpotential. Hier liegt der Schlüssel zur sicheren Wasserversorgung der Region Montana, auch nach 2050. Mit dem Auslaufen der aktuellen Konzession (2037) bieten sich hier interessante Möglichkeiten, den Stausee als Mehrzweckspeicher für Wasserkraft, Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneiung zu verwenden.

Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsresultaten des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.

Bedürfnisse Tourismus und Wasserkraft: «gut»

Die Entwicklung von hervorragenden Angeboten für Freizeit und Erholung (Tourismus) wurde ermöglicht und die Wasserkraftnutzung spielt eine bedeutende Rolle für die Ökonomie der Region. Stromerzeugung aus Wasserkraft hängt von Niederschlag und von Gletscher- und Schneeschmelze ab. Während die Schneeschmelze von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausfällt, liefert die Gletscherschmelze in den letzten Jahren regelmässigere Jahresabflussmengen.

Bedürfnisse der Landwirtschaft: «mittelmässig»

Bewässerung ist eine entscheidende Voraussetzung für die Landwirtschaft auf den trockenen Hängen in der Region Crans-Montana-Sierre. Verfügbarkeit von Wasser ermöglicht es Bauern Vieh zu halten und lokale Produkte wie Käse und Wein zu erzeugen. Obschon die bestehenden Wasserrechte die Landwirtschaft stark begünstigen (historische Wasserrechte für die Bewässerung), ist sie bei Wasserknappheit unter allen Wassernutzern am stärksten betroffen. In Trockenzeiten erhalten andere Wassernutzungen höhere Priorität, z.B. die Trinkwasserversorgung für Einheimische und Gäste. Wiesen sind die von Wasserknappheit am stärksten betroffene landwirtschaftliche Kultur, weil nicht alle Wiesen bewässert werden können (z.B. Wiesen in höheren Lagen als die Wasserkanäle), bei Niedrigwasser (z.B. 2003) die Bewässerung von Wiesen nicht erlaubt ist und fehlende Bewässerung insbesondere im Spätsommer entsprechende Folgen auf den zweiten Grasschnitt hat. Demgegenüber ist der Weinbau weniger von Wasserknappheit betroffen, weil Reben einer mässigen Trockenheit widerstehen.

Wassernutzungen: «mittelmässig»

Die Wassernutzungen wurden nur als mittelmässig beurteilt, weil in der Landwirtschaft ein nicht vernachlässigbarer Teil der Bewässerung mit Trinkwasser erfolgt. Die Gewässerbewirtschaftung erhielt bezüglich des quantitativen Gewässerschutzes sogar die Beurteilung «sehr schlecht», weil die minimalen Restwassermengen nicht im Sinne des eidgenössischen Gesetzes über den Gewässerschutz berücksichtigt werden.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Bemühungen die Wasserknappheitsprobleme zu mildern (Ressourceneffizienz), sind selten, z.B. die Verwaltung von Wasserbedarf durch die Trennung der Trink- und Bewässerungswasser-Infrastruktur, Förderung einer effizienteren Bewässerung (Tröpfchenbewässerung) oder die Beseitigung der Wasserverluste durch Reparatur von Leckagen. Nur in Zeiten der akuten Wasserkrise werden die Menschen aufgefordert, vorübergehend Wasser zu sparen, beispielsweise durch ein Verbot der Land- und Gartenbewässerung oder der Autoreinigung. Ausserdem berücksichtigt die Regionalplanung (z.B. für den Bau von Infrastruktur für den Tourismus) bei Projekten häufig die damit verbundene Zunahme des regionalen Wasserbedarfs nicht. Diese Entwicklungen schaffen jedoch Wassernutzungsstrukturen und Wasserbedürfnisse, die möglicherweise in der Zukunft den Handlungsspielraum begrenzen.

Schäden durch Hochwasser:
Keine Bewertung, da dieses Kriterium nicht explizit untersucht wurde.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 101 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Nutzung des Wassers, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Wasserverteilung

Die Schweiz wird auch im Jahr 2100 dank der Alpen ausreichend Niederschlag und damit Wasser erhalten. Mit dem **Klimawandel** verändert sich jedoch die saisonale Verteilung der Niederschläge. Zudem nimmt der Schmelzwasserabfluss im Sommer stark ab, weil die Gletscher bis 2100 verschwinden und die Schneemengen abnehmen werden. Das Fehlen dieser Wasserspeicher verschärft insbesondere während Hitzeperioden die Wasserknappheit.

Die **Wasserwirtschaft** ist nicht nur in solchen Situationen mit der optimalen **Wasserverteilung** an Nutzerinnen und Nutzer gefordert. Sie kämpft auch mit der komplexen Aufgabenteilung zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden. Und weil Flüsse und Grundwasserströme sich nicht an Gemeinde- und Kantonsgrenzen halten, stehen sich oft verschiedene Wassernutzungsinteressen gegenüber. Deshalb ist es schwierig, gemeinsam Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser zu entwickeln.

Auch in der Region Crans-Montana-Sierre sind über die Gemeinden verteilt viele Wassernutzer vertreten: Wasserkraft, Rebbau, Landwirtschaft, Trinkwasserversorgungen für Einheimische und Gäste, Tourismus mit beschneiten Pisten und bewässerten Golfrasen (Abb. 1–4). Die Wasserverteilung ist entsprechend komplex. Mit der Klimaerwärmung wird zudem die jährliche Schmelzwassermenge vom Plaine-Morte-Gletscher bis 2050 zunehmen, anschliessend markant abnehmen und 2085 wird der Gletscher verschwunden sein. Dank des hochalpinen **Einzugsgebiets** bleibt die **jährliche Niederschlagsmenge** in der Region jedoch hoch. Neben dem Klimawandel spielen auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen für die zukünftige Wassersituation eine grosse Rolle.

Abb. 1: Der Stausee Lac de Tseuzier speichert Wasser für die Stromproduktion. (Foto: Tom Reist)

Abb. 2: Die Suone Grand Bisse de Lens leitet vom Bergbach Ertentse Bewässerungswasser für die Landwirtschaft ab. (Foto: Flurina Schneider)

Abb. 3: Tourismus benötigt Trinkwasser sowie Wasser, um Skipisten zu beschneien und Golfanlagen und Gärten zu bewässern. (Foto: Emmanuel Rey)

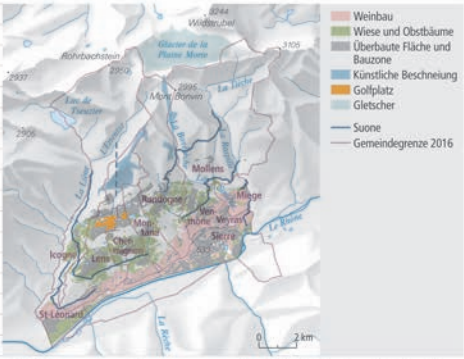


Abb. 4: Wassernutzung und Wasserressourcen rechts der Rhone in den ehemals 11 Gemeinden der Region Crans-Montana-Sierre (nach Bonriposi M., 2014)

Fokus

Abb. 102 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Ausgangssituation

Die Region Crans-Montana-Sierre reicht bis in Hochlagen von 3000 m ü.M. Da die jährlichen Niederschlagsmengen mit zunehmender Gebietshöhe zunehmen, erhalten diese Hochlagen bedeutend mehr Niederschlag als das trockene Rhonetal. In Crans-Montana-Sierre fliesst das meiste Wasser in Frühjahr und Sommer als Schmelzwasser ab. Trotz der insgesamt grossen Menge an verfügbarem Wasser gibt es lokale und saisonale Engpässe.

