

Permafrost – ein sinnvolles Thema im GW-Unterricht?

gerhard.lieb@uni-graz.at, Institut für Geographie und Raumforschung der Uni Graz
 michael.krobath@ubz-stmk.at, Umweltbildungszentrum Steiermark

eingereicht am: 13.04.2015, akzeptiert am: 16.06.2015

Dieser Beitrag behandelt einige didaktische Überlegungen zu Permafrost als sehr spezielles physiogeographisches Thema im GW-Unterricht. Das Fach GW hat die zentrale Aufgabe, dass die Schüler/innen durch Kompetenzerwerb befähigt werden lebensweltlich relevante Aufgabenstellungen zu lösen. Unter dieser Voraussetzung haben Spezialthemen aus der Physischen Geographie nur unter bestimmten Bedingungen Platz im GW-Unterricht. Diese werden nach einem groben fachlichen Überblick zu Permafrost diskutiert und führen zu folgender These: Permafrost kann als Beispiel eines aktuellen, integrativen Themas an der Schnittstelle von Physischer und Humangeographie, speziell im Kontext von Klimawandel und Naturgefahren, sinnvoll in den GW-Unterricht eingebunden werden, sofern man den Unterricht schüler/innenaktiv konzipiert. Hierfür werden einige Anregungen (z. B. entdeckendes Lernen durch Experimente) gegeben.

Keywords: Physische Geographie, Permafrost, Experimente, Kompetenzen

Summary: Permafrost – a meaningful topic in geography and economics teaching?

This article deals with some didactic considerations on permafrost as an example of a very special issue of physical geography in geography and economics teaching. The main task of the subject in schools is empowering the students to solve everyday problems by acquiring competencies. Under this premise special topics like permafrost should be taken up in specific circumstances only. These are discussed in this paper, after a short thematic overview of permafrost, and lead to the following hypothesis: Permafrost can contribute to meaningful geography and economics teaching as an example of a topical, integrative subject at the interface of physical and human geography, especially in the context of climate change and natural hazards, provided that lessons allow students to take an active part in working on the topic. The paper gives some recommendations, e. g. on experiments.

Keywords: physical geography, permafrost, experiments, competencies

1 Zum Hintergrund der Fragestellung – GW und naturwissenschaftliche Spezialthemen

Dieser Artikel bezweckt zum einen Permafrost als mögliches Thema im GW-Unterricht vorzustellen und didaktisch zu begründen. Zum anderen wird am Beispiel des Permafrosts die Frage aufgeworfen, unter welchen Rahmenbedingungen sich der GW-Unterricht einem physiogeographischen Spezialgebiet zuwenden soll. Wenn schon der erste Satz des Lehrplanes der SI aus 2000 (BMBF 2015a) klarlegt, dass im Mittelpunkt des GW-Unterrichts der Mensch zu stehen hat, ist diese Frage brisant und kann überspitzt auch so formuliert werden: Ist es Schülerinnen und

Schülern zumutbar, angesichts chronisch knapper Zeitreserven in einem Fach, das so außerordentlich viele Möglichkeiten bietet, bei jungen Menschen lebensrelevante Kompetenzen anzubahnen, mit einem Inhalt konfrontiert zu werden, der Alltagswelten fremd und persönlicher Betroffenheit fern zu sein scheint? Und selbst wenn man die Bezüge des Themas zu Gesellschaft und Wirtschaft (Kap. 2.3) thematisiert oder im Sinne der Anbahnung von *scientific literacy* (Gräber et al. 2002) das Thema beispielhaft aufgreift, bleibt zu hinterfragen, ob es nicht Inhalte gäbe, die näher an der Zielgruppe liegen.

Dahinter steht die grundsätzliche Fragestellung nach dem Stellenwert physisch-geographischer Inhalte im Geographie- und GW-Unterricht, die schon

vielfach behandelt wurde (zusammenfassend für die Situation in Österreich: Sitte 2015). Die Fragen kreisen dabei oft um den Vermittlungsaspekt, wobei man häufig Anschaulichkeit, Originalbegegnung und Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler in den Mittelpunkt stellt (z. B. Vogt 2001); darauf basierend werden Geländestudien (z. B. Hitz 2001, 152 f.) oder Experimente (z. B. Otto 2009) als geeignete Unterrichtsmethoden empfohlen. Ferner kommt immer wieder die Sorge darüber zum Ausdruck, ob die Lehrpersonen hierfür überhaupt ausreichend ausgebildet seien, was schon Hard (1982, 283) verneint und unterstellt, dass dies im Unterricht nur „mittels systematischer Inkompetenzvertuschung“ überbrückt werde. Im Bewusstsein dieser Aspekte diskutieren wir in diesem Beitrag, wie die Beschäftigung mit Permafrost – bzw. mit ähnlichen physiogeographischen Themenstellungen – zum Erwerb lebensbedeutsamer Kompetenzen beitragen kann.

Die Grundlage der Ausführungen bildet auf der fachlichen Ebene die einschlägige wissenschaftliche Spezialisierung der beiden Autoren im Bereich Permafrost bei gleichzeitiger beruflicher Orientierung auf Didaktik in der Aus- und Fortbildung von Lehrerinnen und Lehrern sowie Schulpraxis in GW und in fächerübergreifenden Projekten. Auf der didaktischen Ebene bekennen wir uns zu einem GW-Unterricht, der junge Menschen beim eigenständigen, kritischen Erwerb von Kompetenzen abseits „von der Wissensmast sowie von der Reproduktion von Lehrstoff“ (Pichler 2013, 19) im Sinn des österreichischen Kompetenzmodells für GW (BMBF 2012) befähigt. Als Hintergrund für die im Titel implizierte Frage, was denn überhaupt sinnvoller GW-Unterricht sein kann, beziehen wir uns auf das gleichnamige didaktische Modell von Klappacher (2008), worin die fünf „geografiedidaktischen Leitthesen“ (nicht nur hören, sondern verstehen; nicht nur sehen, sondern erkennen; nicht nur alleine, sondern öfter gemeinsam; nicht nur wissen, sondern können und eigenverantwortlich handeln; nicht nur oberflächlich, sondern persönlich berührt wahrnehmen) auf der Ebene der Schüler/innen am klarsten sinnvollen GW-Unterricht präzisieren.

Der Beitrag versucht die im Titel gestellte Frage in drei Schritten zu beantworten: Den Anfang macht ein kursorischer Blick auf den Permafrost als Gegenstand (Kap. 2), es folgen didaktische Überlegungen (Kap. 3) und schließlich einige konkrete methodische Anregungen (Kap. 4), jeweils eher skizzenhaft ausgeführt, um eine Diskussion anzuregen. Dies führt zum Versuch, zusammenfassend jene Bedingungen anzusprechen (Kap. 5), unter denen physisch-geographische Spezialthemen zu einem sinnvollen GW-Unterricht beitragen.

