

SIBYLLE REINFRIED, URS AESCHBACHER, PETER M. KIENZLER UND SEBASTIAN TEMPELMANN

Mit einer didaktisch rekonstruierten Lernumgebung Lernerfolge erzielen – das Beispiel Wasserquellen und Gebirgshydrologie

Learning effects of an educationally reconstructed learning environment – the example of hillslope springs

ZUSAMMENFASSUNG

Mit dieser Studie wird die Wirksamkeit einer didaktisch rekonstruierten und lernpsychologisch optimierten Lernumgebung zum Thema „Wasserquellen und Gebirgshydrologie“ evaluiert. Quellen sind wichtige, aber gefährdete Trinkwasserlieferanten, die einen sorgsam Umgang benötigen, damit sie auch in Zukunft Wasser schütten. Das allgemeine Wissen über hydrologische Zusammenhänge, insbesondere Quellen und ihre Entstehung, ist jedoch meist rudimentär und von intuitiven Vorstellungen, die schwer zu verändern sind, geprägt. Mittels der Neuentwicklung einer didaktisch rekonstruierten Lernumgebung zum Thema Quellen wurden Lernangebote zur Verfügung gestellt, mit denen 13-jährige Lernende ihre intuitiven Vorstellungen verändern können, und den in ihrem Lebensraum häufigen, aber kontra-intuitiven Quellentypus der Porenquelle verstehen lernen können. Die Lernumgebung wurde in einer Interventionsstudie mit einem Pre-, Post-, Follow-up-Test-Design mit Lernenden im 7. Schuljahr auf ihre Wirksamkeit mittels Fragebogen, Schülerzeichnungen und -texten evaluiert. Der Wissenszuwachs erwies sich als signifikant und blieb über einen Zeitraum von zwei Monaten auf hohem Niveau relativ stabil.

Schlüsselwörter: Didaktische Rekonstruktion, Geographiedidaktik, Konzept der Porenquelle, Wirksamkeitsstudie

ABSTRACT

This study evaluates the efficacy of a learning environment about „Hillslope springs and mountain hydrology“. It was designed according to the principles of the model of educational reconstruction and considerations of instructional psychology. Springs are important resources of drinking water that need to be thoughtfully taken care of in order to ensure that they continue to discharge water in the future. The general understanding of hydrological processes, particularly of springs and the formation of springs, is mostly rudimentary and characterized by intuitive notions which are difficult to change. An educationally reconstructed learning environment concerning hillslope springs was designed to provide learning opportunities for 13-year old learners with the aim of changing their intuitive notions of springs. To induce conceptual change, the counter-intuitive type of hillslope springs which is frequent in the students' regional natural environment was used. In an intervention study using a repeated measure

design that employed a pre-, post- and follow-up-test, the efficacy of the learning environment was evaluated using questionnaires, drawings and texts of students of the seventh grade. The evaluation of the data demonstrates a significant knowledge gain which remained reasonable stable over a period of two months after the intervention.

Keywords: educational reconstruction, geographical education, concept of hillslope springs, efficacy study

1 Einleitung

Wasserquellen bilden eine Schnittstelle zwischen den unterirdischen und oberirdischen Teilsystemen des Wasserkreislaufs. Sie sind nicht nur wichtige Trinkwasserressourcen¹ für Mensch und Tier, sondern dienen auch der Landwirtschaft und Industrie und sind darüber hinaus ästhetische, touristisch attraktive Landschaftselemente. Viele Menschen haben aber noch nie eine Quelle in der Natur gesehen und können folglich keinen Zusammenhang zwischen Quellen und den Wasserhähnen in der eigenen Wohnung herstellen, selbst wenn Quellen in der Trinkwasserversorgung ihrer Ge-

meinde eine Rolle große spielen (Suter, Kury, Baltas, Nagel & Leimgruber, 2007). Dies erstaunt kaum, denn Quellen sind heute unserer Wahrnehmung und Erlebarkeit weitgehend entzogen. Der stetig steigende Gesamtverbrauch von sauberem Trinkwasser hat dazu geführt, dass immer mehr Quellen gefasst werden (Kury, 2009). Quellen werden auch durch zunehmende Eingriffe in die Natur, z. B. durch Grundwasserspiegelabsenkungen und Infrastrukturmaßnahmen im Zusammenhang mit der Nutzung und Zersiedelung des Raumes direkt in ihrer Schüttung tangiert (Krummenacher, 2007; Regli, 2009). Weitere Gefährdungsfaktoren sind zum Beispiel die Ausschwemmung von Dünger und Agrochemikalien, welche über die Landwirtschaft in Quellwasser gelangen, und die Auswirkungen des Klimawandels, die zur Erwärmung des Grundwassers führen können (Denzler, 2009).

Die Bedeutung von Quellen rückt heute im Zuge der Nachhaltigkeitsdiskussion um Wasserressourcen weltweit mehr und mehr ins Bewusstsein (Kresic & Stefanovic, 2010) und es werden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um diese wertvollen Ressourcen zu schützen und

1 So wird beispielsweise die Stadt Wien zu 95 % mit Quellwasser versorgt (Stadt Wien, 2013). Durchschnittlich 50 % des österreichischen Trinkwassers stammt aus Quellen (Forum Umweltbildung, 2013). In der Schweiz beträgt der Anteil des Quellwassers am Trinkwasser 40 %, in den Voralpen und Alpen ist der Anteil deutlich höher (SVGW, 2010). In Deutschland stammen durchschnittlich 8 % des Trinkwassers aus Quellen, in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Thüringen beträgt der Anteil des Quellwassers ca. 20 % (VBEW, 2013; Landesamt für Statistik Baden-Württemberg, 2013; Trinkwasseraufbereitung Info, 2013).

nachhaltig zu bewirtschaften (Barquin & Scarsbrook, 2008). Ein sorgsamerer Umgang mit Quellen muss aber auch von der Bevölkerung mitgetragen werden, wozu diese über korrektes anschlussfähiges hydrologisches Grundlagenwissen verfügen und ein Bewusstsein für die Ressource Wasser entwickeln muss, aus dem heraus neue gesetzliche Regelungen oder raumplanerische Problemlösungen verstanden und akzeptiert werden können. Dieses Anliegen deckt sich mit den Zielen der UN-Aktionsdekade (2005–2014) „Wasser – Quelle des Leben“ (UNO, 2003) und der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (2005–2014), die ein Bewusstsein für Wasser schaffen wollen, um den wasserbezogenen Herausforderungen unserer Zeit adäquat begegnen zu können (UNESCO, o.J.).

Wasserquellen sind heute jedoch in der Regel weder Bestandteil der Geographie-Curricula in Deutschland (Deutsche Gesellschaft für Geographie, 2012), noch in der Schweiz (Deutschschweizer Erziehungsdirektorenkonferenz, 2013), und es gibt auch kaum geeignetes Unterrichtsmaterial zu diesem Thema. Exemplarische Recherchen in Geographieschulbüchern, die von den kantonalen Deutschschweizer Bildungsdirektionen für die Sekundarstufe I empfohlen werden (Batzli, Gutmann, Hobi & Rempfler, 2007; Essig et al., 2011; Kugler, 1999), sowie in zwei Schulbüchern aus Deutschland, die explizit die physische Ge-

ographie zum Thema haben² (Bauer, Englert, Meier, Morgeneyer & Waldeck, 2002; Siegmund & Frankenberger, 2013; beide ohne Stufenangabe) ergaben, dass sich die Vermittlung von hydrologischem Wissen meist nur auf stark abstrahierte Darstellungen des Wasserkreislaufs beschränkt. Das dadurch geschaffene Verständnis des Wasserkreislaufs bleibt oberflächlich und genügt nicht, um die komplexen hydrologischen Zusammenhänge im System Erde und die besondere Funktion von Quellen in diesem System zu verstehen. Viele Menschen beenden ihre Schulzeit mit erheblichen Lücken hinsichtlich hydrologischen Grundwissens und können sich folglich hydrologische Phänomene oft nur auf der Basis ihrer Alltagsvorstellungen erklären. Im Hinblick auf die Bedeutsamkeit der beschriebenen Quellenproblematik ergab sich somit aus Sicht der Autoren die Notwendigkeit, eine Lernumgebung (LU) mit Unterrichtsmaterial zu entwickeln, die zu tiefen inneren Lernprozessen anregt, dauerhafte Vorstellungsänderungen bewirkt und den Erwerb von anschlussfähigem Wissen ermöglicht. Die LU wird in der Lehrerbildung eingesetzt und das Lernmaterial soll nach seiner Veröffentlichung auch Schulen und Medienzentren zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen der vorliegende Studie wird evaluiert, ob mit der nach lernpsychologischen und didaktischen Kriterien entwickelten LU

2 In vielen Bundesländern Deutschlands werden im Geographieunterricht heute vor allem sozial-geographische Themen behandelt, weshalb nur noch ausgewählte physisch-geographische Themengebiete, wie z. B. die Plattentektonik, in den Schulbüchern vorkommen.

das Thema „Wasserquellen und Gebirgs-hydrologie“ effektiv gelernt und gut behalten werden kann.

2 Theoretischer Rahmen und Zielsetzung der Studie

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion (MDR) diente in der vorliegenden Arbeit als theoretischer Rahmen für die Entwicklung des Lernmaterials zum Thema „Wasserquellen und Gebirgshydrologie“ und seine unterrichtliche Inszenierung (Kattman, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997). Im MDR wird Lernen als konzeptionelle Rekonstruktion im Sinne von Modifizierung, Bereicherung und Differenzierung der vorunterrichtlichen Vorstellungen verstanden (Kattmann, 2005). Dementsprechend sollen Lernumgebungen so gestaltet werden, dass sie die kognitive Eigentätigkeit der Lernenden fördern und Denkprozesse auslösen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, bezogen wir bei der Konstruktion der Lernmaterialien explizit auch lernpsychologische Überlegungen mit ein, die Lernen als aktive Wissenskonstruktion von den zielführenden inneren Aktivitäten der Lernenden her denken, so wie dies im Ansatz der „Psychologischen Didaktik“ von Hans Aebli (1983) der Fall ist. Aus den im Rahmen der fachlichen Klärung gewonnenen fachwissenschaftlichen Modellvorstellungen über Quellen wurden mit Blick auf die Vermittlungsabsicht elementare Basiskonzepte ermittelt. Diese wurden mit den Denkfiguren der Schülerinnen und Schüler (SuS), die im Rahmen einer Vor-

untersuchung über Schülervorstellungen zum Thema „Wasserquellen“ identifiziert worden waren (s. Reinfried, Tempelmann & Aeschbacher, 2012), verglichen. Schülervorstellungen weichen meist stark von wissenschaftlichen Vorstellungen ab, sind oft zäh und widerständig und lassen sich durch Unterricht, der ohne die Kenntnis von Schülervorstellungen entwickelt wurde, kaum verändern (Duit, Treagust & Widodo, 2013; Vosniadou, 2013). Um die Vorstellungen der Lernenden für das fachliche Lernen und die Konstruktion von Unterricht zu nutzen, bedarf es daher des systematischen In-Beziehung-Setzens von lebensweltlichen Vorstellungen und fachlich geklärten Vorstellungen (Duit, Gropengießer & Kattmann, 2005). Dieser Prozess der didaktischen Strukturierung diente dazu, aus dem Vergleich der beiden Vorstellungswelten Leitlinien zur Vermittlung des Quellenkonzepts zu formulieren und die LU didaktisch-methodisch zu konkretisieren.