Für die Stromerzeugung werden rund 85 Prozent der jährlich genutzten Wassermenge in den Lac de Tseuzier auf 1800 m ü.M. abgezweigt. Dieses Wasser wird unten im Rhonetal turbiniert und steht deshalb für andere Nutzungen in der Region nicht zur Verfügung. Die Verteilung der restlichen 15 Prozent (~13 Mio. m³ Wasser) ist aus verschiedenen Gründen komplex und unübersichtlich:

- Die Wasserverteilung basiert teilweise auf **Wasserrechten**, die seit Jahrzehnten oder sogar Jahrhunderten in Kraft sind (Abb. 5). Diese alten Wasserrechte begünstigen vorwiegend die Landwirtschaft und erschweren den Zugang für neue Wassernutzungen (z.B. Beschneiung).
- Viele der zahlreichen Vereinbarungen sind informell und nicht schriftlich festgehalten, beispielsweise jene über die Verteilung des Bewässerungswassers (Abb. 2 und 5).
- Gemeinden mit grossen und wasserreichen Einzugsgebieten im Hochgebirge haben mehr Möglichkeiten, ausreichend Wasser zu erhalten, als Gemeinden an tiefer gelegenen Hängen ohne eigene **Quellen**. Dieselben Vorteile haben Gemeinden, welche historische Wasserrechte für Quellen ausserhalb ihres Gemeindegebietes besitzen. Diese Unterschiede führen zu stark unterschiedlichen Wasserpreisen und Infrastrukturkosten in den einzelnen Gemeinden. Aus den genannten Gründen kann die wasserreichste Gemeinde Icogne, mit nur 500 Einwohnern, mehr als 50 Prozent der regionalen Wasserressourcen nutzen. Sie bleibt nicht nur von der Wasserknappheit verschont, sondern kann **Wasserkraftkonzessionen** vergeben und erhebliche Einnahmen generieren. Die wasserärmste Gemeinde Veyras muss dagegen einen Grossteil ihres **Trinkwassers** von anderen Gemeinden kaufen und ist daher stark von ihnen abhängig. Im nationalen und internationalen Vergleich liegt der Wasserpreis in allen Gemeinden jedoch eher tief.
- Die Zusammenarbeit der Gemeinden war bisher mässig, die Gemeindeautonomie wurde meistens als wichtiger eingestuft. Deshalb ist die **Wasserinfrastruktur** ohne übergeordnete regionale Planung entstanden und gewachsen, vorwiegend der landwirtschaftlichen und touristischen Entwicklung folgend. Erst 2016 haben sich die Gemeinden zu einem Planungsverband zusammengeschlossen – ein Meilenstein für die Verbesserung der Wasserversorgung.
- Für die Wasserverteilung ist es erschwerend, dass die politischen Grenzen der Gemeinden nicht übereinstimmen mit jenen der hydrologischen Einzugsgebiete.
- Gemeinden mit ausreichendem und vernetztem Wasserzugang können günstigere Vereinbarungen mit anderen Gemeinden oder Benutzergruppen erzielen. Dies ist der Fall für die Gemeinden des Haut-Plateau, welche sich besser koordinieren als die Gemeinden an den unteren Hängen.
- Zum Teil fehlt die Kontrolle, wieviel Wasser verbraucht wird, da einige Häuser keinen Wasserzähler haben. Ihnen wird das Wasser kostenlos oder gegen einen eher tiefen Pauschalbetrag geliefert.

Diese Situation macht es schwierig, präventiv und flexibel auf heutige und zukünftige Herausforderungen zu reagieren. Der neue Planungsverband kann nun aber Abhilfe schaffen, indem er zwischen den vielfältigen Interessen vermittelt und transparente Entscheidungsprozesse ermöglicht.

Trinkwasser

Während die Trinkwasserversorgung in der Region für alle Bewohnerinnen und Touristen während des ganzen Jahres gewährleistet

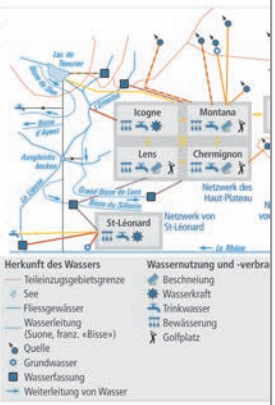
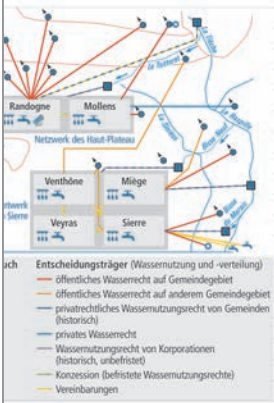


Abb. 5: Wasserversorgungssysteme der ehemals 11 Ger Schneider F., Homewood Ch., 2013; Weingartner R. et a

Abb. 6: Stausee Lac de Tseuzier auf 1800 m ü.M. Die «E zung des Wassers für die Produktion von elektrischer En

Abb. 7: Die Wasserverteilung mittels Suonen beruht hä barungen. (Foto: Bruno Schädler)



heinden in der Region Crans-Montana-Sierre (nach L, 2014)

lectricité de la Lienne SA» hat die Konzession zur Nut- ergie für die Jahre 1957 bis 2037. (Foto: Emmanuel Rey)

ufig auf historischen Rechten oder mündlichen Verein-

werden kann, ist die Versorgungsicherheit in den einzelnen Gemeinden sehr unterschiedlich. Beispielsweise ist die Trinkwasserversorgung der ehemaligen Gemeinde von Randogne gut abgesichert, da sie das Trinkwasser von sieben Quellen aus drei verschiedenen Einzugsgebieten bezieht und zusätzlich mit der ehemaligen Gemeinde Mollens und dem gesamten Netzwerk des Haut-Plateau verbunden ist (Abb. 5). Die Gemeinde Veyras hat dagegen keinen direkten Anschluss an eine **Quelle** oder ans **Grundwasser** und wird nur über das Netzwerk von Sierre mit Trinkwasser versorgt. Dementsprechend gross ist ihre Abhängigkeit von der Trinkwasserversorgung von Sierre. Grundsätzlich ist die Trinkwasserversorgung einer Gemeinde sicherer, wenn sie vernetzt und diversifiziert ist, d.h. das Wasser aus Quellen- oder Grundwasserbeständen mehrerer Einzugsgebiete bezogen wird.

Landwirtschaft

Obschon die bestehenden, historisch gewachsenen **Wasserrechte** die Landwirtschaft begünstigen, ist diese bei Wasserknappheit am stärksten betroffen. In Trockenzeiten haben andere Wassernutzungen, wie die Trinkwasserversorgung, eine höhere Priorität. Die in der Region weit verbreiteten Wiesen sind bei Wasserknappheit besonders stark betroffen, weil ihre **Bewässerung** dann nicht vollumfänglich möglich oder nicht erlaubt ist. Fehlende Bewässerung reduziert den Ertrag des zweiten Grasschnitts im Spätsommer stark. Der Weinbau ist weniger von Wasserknappheit betroffen, weil Reben einer mässigen Trockenheit gut widerstehen.