2 Permafrost aus fachwissenschaftlicher Perspektive

Dieses Kapitel stellt einige ausgewählte inhaltliche Aspekte von Permafrost vor, einerseits um jenen Lehrpersonen, die in ihrer Ausbildung mit dem Phänomen nur randlich oder gar nicht konfrontiert wurden, einen ersten Überblick zu geben, und andererseits um jene Facetten deutlich zu machen, die für eine Analyse der fachwissenschaftlichen Perspektive aus didaktischer Sicht relevant sind. Hierzu bietet sich etwa das Modell der „didaktischen Rekonstruktion“ von Kattmann et al. (1997) an, wonach fachliche Klärung, Erfassung der Perspektiven der Lernenden und didaktische Strukturierung in einer engen wechselseitigen Beziehung zueinander stehen müssen. Daraus wird deutlich, dass der wissenschaftliche Gegenstand gar nicht als solcher der Unterrichtsgegenstand sein kann, sondern letzterer „in pädagogischer Zielsetzung erst hergestellt, d. h. fachdidaktisch rekonstruiert werden“ muss (Kattmann 2007, 100).

2.1 Wesen und Verbreitung von Permafrost

„Als Permafrost wird Lithosphärenmaterial (Festgestein oder Lockermaterial) bezeichnet, das für einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren eine Temperatur von 0°C oder weniger aufweist“ (Mair et al. 2011). Demnach handelt es sich um ein thermisches Phänomen, dessen Existenz an kalte Umgebungen gebunden und daher klimasensibel ist. In den Milieus, worin Permafrost vorkommt, ist dieser im Winter in der Regel schneebedeckt, während sich im Sommer über dem unterkühlten Material eine „Auftauschicht“ bildet. Permafrost ist an der Geländeoberfläche nicht direkt sichtbar, seine Existenz kann nur mit Methoden der Erkundung des Untergrundes (z. B. Geophysik, Bohrungen) festgestellt werden. Wenn der Permafrost viel Eis enthält, können sich Geländeformen bilden, die indirekt dessen Existenz im Untergrund anzeigen. Im Hochgebirge sind dies aktive Blockgletscher (Barsch 1996) als Kriechphänomene in eisübersättigtem, grobblockigem Schutt (Abb. 1).

Die Rahmenbedingungen für die Entstehung und Erhaltung von Permafrost sind die kalten Klimate: Als grobe Faustregel gilt, dass bei einer Jahresmitteltemperatur der Luft von -2°C und darunter mehr als die Hälfte der betreffenden Oberfläche von Permafrost unterlagert wird („diskontinuierlicher Permafrost“). Ob an einem bestimmten Standort wirklich Permafrost existiert oder nicht, hängt von der Strahlungsbilanz, der Schneedeckung, aber auch vom Substrat und der Geländeform ab. Solche Bedingungen herrschen einerseits in hohen Breiten und andererseits in Hochgebirgen, wobei die globale Ausdehnung des Perma-



Abb. 1: Die lavastromartigen Strukturen an der Oberfläche von Blockgletschern visualisieren deren Kriechbewegung. Aktiver Blockgletscher im Hinteren Langtalar, Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern, Kärnten. (Foto: Lieb)

frostes etwa 15 % der Festlandsfläche beträgt (Barry & Gan 2011, 167). Die weite Verbreitung von Permafrost könnte demnach ein fachliches Argument für dessen Aufgriff im GW-Unterricht sein. In Österreich ist diskontinuierlicher Permafrost im Mittel oberhalb von 2500 m Höhe zu erwarten, mit etwa 1600 km² nimmt er rund 2 % der Staatsfläche ein (Ebohon & Schrott 2008, 399). Eine Übersichtskarte der nordhemisphärischen Verbreitung des Permafrosts findet sich unter GTN-P (2015), eine solche für die Alpen unter PermaNET (2015a).

2.2 Permafrost als Geoökofaktor

Unter Geoökofaktoren (Landschaftshaushaltsfaktoren) versteht man mit Leser (2011, 495) Subsysteme des Landschaftsökosystems, die Erfahrungsobjekte der einzelnen Teildisziplinen der Physischen Geographie sind. Das Phänomen Permafrost kann hierin keiner dieser Teildisziplinen klar zugeordnet werden, sondern tritt als Querschnittsmaterie mit verschiedenen anderen Geoökofaktoren in Interaktion. Die folgende unvollständige Auflistung spricht drei ausgewählte Bezüge an.

- *Formenwelt:* Die Verbreitung von Permafrost wird durch bestimmte Geländegegebenheiten begünstigt, etwa hochgelegene Grate und Wände, die

dank ihrer Schneearmut gut auskühlen können. Umgekehrt ist Permafrost geomorphologisch relevant, weil sich darin mit den in Kap. 2.1 erwähnten Blockgletschern spezifische Formen entwickeln. Diese wiederum sind beispielweise als Transportmedien von Schutt wirksam (Barsch 1996).

- *Gewässer:* Permafrost ist im hydrologischen System des Hochgebirges ein Speicher, auch wenn die darin gebundenen Wassermengen in der Regel um eine oder mehrere Größenordnungen kleiner als die von Gletschern oder Seen sind (Mair et al. 2011). In semiariden und ariden Gebirgen jedoch kann im Sommer abschmelzendes Permafrosteis zum wichtigsten Wasserspender werden.
- *Böden:* Permafrost beeinflusst als besondere Erscheinungsform des Untergrunds die Bodenbildung wesentlich, wobei aber bodenbildende Prozesse in Permafrostmilieus allein wegen der niedrigen Temperaturniveaus verlangsamt ablaufen (Zubrzycki et al. 2012). In flachem Gelände bildet die Oberkante des Permafrosts im Untergrund einen StauhORIZONT im Boden.

Permafrost erscheint unter diesem Aspekt potenziell geeignet, exemplarisch die verschiedenen Geoökofaktoren und deren Zusammenwirken mit Schülerinnen



Abb. 2: Die Bergstation der Seilbahn auf das Kitzsteinhorn (3029 m, Glocknergruppe, Salzburg) wurde auf Fels errichtet, der großteils unter Permafrost-Bedingungen steht (Foto: Lieb)

und Schülern zu erarbeiten, wie dies etwa der SII-Lehrplan der AHS fordert (siehe Kap. 3.1).