In der vorliegenden Studie interessiert nun die Frage, ob sich 13-jährige SuS mit einer didaktisch rekonstruierten und lernpsychologisch optimierten LU naturwissenschaftlich korrekte Vorstellungen und vernetztes Wissen über Quellen konstruieren können. Ziel der Studie es somit, die Wirksamkeit der LU empirisch mit quantitativen Methoden zu überprüfen.

3 Didaktische Rekonstruktion der Lernumgebung

3.1 Fachliche Vorstellungen und Schülervorstellungen in Beziehung setzen

Fachliche Perspektive

Die fachwissenschaftliche Literaturanalyse und Expertengespräche machen schnell deutlich, dass Quellen sehr vielfältige, komplexe Naturphänomene sind. Quellen sind lokal begrenzte Bereiche, aus denen unterirdisches Wasser (Grundwasser oder Bodenwasser) zeitweise oder ständig austritt, oberirdisch abfließt und schließlich Bäche und Flüsse bildet. Das Grundwasser kann dabei aus unterschiedlich großen und geologisch verschieden aufgebauten Einzugsgebieten kommen. Quellen sind in ihrer Art und Funktionsweise vielfältig und werden durch entsprechende Fachdisziplinen (Hydrogeologie, Biologie, Wasserwirtschaft)

nach unterschiedlichen Kriterien wie Austritts- und Schüttungsverhalten, Funktionsweise, Untergrund, Temperatur, Gehalt an gelösten Stoffen, u. a. gegliedert (Hölting & Coldewey, 2013). Um Quellen zu Quellentypen klassifizieren zu können (vgl. Springer & Stevens, 2009) verwendet die Hydrogeologie Abstraktionen wissenschaftlicher Vorstellungen, da die geologischen Verhältnisse von Ort zu Ort mehr oder weniger stark variieren und Quellen niemals identisch sind, selbst wenn sie zum selben Quellentyp gehören. Diese Tatsache haben wir uns bei unserer Entscheidung, *welches* Quellenkonzept mit der LU *wie* vermittelt werden soll, zunutze gemacht, indem wir aus Gründen der Lehr- und Lernbarkeit Modelle solcher Quellentypen (die ihrerseits hydrogeologische Modelle sind) verwendet haben, die der in der Hydrogeologie üblichen Einteilung nach dem Porenraum des Untergrunds folgen. Es handelt sich dabei um die Porenquelle und die Karstquelle (Abb. 1).

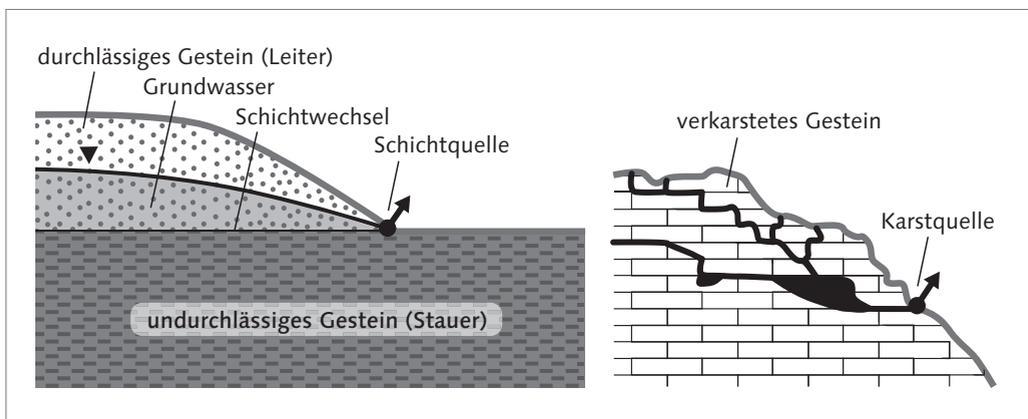


Abb. 1: Schematisiert dargestellte Quellen (nach Hölting & Coldewey, 2013, verändert), links eine Porenquelle mit einem Grundwasserleiter aus porösem Sedimentmaterial (z. B. Flussschotter, Moräne, Blockschutt, Sandstein), rechts eine Karstquelle, die aufgrund der Lösungsverwitterung von Kalkgestein (Verkarstung) entstanden ist.

Porenquellen entstehen dadurch, dass Wasser in den Boden infiltriert und in eine durchlässige Schicht (Leiter) eindringt. Auf einer weniger durchlässigen oder undurchlässigen Schicht (Stauer) wird das Wasser gestaut, und es bildet sich darüber ein Grundwasserkörper. Das Ausstreichen der durchlässigen Schicht, z. B. an einem Talrand, lässt das Grundwasser an der Oberfläche austreten. Porenquellen kommen in Lockergesteinen wie Flussschotter, Moränen und Blockschutt, aber auch in porösen Festgesteinen (z. B. Sandstein) vor. Vor allem die quartären Lockergesteine treten weltweit großflächig auf und überdecken oft flachgründig, aber auch mit bis zu mehreren 100 m Mächtigkeit die älteren Gesteine. Karstquellen entstehen hingegen aufgrund der Lösungsverwitterung von Kalkgestein (Verkarstung; Abb. 1). Sie bilden häufig das Ende eines Höhlensystems. Verkarstete Gesteine haben meist eine geringe Filterwirkung. Durch die Klüftigkeit des Kalkgesteins kann in den Boden infiltriertes Niederschlagswasser in kurzer Zeit größere Strecken zurücklegen, ohne dass das Wasser ausreichend gefiltert wird. Karstquellen sind daher besonders empfindlich gegenüber Verschmutzung. So kann Kontaminierung durch punktförmige Einträge, z. B. durch einen unfallbedingten Schadstoffaustritt, oder durch diffuse Einträge, z. B. Agrochemikalien, Hofdünger oder Exkremate von Weidetieren, erfolgen. Aber auch Quellen, die in Gesteinen mit günstigen Filtereigenschaften, z. B. Flussschotter oder Sandsteinen liegen, können verletzlich sein. Dort können beispielsweise Extremniederschläge infolge der verstärkten Abflussbildung

ebenfalls zu Quellwasserverunreinigungen führen.

Porenquellen sind generell häufiger als Karstquellen. Während Lockersedimente (z. B. Kies und Sand) und klastische Sedimentgesteine (z. B. Konglomerate und Sandsteine) mit ca. 79 % an der Erdoberfläche anzutreffen sind und die Hauptspeicher für Grundwasser darstellen, machen Karbonatgesteine nur 13 % der Gesteine der Erdoberfläche aus (Press & Siever, 1995, S. 53 u. 155). Trotzdem bilden verkarstete Karbonatgesteine schon seit der Antike den Prototyp für die menschlichen Vorstellungen über das Aussehen und den Aufbau des Untergrunds mit darin gespeicherten Wasservorkommen (genauere Ausführungen hierzu bei Reinfried et al., 2012).

Schülervorstellungen

Fehlerhafte Vorstellungen über hydrogeologische und hydrologische Konzepte sind weit verbreitet. Sie betreffen nicht nur die Entstehung von Quellen, sondern alle Teilbereiche des Wasserkreislaufs, also auch Verdunstung, Kondensation, Niederschlag, den ober- und unterirdischen Abfluss, wie auch die Kenntnisse über den Zusammenhang von Einzugsgebieten und Gewässern und das Wassermanagement (z. B. Bar, 1989; Bar & Galili, 1994; Ben-zvi-Assarf & Orion, 2005; Chang, 1999; Dove, Everett & Preece, 1999; Österlind & Halldén, 2007; Reinfried, 2006; Shepardson, Wee, Priddy, Schellenberg & Harbor, 2009; Tytler, Prain, & Peterson, 2007). Verdunstung und Kondensation sowie das Vorkommen von Grundwasser und die Ursachen für die

Quellenbildung sind komplexe abstrakte Teilprozesse des Wasserkreislaufs, die nicht unmittelbar sichtbar sind. Im Rahmen einer explorativen Pilotstudie haben Reinfried et al. (2012) die Quellenvorstellungen von 13-jährigen SuS analysiert und aus diesen ein Kategoriensystem entwickelt, mit dem ein generelles Quellenkonzept beschrieben werden kann (s. Tab. 1). Die Alltagstheorien, die das Verständnis von Quellen am meisten beeinträchtigen, sind in Tabelle 1 aufgelistet. Am weitesten verbreitet ist die Vorstellung, dass Gestein grundsätzlich dicht und damit wasserundurchlässig ist, und es großer unterirdischer Hohlräume bedarf, damit Wasser im Untergrund vorkommen kann. Diese Vorstellung stellt ein besonderes Lernhindernis dar, weil sie intuitiv und plausibel ist und auf Erfahrungen mit Festgesteinsoberflächen oder Beobachtungen in Karsthöhlen, welche sich in makroskopisch dichtem Kalkstein befinden, beruht. Die Tatsache, dass solides Gestein ohne makroskopisch sichtbare Hohlräume auch durchlässig sein und Wasser speichern kann, ist hingegen kontra-intuitiv. Ein solches Gestein ist z. B. Sandstein, der zwar mit bloßem Auge keine Hohlräume erkennen lässt, trotzdem aber porös und permeabel sein kann, auch wenn das Eindringen von Wasser in seinen Porenraum sehr langsam vor sich geht und in der Regel der unmittelbaren Beobachtung entzogen ist.

Didaktische Strukturierung

Die kategorienbezogene wissenschaftliche Perspektive wurde aus der fachwissenschaftlichen Literatur (Baumgartner

& Liebscher, 1990; Hölting & Coldewey, 2013; Tarbuck & Lutgens, 2009) ermittelt und in der Diskussion mit drei Experten (einem Hydrogeologen, einem Hydrologen und einem Ökologen) validiert. Durch das wechselseitige iterative In-Beziehung-Setzen von Schüler- und wissenschaftlichen Perspektiven wurde das Kategoriensystem mehrfach präzisiert. Aus dem Vergleich der Schülerperspektive mit der wissenschaftlichen Perspektive wurden schließlich Leitlinien für den Unterricht entwickelt, die in der Tabelle 1 zusammengestellt sind. Im Rahmen der Evaluation der LU diente das Kategoriensystem als Grundlage für die Erhebung und Auswertung des Wissenszuwachses und des behaltenen Wissens (s. Kap. 4).

Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung eines fachlich korrekten und nachhaltigen Verständnisses von Quellen stellt das Spannungsfeld zwischen Schülervorstellungen und der Vielfalt und Komplexität von Quellen in der Natur dar. Die Planung der Sachstruktur kann deshalb nicht einfach nur in der Vereinfachung der Quellenthematik für den Unterricht bestehen. Vielmehr muss nach Anknüpfungspunkten in der Lebenswelt der Lernenden gesucht werden, die sich für die didaktische Strukturierung des Lerngegenstands eignen. Sie sollen dabei helfen, eine Quelle als einen Ort zu verstehen, an dem Oberflächenwasser, das durch den makroskopisch dicht erscheinenden, aber Höhlen- und Röhren-freien Untergrund gesickert ist, wieder an die Oberfläche gelangt (vgl. Tab. 1). Die Porenquelle eignet sich als Modell für die Konstruktion einer Quellenvorstellung,

Tab. 1 : Vergleich der Schülerperspektive mit der wissenschaftlichen Perspektive und die sich daraus ergebenden Leitlinien für den Unterricht. (In Klammern Hinweis darauf, in welchen Lernmaterialien der Lernumgebung die Leitlinien schwerpunktmäßig umgesetzt sind.)