Auch bezüglich Bewässerungswasser bestehen Unterschiede zwischen den Gemeinden. Nur einzelne Gemeinden haben Speicherseen als Wasserreserve für die Bewässerung in Trockenperioden. Beispielsweise verfügt die ehemalige Gemeinde Chermignon über eine Wasserfassung beim Speichersee Lac de Chermignon, der das Wasser vom Gebirgsbach Ertentse auffängt. Für andere Körperschaften besteht diese Möglichkeit aufgrund ihrer Lage und ihrer Wasservorkommen nicht.

Tourismus

Auf dem Plateau von Montana leben rund 15 000 Personen. In der Hochsaison wächst die Bevölkerung – zusammen mit dem Tourismus – auf 50 000 Personen. Der Tourismus führt zu beträchtlichen Spitzen im **Wasserverbrauch**, sowohl saisonal als auch im Tagesverlauf. Die Tourismuswirtschaft braucht Wasser vorwiegend als Trinkwasser für die Gäste, aber auch zur Bewässerung von Rasen und Gärten, zur Beschneiung von Skipisten und für den Unterhalt des Golfplatzes.

In touristischen Gemeinden übersteigt die Nachfrage nach Trinkwasser zuweilen das verfügbare Angebot, vor allem bei hoher Gästezahl und winterlichem **Niedrigwasser** oder sommerlichen Trockenperioden. Mit Wasserreservoiren und Speicherseen wird versucht, dieses Ungleichgewicht zwischen **Wasserdargebot** und Wasserverbrauch auszugleichen.

Wasserkraft

Der Stausee Lac de Tseuzier liegt auf rund 1800 m ü.M. und wird hauptsächlich vom Plaine-Morte-Gletscher gespeist (Abb. 6). Die Electricité de la Lienne SA hat die Konzession zur Nutzung des Wassers im Jahr 1957 von den Gemeinden Icogne, Ayent, St-Léonard und Sion erhalten. Bei Wasserknappheit müssen diese Gemeinden dem Kraftwerk Wasser abkaufen. Der Kaufpreis ist relativ hoch, da er dem entgangenen Erlös bei der Stromproduktion entspricht. Spätestens bei der Erneuerung der Konzessionen im Jahr 2037 besteht die Möglichkeit, den Stausee als **Mehrzweckspeicher** für Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneiung zu nutzen. Solche Speicherseen könnten fehlende Gletscher und abnehmende Schneemengen kompensieren und so den erhöhten Wasserbedarf infolge klimatischer und sozioökonomischer Veränderungen in betroffenen Gemeinden decken.

Wissen

Abb. 103 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Solidarische Wasserverteilung

Der nachhaltige Umgang mit Wasser (Abb. 8) bedeutet auf gesellschaftlicher Ebene, dass:

- Kosten, Nutzen und Risiken unter allen Beteiligten gerecht und solidarisch verteilt sind;
- Entscheidungsprozesse bezüglich Wasserverteilung auf gesetzlichen Vorgaben (Rechtsstaatlichkeit), der Weitergabe relevanter Informationen (Transparenz) und dem unparteiischen Einbezug aller Beteiligten (Nichtdiskriminierung) basieren; hierzu sind Institutionen wichtig, die Verhandlungen und kollektive Entscheidungsfindungen zwischen allen Betroffenen ermöglichen;
- Gewässer als Kulturgut (z.B. historische Bewässerungskanäle) und zur Erholung (z.B. Flusslandschaften) erhalten bleiben und Tourismusaktivitäten (z.B. Wassersport) weiterhin möglich sind;
- die Grundbedürfnisse der Menschen nach sauberem Trinkwasser und hygienischer Abwasserentsorgung erfüllt sind.

Eine gerechte Wasserverteilung muss sich kontinuierlich den verändernden Bedingungen anpassen. Dabei müssen neben neuen Wirtschaftszweigen auch wohlerworbene Rechte und die damit verbundenen Investitionen berücksichtigt werden, beispielsweise jene für den Bau von **Suonen** oder bei der Fassung von Quellen (Abb. 9 und 10).

Die Wasserverteilung in der Region Crans-Montana-Sierre befriedigt die aktuelle Nachfrage nach Trinkwasser und hat die Entwicklung von Angeboten für Freizeit und Erholung ermöglicht. Ein nicht vernachlässigbarer Teil des Trinkwassers wird jedoch von der Landwirtschaft zur Bewässerung verwendet. Zudem müssen Wasserkraft und Landwirtschaft bei der Entnahme von Wasser aus Fliessgewässern die **Restwasserbestimmungen** nicht beachten, was immer wieder zu Niedrigwasser in Fliessgewässern und Seen führt, mit entsprechenden Nachteilen für Fauna und Flora sowie für das Landschaftsbild.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 8: Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser (nach Schneider F. et al., 2014; Weingartner R. et al., 2014; Schmid F., 2014a/b)

Abb. 9: Wasserfassung und -verteilung bei Mollens, 2011 (Foto: Emmanuel Rey)

Abb. 10: Wasserverteilung zur Bewässerung in Chermignon, 2011 (Foto: Emmanuel Rey)

Transfer

Abb. 104 | Themenblatt Wasserverteilung zu Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Arbeitsblatt: Wasserverteilung

In den meisten Regionen der Schweiz steht heute – dank der Gletscher und der hochalpinen Schneedecken – auch in Hitzeperioden genügend Wasser zur Verfügung. Bis Ende dieses Jahrhunderts werden die Gletscher im Alpenraum weitgehend abschmelzen und Trockenperioden häufiger und intensiver auftreten.

Fokus

Wie muss die Wasserverteilung in der Schweiz angepasst werden, um trotz abgeschmolzener Gletscher überall und ganzjährlich genügend Wasser für alle berechtigten Ansprüche bereitstellen zu können?

Stellen Sie Stossrichtungen für eine zukunftsorientierte Wasserverteilung in der Schweiz am Beispiel der Region Crans-Montana-Sierre (Abb. 1–4) zusammen und begründen Sie Ihre Überlegungen.

Wissen

Vergleichen Sie Ihre Überlegungen für eine zukunftsorientierte Wasserverteilung mit der aktuellen Wasserverteilung in der Region Crans-Montana-Sierre.

Transfer

Für eine ganzheitliche Betrachtung der Wassernutzung in einer Region müssen die Ansprüche von Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft berücksichtigt werden.

Ist die Nutzung von Wasser in der Region Crans-Montana-Sierre nachhaltig bezüglich der gesellschaftlichen Solidarität?

Bewerten Sie die gesellschaftliche Nachhaltigkeit bei der Nutzung von Wasser für den Untersuchungsraum. Dazu geben Sie anhand der Informationen in Wissen und Transfer an, ob die Kriterien in Abbildung 8 «sehr gut», «gut», «mittelmässig», «schlecht» oder «sehr schlecht» erfüllt sind. Begründen Sie Ihre Einschätzungen.

Abb. 105 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserverteilung, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Björnsen Gurung A., Stähli M., 2014: Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Bonriposi M., 2014: Analyse systématique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Géovisions 43, Lausanne.

Lanz K. et al., 2014: Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Schmid F. et al., 2014a: Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft. Thematische Synthese 4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Schmid F. et al., 2014b: Wege zur nachhaltigen Wassergouvernanz. In: «Aqua & Gas», Nr. 11, Zürich.

Schneider F., Homewood Ch., 2013: Exploring Water Governance Arrangements in the Swiss Alps From the Perspective of Adaptive Capacity Author(s). In: Mountain Research and Development, 33(3):225–233.