2.3 Permafrost aus sozioökonomischer Perspektive

Auch wenn Permafrost überwiegend außerhalb dauerhaft besiedelter Gebiete vorkommt, sind Personen bei ihren individuellen oder sozial begründeten Handlungen schon vor Jahrhunderten mit Permafrost in Kontakt gekommen, in den Hochgebirgen etwa durch den Edelmetallbergbau. Im Laufe des 20. Jhs. hat die unter Verwendung fossiler Energie massiv fortschreitende Kolonisierung der Natur (in sozialökologischem Sinn, vgl. etwa Fischer-Kowalski & Erb 2006) auch in entlegenen Gebieten zu Nutzungen geführt, für die der Permafrost zur Herausforderung wurde – in den arktischen Gebieten vor allem Rohstoffgewinnung, in den Alpen Tourismus (Abb. 2). Sozialökologisch gesehen erfordert Permafrost von den Populationen einen wesentlich erhöhten Einsatz an Arbeit (und Kapital), um die kolonialisatorischen Artefakte (Bauwerke und Verkehrsinfrastrukturen) ihrem Bestimmungszweck gemäß zu erhalten, weil Permafrost zu besonders dynamischer Renaturierung neigt. So etwa vergrößert sich durch Wärmezufuhr aus Gebäuden die Auftauschicht, was bei eisreichem Permafrost zur Labilisierung des Gesteinsmaterials führt.

Auch ohne Baumaßnahmen wird das thermische Regime des Untergrundes durch den Klimawandel beeinflusst: Steigende Lufttemperaturen bewirken im Permafrost zuerst eine Temperaturerhöhung und später dessen vollständiges Abtauen („Permafrostdegradation“). In hohen Breiten führt dies zur Freisetzung des in der organischen Substanz der dortigen Böden gespeicherten Methans, das als hochwirksames Treibhausgas in positiver Rückkoppelung den globalen Temperaturanstieg langfristig verstärkt (IPCC 2013, 530 f.).

Ein anderer Prozess tritt bei der Rückbildung von Hochgebirgspermafrost auf: Das darin enthaltene Eis hält Gesteinspartien wie Beton zusammen, was bei dessen Abschmelzen im Steilrelief bedeutet, dass das somit freigesetzte Material durch gravitative Massenbewegungen zu Tal transportiert wird (APCC 2014, 578 ff.). Bei Vorhandensein von Infrastruktur oder gar Menschen, deren Anwesenheit in den dicht erschlossenen Alpen sehr wahrscheinlich ist, werden diese Naturprozesse (speziell Steinschlag, Felsstürze und Muren) zu Naturgefahren. Dieses Thema ist hochaktuell und wurde in den letzten Jahren intensiv beforscht (Bsp. aus Österreich: Kellerer-Pirklbauer et al. 2012; Kern et al. 2012), aber auch durch mediale Berichterstattung in der Öffentlichkeit verstärkt wahrgenommen. Insgesamt erscheint Permafrost als Teilaspekt der großen Narration des globalen Wandels

(z. B. Flitner 2014) und sein Schwinden wird hierin vor allem negativ konnotiert. Dies zu diskutieren könnte eine interessante Aufgabe für eine Unterrichtssequenz über Permafrost sein.

3 Permafrost im GW-Unterricht

Die in Kap. 2 nur auf wenige Hinweise beschränkten didaktischen Überlegungen werden in diesem Kapitel genauer ausgeführt. Hierzu werden in den Subkapiteln zuerst die gesetzlichen Vorgaben betrachtet (Lehrpläne, Kompetenzmodell), dann die in Diskussion befindlichen „Basiskonzepte“ mit dem Thema inhaltlich verknüpft und schließlich eine Verbindung zu ausgewählten methodisch-didaktischen Prinzipien hergestellt.

3.1 Lehrplanbezüge und Kompetenzen

Das Thema Permafrost kommt in den österreichischen Lehrplänen nicht vor. Stattdessen sind Lehrplanbezüge nur über jene Formulierungen in Bildungs- und Lehraufgabe, didaktischen Grundsätzen und Lehrzielen („Lehrstoff“) herzustellen, die auf naturwissenschaftliche (physiogeographische) Themen oder Kompetenzen in Verbindung mit solchen verweisen. An dieser Stelle sollen die entsprechenden Formulierungen, die in den Originaltexten der Lehrpläne ja leicht zu finden sind, nicht wiedergegeben, sondern der Versuch unternommen werden, jene Überlegungen zusammenzufassen, die den ausformulierten Bezügen zur Physiogeographie konzeptionell zugrunde liegen.

- Physiogeographische Inhalte werden in GW nicht um ihrer selbst willen behandelt, sondern ordnen sich der in den Lehrplänen definierten (und in Kap. 1 grob umrissenen) übergeordneten Zielstellung des Faches im Sinne der Unterstützung der Schüler/innen beim Erwerb lebensweltlich relevanter Kompetenzen unter. Dies stimmt im Übrigen mit dem aktuellen Selbstverständnis von Physiogeographinnen und Physiogeographen überein, die ihre Arbeit zunehmend im Kontext einer Verantwortung gegenüber der Gesellschaft sehen, die angewandten Aspekte ihrer Forschung stark betonen und integrative Zugänge suchen (Lieb et al. 2009).
- Der Aufgriff physiogeographischer Themen erfolgt nicht isoliert, sondern in komplexen Zugängen. So sind beispielsweise in der 5. und 6. Klasse die „Landschaftsökologischen Zonen der Erde“ (BMBF 2015b) eines der zu behandelnden Themen, nicht etwa „Klima“ oder „Böden“. Eines der hierzu ausformulierten Lehrziele ver-

deutlicht unmissverständlich, dass Schüler/innen die „Wechselwirkung von Relief, Klima, Boden, Wasser und Vegetation verstehen“ sollen, was in Übereinstimmung mit den Überlegungen von Rawding (2013) zur didaktischen Bedeutung der Physischen Geographie steht. Aus fachwissenschaftlicher Perspektive könnte hierzu kritisch angemerkt werden, dass ein solches „Verstehen“ im Rahmen von bloß einem von 10 Themenfeldern der 5. und 6. Klasse nur schwer möglich ist und die Gefahr besteht, bloß „träges Wissen“ einer „Erwähnungsgeographie“ (Rhode-Jüchtern 2009, 10) zu generieren.

- Von den im AHS-Oberstufen-Lehrplan für GW (BMBF 2015b) ausformulierten „Kompetenzen“ – die zu einer Zeit formuliert wurden, als sich der aktuelle Kompetenzdiskurs (z. B. Paechter et al. 2012) erst abzuzeichnen begann – können im Besonderen die Synthese- und die Umweltkompetenz mit physiogeographischen Inhalten in Bezug gesetzt werden. Dabei zeigt vor allem das methodisch schwer umsetzbare (und sich einer Evaluation entziehende) Lehrziel der 7. Klasse „Bereitschaft entwickeln für einen sorgsamen Umgang mit den knappen Ressourcen Luft, Wasser und Boden“, dass letztlich die Kompetenz gemeint ist, aktiv an der Gestaltung einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Welt mitzuwirken, wie das nunmehr im Kompetenzmodell auch explizit ausformuliert ist (BMBF 2012).