Kategorien	Schülerperspektiven	Wissenschaftliche Perspektiven	Leitlinien für den Unterricht
Definition von Wasserquelle	Eine Quelle ist ein Wasseraustritt aus dem Boden, ein Wasserfall, Bachlauf, Brunnen, Geysir. = unscharfes, erlebnisweltliches oder metaphorisches Konstrukt	Eine Quelle ist das Ergebnis multipler, hydrogeologischer Prozesse. = multifaktorielles wissenschaftlich reflektiertes Konstrukt	Eigenes Erklärungsmuster mit wissenschaftlicher Perspektive vergleichen; dadurch konzeptionelle Erweiterung einleiten und unterstützen (mit allen Lernschritten der LU)
Struktur der Erdkruste	Untergrund ist unstrukturiert, kompakt und dicht; besteht aus Erde und darunter Steinen. = unscharfer und widersprüchlicher metaphorischer Erde-Begriff	Untergrund besteht aus der Erdkruste mit dem Erdreich (Boden) und verschiedenen Gesteinen, die unterschiedlich gelagert sind. = geologisch-tektonische Perspektive der Erdkruste	Bewusst machen, dass die Erdkruste häufig aus geschichteten Gesteinen mit spezifischer Struktur und Lagerung besteht, die in Geländeanschnitten (Straßeneinschnitten, Steinbrüchen, Baugruben) sichtbar werden (mit allen Lernschritten der LU).
Gesteinseigenschaften	Gesteine sind fest, hart, wasserundurchlässig. = petrographischer Normalzustand	Gesteinseigenschaften sind sehr variabel und genetisch bedingt. = petrographische Vielfalt als Normalität	Quellenentstehung mit Erfahrungen der Lebenswelt exemplarisch an geeignetem Quellentypus zusammenbringen: Porenquelle, Sandkastenanalogie (mit Arbeitsblatt).
Unterirdisches Wasservorkommen	Wasser befindet sich in unterirdischen Gängen, Kanälen, Höhlen, Blasen. = makroskopische Perspektive	Wasser befindet sich im Porenraum von Gesteinen; Größe der Poren ist gesteinsabhängig. = makro- und mikroskopische Perspektive	Wasserspeicherung im Untergrund mehrperspektivisch hinsichtlich der Maßstabsdimension vom großmaßstäblichen zum mikroskopischen Bereich betrachten: Poren- und Karstquelle (mit Arbeitsblatt und Modellen).
Herkunft des Wassers	Regen, Schmelzwasser von Gletschern, Meerwasser, Wasserdampf aus Magma. = exogene und endogene Herkunft	Oberflächenwasser (Niederschlag, Schmelzwasser, versickertes Fluss-, Seewasser). = exogene Herkunft	Quellschüttung als Teil des Systems „Wasserkreislauf“ nachvollziehen: der Output ist abhängig von Input und Einzugsgebiet; Porenvolumen wirkt als Steuerungsgröße bei Porenquellen (vor allem mit Modellen).

(Fortsetzung Tabelle 1)

Kategorien	Schülerperspektiven	Wissenschaftliche Perspektiven	Leitlinien für den Unterricht
Wasserqualität	<p>Quellwasser ist stets rein, sauber, klar, schmeckt gut.</p> <p>= erlebnisweltliches oder metaphorisches Konstrukt</p>	<p>Qualität ist abhängig vom Zusammenwirken des Wassers mit der Umwelt (anthropogener Input, Filtereigenschaften des Gesteins, Wechselwirkungen von Grundwasser mit Gestein, usw.).</p> <p>= multifaktorieller Prozess</p>	<p>Kontextabhängigkeit von Erklärungsmustern bewusst machen, in dem die Tauglichkeit der Schülervorstellungen und der wissenschaftlichen Perspektive geprüft werden (mit Modellen).</p>
Ursachen für Wasseraustritt	<p>Wasser steht unter Druck, ist wirkungsmächtig; „kämpft“ gegen Gestein, will aus der Erde – auch gegen die Schwerkraft.</p> <p>= anthropomorphes, animistisches Konzept</p>	<p>Austritt an einem Hang im Gebirge; Gravitation und aufstauende Wirkung der Stauschicht.</p> <p>= multikausaler wissenschaftlich reflektierter Prozess</p>	<p>Wasseraustritt im Gebirge als vielschichtiges multikausales Phänomen nachvollziehen: eine Quelle ist die Summe aus Relief, Geologie und Hydrologie (mit allen Lernschritten der LU).</p>

die nicht auf intuitiven sondern wissenschaftsnahen Vorstellungen aufbaut, da dieses Modell relativ einfach mit den eigenen Erfahrungen der Lernenden in Verbindung gebracht werden kann, indem an ihren Erfahrungen beim Spielen im Sandkasten angeknüpft wird (vgl. Kap. 3.2). Mit dem Modell der Porenquelle kann plausibel und nachvollziehbar gelernt werden,

- wie Oberflächen-, Grund- und Quellwasser zusammenhängen,
- dass es wasserdurchlässige und undurchlässige Gesteine gibt,
- dass und wie Wasser in Lockersedimenten oder Sedimentgesteinen gespeichert sein kann,
- wie und warum Wasser im Untergrund fließt,

- wovon die Quellschüttung abhängig ist, und
- wie Quellwasser verschmutzt werden kann.

Wenn diese Grundlagen verstanden sind, kann die erweiterte räumliche Perspektive auf das Einzugsgebiet hinsichtlich hydrologischer Zusammenhänge oder der Mensch-Umwelt-Zusammenhänge thematisiert werden.

3.2 Aufbau der Lernumgebung

Das Porenquellen-Konzept eignet sich nicht nur aus lernpsychologischen Überlegungen zur Vermittlung von wissenschaftsnahem Wissen, es ist auch in die lokalen Verhältnisse des Lebensumfelds

der SuS im Schweizer Mittelland, aus dem sie ihr Trinkwasser beziehen und wo sie auch Quellen in der Natur antreffen können, eingebettet. Dieser pädagogische Ansatz der „Place-based Education“, eine Form des situierten Lernens, anerkennt die Bedeutung der regionalen Unterschiede in der erd- und umweltwissenschaftlichen Bildung (Karstens & Manduca, 2012, S. 183ff.). Die Lernenden werden in der LU durch eine sorgfältig orchestrierte Sequenz von Unterrichtsschritten geführt, die in Anspruch und Komplexität zunehmen. Der Aufbau der LU lehnt sich an das Lernskript „Knowledge Building and Concept Building“ nach Oser & Baeriswyl (2001, Basis-Model 4b, S. 1054) an.

Weil die Lernenden noch kaum über domänenspezifisches Wissen verfügen, entschieden wir uns methodisch für einen instruktionalen, aber kognitiv aktivierenden Aufbau der LU mit Phasen des gelenkten entdeckenden Lernens (Mayer, 2009). Die einzelnen Lerngelegenheiten repräsentieren das neu zu lernende Konzept sinnvoll in verschiedenen Darstellungsformen. Diese ergänzen sich hinsichtlich der angestrebten kognitiven Aktivierung und des Ziels, verschiedene Aspekte des Quellenkonzepts wiederholt in unterschiedlichen Lernsituationen zu entdecken. Mit den Lerngelegenheiten können die SuS reiche und kohärente Erfahrungen sammeln und integrierte Wissensstrukturen bilden, auf denen weiter aufgebaut werden kann. Indem den Lernenden mehrfach Gelegenheit geboten wird, ihre konzeptuellen Entwicklungen zu überprüfen, anzupassen und weiterzuentwickeln, soll eine tiefe Verarbeitung der zu lernenden wis-

senschaftlichen Konzepte erreicht werden. Mit bewährten Lehr-Lernstrategien, d. h. mit Problemstellungen, Analogien, fiktiven Abläufen, geführtem Experimentieren und metakognitiven Prüfphasen werden Verstehensprozesse und Vorstellungsveränderungen angeregt und ermöglicht. Die Verankerung der LU an konkreten Situationen, die aktive kognitive und handlungsorientierte Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Lernmaterial und in sozialen Kontexten (Partnerarbeit, Diskussionen im Lernteam und mit dem Versuchsleiter) werden als zusätzlich lernförderlich betrachtet. Auf der Sachebene sollen die unterschiedlichen Lernschritte zur Hypothesenbildung anregen, Prozesse (auf verschiedenen Skalen) veranschaulichen und erste Schritte in Richtung vernetztes problemorientiertes Denken initiieren. Außerdem soll den Lernenden durch die LU ermöglicht werden, gewisse Risiken in Bezug auf die Beeinträchtigung von Quellwasserverschmutzung abzuschätzen und die Konsequenzen anthropogener Eingriffe zu reflektieren. Die LU wurde in einer 7. Klasse pilotiert, und die Lernmaterialien und der Ablauf der Lernschritte wurden aufgrund dieser Erfahrungen optimiert.

Arbeitsblatt

Die Arbeit mit der LU beginnt mit einem Arbeitsblatt, mit welchem Vorwissen aktiviert und ein Problem aufgeworfen wird, und mit dem sich die Lernenden in Einzelarbeit Grundlagen über die Entstehung von Porenquellen in Bergregionen erarbeiten. Die Konfrontation der SuS mit dem

Porenquellen-Konzept zu Beginn der LU soll einer kognitiven Überlastung der Lernenden in den späteren experimentellen Arbeitsphasen der LU vorbeugen. Als Basis für die Konstruktion des Arbeitsblatts (s. Anhang 1) diente der Ansatz der „Psychologischen Didaktik“ von Hans Aebli (1983), eine wissenschaftliche Didaktik, die sich als Lehr-Lerntheorie versteht. Aebli bezieht sich auf ein konstruktivistisches Lernverständnis, bei dem der Einbezug des Vorwissens der Lernenden und die Integration des Neuen in deren bestehende Wissenssysteme zentral sind – ein Aspekt, der auch im Modell der didaktischen Rekonstruktion grundlegend ist. Aebli's „Psychologische Didaktik“ fokussiert auf aktives kognitives Lernen, das darauf beruht, beim Lernen Denkopoperationen auf einen Lerngegenstand anzuwenden, mit denen sich der Lerngegenstand in seinen Sachzusammenhängen erfassen und in das individuelle kognitive Wissens- und Denksystem integrieren lässt. Unter Denkopoperationen versteht Aebli in Anlehnung an Piaget verinnerlichte Handlungen und Verknüpfungen, die einsichtig erfolgen und zu einem variablen Denksystem verbunden werden können (Messner, 2006). Aebli's Ansatz wurde im Arbeitsblatt mittels Bild-Text-Einheiten umgesetzt. Mit dieser Art der Vermittlung des Porenquellen-Konzepts wird auch instruktionspsychologischen Kriterien entsprochen, mit denen tiefes Verstehen induziert werden kann (vgl. kognitive Theorie des medialen Lernens bei Mayer, 2005 und 2009). Die sechs Bild-Text-Einheiten enthalten Erklärungen, die für 13-jährige Jugendliche, die noch kein naturwissen-

schaftliches Vorwissen in der Schule erworben haben, verständlich sind, und beinhalten die nötige konzeptionelle fachwissenschaftliche Tiefe. Nur diejenige Information, die für das Verständnis der Schlüsselemente des Quellenkonzepts essentiell sind, wie die Porosität und Permeabilität von klastischen Sedimenten/Sedimentgesteinen, der Schichtaufbau der Erdkruste, die Tatsache, dass ein Aquifer an einem Hang angeschnitten sein kann, sowie die Beziehung zwischen Zufluss und Abfluss wurden berücksichtigt. Die im Arbeitsblatt gewählte inhaltliche Strukturierung und die Darstellung der Wissensbausteine sollen das korrekte Verstehen unterstützen. Die verwendete Sandkastenanalgie diente dazu, an kindlichen Erfahrungen und dem Vorwissen der Lernenden anzuknüpfen. Die lernpsychologischen Überlegungen, die bei der Konstruktion des Arbeitsblatts eine Rolle gespielt haben, wurden an anderer Stelle von Reinfried et al. (2012) differenziert beschrieben.