Schneider F. et al., 2014: Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. In: Journal of Environmental Planning and Management, London.

Thut W. K. et al., 2016a: Klimawandel führt zu Wasserengpässen für Mensch und Natur. Mehrzweckspeicher sichern Wasser- und Energieversorgung. Fact Sheet. Geographisches Institut der Universität Bern.

Thut W. K. et al., 2016b: Zur Bedeutung von Mehrzweckspeichern in der Schweiz. Anpassung an den Klimawandel. In: «Wasser Energie Luft» Heft 3, Baden.

Weingartner R. et al., 2014: MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Abb. 106 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserverteilung, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Wasserverteilung

Leitendes Lernziel

Die Lernenden erkennen ausgehend von der aktuellen Wasserverteilung in der Region Crans-Montana-Sierre exemplarisch die Herausforderungen der Wasserverteilung und sicheren Wasserversorgung für die Zukunft.
Die Lernenden beurteilen die gesellschaftliche Nachhaltigkeit beim Umgang mit Wasser in der Region. Dabei wenden sie die erworbenen Kenntnisse zur Wasserverteilung an und lernen die Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser kennen.

Fokus

Mit der komplexen Aufgabenteilung und den verschiedenen Wassernutzern sind immer wieder Aushandlungsprozesse zwischen den Beteiligten nötig.

Wissen

Lösungsvorschlag zum Auftrag:
Die historisch entstandene Wasserverteilung muss aus verschiedenen Gründen angepasst und übersichtlicher werden:

- Dies würde auch die Anpassung der historischen Wasserrechte ermöglichen.
- Damit könnte auch der aktuelle und zukünftige Bedarf im Tourismus und in der Wasserkraftproduktion langfristig geplant werden.
- Dadurch könnten auch bei gemeindeübergreifenden Projekten (z.B. Tourismus) die Auswirkungen auf den regionalen Wasserbedarf berücksichtigt werden.
- Dies würde eine regionale Institution für die Wasserbewirtschaftung schaffen, welche die Wassernutzungen der Gemeinden vereint, besser vernetzt, zwischen den vielfältigen Interessen solidarisch vermittelt und so transparente Entscheidungsprozesse ermöglicht.
- Zwischen den Gemeinden könnten der ungleiche Zugang zu Wasser, die Vernetzung der Trinkwasserversorgung besser hergestellt sowie die sehr ungleichen Wasserpreise angepasst werden, damit die Wasserversorgung für alle Gemeinden auch in Zukunft während den häufiger und stärker auftretenden Trockenzeiten gesichert ist.

Zudem können Stauseen in Zukunft fehlende Gletscher und abnehmende Schneemengen (Wasserspeicher) kompensieren und als Mehrzweckspeicher für Hochwasserschutz, Trinkwasser, Bewässerung und Beschneiung einen wichtigen Beitrag zur Wasserversorgung und -verteilung in allen Jahreszeiten leisten. In der Region Crans-Montana-Sierre besteht spätestens bei der Erneuerung der Konzessionen im Jahr 2037 die Möglichkeit, den Stausee Lac de Tseuzier auch als solchen Mehrzweckspeicher zu nutzen. Diese Möglichkeit wird zunehmend bedeutender, weil es mit den klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen für einige Gemeinden in der Region zunehmend schwieriger wird, ihren eigenen Wasserbedarf abzudecken.

Transfer

Der folgende Lösungsvorschlag zum Auftrag basiert auf den Forschungsresultaten des Projekts MontanAqua, welches als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» in der Region Crans-Montana-Sierre durchgeführt wurde.
Die Beurteilung der gesellschaftlichen Nachhaltigkeit fällt insgesamt als «schlecht» aus, hauptsächlich weil nicht alle Einwohnerinnen und Einwohner einen gleichwertigen Zugang zum Wasser haben und sie je nach Wohnort ganz unterschiedliche Preise für das Wasser bezahlen müssen.

Kosten, Nutzen und Risiken gerecht und solidarisch verteilt: «schlecht»
Der Zugang zu Wasser sowie Kosten, Risiken und Vorteile bei der Nutzung von Wasser sind zwischen den Gemeinden der Region sehr ungleich verteilt, wie die Beispiele der Gemeinden Icogne und Veyras deutlich zeigen. Die Gemeinden unterscheiden sich daher stark bezüglich der Abhängigkeit von überschüssigem Wasser anderer Gemeinden und der Wasserpreise, welche mehr als 100 % variieren können.
Für die solidarische Verteilung von Kosten, Nutzen und Risiken zwischen den Gemeinden ist erschwerend, dass die Trinkwasserversorgung in der Region über nicht weniger als 11 getrennte Trinkwasserverteilungsanlagen verteilt ist, mehr oder weniger koordiniert in 3 interkommunalen Netzwerken.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Entscheidungen zur Wasserverteilung: «mittelmässig»

Der Zugang zu Wasser und zu öffentlichen Verwaltungsgremien ist auf verschiedenen Ebenen (Bund, Kanton, Gemeinde und Privatrecht) geregelt. Entscheidungsprozesse laufen meist transparent ab, allerdings oft auf der Ebene der Brunnenmeister, welche das lokale und fachliche Wissen haben und nicht auf der Ebene der Politik. Dennoch gibt es einen Mangel an Transparenz, da die Wasserverteilung komplex und nicht übersichtlich organisiert ist. So hat niemand einen Überblick über die Wasserrechte oder Abmachungen, welche häufig auf mündlichen und informellen Vereinbarungen basieren. Am problematischsten ist, dass es auf regionaler Ebene keine Institution gibt, welche alle relevanten Wassernutzer vereint und zwischen ihren vielfältigen Interessen vermittelt.

Bedeutung der Gewässer für Kultur, Erholung und Freizeit: «gut»

Die Landschaft in Crans-Montana-Sierre ist geprägt von vielen Wasserelementen (Seen, Flüsse, historische Wasserkanäle, Gletscher und bewässerten Kulturlandschaften). Einwohnerinnen und Touristen können ihre Schönheit geniessen und Freizeitaktivitäten wie Skifahren, Wandern oder Schwimmen nachgehen.

Eine beträchtliche Menge Wasser wird für die Bewässerung in der Landwirtschaft, aber auch von Gärten und Parks verwendet, ohne dass dabei auf die Restwassermengen in den Fliessgewässern geachtet wird. Dasselbe gilt für die Wasserentnahme durch die Wasserkraft. Bei der Wasserentnahme gibt es einzig geringfügige Einschränkungen, vor allem in trockenen Jahren, wenn der Uferbereich aufgrund der geringeren Wasserstände unattraktiv ist oder kein Wasser in Flüssen und Wasserkanälen fliesst.