3.2 „Basiskonzepte“ und integrative Themen

Im noch nicht verordneten semestrierten Lehrplan AHS (Hinsch et al. 2014) sind „Basiskonzepte“ formuliert, die vor dem Hintergrund der Handlungs- und Kompetenzorientierung gleichsam Klammern über Ziele und Inhalte des Lehrplanes legen sollen, um Konzept- anstatt Faktenwissen zu fördern. Für Einzelheiten zu den Beziehungen zwischen diesen Basiskonzepten und der Physischen Geographie wird auf Sitte (2015) verwiesen. Tab. 1 gibt für einige der Basiskonzepte inhaltliche Bezüge zum Thema Permafrost (gemäß Kap. 2) und mögliche aus der Beschäftigung damit ableitbare Kompetenzen an.

Mit speziellem Fokus auf das Basiskonzept Mensch-Umwelt-Beziehungen sind jene aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen (wie etwa Globaler Wandel oder Naturgefahren) angesprochen, die nur durch eine zu intensivierende Zusammenarbeit von Natur- und Sozialwissenschaften zu meistern sind – auf der gesamtwissenschaftlichen Ebene durch Inter- und Transdisziplinarität, auf der Ebene des Einzelfaches Geographie durch integrative Zugänge, d. h. durch eine verstärkte Verbindung von Physio-

Tab. 1: Beispiele für Bezüge des Themas Permafrost zu den „Basiskonzepten“ nach Hinsch et al. (2014)

Basiskonzept	Inhaltliche Bezüge zu Permafrost	Kompetenzorientierte Feinziele (mit AFB)
Regionalisierung und Zonierung	Permafrost als zonales und hypsometrisches Phänomen	Die Verbreitung von Permafrost mit herkömmlichen Zonen- und Stufenmodellen vergleichen* (AFB 2)
Geoökologie	Permafrost in seinen Interaktionen mit anderen Geoökofaktoren	Das Auftreten von Blockgletschern in einem Beispielgebiet aus dem Zusammenspiel von Gestein, Relief und Klima begründen (AFB 2-3)
Mensch-Umwelt-Beziehungen	Permafrost als Aspekt sozioökonomischer Aktivitäten	Die Wirkung der Errichtung eines Bauwerks im Permafrost auf die Mächtigkeit der Auftauschicht nennen (AFB 1)
Nachhaltigkeit und Lebensqualität	Permafrost als Klimaindikator und gegenüber Veränderungen aller Art sensibler Umweltfaktor	Die Folgen einer (konkret geplanten oder fiktiven) Maßnahme zur touristischen Erschließung im Hochgebirge vor dem Horizont der Nachhaltigkeit** analysieren und persönlich begründet bewerten (AFB 3)

Anmerkung: AFB = Anforderungsbereich. *Zonal entspricht die Verbreitung von Permafrost der polaren, subpolaren und teilweise borealen Zone, hypsometrisch (in den Alpen) der subnivalen und nivalen Stufe. **Ein mögliches Konzept hierfür sind die „drei Säulen der Nachhaltigkeit“ (Ökologie, Ökonomie, Soziales). Die inhaltlichen Hintergründe der übrigen Kompetenzen sind aus Kap. 2 erschließbar, ihre Erarbeitung durch Schüler/innen ist auf der Grundlage der Materialien und methodischen Vorschläge in Kap. 4 möglich.

und Humangeographie (z. B. Gebhardt et al. 2011, Teil VI ab S. 1077). Die Überwindung der Mensch-Umwelt-Dichotomie wird auch im Österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel 2014 als zentrales theoretisches Postulat für die Entwicklung und Beurteilung von Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung hervorgehoben (APPC 2014, 392 ff.). Für die Chancen und Risiken der Umsetzung solcher integrativen Ansätze im GW-Unterricht kann beispielhaft auf Rhode-Jüchtern (2009), Rempfler & Uphues (2010) oder Mönter (2012) verwiesen werden, wobei etwa letzterer in Bezug auf den Globalen Wandel zu einem optimistischen Fazit kommt, aber doch auch konkrete Probleme – erneut etwa, dass es dafür den Lehrenden möglicherweise an den notwendigen Kenntnissen mangle (vgl. Kap. 1) – anspricht.

Es wird an dieser Stelle die These aufgestellt, dass sich ein mehrere Teilbereiche der Physiogeographie übergreifendes Thema (Kap. 2.2) mit bedeutender Gesellschaftsrelevanz (Kap. 2.3) wie eben Permafrost zumindest grundsätzlich dafür eignet, Schüler/innen zu systemischen Betrachtungsweisen zu bringen und vernetzendes Denken zu fördern (vgl. z. B. Mönter 2012, 352). Dabei sollte eine kompetenzorientierte Unterrichtssequenz zu Permafrost auch der Frage nicht ausweichen, wer, wie und warum über dieses Phänomen überhaupt kommuniziert, um die hiermit produzierten Mensch-Umwelt-Verhältnisse in den Blick zu bekommen.

3.3 Bezüge zu ausgewählten methodisch-didaktischen Prinzipien

Im Folgenden sollen beispielhaft einige Aspekte, verstanden als „Grundsätze zur optimalen Auswahl, Anordnung und Vermittlung von den Inhalten des Unterrichts“ (Rinschede 2007, 51), angesprochen werden, die im Falle eines Aufgriffs des Themas Permafrost in der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen wären.

- *Exemplarisches Prinzip:* Permafrost kann im GW-Unterricht als ein Phänomen behandelt werden, das etwa beispielhaft veranschaulicht, wie unterschiedliche Geoökofaktoren (Kap. 2.2) zusammenwirken. Dies entspricht der in Kap. 3.1 erwähnten Komplexität physiogeographischer Themen. Der Transfer der am Beispiel von Permafrost erlernten Zusammenhänge auf andere physiogeographische Interessensfelder ist einfach – so etwa stehen die Pedogenese oder die Grundwasserbildung in ähnlicher Weise mit Geoökofaktoren in Beziehung wie der Permafrost.
- *Aktualitätsprinzip:* Im Zusammenhang mit Klimawandel und Naturgefahren kommt Permafrost immer wieder in die Schlagzeilen (z. B. Kleine Zeitung 11.8.2013: „Klimawandel lässt die Alpengipfel zerbröseln“). Wenn darüber Konsens besteht, dass gerade der GW-Unterricht auf aktuelle Themen Bezug nehmen (Rinschede 2007, 185 f.) und Schüler/innen bei deren fundierter Beurteilung unterstützen soll, dann eignet sich dafür auch Permafrost, der dann nicht nur unter dem Aspekt seiner materiellen Natur, sondern

auch unter dem seiner sozialen Konstruiertheit bearbeitet werden sollte (vgl. Rhode-Jüchtern 2009, 49).