Im Rahmen der LU skizzieren die SuS nach dem Studium des Arbeitsblattes auf einem leeren Blatt, wie sie die mit dem Arbeitsblatt vermittelten Grundlagen der Porenquelle verstanden haben, und erklären und diskutieren mit ihrem Lernpartner, wie sie sich die Entstehung von Porenquellen vorstellen. Dieser Schritt ist aus zwei Gründen sinnvoll: (1) die kurz zuvor aufgenommenen visuellen Informationen, die noch im Kurzzeitgedächtnis gespeichert sind, verblassen nicht so schnell; (2) Lernende, die ihr Wissen zeichnerisch darstellen und in ihrer Lerngruppe Bedeutungen auszutauschen und klären, ex-

plizieren und spezifizieren ihr Denken (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011).

Anschauungsmaterial

Das Aussehen eines Gesteins mit seinen Eigenschaften in Verbindung zu bringen, ist eine anspruchsvolle Konzeptualisierung (Ford, 2005), welche jedoch für das Verständnis von Quellen wichtig ist. Anhand von Anschauungsmaterial werden deshalb die Unterschiede von porösen, und permeablen Sandsteinen und Konglomeraten und porenarmen Kalksteinen untersucht und diskutiert. An Handstücken eines dichten Kalksteins sowie eines porösen Sandsteins und Konglomerats, deren Gefügeeigenschaften mit einer Lupe mit 10-facher Vergrößerung erkennbar sind, werden die unterschiedlichen Gesteinsmerkmale betrachtet und mit dem Vorhandensein oder Fehlen der Gesteinseigenschaften Porosität und Permeabilität verknüpft. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines porösen Sandsteins und eines porenfreien Kalksteins, die einen Blick in das „Innere“ der Gesteine ermöglichen, sollten das anforderungsreiche Verknüpfen von makroskopischen und mikroskopischen Eigenschaften erleichtern.

Quellenmodelle

Die aktive Anwendung der neuen Konzepte erfolgt durch das gruppenweise Experimentieren mit Modellen. Mit Modellen kann das schriftlich vermittelte wissenschaftliche Konzept der Porenquelle unter einem anderen Blickwinkel darge-

stellt werden. Harrison & Treagust (2000) weisen nach, dass Lernende abstrakte Konzepte besser verstehen, wenn sie Gelegenheit dazu haben, mit analogen Modellen, die auf systematische Art und Weise präsentiert werden, zu lernen. Wichtig ist hierbei, dass sich die Lernenden bewusst darüber werden, dass Modelle Phänomene erklären können, die mit einem Arbeitsblatt nicht so gut zu erläutern sind, und dass Modelle das zu lernende Phänomen nicht identisch abbilden (Justi & Gilbert, 2002). Hilfreich für die Entwicklung eines Konzeptverständnisses ist auch, dass verschiedene Modelle verschiedene Aspekte eines abstrakten Konzepts repräsentiert (Stevens, Delgado & Krajcik, 2010), was bei der Konzeption dieser LU ebenfalls berücksichtigt wurde. Aus diesem Grund wird zuerst mit zwei PET-Flaschen-Quellenmodellen und dann mit physischen Landschaftsmodellen experimentiert.

1. PET-Flaschenmodelle

Experimentiert wird gruppenweise mit je zwei PET-Flaschen, von denen eine mit Kies und Sand gefüllt ist und eine Porenquelle darstellt, während die zweite Flasche einen Hohlraum in einem verkarsteten Karbonatgestein und somit die Verhältnisse in einer Karstquelle repräsentiert. Der Versuchsleiter erläutert die beiden Modelle und leitet die Versuche an, stellt Fragen nach dem Verständnis der Lernenden und regt Diskussionen an. Die Lernenden bilden zuerst Hypothesen, führen dann Beobachtungen und Messungen durch, interpretieren diese und ziehen Schlussfolgerungen. Insgesamt werden drei Versuche durchgeführt:

(1) Das Wasserrückhaltevermögen im Porenraum der Lockergesteinen und im großen, offenen Hohlraum wird gemessen und der Zusammenhang von Porosität, Permeabilität und Speichereigenschaften eines Gesteins hergestellt.

(2) Der Zusammenhang zwischen Gesteinseigenschaften und Quellschüttung wird untersucht, indem die Schüttung aus beiden Flaschen (d.h. aus der Poren- und aus der Karstquelle) bei gleicher Regenmenge gemessen wird.

(3) Die Filtereigenschaften beider Quellentypen gegenüber festen und gelösten Verschmutzungen werden beobachtet und interpretiert.

Die Experimente sprechen die Schülervorstellungen gezielt an und ermöglichen den Lernenden zu erleben,

- dass Wasser in den mikroskopischen Strukturen von makroskopisch dichtem Substrat gespeichert werden kann.
- dass Volumen und Dauer der Quellschüttung sowohl vom Substrat, aus dem die Quelle entspringt, als auch von der Menge des Wasserinputs abhängig ist.
- dass die Quellwasserqualität von den Eigenschaften des Substrats, durch das es sickert, und der Art der Verschmutzung des Versickerungswassers abhängt.

2. Landschaftsmodelle

Um anschließend das neu gewonnene Wissen an einer möglichst realitätsnahen Umgebung zu testen und zu verfestigen, wird den SuS das physische Modell einer Karstquelle und dasjenige einer Porenquelle präsentiert, mit denen sie eben-

falls experimentieren. Dadurch erhalten die Lernenden ein anschauliches, einprägsames und plausibles Abbild der Vorgänge in der Natur zur Überprüfung der eigenen Annahmen. Die Modelle bestehen aus zwei großen Plexiglasbehältern mit einer Abmessung von 80cm x 80cm x 20cm, die von unserem Projektpartner Scherrer AG hergestellt wurden (Abb. 2). Im Porenquellen-Modell liegt über undurchlässigen tonigen Gesteinen eine durchlässige Sandsteinschicht, gefolgt von einer Konglomeratschicht und Hangschutt. Das Karstquellen-Modell ist so aufgebaut, dass undurchlässige Gneise und Tonsteine von stark verkarstem Kalkgestein und locker gelagertem Hangschutt überlagert werden³. Gelochte Plexiglas-Kästen, die auf die Modelle aufgesetzt werden können, ermöglichen die Simulation von Niederschlag im Gebirge, wobei zwei verschiedene Intensitäten eingestellt werden können (Landregen und Gewitter). Bei Beregnung entsteht jeweils eine Quelle oberhalb der Schichtgrenze zwischen undurchlässigem Untergrund und verkarstem Kalkstein bzw. undurchlässigem Untergrund und durchlässigem Sandstein. Die Quelle kann mit einem Plastikschlauch gefasst werden und die Zeit zwischen Niederschlag und dem Anspringen der Quelle sowie die Abflussmenge gemessen werden. Bei den Experimenten handelt es sich um arbeitsteilige Gruppenarbeit, bei welcher der Versuchsleiter ebenfalls eine anlei-

³ Bei den als „Gesteine“ bezeichneten Füllungen der Modelle handelt es sich um leichtere, synthetische Materialien, die durch Laien optisch von den originalen Gesteinen kaum unterschieden werden können.

tende Funktion hat. Anhand der Modelle sollten auf Basis des bereits Gelernten Hypothesen formuliert, mittels Messungen überprüft und die neuen Beobachtungen mit den Erkenntnissen aus den PET-Flaschen-Experimenten verglichen werden. Mit den Quellenmodellen werden drei Messungen durchgeführt, bei denen es darum geht,

- (1) den Zusammenhang von Niederschlag, Gesteinsuntergrund und Quellschüttung zu vertiefen,
- (2) den Einfluss der geologischen Ausgangssituation auf die Verschmutzung von Quellwasser mit löslichen Substanzen zu beobachten (Tracer-Versuche mit Farbstoffen),
- (3) nachzuvollziehen, warum Karstquellen bei Trockenheit schnell versiegen, Porenquellen hingegen nur sehr langsam.

Die Quellenmodelle gehen in ihrem Anwendungsbereich einen Schritt weiter als die PET-Flaschen-Modelle. Mit ihnen können Wasseraustritte im Gebirge in Form einer Quelle als Systeme bestehend aus Niederschlag, Relief, Geologie und Hydrologie und damit als vielschichtige multikausale Phänomene verstanden werden. Die Modelle erlauben auch direkt in das Quellgeschehen in der Landschaft einzugreifen und die dadurch verursachten Auswirkungen im raumbezogenen Kontext zu beobachten.