Grundbedürfnisse an Trinkwasser und Abwasserentsorgung: «gut»

Die Wasserversorgung für alle Bewohnerinnen und Touristen ist während des ganzen Jahres gewährleistet. Dennoch ist dieser Indikator nicht als sehr gut bewertet, weil saisonal (winterliche Niedrigwasser, Trockenperioden im Sommer) und örtlich (insbesondere in touristischen Gebieten) Wasserknappheiten auftreten. Zudem verfügen einige Gemeinden (z.B. Veyras) nur über wenige Wasserressourcen und sind bei ihrer Wasserbereitstellung von anderen Gemeinden stark abhängig. Andere Gemeinden, insbesondere solche in touristischen Gebieten mit Wasserknappheit im Winter, sind gezwungen, Wasser aus den Nachbargemeinden zu kaufen. Konventionen für diesen Wasseraustausch sind nicht immer in schriftlicher Form vorhanden. Deshalb besteht während einiger Perioden für abhängige Gemeinden das Risiko von Wasserknappheit. Die meisten Häuser in der Region sind ans Kanalisationsnetz angeschlossen, welches sämtliche Abwässer aus der Untersuchungsregion in die zentrale Abwasseranlage in Sierre leitet. Der Anteil der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ist klein, daher sind auch Wasserverunreinigungen mit Dünger oder Pestiziden im allgemeinen gering. So stellt die Wasserqualität kein signifikantes Problem in der Region dar. Gelegentlich können jedoch Probleme aufgrund der Viehhaltung auftreten. Zu beachten ist, dass Gewässer in Karstregionen allgemein sehr anfällig für Verschmutzung sind (vgl. Themenblatt «Wasserdargebot»). Bei den Rebbergen ist mit Schwefeleintrag zu rechnen, Messungen liegen in der Region jedoch keine vor.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 107 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserverteilung, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Wasserbewirtschaftung bis 2100

Der **Klimawandel** ist in der Schweiz messbar und sichtbar geworden: Die Gletscher schmelzen ab, die durchschnittliche Höhenlage der Schneegrenze steigt und das Schneevolumen nimmt ab. Mit dem Rückgang dieser Wasserspeicher sind bereits heute Regionen im Alpenraum mit Wasserknappheit konfrontiert. Gleichzeitig verändern sich die Ansprüche von Gesellschaft und Wirtschaft an die Wassernutzung, was beispielsweise in der Energie- und Wasserpolitik zum Ausdruck kommt (Abb. 2).

In der Region Crans-Montana-Sierre kann das Wasser in Zukunft knapp werden. Zudem sind in den Gemeinden viele Wassernutzungen und unterschiedliche Interessen vertreten (Abb. 1). Entsprechend komplex ist die **Wasserbewirtschaftung**, die einen optimalen Ausgleich zwischen Wasserdargebot und Wassernutzung schaffen soll. Auf solche Herausforderungen können sich Regionen mit der Umsetzung eines integrierten **Wassermanagements IWM** vorbereiten. Darunter wird eine enge und langfristige Zusammenarbeit bei der Wasserbewirtschaftung zwischen allen beteiligten Akteuren einer Region verstanden.

Die Entwicklung eines IWM in einer Region verlangt einen systematischen, wissensbasierten Ansatz über drei Stufen (Abb. 3): Um das **Zielwissen** zu bestimmen, handeln Beteiligte und Betroffene Szenarien für die sozioökonomische Entwicklung der Region aus. Zu diesen Szenarien und zur heutigen Situation stellt die Wissenschaft **Systemwissen** bereit, indem sie entscheidende Prozesse zu Wasserdargebot und -nutzung untersucht. Die Beteiligten wählen ausgehend von diesen Kenntnissen ein Szenario und handeln Massnahmen zur Umsetzung der Ziele aus (**Transformationswissen**).

Abb. 1: Der Wasserbedarf hat sich in Crans-Montana seit 1970 (Aufnahme) durch die Entwicklung von Bevölkerung, Tourismus, Landwirtschaft und Wasserkraft stark verändert. (Foto: Swissair Photo AG, ETH-Bibliothek Zürich)

Abb. 2: Energie- und Wasserpolitik bis 2100 (nach Thut W. et al., 2016a)

Abb. 3: Entwicklung eines integrierten Wassermanagements für eine Region (nach NFP 61, 2015)

Fokus

Abb. 108 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Fokus, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Wasserbewirtschaftung bis 2100

Für die zukünftige Wasserbewirtschaftung in der Region Crans-Montana-Sierre sind verschiedene Aspekte zu beachten: bestehende Wasserrechte, mögliche Veränderungen in Tourismus, Landwirtschaft und Wasserkraft, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung sowie Folgen des Klimawandels.

Das Forschungsprojekt MontanAqua zeigt, wie Regionen mit ähnlichen Problemen bei der Entwicklung eines **integrierten Wassermanagements** vorgehen können. Von Beginn weg wurden Beteiligte und Betroffene aus Energiewirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und Politik einbezogen, damit möglichst viel Wissen und verschiedene Sichtweisen einfliessen. Diese Akteure handelten als **Zielwissen** vier umsetzbare Entwicklungsszenarien für 2050 mit unterschiedlichen Schwerpunkten in Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt aus (Tab. 1). Um die Auswirkungen der Szenarien abschätzen zu können, untersuchten Forscherinnen und Forscher das gegenwärtige System der Wasserbewirtschaftung (vgl. die anderen Themenblätter des Moduls 2) und berechneten den Wasserbedarf bis ins Jahr 2050 für alle vier Entwicklungsszenarien auf der Basis der **Klimaszenarien CH2011**. Mit diesem **Systemwissen** wurde die **Nachhaltigkeit** der vier Entwicklungsstrategien beurteilt. Mit diesen Grundlagen handeln alle Beteiligten einer Region mögliche Massnahmen für die Umsetzung des gewählten Wassermanagements gemeinsam aus und schaffen so das **Transformationswissen** (Abb. 3).

Wasserbewirtschaftung heute

Seit Jahrzehnten prägte das Wachstum von Tourismus, Wasserkraft, Bevölkerung und Siedlung die Entwicklung der Region. Dabei legte die Wasserbewirtschaftung mehr Wert darauf, genügend Wasser bereitzustellen, statt die wachsende Nachfrage zu steuern. Der aktuelle **Wasserbedarf** (ohne Wasserkraft) beträgt 10.5 bis 13.6 Millionen Kubikmeter pro Jahr, was rund 10 % des jährlichen **Wasserdargebots** von 106 Mio. m^3 entspricht. Für die Wasserkraft werden jährlich 60 bis 80 Mio. m^3 Wasser abgeleitet.

Die Forschenden beurteilten die **Nachhaltigkeit** der heutigen Wasserbewirtschaftung auf wirtschaftlicher Ebene insgesamt als «gut» (Abb. 4). Sie befriedige die Nachfrage nach **Trinkwasser** und habe die wirtschaftliche Entwicklung des Tourismus und der Wasserkraftnutzung ermöglicht. Einzig die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft wird als mittelmässig beurteilt, weil die **Bewässerung** teilweise mit Trinkwasser erfolgt. Auf gesellschaftlicher Ebene fällt die Beurteilung der nachhaltigen Entwicklung als «schlecht» aus, hauptsächlich weil der Zugang zu Wasser in den Gemeinden nicht gleichwertig ist und die Einwohnerinnen und Einwohner je nach Wohnort unterschiedliche Preise für das Wasser bezahlen. Bezüglich der ökologischen Verantwortung wird die Gewässerbewirtschaftung als «mittelmässig» nachhaltig beurteilt, weil die Mindestmenge in Oberflächengewässern, die **Restwassermenge**, bei der Wasserentnahme zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen und zur Wasserkraftproduktion nicht berücksichtigt wird.