- *Vernetzendes Denken*: Neben der schon erwähnten Komplexität des Themas Permafrost kann es auch als Beispiel einer integrativen Fragestellung herangezogen werden, deren Hauptanliegen es ist, „die Komplexität von Beziehungsgeflechten zwischen Natur- und Humanfaktoren“ (BMBF 2015b) erkennbar zu machen (vgl. Kap. 3.2).
- *Selbsttätigkeit und problemlösendes Lernen*: Schon in Kap. 1 wurde darauf hingewiesen, dass die Behandlung physiogeographischer Themen im GW-Unterricht häufig mit der Unterrichtsform des Experiments in Verbindung gebracht wird, wobei zu beachten ist, dass den Schülerinnen und Schülern dabei wirklich eigenständiger Erkenntniswerb ermöglicht wird (ausführlich hierzu etwa Mönter & Hof 2012). In unserem Beitrag wird dies in Kap. 4.2 für Permafrost konkretisiert.

4 Einige Anregungen für den GW-Unterricht

Dieses Kapitel gibt einige Hinweise darauf, wie das Thema Permafrost methodisch im Unterricht bearbeitet werden kann, wobei der Fokus auf Materialien und Anleitungen liegt, die problem- und kostenlos über das Internet verfügbar sind. Diese werden durch didaktische Anmerkungen und Anregungen für die Praxis ergänzt.

4.1 Permafrost Educational Toolkit

Im Rahmen des von der EU über das Interreg-Alpenraum-Programm „Alpine Space“ (2007-2013) geförderten internationalen Projekts PermaNET (*Permafrost Long-term Monitoring Network*) wurde auch ein Lernmodul zu Permafrost entwickelt, um das Wissen über Permafrost in Schulen zu verbreiten. Die erarbeiteten Materialien sind nicht nur auf instruktive Vermittlung kognitiven Wissens ausgerichtet, sondern ermöglichen eigenverantwortliches und entdeckendes Lernen. Eine erste Version dieser Materialien wurde im Rahmen einer Lehrer/innen-Fortbildung in Klagenfurt am 27.3.2009 getestet und dann zu einem Permafrost Educational Toolkit weiterentwickelt. Dieser steht auf der Projekt-Homepage (PermaNET 2015b) als freier Download (wahlweise auf Deutsch oder Englisch) zur Verfügung; ein Beispiel einer (einfachen) Aufgabenstellung findet sich in Abb. 3.

Die Beispielaufgabe aus Abb. 3 ist ebenso wie der gesamte *Permafrost Educational Toolkit* für die SII konzipiert. Wie schon erwähnt, eignen sich die Materialien für offene Unterrichtssequenzen, wobei in den Erläuterungen (PermaNET 2015c) die in Tab. 2 zusammengestellte Vorgangsweise empfohlen wird. Ein möglicher Rahmen wäre eine 2–3tägige Schulveranstaltung, die auch fächerübergreifend konzipiert werden kann.

Die eher traditionelle Abfolge aus Tab. 2 kann zu Beginn der Unterrichtssequenz dadurch verbessert werden, dass man den Ansatz des *Conceptual Change* verwendet, der sich in der Erarbeitung naturwissenschaftlicher Themen durch Schüler/innen vielfach

Lernbuffet Permafrost

3 Verbreitung des Permafrostes in Österreich

In der Fachliteratur wurden bereits mehrere Karten veröffentlicht, welche die mögliche Verbreitung des diskontinuierlichen Permafrostes in Österreich zeigen. Eine von diesen siehst du hier (Lieb 2006):



Aufgabenstellung:

- 1 Beschreibe mit wenigen Worten das erkennbare Verteilungsmuster!
- 2 Versuche dieses mit deinem schon vorhandenen Wissen über Permafrost zu erklären!
- 3 Welche anderen Naturphänomene liegen innerhalb der „Gebiete mit wahrscheinlichem Auftreten von diskontinuierlichem Permafrost“?

Abb. 3: Beispielaufgabe aus dem *Permafrost Educational Toolkit* (PermaNET 2015b).

Lernbuffet Permafrost

3 Verbreitung des Permafrostes in Österreich

Lösungen:

- 1 Die Gebiete mit wahrscheinlichem Auftreten von diskontinuierlichem Permafrost liegen ausschließlich in den höchsten Lagen der österreichischen Hochgebirge. In den höchsten Teilen der Zentral- und Nordalpen tritt diskontinuierlicher Permafrost auf größeren geschlossenen Flächen auf, außerhalb davon nur vereinzelt in jenen Gebirgen, deren Gipfel 2500 m Höhe überschreiten. Diskontinuierlichen Permafrost kann ja im Mittel oberhalb von 2500 m erwartet werden.
- 2 Permafrost ist ein von den Temperaturverhältnissen abhängiges Phänomen. Da die Temperatur mit der Seehöhe abnimmt, steigt in dieselbe Richtung die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Permafrost. Andere, die Permafrost-Verbreitung beeinflussende Aspekte wie z. B. die Exposition sind in dieser Karte aus Maßstabsgründen nicht erkennbar.
- 3 Die gegenwärtigen Gletscher liegen innerhalb der „Gebiete mit wahrscheinlichem Auftreten von diskontinuierlichem Permafrost“ – natürlich auch die intakten Blockgletscher, die ja streng an das Vorhandensein von diskontinuierlichem Permafrost gebunden sind.

Tab. 2: Unterrichtssequenz zum Thema Permafrost, beruhend auf dem Permafrost Educational Toolkit, nach PermaNET (2015c), ergänzt.

Arbeitsschritt	Methode	Sozialform	Zeitdauer
Theoretische Grundlagen	Vortrag durch Lehrperson (oder andere Fachkraft)	Frontalunterricht	1–2 Unterrichtsstunden
Vertiefung und Vernetzung des Wissens	Lernbuffet oder Stationenbetrieb	Partner- oder Gruppenarbeit	2–3 Unterrichtsstunden
Eigenständige Anwendung des Wissens, Problemlösung	Experiment(e)	Gruppenarbeit	1–4 Unterrichtsstunden (je nach gewählten Experimenten)
Veranschaulichung des Wissens, weitere Vertiefung	Exkursion (von Schüler/innen geplant und gestaltet)	Partner- oder Gruppenarbeit	2 Tage (zuzüglich 2–3 Unterrichtsstunden zur Planung)

bewährt hat (z. B. Fridrich 2010). Auch das didaktische Projekt „k.i.d.z. 21“ zum Klimawandel an der Universität Innsbruck (Geographie Innsbruck 2015) versucht mit diesem Zugang Schüler/innen bei ihrer Auseinandersetzung mit Phänomenen des Klimawandels dort abzuholen, wo sie kognitiv stehen. Des Weiteren sollte durch ein Handlungsprodukt (z. B. Portfolio, Artikel für Jahresbericht oder Schulhomepage), das die Schüler/innen selbst erstellen, eine Klammer über die gesamte Unterrichtssequenz gelegt werden.