4 Methode

4.1 Stichprobe und Studiendesign

Der Einfluss der LU zur Entstehung und Funktion von Wasserquellen auf den dies-

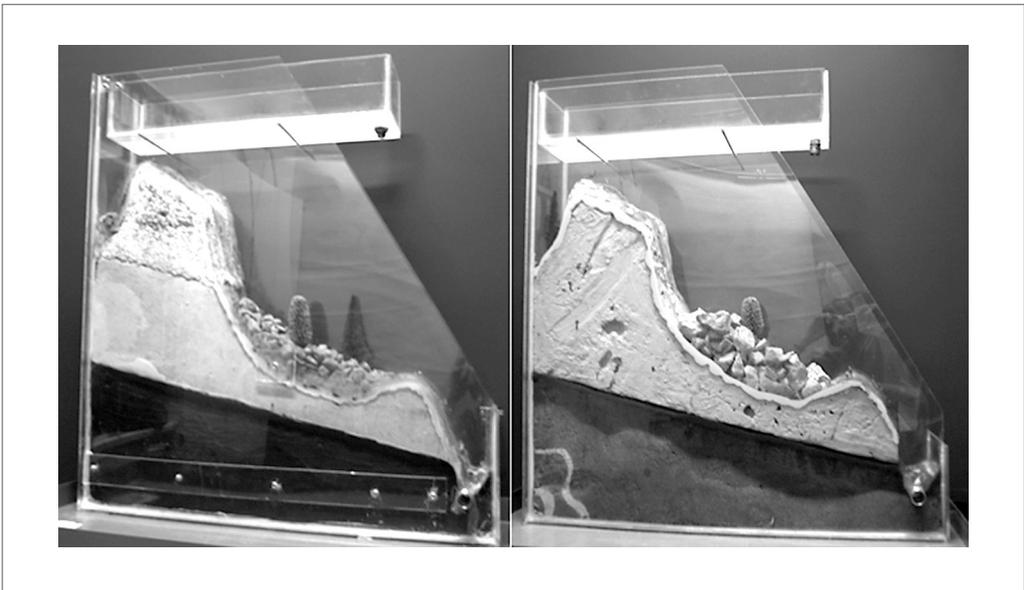


Abb. 2: Die beiden Quellenmodelle. Links: Porenquelle, rechts: Karstquelle.

bezüglichen Wissenstand von 12–13jährigen Lernenden wurde quantitativ mittels eines Fragebogens zu drei Messzeitpunkten untersucht (Tab. 2). Für die Studie wurden alle Geographielehrpersonen der 7. Klassen der Kooperationsschulen der Pädagogischen Hochschule Luzern angeschrieben und mit ihren Klassen zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Acht Klassen konnten für die Untersuchung gewonnen werden. Die Stichprobe umfasste 143 Schülerinnen ($n_w = 71$) und Schüler ($n_m = 72$), die im Schnitt 12.5 Jahre alt waren. 51 Lernende kamen aus Klassen des Niveaus A, 92 aus Klassen des Niveaus B⁴. Die SuS einer jeden Klasse wurden zufällig (Niveau ausbalanciert) zwei Gruppen, entweder einer Experimentalgruppe (EG) oder einer Vergleichsgruppe (VG), zugeteilt. Da das Thema Quellen in der Sekundarstufe der Schweiz nicht unterrichtet wird (s. Kap. 1), gab es kein „herkömmliches“ Unterrichtsmaterial, das zur vergleichenden Evaluation der Lernwirk-

samkeit der LU hätte herangezogen werden können. Folglich wurde die EG mit der neu entwickelten LU unterrichtet, während die VG keinen quellenbezogenen Unterricht, sondern Unterricht zu einem anderen Thema, erhielt. Sie diente nur dazu, Messwiederholungseffekte, die infolge des dreimaligen Lösens des Fragebogens entstehen können, zu kontrollieren.

Alle SuS füllten etwa drei Wochen vor der Intervention ($m_t = 20.75$ Tage; $SD = 2.71$) den Fragebogen (Pretest t1) aus. Die Lernenden hatten zu diesem Zeitpunkt noch keinen relevanten geographischen oder naturwissenschaftlichen Unterricht erhalten. Unmittelbar vor der Intervention beantworteten die Lernenden der EG zusätzlich einen Motivationsfragebogen. Es folgte die Intervention und im Anschluss daran füllten die SuS den Quellen-Fragebogen erneut aus (Posttest t2). Etwa sieben Wochen später ($m_t = 47.88$ Tage; $SD = 4.19$) erhielten die SuS den Quellen-Fragebogen ein drittes Mal (Follow-up-Test t3).

Tab. 2: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung; EG = Experimentalgruppe, VG = Vergleichsgruppe

Gruppe	Ausgangszustand (t1)	3 Wochen nach Pretest: Intervention (90 min)	Direkt nach der Intervention (t2)	7 Wochen nach der Intervention (t3)
EG	Pretest	Motivationsfragebogen	Posttest	Follow-up-Test
		Unterricht mit didaktisch rekonstruierter Lernumgebung		
VG		Unterricht, der nicht auf das Thema Quellen bezogen ist		

4 In der Schweiz wird die Sekundarstufe I in die Niveaus A, B und C gegliedert. Das Niveau C (entspricht der deutschen Hauptschule) wurde nicht in die Studie einbezogen.

4.2 Messinstrumente

In der Intervention kamen ein Quellen-Fragebogen und ein Motivationsfragebogen zum Einsatz. Der Quellen-Fragebogen (Anhang 2) besteht aus 30 Einzelitems, die wissensbezogene Aussagen über Quellen beinhalten. Die Items können sechs Skalen zugeordnet werden (Tab. 3), die identisch mit den Kategorien und Subkategorien sind, die für die Entwicklung der Leitlinien für die didaktische Strukturierung (Kap. 3) herangezogen wurden.

Die Fragebogen-Items konnten entweder mit „richtig“, „nicht richtig“ oder „weiß nicht“ beantwortet werden. Die dreiteilige Antwortskala hatte den Vorteil, dass viele „missing values“ in der statistischen Auswertung vermieden werden konnten, da sich die Versuchspersonen nicht auf eine strikt positive oder negative Antwort festlegen müssen. Die Verständlichkeit der Fragebogen-Items wurde von drei 12-jährigen Jugendlichen, die nicht in die Studie involviert waren, vor der Intervention geprüft. Im Fragebogen wurden die SuS

Tab. 3: Kategorien, denen die Fragebogenitems und die Schülerzeichnungen zugeordnet wurden, und ihre Erläuterungen

Skalen/ Kategorien	Subskalen	Erläuterungen
Definition von Wasserquelle		Allgemeine Charakterisierung der wesentlichen Eigenschaften oder Merkmale einer Quelle
Geologische Voraussetzungen	<i>Struktur der Erdkruste</i>	Charakterisierung der Struktur der Gesteine (z. B. strukturlos, geschichtet, usw.)
	<i>Gesteinseigenschaften</i>	Charakterisierung der Eigenschaften der Erdkruste im Bezug auf Wasser (Porosität, Permeabilität, Kompaktheit, Filterwirkung, usw.)
	<i>Unterirdisches Wasservorkommen</i>	Charakterisierung der Art und Weise, wie unterirdisches Wasser vorliegt (z. B. in Höhlen, Kanälen, Spalten, usw.)
Wasserinput / -output		Erkennen und/oder Beschreiben des Zusammenhangs zwischen Wasserzufluss (z. B. Regen) und Quellschüttung
Qualität von Quellwasser		Beschreibung der Qualität von Quellwasser (z. B. rein, sauber) und von Einflüssen auf die Wasserqualität (z. B. Eintrag von Jauche)
Ursachen für Wasseraustritt	<i>Geomorphologische Ursachen</i>	Geomorphologische Gründe für den Austritt von Grundwasser (z. B. Anschnitt eines Aquifers am Hang)
	<i>Physikalische Ursachen</i>	Physikalische Ursachen für den Austritt von Wasser (Gravitation, hydrostatischer Druck, Stauwirkung des Stauers, usw.)
Darstellung des Quellenaustritts (Kategorie nur für die Analyse der Zeichnungen)		Der Quellenaustritt befindet sich an einem Hang/Hangfuß/in Geländemulde.

außerdem mit offenen Fragen dazu aufgefordert, die Funktionsweise von Quellen und das Phänomen, dass Quellwasser an der Erdoberfläche austritt, schriftlich zu erklären. Auch fertigten sie eine Zeichnung an, welche die Entstehung von Quellen erläutern sollte. Mit dem Motivationsfragebogen wurde verschiedene personen- und umfeldbedingte Faktoren erhoben (s. Kap. 5.3).

Die Motivation der SuS der EG wurde zu Beginn der Intervention (t2) mit einer angepassten Fragebogen-Version des FAM von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) erfasst. Die Reliabilität des Motivationsfragebogens nach Cronbach beträgt $\alpha = .83$, die internen Konsistenzen der Subskalen liegen zwischen $\alpha = .70$ und $\alpha = .78$ und erreichen damit vergleichbare Werte wie die Originalfassung von Rheinberg, Vollmeyer & Burns (2001).

4.3 Datenanalyse

Die Überprüfung der Lernwirksamkeit der didaktisch rekonstruierten LU erfolgte über die Analyse des Wissenszuwachses in der EG. Hierfür wurden die von den Probanden erreichten Testpunkte bei der Beantwortung der Wissensitems im Quellen-Fragebogen im Pre-, Post- und verzögerten Nachtest miteinander verglichen. Die Daten wurden dichotomisiert, in dem die Antworten „nicht richtig“ und „weiß nicht“ mit 0 und die Antwort „richtig“ mit 1 bewertet wurden. Die inferenzstatistische Analyse des gesamten Datensatzes erfolgte mit Hilfe von SPSS 20.

Wie in Kap. 4.2 erwähnt, sollten die SuS zusätzlich zur Beantwortung der Wissensfragen ihre Vorstellung von Quellen skizzieren und beschreiben. Dadurch sollte überprüft werden, ob bei den Lernenden eine dauerhafte konzeptionelle Entwicklung des Quellenkonzepts stattgefunden hat. Für die Analyse wurden die zu t1 und t3 von der EG und VG angefertigten Zeichnungen kategorisiert und kodiert. Die in den Zeichnungen identifizierbaren Quellen-relevanten Elemente wurden denselben Skalen und Subskalen wie die Fragebogenitems zugeordnet (Tab. 3) und mit der Kodierung 0 für ‚nicht vorhanden‘ und 1 für ‚vorhanden‘ erfasst. Die Zuordnung wurde von zwei unabhängigen Beurteilern vorgenommen. Es ergab sich eine Interraterreliabilität von .71 (Cohen's Kappa), welche als zufriedenstellend bewertet werden kann.

5. Ergebnisse

5.1 Auswertung des Quellen-Fragebogens

Die varianzanalytische Prüfung (ANOVA mit Messwiederholung) der Wissensveränderung über die drei Messzeitpunkte mit dem Innersubjekt-Faktor *Zeitpunkt der Erhebung* und den Zwischensubjekt-Faktoren *Gruppenzugehörigkeit* (EG oder VG) ergab für die Hauptskala „Quellenwissen“, die das gesamte Wissen über Wasserquellen repräsentiert, einen höchst signifikanten Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Testzeitpunkt (s. Tab. 4). Die Mittelwerte, wie auch die Post-hoc-Tests,

Tab. 4: ANOVA mit Messwiederholung; EG = Experimentalgruppe, VG = Vergleichsgruppe; $n_{EG} = 73$; $n_{VG} = 70$; g = Gruppenzugehörigkeit; t = Zeitpunkt der Erhebung; Int = Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit; n.s. = nicht signifikant, * = $p < .05$, ** = $p < .01$, *** = $p < .001$