Szenario 1 «Wachstum»

Gemäss diesem Szenario werden die Bereiche Wirtschaft, Bevölkerung und Siedlung wie bisher weiterwachsen (vgl. Tab. 1). In der Folge steigt der Wasserverbrauch um 25 Prozent an, in Trockenjahren sogar bis 60 Prozent. Hauptgrund dafür ist der stark zunehmende Trinkwasserverbrauch, ausgelöst durch das Bevölkerungswachstum und die ungebremste wirtschaftliche Entwicklung. Der Druck auf die Wasserressourcen nimmt in touristischen Gemeinden wegen dem forcierten Massentourismus vorwiegend im Winter (Januar bis März) zu, in Gemeinden mit intensivierter Landwirtschaft im Spätsommer (August, September).

Die Nachhaltigkeit verringert sich gegenüber heute (Abb. 4), hauptsächlich wegen dem er-

		Szenario 1 Wachstum	Szenario Stabilisie
Bevölkerungsentwicklung		starkes Bevölkerungswachstum	leichtes Bevö wachstum
Siedlungsentwicklung		starke Bautätigkeit	Verdichtung, Ein- und Mel häusern (Zw gen eingesch
Tourismus		Massentourismus, v.a. Ski und Golf (neue Schneekanonen und Golfplätze), Sommer < Winter	ganzjährig ar Angebot, Ski kleinern, Sommer = W
Landwirtschaft		Konzentration auf Flächen mit intensiver Landwirtschaft	heutige Lanc stabilisieren, Nahrungsmit on (v.a. Fleis
Weinbau		Intensivierung, Rentabilität erhöhen, Oberflächenbewässerung	Intensität be hohe Weinqu chenbewässe
Wasserkraft		höchste Priorität, Wasserkraftpotential aller Fliessgewässer erschliessen	hohe Prioritä sind auch an nutzungen (z rung, Trinkwa
Wasserversorgung	Infrastruktur	neue Wasserspeicher, -leitungen, -pumpen (z.B. Speichersee bei der Tièche)	keine neuen cher, Trinkwa gung vernetz Bewässerung trennt, perfe
	Wassermanagement (WM), Zusammenarbeit	keine neue Zusammenarbeit, Eigenbedarf vorrangig	zentralisierte scheide bleib meinden
	Wasserrechte	keine Reform	Reform
Wasserverbrauch		keine Sparbemühungen	Effizienz stei
Restwassermenge		Gesetz nicht vollständig umsetzen	Gesetz umse

Tab. 1: Entwicklungsszenarien in der Region Crans-Mor

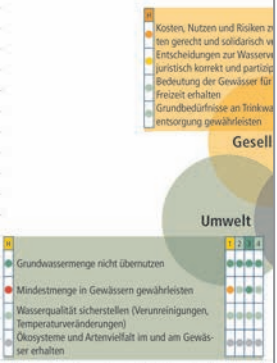
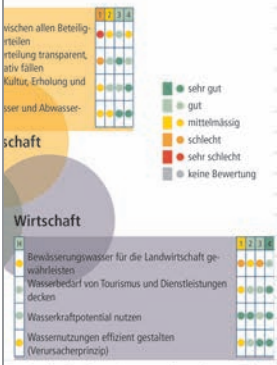


Abb. 4: Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Wasserbe für die Szenarien 1 bis 4 (nach Schneider F. et al., 2014)

2 rung	Szenario 3 Mässigung	Szenario 4 Ausgleich
ikerungs-	Bevölkerungsabnahme	leichtes Bevölkerungswachstum
Bau von erfamilien- itwohnun- ränkt)	Gebäudesanierung (v.a. Energieeffizienz), Bauland zurückzonen	Verdichtung, Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern (Zweitwohnungen eingeschränkt)
ttraktives gebiet ver-	sanfter Tourismus mit Outdoor-, Kultur-, Gastronomie- und Bildungsangeboten, keine Beschneiung	ganzjährig attraktives Angebot, Skigebiet verkleinern, Sommer = Winter
inter	wichtig für Tourismus und Landschaftspflege in der Region, Extensivierung	wichtig für Tourismus und Landschaftspflege in der Region
behalten, alität, Tröpf- rung	Extensivierung, hohe Weinqualität und Biodiversität, Tröpfchenbewässerung	Intensität beibehalten, hohe Weinqualität, Tröpfchenbewässerung
t, wichtig dere Wasser- .B. Bewässe- sser)	wichtig, Ziel ist es jedoch, Energieverbrauch reduzieren und Energieproduktion diversifizieren	wichtig, Ziel ist es jedoch, Energieverbrauch reduzieren und Energieproduktion diversifizieren
Wasserspei- sserversor- t und von swasser ge- te Wartung	wie Szenario 2, zudem Regenwasserrückhalt bei einzelnen Häusern	wie Szenario 2, zudem Regenwasserspeicher verteilt in Region
s WM, Ent- en bei Ge-	gemeinsames WM für Wohlergehen aller Bewohnerinnen und Bewohner	gemeinsames WM für Wohlergehen aller Bewohnerinnen und Bewohner
	Reform von Individual- zu öffentlichen Rechten	keine Reform
gern	Effizienz steigern	Effizienz steigern
tzen	Restwassermenge freiwillig verdoppeln	Gesetz umsetzen

tana-Sierre (nach Schneider F. et al., 2014)



wirtschaftung in Crans-Montana-Sierre – heute (H) und
Weingartner R. et al., 2014; Schmid F., 2014a)

höhten Gesamtwasserbedarf und den fehlenden Anpassungen im Wassermanagement. Dadurch verschärft sich die saisonale und örtliche Wasserknappheit. Heute noch wasserreiche Gemeinden werden kaum mehr in der Lage sein, ihr Wasser an Gemeinden in Wassernot «solidarisch» zu verkaufen. Auch mit den weiterhin ungleichen Wasserrechten bleiben Wasserunsicherheit betroffener Gemeinden und unterschiedliche Wasserpreise bestehen. Die Restwassermenge in Oberflächengewässern verbessert sich, jedoch nur geringfügig, weil dieses Szenario das Gesetz nicht vollständig umsetzt.

Szenario 2 «Stabilisierung»

Dieses Szenario beschreibt ein mässiges Bevölkerungswachstum, einen Tourismus, der sowohl Winter- als auch Sommeraktivitäten beinhaltet und eine Stabilisierung der heute vorhandenen Landwirtschaft (vgl. Tab. 1). Der Wasserbedarf steigt um etwa 20 Prozent, in Trockenjahren bis 60 Prozent, in erster Linie weil die beibehaltene landwirtschaftliche Produktion wegen dem Klimawandel nun erheblich mehr Bewässerungswasser benötigt. Wasserknappheit ist daher vorwiegend im Spätsommer zu erwarten (August, September).

Die Nachhaltigkeit des Szenarios wird mit «gut» beurteilt, weil trotz des höheren Wasserbedarfs die Verteilungsgerechtigkeit verbessert wird (Abb. 4). Dafür werden alle Wassernutzungen optimiert, Restwassermengen eingehalten und Reformen beim Wasserrecht und Wassermanagement umgesetzt. Jedoch wird die Landwirtschaft mit dem höchsten Wasserverbrauch der Region noch anfälliger für Trockenheit. Als «mittelmässig» wird auch die Verfahrensgerechtigkeit beurteilt, weil mit den einstimmig verlangten Entscheidungen insbesondere wasserreiche Gemeinden die Verhandlungen behindern können.

Szenario 3 «Mässigung»

Hier stehen Lebensqualität und qualitatives Wachstum im Vordergrund (vgl. Tab. 1). Der Wasserbedarf kann so um 13 Prozent zurückgehen, in Trockenjahren kann er wegen dem Bewässerungsbedarf in Landwirtschaft und Gärten aber immer noch um 18 Prozent höher liegen als im heutigen Durchschnitt.