4.2 Experimente zum Permafrost

Die im *Permafrost Educational Toolkit* (Kap. 4.1) enthaltenen sowie weitere themenbezogene Versuche kamen im Rahmen von Schulkaktionstagen, Workshops und Seminaren für Lehrende von der Primarstufe bis zur S II bereits mehrfach zur Anwendung. Allerdings widmeten sich diese Veranstaltungen nie speziell der Thematik Permafrost, sondern diese stellte stets nur ein Modul bzw. einen Unterpunkt von mehreren im Rahmen eines übergeordneten Themas, meist Klima oder Naturgefahren, dar. So etwa diente das Experiment zum Prozess eines Felssturzes durch Permafrostdegradation (Abb. 4) dazu, im Rahmen von Klimaprojekten an Schulen eine mögliche Folge der sich erwärmenden Atmosphäre aufzuzeigen.

Dieses Felssturz-Experiment, weitere Versuche zum Thema Permafrost und zu Prozessen im Hochgebirge allgemein können über das UBZ Steiermark (2015) als pdf-Anleitungen bezogen werden. Als besonders geeignetes Setting erweist sich hierfür fächerübergreifendes Arbeiten im Projektunterricht, bei dem

genügend Zeit für die Behandlung dieses Phänomens gegeben sind, Aktivität der Schüler/innen und Individualisierung gefördert werden können sowie eben auch die Betrachtung aus unterschiedlichen fachlichen Blickwinkeln ermöglicht wird. Das selbsttätige Experimentieren ermöglicht zusätzliche Beobachtungen, z. B. grundlegender physikalischer Prozesse wie etwa der Übergänge der Aggregatzustände von Wasser und deren Wirkung auf einzelne Bereiche der Umwelt oder Rückschlüsse auf Klima, Wasserkreislauf, Bodenverhältnisse, Statik u. a.

Bei der praktischen Durchführung der Experimente im Unterricht zeigte sich bisher in allen Schulstufen eine hohe Akzeptanz seitens der Schüler/innen, was vor allem auf die für sie zumeist ungewohnten Aufgabenstellungen zurückzuführen war: Beginnend mit der großteils unbekanntem Materie über den selbständigen Versuchsaufbau und dessen Durchführung bis hin zur taktilen Wahrnehmung der verwendeten Materialien (nasser Sand, Eis). Vielfach wurde in den Evaluierungen der Projektstage auch das „Sandkasten Spielen“ als besonders reizvoller Aspekt von den Lernenden hervorgehoben, da diese handwerkliche Tätigkeit als Ausgleich zu den sonst dominierenden kognitiven Unterrichtseinheiten geschätzt wurde.

Um neben den Experimenten im Kleinen auch die „Realität“ der Versuchsergebnisse im Großen zu verdeutlichen, hat sich die Verwendung neuer und mobiler Medien als großer Vorteil erwiesen. Insbesondere in zahlreichen Videos (Auswahl in Tab. 3) sind Sturzprozesse, bei denen Permafrostdegradation zumindest mitbeteiligt war, dokumentiert, was die Erkenntnisse aus den Experimenten vertiefen hilft.

Tab. 3: Beispiele von Videos über Sturz-Prozesse im Hochgebirge (Zugriffe: 15.6.2015)

Video	Link
„Steinschlag Zillertal“	https://www.youtube.com/watch?v=uCR-DduRUXQ
„Bergsturz Lischana 31 Juli 2011“	https://www.youtube.com/watch?v=y33STLSFjke
„Rockfall in Grand Couloir, Mont Blanc“	https://www.youtube.com/watch?v=NW1vFQTDE0c
„Felssturz Kellersberg 10.09.12“	https://www.youtube.com/watch?v=io2GwoCiWQs



Abb. 4: Arbeit am Experiment „Bau des Modells ‚Felssturz durch Permafrostdegradation‘“ (Fotos: Krobath)

Die unter UBZ Steiermark (2015) verfügbaren Versuchsanleitungen ermöglichen das Ausprobieren diverser Modellaufbauten im Klassenzimmer, können aber auch im Freien zur Anwendung kommen. Sie sind somit auch als Zusatzprogramm auf den in Kap. 4.3 angesprochenen Exkursionen durchaus vorstellbar.

4.3 Permafrost als mögliches Exkursionsthema

Exkursionen mit Schüler/innen zum Permafrost sehen sich zwei grundlegenden Hindernissen gegenüber: Zum einen ist Permafrost als thermischer Zustand des Untergrundes (Kap. 2.1) simpler Beobachtung im Allgemeinen nicht zugänglich und zum anderen liegen die Permafrost-Vorkommen der Alpen fast ausschließlich in Hochgebirgsbereichen, deren Besuch nur bedingt (sowohl wegen der sportlichen Anforderungen als auch aus Sicherheitsgründen) für schulische Veranstaltungen in Frage kommt. Ausnahmen bilden die in hohe Lagen führenden Seilbahnen (u. a. die Anlagen der acht österreichischen Gletscherschigebiete), in Einzelfällen auch Straßen, die in Höhen von 2 500 m und mehr führen. Die beim Bau der hoch gelegenen Infrastruktur aufgetretenen oder noch auftretenden Probleme werden von den betroffenen Unternehmen meist nur intern kommuniziert, ein seltenes Beispiel

für die Thematisierung von Permafrost an einer leicht zugänglichen Stelle ist der „Erlebnisstollen“ an der Bergstation der Kitzsteinhorn-Seilbahn (Abb. 2).

Demgegenüber wird Permafrost im Rahmen von Initiativen der Umweltbildung in Schutzgebieten häufig thematisiert. Hinweise auf Permafrost finden sich daher in zahlreichen Produkten der informellen Umweltbildung wie Informationstafeln, Webseiten und Broschüren. Besonders geeignet für ein spezielles Thema erscheinen einschlägig fokussierte Lehrpfade (zum unterrichtsmethodischen Hintergrund: Wüthrich 2013, 199 ff.). Der nach unserem Wissen erste Lehrpfad Österreichs, der spezifisch dem Permafrost gewidmet wurde, ist der 2002 seiner Bestimmung übergebene „Blockgletscherweg Dösental“ (Lieb & Nutz 2009) im Nationalpark Hohe Tauern (Kärnten). Dieser bietet zwar konzeptionell den Vorteil, sowohl fachlich das thematische Umfeld des globalen Klimawandels abzudecken als auch methodisch mit einer Orientierung an ganzheitlichen Sinneseindrücken gut für den Schulgebrauch nutzbar zu sein, aber die Begehung des Weges stellt doch eine hochalpine Bergwanderung dar. Eine Kurzversion der Exkursionsbeschreibung ist unter PermaNET (2015 b) zu finden; dort wird auch eine leichter begehbare Exkursion bei Obergurgl (Ötztal, Tirol) vorgestellt.