Skalen	Mittelwerte (SD)		F _g	F _t	F _{Int}	
	EG	VG	df Eta ²	df Eta ²	df Eta ²	
<i>Hauptskala</i>						
Quellenwissen t1	.43 (.15)	.45 (.13)	34.25***	91.47 ***	52.12***	
Quellenwissen t2	.71 (.16)	.49 (.16)	1, 134	2, 268	2, 268	
Quellenwissen t3	.68 (.14)	.49 (.19)	.20	.25	.41	
<i>Subskalen</i>						
Definition von Quelle	Definition von Quelle t1	.51 (.26)	.58 (.29)	1.026 n.s.	4.77**	5.88**
	Definition von Quelle t2	.67 (.28)	.57 (.27)	1, 136	2, 272	2, 272
	Definition von Quelle t3	.66 (.27)	.57 (.31)	.01	.03	.04
Geologische Voraussetzungen	Struktur Erdkruste: Schichtaufbau t1	.57 (.26)	.64 (.27)	1.45 n.s.	8.09***	6.45**
	Struktur Erdkruste: Schichtaufbau t2	.73 (.27)	.65 (.28)	1, 136	2, 272	2, 272
	Struktur Erdkruste: Schichtaufbau t3	.76 (.25)	.65 (.31)	.01	.06	.05
	Gesteinseigenschaften t1	.49 (.27)	.47 (.27)	23.48***	25.70 ***	8.40***
	Gesteinseigenschaften t2	.75 (.16)	.52 (.16)	1, 135	2, 270	2, 270
	Gesteinseigenschaften t3	.74 (.17)	.57 (.29)	.15	.16	.06
	Unterirdisches Wasservorkommen t1	.54 (.29)	.43 (.24)	24.92***	37.25 ***	22.59***
	Unterirdisches Wasservorkommen t2	.79 (.28))	.75 (.28)	1, 135	2, 270	2, 270
	Unterirdisches Wasservorkommen t3	.74 (.27)	.48 (.32)	.16	.22	.14
Input / Output	Input/Output t1	.45 (.28)	.43 (.25)	25.02***	41.55 ***	16.68***
	Input/Output t2	.75 (.23)	.50 (.28)	1, 137	2, 274	2, 274
	Input/Output t3	.75 (.23)	.49 (.28)	.15	.23	.11

(Fortsetzung Tabelle 4)

Wasserqualität	Qualität von Quellwasser t1	.46 (.28)	.46 (.29)	35.38 ***	29.24 ***	17.86***
	Qualität von Quellwasser t2	.83 (.24)	.51 (.30)	1, 137	2, 274	2, 274
	Qualität von Quellwasser t3	.78 (.23)	.51 (.31)	.21	.18	.12
Ursachen für Wasseraustritt	Geomorphologische Ursachen t1	.33 (.35)	.41 (.38)	6.75 *	9.65 ***	10.06 ***
	Geomorphologische Ursachen t2	.61 (.36)	.41 (.36)	1, 132	2, 264	2, 264
	Geomorphologische Ursachen t3	.64 (.35)	.41 (.37)	.05	.07	.07
Ursachen für Wasseraustritt	Physikalische Ursachen t1	.20 (.20)	.18 (.19)	26.33 ***	31.33 ***	.94 ***
	Physikalische Ursachen t2	.49 (.26)	.26 (.26)	1, 136	2, 272	2, 272
	Physikalische Ursachen t3	.35 (.25)	.18 (.20)	.17	.12	.07

belegen, dass die EG nach der Intervention einen deutlichen Wissenszuwachs erfährt, welcher auch beim verzögerten Nachtest auf hohem Niveau stabil bleibt.

Die Post-hoc-Tests zeigen, dass sowohl in der Hauptskala (s. Tab. 4) als auch in den Subskalen kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zum Zeitpunkt t1 besteht (unabhängiger t-Test, alle p -Werte $> .05$), weshalb davon ausgegangen werden kann, dass sich die Gruppen bezüglich ihres Vorwissens nicht unterscheiden haben. Im Bezug auf die EG zeigen die Post-hoc-Tests, dass in allen Sub- und auch in der Hauptskala im Vergleich zum Testzeitpunkt t1 eine signifikant bessere Leistung zu den Testzeitpunkten t2 und t3 vorliegt. In der Regel gibt es keine signifikanten Unterschiede der Skalen zwischen t2 und t3. Allerdings kommt es in der Hauptskala zu einer geringen, aber dennoch signifikanten Abnahme der Lei-

stung von Testzeitpunkt t2 ($M = .71$) zu t3 ($M = .68$) (abhängiger t-Test $t(68) = 1.997$, $p = .05$), was angesichts der Zeitspanne von sieben Wochen von t2 zu t3 völlig normal ist. Auch in der Subskala „Physikalische Ursachen für den Wasseraustritt“ (t2: $M = .49$, t3: $M = .35$; abhängiger t-Test $t(68) = 4.417$, $p < .001$) kann eine geringe, aber signifikante Wissensabnahme beobachtet werden. Des Weiteren sei hier erwähnt, dass die Varianzhomogenität zum Zeitpunkt t3 nicht gegeben ist. Hierfür sind verschiedene Erklärungen denkbar. Am wahrscheinlichsten ist, dass sich die SuS der VG und der EG zwischen t2 und t3 ausgetauscht haben, was auch den geringfügigen Wissenszuwachs der VG von t1 zu t2 erklärt (s. Abb. 3). Auch ist es wahrscheinlich, dass die Motivation, den anspruchsvollen Fragebogen zum dritten Mal auszufüllen, bei einigen SuS geringer war, so dass es diesbezüglich zu Ver-

zerrungen kam. Trotz dieser Abnahmen ist es bemerkenswert, dass sich der Wissensstand der EG zwei Monate nach nur 90 Minuten Unterricht noch auf so hohem Niveau befindet.

5.2 Auswertung der Zeichnungen

Ausgewertet wurden die Schülerzeichnungen und die dazugehörigen Beschreibungen zu t1 und t3. Es wurde nicht erwartet, dass alle in Tab. 3 aufgeführten Kategorien in allen Zeichnungen zu finden sein würden, weil Lernende beim spontanen Zeichnen keine systematischen Überlegungen darüber anstellen, was für die Entstehung einer Quelle notwendig ist, sondern das darstellen, was ihnen un-

mittelbar in den Sinn kommt. Insgesamt konnten acht Skalen/Subskalen ausgewertet werden (Tab. 5). Nur die Kategorie „Qualität von Quellwasser“ entfiel, da sich hierzu in keiner Zeichnung Hinweise fanden. Vergleicht man die addierten Summenscores der EG zu t1 ($M_{EG} = 1.58$; $SD \pm 1.731$) mit jenen zu t3 ($M_{EG} = 4.91$; $SD \pm 2.295$) so ergibt sich ein hochsignifikanter Punktezuwachs (abhängiger t-Test, $t(69) = -11.242$, $p < .001$). Der Zusammenhang zwischen der Intervention und den gezeichneten Kategorien wurde mittels Kreuztabelle ermittelt (s. Tab. 5). Erwartungsgemäß traten die in der Intervention neu gelernten Teilkonzepte des Quellenkonzepts zu t3 hoch bis höchst signifikant häufiger auf als zu t1.

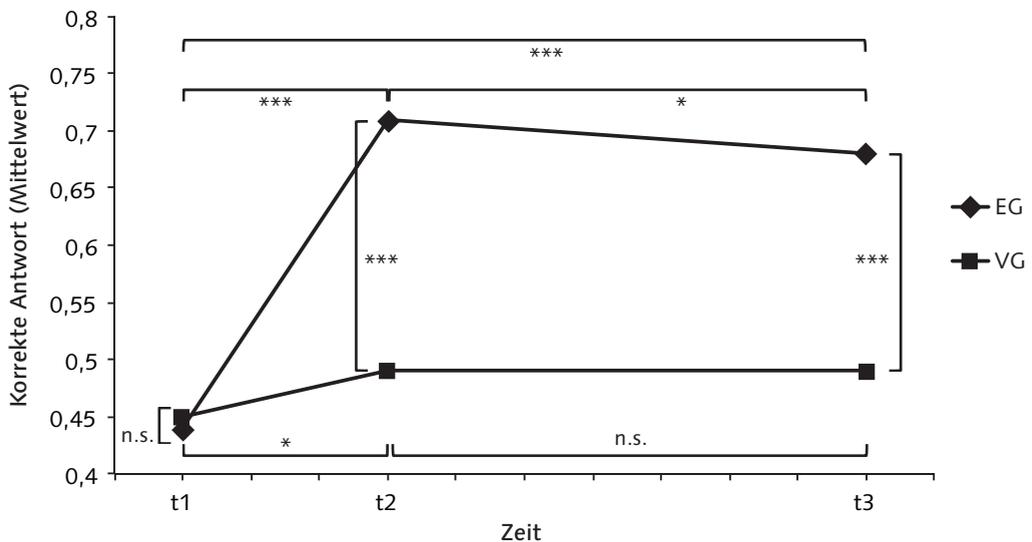


Abb. 3: Entwicklung des Wissensstandes in der Experimentalgruppe (EG) und der Vergleichsgruppe (VG) über die Zeit (Statistik: zwischen den Zeitpunkten abhängiger t-Test, zwischen Gruppen unabhängiger t-Test); n.s. = nicht signifikant, * = $p < .05$, *** = $p < .001$.

Tab. 5: Absolute Häufigkeiten der Kategorien in den Schülerzeichnungen und Begleit-texten der EG zu den Messzeitpunkten t1 und t3

Kategorien	Messzeitpunkte ($n_{EGt1} = 73$, $n_{EGt3} = 70$)		
	t1	t3	χ^2
Definition von Quelle	38	66	32.13***
Struktur Erdkruste: Schichtaufbau	2	27	28.38***
Gesteinseigenschaften	4	27	23.05***
Unterirdisches Wasservorkommen	5	33	29.73***
Input/Output	17	51	35.21***
Geomorphologische Ursachen für Wasseraustritt	16	53	41.42***
Physikalische Ursachen für Wasseraustritt	17	34	9.96**
Quellenaustritt am Hang	16	53	41.42***

5.3 Überprüfung von Einflussfaktoren

Für die EG wurde zusätzlich überprüft, welchen Einfluss personen- und umfeldbedingte Faktoren, die nicht direkt mit der LU zusammenhängen, auf die Entwicklung des Wissenstandes über die Zeit haben. Die getesteten Einflüsse waren: Geschlecht, Lebensjahre in der Schweiz, Bildungsnähe (Anzahl Bücher), Involviertheit (sich Sorgen machen hinsichtlich der Quellenproblematik), Vorwissen (Informiertheit über Quellen), Interesse, Muttersprache (Deutsch oder nicht Deutsch), Nationalität (Schweizerin/Schweizer vs. nicht-schweizerische Herkunft), Motivation (Fragen zu den Emotionen bei der Bearbeitung von anspruchsvollen Aufgaben) und Sekundarschulniveau (Niveau A oder B). Die Überprüfung wurde mittels einer

ANOVA mit dem Innersubjekt-Faktor Zeitpunkt der Erhebung und den weiteren getesteten Faktoren entweder als Zwischensubjekt Faktoren bzw. Kovarianzen getestet. In keinem Fall konnte eine Interaktion dieser Faktoren bzw. Kovarianzen mit dem Faktor Testzeitpunkt festgestellt werden. Einen eigenständigen Effekt (Zwischensubjekteffekt) hatten das Sekundarschulniveau ($F_{1,67} = 14.367$, $p < .001$) und die Motivation ($F_{1,67} = 10.668$, $p < .01$). Der Einfluss des Niveaus (A oder B) beruht auf einem generell besseren Abschneiden von Lernenden des Niveaus A ($M_A = .68$) gegenüber jenen des Niveaus B ($M_B = .56$). Der Post-hoc-Test zeigt ebenfalls, dass dieser Unterschied signifikant ist (unabhängiger t-Test, $t(70) = 3.849$, $p < .001$). Ein Post-hoc-Test mit Median Split zeigt, dass SuS, welche motivierter waren ($M_{\text{mot}} = .65$) insgesamt signifikant besser abschnit-

ten, als solche die weniger motiviert waren ($M_{\text{unmot}} = .56$; unabhängiger t-Test, $t(67) = 3.230$, $p < .01$).