Dieses Szenario schneidet bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit am besten ab; die meisten Kriterien erreichen ein «gut» bis «sehr gut» (Abb. 4). Einzig der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft kann nicht zufriedenstellend gedeckt werden, weil mit der freiwilligen Verdoppelung der Restwassermenge deutlich weniger Wasser für die Bewässerung zur Verfügung steht. Diese Situation tritt insbesondere im Spätsommer auf, wenn Abflussmengen niedrig und Bewässerungsbedarf und Verdunstung hoch sind.

Szenario 4 «Ausgleich»

Dieses Szenario positioniert sich als Mittelweg zwischen den Szenarien 2 und 3 (vgl. Tab. 1). In der Folge wurde es denn auch von allen Beteiligten akzeptiert und für die zukünftige Entwicklung der Region ausgewählt. Nach diesem Entwicklungsszenario wird das wirtschaftliche Wachstum durch soziale und ökologische Überlegungen abgefedert. Der soziale Ausgleich zwischen Akteuren und Gemeinden gewinnt an Bedeutung. Der Wasserbedarf kann mit diesem Mittelweg um 3 Prozent abnehmen, in Trockenjahren jedoch auch um 49 Prozent zunehmen.

Die Nachhaltigkeit der Wasserbewirtschaftung verbessert sich mit diesem Szenario. Gegenüber dem Szenario 2 wird eine höhere Nachhaltigkeit in den Bereichen Wirtschaft und Gesellschaft erreicht, weil das Wassermanagement differenzierter ist (z.B. Regenwasserspeicher) und das Wohlbefinden aller Einwohnerinnen und Einwohner stärker berücksichtigt. Hingegen konnte man sich bei diesem Szenario nicht auf eine Wasserrechtsreform einigen, was eine niedrigere Beurteilung der gesellschaftlichen Indikatoren gegenüber dem Szenario 3 zur Folge hat.

Wissen

Abb. 109 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Wissen, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Vom Gletscher zum Speichersee

Der Gletscher Plaine Morte ist für die Wasserversorgung auf der Berner und auf der Walliser Seite wichtig. Sein Schmelzwasser nimmt bis 2050 zu und versiegt um 2085 mit dem vollständigen Abschmelzen.

Heute können in der Region rund 51 Mio. m³ Wasser künstlich gespeichert werden; 50 Mio. im Lac de Tseuzier für die Energieproduktion und 0.7 Mio. in den restlichen Wasserspeichern für Trinkwasser und Bewässerung.

Die **Wasserknappheit** im Sommer wird im Jahr 2085 bereits im Juli eintreten und grösser sein, wegen des fehlenden Schmelzwassers der Gletscher und des steigenden Bewässerungsbedarfs durch höhere Temperaturen. Dieser Wassermangel kann sich bis Ende Winter kumulieren und jährlich 5.5 Mio. m³ betragen (Abb. 6). Ohne Gletscher kann diese saisonal fehlende Wassermenge im Jahr 2085 nur noch mittels Speicherseen bereitgestellt werden. Mit dem Projekt «Lienne-Raspille» (2016) haben sich daher die Gemeinden der Region mit dem Lac de Tseuzier vernetzt. Der Stausee soll nun als **Mehrzweckspeicher** auch für Bewässerung und Trinkwasser genutzt werden. Mit dem Wasserverbund, neuen Wasserfassungen und -leitungen wird dem See zusätzlich Wasser zugeführt (Abb. 6 und 7). Dies ermöglicht die Stromproduktion auf ähnlich hohem Niveau zu halten. Die zentrale Grundlage für das Gelingen eines solchen Projekts ist, dass alle betroffenen Gemeinden und Akteure bereit sind zur Zusammenarbeit und sich über ein **integriertes Wassermanagement** zusammenschliessen (Abb. 6). Für Urs Kuonen, Gemeindepräsident von Salgesch, ist klar: «Dieses Projekt bietet eine gerechte, ich würde sogar sagen eine ideale Lösung zwischen Ahnenrechten, Wasserrechten und der Verteilung der Finanzierungsverpflichtung auf die Gemeinden, von denen keine dieses Projekt allein verwirklichen kann.»

Abb. 5: Die aktuell 800 Mio. Kubikmeter Eis des Gletschers Plaine Morte werden 2085 abgeschmolzen sein. (Foto: Tom Reist)

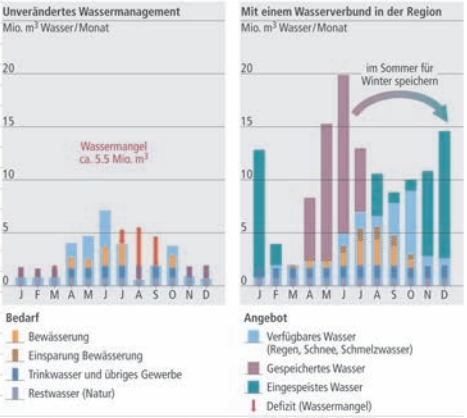


Abb. 6: Wasserversorgung in einem Trockenjahr um 2085 (Thut W. et al., 2016a)

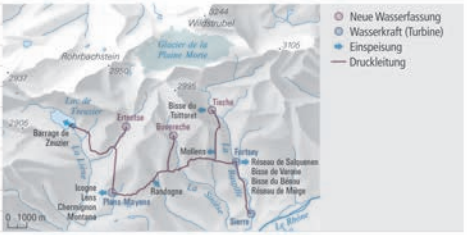


Abb. 7: Projekt Lienne-Raspille 2016 (nach Cordonier & Rey, Ingénieurs et géomètres, 2015)

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Transfer

Abb. 110 | Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100 zu Phase Transfer, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

HYDROLOGISCHER ATLAS DER SCHWEIZ
ATLAS HYDROLOGIQUE DE LA SUISSE
ATLANTE IDROLOGICO DELLA SVIZZERA
HYDROLOGICAL ATLAS OF SWITZERLAND

Arbeitsblatt: Wasserbewirtschaftung bis 2100

Klimatischer und sozioökonomischer Wandel verändern das Wasserdargebot und den Wasserbedarf in der Region Crans-Montana-Sierre und führen häufiger zu Wasserknappheit.

Fokus Welche Wasserbewirtschaftung in der Region ermöglicht auch in Zukunft wirtschaftliches und gesellschaftliches Wohlergehen sowie eine intakte Umwelt?

Entwerfen Sie ein umsetzbares Entwicklungsszenario für die Region Crans-Montana-Sierre bis 2050, indem Sie Massnahmen und Vorgehen zu den verschiedenen Bereichen in der Tabelle zusammenstellen. Beziehen Sie dabei alle Informationen aus den anderen Themenblättern mit ein. Beurteilen Sie abschliessend Ihr Szenario bezüglich des Wasserbedarfs (zunehmend/abnehmend) und der Nachhaltigkeit (Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt).

	Szenario (mögliche Entwicklung für die Region bis ins Jahr 2050)
Leitziel des Szenarios	
Bevölkerung und Siedlung	
Wirtschaft (Tourismus, Landwirtschaft, Weinbau, Wasserkraft)	
Wasserversorgung (Infrastruktur, Wassermanagement, Zusammenarbeit, Rechte)	
Wasserverbrauch und Restwassermenge	
Wasserbedarf (zunehmend / abnehmend)	
Nachhaltigkeit (Wirtschaft, Gesellschaft, Umwelt)	

Wissen Beteiligte und Betroffene aus Wasserkraft, Tourismus, Landwirtschaft und Politik haben im Projekt MontanAqua vier Entwicklungsszenarien für die Region erarbeitet.
Inwiefern stimmt Ihr Szenario für die Wassernutzung in der Region mit den Szenarien der Expertinnen und Experten überein?