5 Fazit

Im Versuch, die im Titel des Beitrags gestellte Frage zu beantworten, ist zum Permafrost festzustellen, dass es sich zwar um ein „exotisches“ Thema handelt, dessen Behandlung im GW-Unterricht jedoch nach dem exemplarischen Prinzip empfohlen werden kann, um (a) geökologische Systembezüge und Klimawandel-Folgen verständlich zu machen sowie (b) vernetztes Denken zu schulen und den Zugang zu integrativen Ansätzen zu erleichtern (Kap. 3.2). Hierzu ist anzumerken, dass dies auch mit anderen physiogeographischen Themen möglich ist: Themen wie z. B. die Verfügbarkeit und Reinhaltung von Trinkwasser sind für Schüler/innen in deren unmittelbarem Lebensumfeld erfahrbar, was für Permafrost nicht gilt – ausgenommen Schulstandorte innerhalb der Alpen, an denen Schüler/innen möglicherweise eigene oder aus dem persönlichen sozialen Umfeld vermittelte Erfahrungen mit Prozessen im Hochgebirge haben.

Auch wenn eine vertiefte Konfrontation mit Permafrost in Outdoor-Lernsequenzen nur in bestimmten Konstellationen (insbesondere bergbegeisterte Kleingruppen unter der Führung ebensolcher Lehrpersonen unter explizitem Einverständnis der Erziehungsberechtigten) in Frage kommt, sind Schüler/innen, wie wir aus eigener Erfahrung wissen, sehr wohl hierfür zu begeistern. Und schließlich ist auch an das Aktualitätsprinzip (Kap. 3.3) zu erinnern: Permafrost wird – speziell in Zusammenhang mit Naturgefahren – immer wieder in den Medien thematisiert, welche als Ausgangspunkt für den GW-Unterricht fungieren können. Dann kann auf die in Kap. 4. vorgestellten Materialien bzw. Methoden zurückgegriffen werden.

Ähnlich möchten wir die Frage für die Physiogeographie im Allgemeinen beantworten: Wenn sich physiogeographische Inhalte als gesellschaftsrelevant erweisen, sollen sie im GW-Unterricht aller Altersstufen thematisiert werden. Dabei sollte diese Gesellschaftsrelevanz jedoch nicht nur randlich erwähnt, sondern in den Mittelpunkt des unterrichtlichen Handelns gestellt werden. Es ist darauf zu achten, dass nicht über Gebühr vereinfachte lineare Erklärungsmuster zu jenen geodeterministischen Vorstellungen zurückführen, die einst dafür mitverantwortlich waren, dass mit dem länderkundlichen Schema auch gleich der Großteil der Physiogeographie aus den schulischen Lehrplänen entsorgt wurde. Gerade für die Bewältigung der in Kap. 3.2 angesprochenen „globalen“ Herausforderungen brauchen die Schüler/innen Kompetenzen, die nur unter Einbezug physisch-geographischer Hintergründe erworben werden können.

Für den Permafrost besteht diese Gesellschaftsrelevanz, wie mehrfach besprochen, in Facetten wie

etwa dem Charakter als Klimaindikator oder als Prozessfeld, das spezifische Herausforderungen an Nutzungen stellt und das zur Naturgefahr werden kann. So steht Permafrost meist im Kontext des globalen Klimawandels (Kap. 2.3) und wird darin tendenziell als problematisch konnotiert – von der Freisetzung von Treibhausgasen bis zur wahrscheinlich steigenden Häufigkeit von Felsstürzen! Permafrost wird somit zum Vorzeigefall für eine belastete, ja „gestörte“ Mensch-Umwelt-Beziehung im Sinne von Syndromen oder *Tipping Points von Global Change* (Glaser & Gebhard 2011). Dieser Konstruktion kann in einer umsichtig geplanten Unterrichtssequenz zu Permafrost das Bild von Permafrost als faszinierendem Naturphänomen gegenübergestellt werden, das im Sinne der ästhetischen Didaktik durch „emotional wertschätzende Wahrnehmung“ (Klappacher 2008, 23) erfahrbar wird. Die Grundbegriffe zu kennen (AFB 1), die Zusammenhänge mit verschiedenen Geoökofaktoren und deren Rückwirkungen auf wirtschaftliche Aktivitäten zu erläutern (AFB 2) und die Bedeutung von Klimawandelfolgen für die eigene Lebenswelt sowie die persönliche Verantwortung hierfür zu analysieren (AFB 3), können als beispielhafte Leitgedanken genannt werden, um Permafrost in einem sinnvollen und kompetenzorientierten GW-Unterricht zu positionieren.

Im Sinne des Kompetenzmodells GW (BMBF 2012) schließen wir mit der These, dass Zukunftsorientierung für verantwortungsvolles Handeln des einzelnen Individuums für eine nachhaltige Welt ohne Einblicke in Prozesse der Physischen Geographie gar nicht sinnvoll möglich ist. Solche Einblicke können exemplarisch auch an sehr speziellen Themen wie Permafrost gewonnen werden. In offenen Lernsequenzen und in Bezugnahme auf ihre gesellschaftliche Konstruiertheit kann diesen Themen jene Bedeutung verliehen werden, die es Schülerinnen und Schülern ermöglicht, im Sinne von Klappacher (2008, 38 f.) „persönlich betroffen und kritisch reflektiert“ die Fähigkeit zu eigenverantwortlichem Handeln zu erlangen.

6 Dank

Die Autoren danken A. Hof, T. Jekel, M. Mergili und M. Möderl für Hilfestellungen und kritische Anmerkungen zum Manuskript.