6 Diskussion

Ziel dieser Studie ist es, eine von den Autoren entwickelte didaktisch rekonstruierte LU zum hydrogeologischen Thema „Wasserquellen und Gebirgshydrologie“ im schulischen Kontext auf ihre Wirksamkeit zu evaluieren. Das besondere Interesse bei der Entwicklung der LU galt der Tatsache, dass das Porenquellenkonzept im Gegensatz zum Konzept der Karstquelle kontra-intuitiv ist, weshalb bei der Entwicklung der LU zusätzlich lernpsychologische Überlegungen einbezogen wurden, um möglichst tiefes Lernen zu induzieren und dadurch die intuitiven Schülervorstellungen überzeugend zu verändern. Die Resultate bestätigen die Annahme, dass ein didaktisch rekonstruiertes Lernangebot, das Verstehens-, Lern- und Denkprozesse aus dem Blickwinkel der SuS wahrnimmt und die Materialien in ein Lernarrangement einbettet, welches tiefes Lernen ermöglicht (vgl. Messner & Reusser, 2006), zu einem beträchtlichen Lernzuwachs und einer ziemlich stabilen Behaltensleistung führt. Das neu gelernte Wissen ist sowohl in seiner Gesamtheit als auch bezogen auf die einzelnen Skalen/Subskalen noch nach zwei Monaten zu einem großen Teil verfügbar. Das in der Intervention erworbene Wissen kann zwei Monate später auch noch in Form von differenzierten Skizzen dargestellt werden, die ein teilweises oder vollständiges Verständnis der Quellenent-

stehung und -funktion erkennen lassen.

Die positiven Lerneffekte zeigen nicht die Überlegenheit der vorgestellten LU im Vergleich zu anderen Lernumgebungen. Die Studie war nicht als Methodenvergleich angelegt. Die VG diente einzig dazu, einen möglichen Effekt der Messwiederholung, d.h. eine allfällige ungewollte Lernwirkung des Fragebogens, zu kontrollieren. Das Ziel war die Entwicklung und Evaluation von effizientem Unterrichtsmaterial für die Sekundarstufe I, und zwar zu einem Thema, zu dem lernhinderliche intuitive Vorstellungen in der Schülerschaft so verbreitet sind, dass die einzelnen Lehrkräfte mit „Eigenentwicklungen“ überfordert sein könnten. Insofern war das leitende Interesse praxisorientiert, auch im Hinblick auf die Überlegungen, die evaluierten Materialien über Publikationen bzw. gewerbliche Herstellung Schulen und Medienzentren zur Verfügung zu stellen. Aus diesem praxisorientierten Bewährungsinteresse heraus war es den Autoren auch besonders wichtig, mit einem Follow-up-Test nach zwei Monaten das Gelernte erneut zu überprüfen, weil eine gute zeitliche Stabilität – die schließlich auch belegt werden konnte – als Hinweis auf tiefes Lernen verstanden werden kann. Für ein Versuchsdesign mit einer echten Kontrollgruppe und einer entsprechenden Wirkungsunterschiedshypothese hätte eine Vergleichs-Lernumgebung entwickelt werden müssen, in welcher bewusst auf alles verzichtet wird, was die Förderung tiefen Lernens erwarten lässt. So hätte dort im Speziellen auch jede Bemühung unterbleiben müssen, die festgestellten verbreiteten und in der Alltagserfahrung

verwurzelten Fehlkonzeptionen zu konfrontieren, wonach das Material „Stein“ prinzipiell wasserundurchlässig ist, so dass Wasservorkommen in einem „Stein“-Untergrund tatsächlich nur in höhlen- und/oder röhrenartigen Aussparungen denkbar sind. Diese Konfrontation sollte u.a. die Sandkasten-Analogie in unserem Arbeitsblatt leisten, indem sie die „Gegenbehauptung“, dass Wasser durch kompaktes Bodenmaterial durchsickern kann, an eine überzeugungsstarke haptische Erfahrung aus Kindheitstagen knüpft. Eine solche absichtlich wirkungsschwache LU zu entwickeln, schien uns nicht nur aus unserem praxisorientierten Interesse heraus unnötig, sondern auch in gewissem Sinne unethisch. Dieses Problem stellt sich im übrigen grundsätzlich, wenn es um die Evaluation von Lehrmittel-Neuentwicklungen geht.

Die Resultate zeigen exemplarisch, dass eine didaktisch rekonstruierte LU, die auch lernpsychologische Kriterien miteinbezieht, gut dazu geeignet ist, auf der Sekundarstufe I ein Fundament für das Verstehen komplexer geowissenschaftlicher Konzepte zu legen. Dies gilt umso mehr, wenn es um Konzepte geht, die nicht durch direkte Beobachtung wahrnehmbar sind. Im Falle der Quellen kann dieses Wissen auch die Grundlage für zukunftsorientiertes Denken und Handeln sein, was sich später, im Erwachsenenleben der Lernenden, in einer größeren Akzeptanz von raumplanerischen Maßnahmen zum Schutz von Quellen, wie zum Beispiel der Auszonung von Grundwasserschutzzonen im Einzugsgebiet von Quellen, dem Rückbau von nicht mehr be-

nötigten Quelfassungen und der Revitalisierung von Quellen, ausdrückt.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt den beteiligten Schulen, Schülerinnen und Schülern und Lehrpersonen für ihre Kooperationsbereitschaft und die gute Zusammenarbeit. Roland Künzle danken wir für die Mitarbeit bei der Auswertung der Schülerzeichnungen. Diese Studie wurde vom Schweizerischen Nationalfonds finanziell unterstützt.

Literatur

- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Ainsworth, S., Prain, V. & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333, 1096–1097.
- Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73(4), 481-500.
- Bar, V. & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157–174.
- Barquin J. & Scarsbrook, M. (2008). Management and conservation strategies for coldwater springs. *Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 18, 580–591.
- Batzli, S., Gutmann, B., Hobi, P. & Rempfler, A. (2007). *Das Geobuch. Geographie für die Sekundarstufe I*. Bd. 2. Zug: Klett & Balmer.
- Bauer, J., Englert, W., Meier, U., Morgeneyer, F. & Waldeck, W. (2002). *Physische Geographie kompakt*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Baumgartner, A. & Liebscher, H.-J. (Hrsg.) (1990): *Allgemeine Hydrologie*. Berlin: Bornträger.

- Ben-zvi-Assarf, O. & Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366–373.
- Chang, J.-Y. (1999). Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83(5), 511–526.
- Denzler, L. (2009). Wie der Klimawandel das Süßwasser verändert, *Neue Zürcher Zeitung*, 19. 8. 2009. <http://www.nzz.ch/aktuell/startseite/wie-der-klimawandel-das-suesswasser-veraendert-1.3368179> (12.12.2012).
- Deutsche Gesellschaft für Geographie (Hrsg.) (2012). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen*. Bonn: DGfG http://www.geographie.de/docs/geographie_bildungsstandards.pdf (10.09.2013).
- Deutscheschweizer Erziehungsdirektorenkonferenz (2013). *Projekt Lehrplan 21. Bereich Natur, Mensch, Gesellschaft*. <http://www.lehrplan.ch/start> (10.09.2013).
- Dove, J. E., Everett, L. A. & Preece, P. F. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of Science Education*, 21(6), 485–498.
- Duit, R., Treagust, D. F. & Widodo, A. (2013). Teaching science for conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 2nd Edition (pp. 487–503). New York: Routledge.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In H.E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education. The ESERA Summer School 2004* (pp. 1–9). London: Taylor & Francis.
- Essig, M., Flury, P., Frey-Auf der Maur, D., Hauri, S., Held, S., Lin, L., Schmidt, A. & Stuck, H. (2011). *Diercke Geografie. Das Schweizer Geografiebuch für die Sekundarstufe I*. Braunschweig: Westermann.
- Ford, D. J. (2005). The challenges of observing geologically: Third graders' description of rock and mineral properties. *Science Education*, 89(2), 276–295.
- Forum Umweltbildung (2013): *Trinkwasserversorgung in Österreich*. <http://www.umweltbildung.at> (15.09.2013).
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352–381.
- Hölting, B. & Coldewey W. G. (2013). *Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie* (8. Auflage). München: Elsevier.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002). Models and modeling in chemical education. In J.K. Gilbert, O.D. Jong, R. Justi, D.F. Treagust & J.H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47–67). Dordrecht, Netherlands: Kluwer.
- Karstens, K. A. & Manduca, C. A. (2012). Fostering knowledge integration in geoscience education. In K.A. Karstens & C.A. Manduca (Eds.), *Earth and Mind II: A synthesis of research on thinking and learning in the geosciences*. Geological Society of America Special Paper 486 (pp. 183–206). Boulder: Geological Society of America.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 165–174.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kresic, N. & Stevanovic, Z. (Eds.) (2010). *Groundwater hydrology of springs*. Amsterdam: Elsevier

- Krummenacher, J. (2007). Ein Tunnelbau entzieht dem Cauma-See Wasser. *Neue Zürcher Zeitung*, 14.2.2007. <http://www.nzz.ch/aktuell/startseite/articleex772-1.112635> (12.12.2012).
- Küry, D. (2009). Quellen als Lebensräume. In Kommission für das Baselbieter Heimatbuch (Hg.), *Wasser lebendig, faszinierend, gefährlich*, Baselbieter Heimatbuch Bd. 27 (S. 81–93). Liestal: Verlag des Kt. Basel-Landschaft
- Kugler, A. (1999). *Die Erde unser Lebensraum*. Zürich: Lehrmittelverlag.
- Landesamt für Statistik Baden-Württemberg (2013): *Öffentliche Wassergewinnung in Baden-Württemberg*. <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de> (15.09.13).
- Mayer, R. E. (2009): Constructivism as a theory of learning versus constructivism as a prescription for instruction. In S. Tobias & T.M. Duffy (Eds.), *Constructivist Instruction. Success or Failure?* (pp. 184–200). New York, London: Routledge.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31–48). New York: Cambridge University Press.
- Messner, H. (2006). Lernen durch Denken und Tun. Anmerkungen zur „Psychologischen Didaktik“ von Hans Aebli. In M. Baer, M. Fuchs, P. Füglistner, K. Reusser, & H. Wyss (Hrsg.), *Didaktik auf psychologischer Grundlage. Von Hans Aebli's kognitionspsychologischer Didaktik zur modernen Lehr-Lernforschung* (S. 127–129). Bern: h.e.p., 128.
- Messner, R. & Reusser, K. (2006). Aebli's Didaktik auf psychologischer Grundlage im Kontext der zeitgenössischen Didaktik. In M. Baer, M. Fuchs, P. Füglistner, K. Reusser, & H. Wyss (Hrsg.), *Didaktik auf psychologischer Grundlage. Von Hans Aebli's kognitionspsychologischer Didaktik zur modernen Lehr-Lernforschung* (S. 52–73). Bern: h.e.p.
- Österlind, K. & Halldén, O. (2007). Linking theory to practice: A case study of pupils' course work on freshwater pollution. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 16(1), 73–89.
- Oser, F. K. & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of Research on Teaching*. 4th Edition (pp. 1031–1065). Washington, D. C.: American Educational Research Association.
- Press, F. & Siever, R. (1995). *Allgemeine Geologie. Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum.
- Stadt Wien (2013): *Der Weg des Wiener Wassers in die Stadt*. <http://www.wien.gv.at/wienwasser> (15.09.13).
- Reinfried, S. (2006). Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. *Geographie heute*, 27(243), 38–42.
- Reinfried, S., Tempelmann, S. & Aeschbacher, U. (2012): Addressing secondary school students' everyday ideas about freshwater springs in order to develop an instructional tool to promote conceptual reconstruction. *Hydrology and Earth System Science*, 16, 1365–1377.
- Regli, D. (2009, 14. Oktober). Tunnelbauer wollen für Ersatz sorgen. *Urner Wochenblatt*. http://www.urnerwochenblatt.ch/aktuelle_ausgabe/nachrichten_details.asp?id=7198#UMiyE7aMV5s (12.12.2012).
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B.D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen (Langversion, 2001). *Diagnostica*, 2, 57–66.
- Shepardson, D. P., Wee, B., Priddy, M., Schellenberg, L. & Harbor, J. (2009). Water transformation and storage in the mountains and at the coast: Midwest students' disconnected conceptions of the hydrologic cycle. *International Journal of Science Education*, 31, 1147–1471.
- Siegmund, A. & Frankenberg, P. (2013). *Klimakunde. Wetter, Klima und Atmosphäre*. Braunschweig: Westermann.
- Springer, A. E. & Stevens, L. E. (2009). Spheres of discharge of springs. *Hydrogeology Journal*, 17, 83–93.
- Stevens, S. Y., Delgado, C. & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687–715.