Vergleichen Sie Ihr Szenario mit den vier Szenarien aus dem Projekt MontanAqua bezüglich Massnahmen und Vorgehen, des abgeschätzten Wasserbedarfs und der erreichten Nachhaltigkeit.

Transfer Für die Schweiz ist es eine bestechende Idee, dass Stauseen als Mehrzweckspeicher in Zukunft die fehlenden Giletscher kompensieren und so die Wasserversorgung sichern. Für das Gelingen der Idee sind jedoch wichtige Bedingungen zu berücksichtigen.

Welches der vier Szenarien erfüllt am besten die notwendigen Grundbedingungen für die nachhaltige Nutzung von Mehrzweckspeichern? Begründen Sie.

Stellen Sie wichtige Grundbedingungen für eine gelungene Umsetzung von Mehrzweckspeichern zusammen und beurteilen Sie die vier Szenarien danach.

Abb. 111 | Arbeitsblatt zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Literatur

Björnsen Gurung A., Stähli M., 2014: Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Bonriposi M., 2014: Analyse systématique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Géovisions 43, Lausanne.

Cordonier & Rey, Ingénieurs et géomètres, 2015: Lienne-Raspille, Projet régional de gestion des eaux.

NFP 61 (2015): Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP 61 weist Wege in die Zukunft. Gesamtsynthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Schmid F. et al., 2014a: Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft. Thematische Synthese 4 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Schmid F. et al., 2014b: Wege zur nachhaltigen Wassergouvernanz. In: «Aqua & Gas», Nr. 11, Zürich.

Schneider F., Homewood Ch., 2013: Exploring Water Governance Arrangements in the Swiss Alps From the Perspective of Adaptive Capacity Author(s). In: Mountain Research and Development, 33(3):225–233.

Schneider F. et al., 2014: Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. In: Journal of Environmental Planning and Management, London.

Schneider F. et al., 2016: MontanAqua: Tackling Water Stress in the Alps. In: GAIA 25/3, München.

Thut W. K. et al., 2016a: Klimawandel führt zu Wasserengpässen für Mensch und Natur. Mehrzweckspeicher sichern Wasser- und Energieversorgung. Fact Sheet. Geographisches Institut der Universität Bern.

Thut W. K. et al., 2016b: Zur Bedeutung von Mehrzweckspeichern in der Schweiz. Anpassungen an den Klimawandel. In: «Wasser Energie Luft» Heft 3, Baden.

Weingartner R. et al., 2014: MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.

Abb. 112 | Literaturangaben zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]

Wasserbewirtschaftung bis 2100

In vielen Regionen der Erde werden in den nächsten Jahrzehnten die wachsende Siedlungsfläche, der Ausbau der Wasserkraftnutzung und die sich verändernden Ansprüche in Gesellschaft, Landwirtschaft und Tourismus die Herausforderungen um Nutzung und Schutz von Wasser und Gewässern erhöhen. Gleichzeitig wird der Klimawandel die Abflussmengen und die saisonale Wasserverfügbarkeit verändern. Für die Region Crans-Montana-Sierre bieten der im **Forschungsprojekt MontanAqua** angewendete Ansatz **integriertes Wassermanagement IWM** und die dabei ausgehandelten **Entwicklungsszenarien** vielversprechende Lösungsansätze.

Leitendes Lernziel

Die Lernenden wenden ihre Kenntnisse zu Wasserdargebot, Wassernutzung und Wasserverteilung der anderen Themenblätter an, um umsetzbare Entwicklungsszenarien für die Region Crans-Montana-Sierre für 2050 zu entwickeln.

Die Lernenden vergleichen ihr Szenario mit den vier Szenarien, welche von Betroffenen, Beteiligten und Forschenden entwickelt und untersucht wurden. Dabei können Sie sich mit Experten vergleichen und Aktualität und Realitätsnähe ihrer Überlegungen und ihrer Vorgehensweise erfahren.

Fokus

Filme und Fotos schaffen einen Bezug zu Aktualität und Bedeutung von zukunftsorientierten Projekten zur Wasserbewirtschaftung in der Schweiz und unterstützen die eigenständige Entwicklung eines Szenarios unter Einbezug aller Kenntnisse aus den anderen drei Themenblättern.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen zu Wasserdargebot und Wasserbedarf der vier Szenarien bis 2050 sind:

- Die heute und um 2050 verfügbaren Wassermengen sind in der Regel genügend. Saisonal können jedoch in Teilregionen Wasserengpässe auftreten.
- Bis 2050 werden die sozioökonomischen Veränderungen die grösseren Auswirkungen auf den Wasserbedarf haben als die Klimaänderungen (Tab. 2). Nach 2050 wird der Klimawandel bedeutender.
- Um eine nachhaltige Wassernutzung zu gewährleisten, ist eine regionale Zusammenarbeit unabdingbar.

Die Nachhaltigkeit der Wasserbewirtschaftung mindert sich bei Szenario 1 und erhöht sich bei den anderen drei Szenarien.

Wissen

Die Tabelle 1 dient den Lernenden zum Vergleich ihres Szenarios mit den vier Szenarien (Zielwissen). Mit der Tabelle 2, der Abbildung 6 und den Ausführungen im Text können sie ihre Abschätzungen zum Wasserbedarf und zur Nachhaltigkeit ihres Szenarios abschätzen (System- und Transformationswissen).

Transfer

Erfahrungen mit dem integrierten Wassermanagement IWM zeigen, dass Herausforderungen für die Wasserbewirtschaftung in Regionen weniger ein Ressourcen- als ein Managementproblem sind. Gemeinsame Bauprojekte können zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung beitragen, allerdings nur, wenn sie von Reformen in Wassermanagement und -recht begleitet sind.

Daher ist auch für das Gelingen der Idee von Mehrzweckspeichern eine Grundbedingung, dass die betroffenen Gemeinden und Akteure sich zu einem gemeinsamen integrierten Wassermanagement IWM zusammenschliessen, um die unterschiedlichen Nutzungsinteressen übergreifend miteinzubeziehen. Dazu ist häufig auch die Reform hin zu öffentlichen Wasserrechten notwendig, weil Individualrechte ein gemeinsames Wassermanagement für das Wohlergehen aller Bewohnerinnen und Bewohner sonst behindern.

Diese Zusammenarbeit kann schliesslich zum notwendigen Paradigmawechsel von der blossen Nutzung des verfügbaren Wassers zu einem Management des Wasserverbrauchs hinführen.

Diese Grundbedingungen erfüllt Szenario 3 am besten, da hier im Unterschied zu den Szenarien 2 und 4 nicht nur das Wassermanagement, sondern auch die Reform der Wasserrechte vorgesehen ist.

© Hydrologischer Atlas der Schweiz • Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern • Matthias Probst

Abb. 113 | Didaktische Informationen zu Themenblatt Wasserbewirtschaftung bis 2100, aus Lernmedium WASSERverstehen in Modul 2 Wallis – Wassernutzung im Wandel (Probst 2017) [verfügbar unter www.wasserverstehen.ch, 08.08.2019]