- Suter, D., Küry, D., Baltes, B., Nagel, P. & Leimgruber, W. (2007). Kulturelle und soziale Hintergründe zu den Wahrnehmungsweisen von Wasserquellen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel*, 10, 81–100.
- SVGW (Schweizerischer Verein der Gas- und Wasserversorger) (2010). *Qualität des Schweizer Trinkwassers*. <http://www.wasserqualitaet.ch> (12.12.2012).
- Tarbuck, E. J. & Lutgens, F. K. (2009). *Earth science*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Trinkwasseraufbereitung Info (2013): *Wasser-Wissen*. <http://www.trinkwasseraufbereitung-info.de> (15.09.13).
- Tytler, R., Prain, V. & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research of Science Education*, 37, 313–331.
- UNESCO (o.J.). *UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. http://www.bne-portal.de/coremedia/generator/unesco/de/02_UN-Dekade_20BNE/Die_20UN-Dekade_20BNE.html (12.12.2012).
- UNO (2003). *UN-Aktionsdekade „Wasser – Quelle des Lebens“ Resolution 58/217*. [http://www.unesco.ch/dokumentation/resolutionen.html?sword_list\[0\]=resolution&sword_list\[1\]=58%2F217](http://www.unesco.ch/dokumentation/resolutionen.html?sword_list[0]=resolution&sword_list[1]=58%2F217) (12.12.2012).
- VBEW (Verband der bayrischen Energie- und Wasserwirtschaft) (2013): *Trinkwassergewinnung in Bayern*. <http://www.vbew.de> (15.09.13)
- Vosniadou, S. (Ed.) (2013). *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 2nd Edition. New York: Routledge.

KONTAKT

Prof. Dr. Sibylle Reinfried
Pädagogische Hochschule Luzern
Frohburgstrasse 3
CH-6002 Luzern
sibylle.reinfried@phlu.ch

AUTORENINFORMATION

Dr. Sibylle Reinfried ist Professorin für Geographie und Geographiedidaktik an der Pädagogischen Hochschule Luzern. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der empirischen Lehr-Lernforschung in den Geowissenschaften.

Dr. Urs Aeschbacher ist Psychologe und Autor diverser Publikationen zu kognitiver Lernpsychologie und Technikdidaktik sowie Geschäftsführer der Firma DemoEx GmbH – Technische Erklärungen, Veranschaulichungen und Modelle in Ebikon (Schweiz).

Dr. Peter M. Kienzler ist Hydrologe und Mitarbeiter der Scherrer AG Hydrologie und Hochwasserschutz in Reinach (Kt. BL), Schweiz.

Dr. Sebastian Tempelmann ist Biologe und Psychologe und arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dozent für Fachdidaktik an der Pädagogischen Hochschule Luzern und an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Liestal.

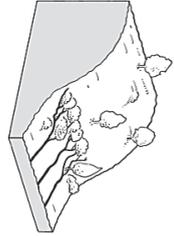
Anhang 1: Arbeitsblatt

Wie Quellen an Berghängen entstehen

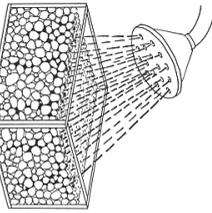
1.) In der Natur sieht man manchmal, dass am Fuss eines Berghangs an mehreren Stellen Wasser auf gleicher Höhe abstritt (siehe schematisierte Zeichnung).

Wieso tritt unten am Berghang Wasser aus? Und wieso liegen die Quellen auf gleicher Höhe?

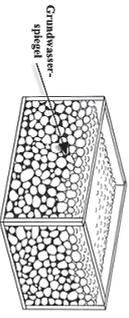
Schaut, es ist wie im Sandkasten.



2.) Ein Sandkasten, der mit Sand gefüllt ist, wird mit Wasser begossen. Das Wasser versickert in den winzigen Poren zwischen den Sandkörnern.

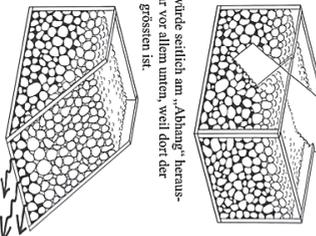


3.) Der Kastenboden staut das Wasser. Die Poren füllen sich. Das nennt man Grundwasser. Es stellt sich ein Wasserstand ein. Der Wasserstand heisst Grundwasserspiegel.

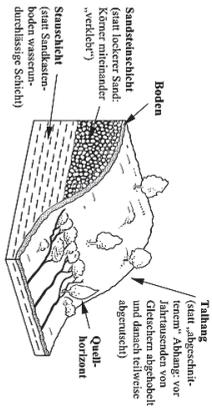


4.) Seid dir vor, man würde den Sand so abschneiden, dass ein schräger „Abhang“ entsteht.

5.) Das Wasser würde seitlich an „Abhang“ herausquellen, und zwar vor allem unten, weil dort der Wasserdruck am grössten ist.



6.) Auch im Berg sickert das Regenwasser zwischen den Sandkörnern durch nach unten, obwohl die Körner zu hartem Sandstein „verleitet“ sind. Auch hier quillt es seitlich heraus, und zwar ebenfalls vor allem zuunterst, d.h. direkt oberhalb der wasserundurchlässigen Schicht. Darum gibt es oft mehrere Quellen auf gleicher Höhe am Hang (= Quellhorzont).



Im Berginneren kann also sehr viel Wasser gespeichert sein, auch wenn es dort keine Höhlen hat. Nennen in den unzähligen winzigen Poren des Sandsteins. Das Wasser kann sich auch durch den Sandstein hindurch bewegen, aber nur sehr langsam, weil es sich sozusagen durch die Poren „durchzwängen“ muss. Im Berg kommt es deshalb oft nur wenige Zentimeter bis Meter pro Tag voran. Solche wasserführenden Schichten im Berg stellen also eine grosse Wasserreserve dar, aus der es noch viele Tage und Wochen seitlich herausquellen kann.

Anhang 2: Quellen-Fragebogen

1. Was stellst du dir unter einer Quelle vor?

2. Wie entsteht deiner Meinung nach eine Quelle?

Fertige eine einfache Skizze an und beschrifte sie. Du kannst sowohl in deine Skizze hineinschreiben oder eine separate Legende erstellen oder auch beides machen.

Beschreibe deine Zeichnung mit ganzen Sätzen.

3. Wie erklärst du dir, dass das Quellwasser von sich aus dem Boden oder einer Felswand strömt? Welcher Ursachen könnte dafür verantwortlich sein?

4. Fragen zum Ankreuzen (mit „ja“, „nein“ oder „weiß nicht“ zu beantworten):

1. Berge bestehen aus einem einheitlichen Stück Fels.
2. Eine Quelle ist eine Stelle, an der Wasser ohne menschliche Eingriffe aus dem Boden herausfließt.
3. Manche Gesteinsarten sind wasserdurchlässig.
4. Ob in einem Gestein Wasser gespeichert werden kann hängt davon ab, woraus es besteht.
5. Quellen trocknen niemals aus.
6. Ein Berg kann aus Schichten bestehen.
7. Aus Quellen kommt immer trinkbares Wasser.
8. Um an die Austrittsstelle der Quelle zu gelangen, muss das unterirdische Wasser immer von unten nach oben steigen.
9. Eine Quelle ist eine Stelle, an welcher der Mensch Wasser aus dem Boden herausholt.
10. Wasser tritt von sich aus an der Erdoberfläche aus, weil es einen inneren Druck hat.
11. Festes Gestein kann kein Wasser speichern.
12. Eine Quelle ist jede Art von natürlichem Wasservorkommen an der Erdoberfläche (z. B. ein Fluss, Teich, See).
13. Unterirdisches Wasser liegt immer in großen unterirdischen Hohlräumen vor.
14. Wasser kann im Untergrund in winzigen Hohlräumen zwischen Kies- oder Sandkörnern gespeichert werden.
15. Unterhalb einer Schicht, aus der eine Quelle austritt, muss eine wasserundurchlässige Schicht liegen.
16. Damit Wasser im Untergrund fließen kann, müssen Kanäle und Höhlen vorhanden sein.
17. Quellwasser wird durch den Druck (= Gewicht) der darüber liegenden Gesteinsschichten an die Oberfläche gepresst.
18. Quellen, deren Wasser aus den Poren von Sandsteinen kommt, können auch bei Trockenheit lange Wasser schütten.
19. Das Wasser, das aus einer Quelle ausfließt, ist häufig versickertes Wasser.
20. Die Reinheit von Quellwasser ist je nach Art einer Quelle ganz unterschiedlich.
21. Im Untergrund fließt Wasser durch mikroskopisch kleine Poren im Gestein, die miteinander verbunden sind.
22. Zwischen Regenwasser und Quellwasser besteht keinerlei Zusammenhang.
23. Es gibt Gesteine, die Verschmutzungen ungefiltert durchlassen.
24. Wenn im Gebirge an Talhängen wasserführende Gesteinsschichten austreten, bilden sich Quellen.
25. Durch Sandstein kann Wasser durchfließen.
26. Sandstein kann viele Verschmutzungen aus versickerndem Wasser herausfiltern.
27. Bei den meisten Quellen fließt das Wasser von oben nach unten durch den Untergrund, bevor es in Quellen hervorquillt.
28. Der Untergrund ist häufig aus Schichten aufgebaut, die aus festem Gestein bestehen.
29. Quellen können dort entstehen, wo der Untergrund aus verschiedenen Schichten besteht.
30. Zwischen Quellen und unterirdischen Wasservorkommen gibt es keinen Zusammenhang.