7 Literatur

APCC (Hrsg.) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate

- te Change (APCC). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. http://hw.oeaw.ac.at/APPC_AAR2014.pdf (10.06.2015).
- Barry, R. & T.Y. Gan (2011): *The Global Cryosphere. Past, Present and Future*. New York: Cambridge University Press.
- Barsch, D. (1996): *Rockglaciers: Indicators for the present and former geocology in high mountain environments*. Springer Series in Physical Environment 16. Berlin: Springer Verlag.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Frauen (Hrsg.) (2012): *Die kompetenzorientierte Reifeprüfung aus Geographie und Wirtschaftskunde. Richtlinien und Beispiele für Themenpool und Prüfungsaufgaben*. https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/ba/reifepruefung_ahs_lfgw_22201.pdf?4e8tf2 (10.06.2015).
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Frauen (Hrsg.) (2015 a): *Geographie und Wirtschaftskunde. Lehrplan Sekundarstufe I*. https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_hs_geographie_877_877.pdf (10.06.2015).
- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Frauen (Hrsg.) (2015 b): *Geographie und Wirtschaftskunde. Lehrplan AHS Oberstufe*. https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_06_11858.pdf (10.06.2015).
- Ebohon, B. & L. Schrott (2008): *Modelling mountain permafrost distribution. A new permafrost map of Austria*. In: Kane D.L. & K.M. Hinkel (Hrsg.): *Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost*. Fairbanks, Alaska, USA, 397–402.
- Fischer-Kowalski, M. & K. Erb (2006): *Epistemologische und konzeptuelle Grundlagen der Sozialen Ökologie*. In: *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* 148, 33–56.
- Flitner, M. (2014): *Global Change*. In: Lossau J., T. Freytag & R. Lippuner (Hrsg.): *Schlüsselbegriffe der Kultur- und Sozialgeographie*. UTB 3898. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 81–93.
- Fridrich, C. (2010): *Alltagsvorstellungen von Schülern und Konzeptwechsel im GW-Unterricht – Begriff, Bedeutung, Forschungsschwerpunkte, Unterrichtsstrategien*. In: *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* 152, 305–322.
- Gebhardt, H., R. Glaser, U. Radtke & P. Reuber (Hrsg.) (2011): *Geographie. Physische und Humangeographie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2. Auflage.
- Geographie Innsbruck (2015): *k.i.d.z.21 – Kompetent in die Zukunft*. <http://www.uibk.ac.at/geographie/edu/projects/kidz.html> (10.06.2015).
- Glaser, R. & H. Gebhardt (2011): *Hotspots und Tipping Points von Global Change, Globalisierung und Ressourcenknappheit*. In: Gebhardt et al. (Hrsg.): *Geographie: physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl., 1172–1179.
- Geographie Innsbruck (2015): *k.i.d.Z. 21 – Kompetent in die Zukunft*. <http://www.uibk.ac.at/geographie/edu/projects/kidz.html> (10.06.2015).
- Gräber, W., P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.) (2002): *Scientific literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinbildung*. Opladen: Leske & Budrich.
- GTN-P (Global Terrestrial Network for Permafrost) (2015): *Permafrost map*. http://globalcryospherewatch.org/about/images/permafrost_map.png (10.06.2015).
- Hard, G. (1982): *Physisch-geographische Probleme im Unterricht*. In: Jander L., W. Schramke & H.-J. Wenze (Hrsg.): *Metzler Handbuch für den Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung*. Stuttgart: Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 273–289.
- Hinsch, S., H. Pichler, T. Jekel, L. Keller & F. Baier (2014): *Semestrierter Lehrplan AHS, Sekundarstufe II. Ergebnis der ministeriellen Arbeitsgruppe*. In: *GW-Unterricht* 136, 51–61.
- Hitz, H. (2001): *Geländearbeit*. In: Sitte W. & H. Wohlschlägl (Hrsg.): *Beiträge zur Didaktik des „Geographie und Wirtschaftskunde“-Unterrichts*. Wien: *Materialien zur Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde* 16, 148–156.
- IPCC 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA: Cambridge University Press. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf (10.6.2015).
- Kattmann, U. (2007): *Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie*. In: Krüger D. & H. Vogt (Hrsg.): *Theorie in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 93–104.
- Kattmann, U., R. Duit, H. Gropengießer & M. Komorek (1997): *Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (3), 3–18.
- Kellerer-Pirklbauer, A., G.K. Lieb, M. Avian & J. Carrivick (2012): *Climate change and rock fall events in high mountain areas: numerous and extensive rock falls in 2007 at Mittlerer Burgstall, Central Austria*. In: *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 94 (1), 59–78. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0459.2011.00449.x/pdf> (18.06.2015).
- Kern, K., G.K. Lieb, G. Seier & A. Kellerer-Pirklbauer (2012): *Modelling geomorphological hazards to assess the vulnerability of alpine infrastructure: the example of the Grossglockner-Pasterze area, Austria*. In: *Austrian Journal of Earth Sciences* 105 (2), 113–127. http://www.univie.ac.at/ajes/archive/volume_105_2/kern_et_al_ajes_105_2.pdf (10.06.2015).
- Klappacher, K.O. (2008): *Sinnvoll GW. Modell einer synergistischen Geografiedidaktik für die Sekundarstufe 1 in Österreich*. In: *Sinnvoll GW – Innovative Ansätze für den Unterricht in Geographie und Wirtschaftskunde*.

- Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung 44, 9–48.
- Kleine Zeitung (2013): Klimawandel lässt die Alpengipfel zerbröseln. <http://www.kleinezeitung.at/s/steiermark/ennstal/4075442/Klimawandel-laesst-die-Alpengipfelzerbroeseln> (10.06.2015).
- Leser, N. (Hrsg.) (2011): Diercke Wörterbuch Geographie. Raum – Wirtschaft und Gesellschaft – Umwelt. Braunschweig: Westermann Verlag.
- Lieb, G.K., A. Kellerer-Pirklbauer, W. Sulzer & H. Wakonigg (2009): Physische Geographie in Österreich – ausgewählte Forschungsleistungen und fachliche Perspektiven. In: Musil R. & C. Staudacher (Hrsg.): Mensch.Raum.Umwelt. Entwicklungen und Perspektiven der Geographie in Österreich. Wien: Österreichische Geographische Gesellschaft, 79–92.
- Lieb, G.K. & M. Nutz (2009): Blockgletscherweg Dösental. Naturkundlicher Führer zum Nationalpark Hohe Tauern, Band 21. Mallnitz: Oesterreichischer Alpenverein.
- Mair, V., A. Zischg, K. Lang, D. Tonidnadel, K. Krainer, A. Kellerer-Pirklbauer, P. Deline, P. Schoeneich, E. Cremonese, P. Pogliotti, S. Gruber & L. Böckli (2011): PermaNET – Permafrost Long-term Monitoring Network. Synthesereport. INTERPRAEVENT Schriftenreihe 1, Report 3. Klagenfurt. <http://www.permanet-alpinespace.eu/archive/pdf/PermaNETsynthesereport.pdf> (10.06.2015).
- Mönter, L. (2012): Die integrative Behandlung von Phänomenen des Globalen Wandels – Ein einlösbares Versprechen des geographischen Unterrichts? In: Fassmann H. & T. Glade (Hrsg.): Geographie für eine Welt im Wandel (57. Deutscher Geographentag 2009 in Wien). Göttingen: Vienna University Press, V&R unipress, 333–357.
- Mönter, L. & S. Hof (2012): Experimente. In: Haversath J.B. (Mod.): Geographiedidaktik. Theorie Themen – Forschung. Das Geographische Seminar. Braunschweig: Westermann Verlag, 289–313.
- Otto, K.-H. (2009): Experimentieren als Arbeitsweise im Geographieunterricht. In: Geographie und Schule 31/180, 4–15.
- Paechter, M., M. Stock, S. Schmölzer-Eibinger, P. Slepcevic-Zach & W. Weirer (Hrsg.) (2012): Handbuch Kompetenzorientierter Unterricht. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- PermaNET (2015a): Alpine Permafrost Index Map (APIM) http://www.geo.uzh.ch/microsite/cryodata/PF_map_explanation.html (10.06.2015).
- PermaNET (2015b): PermaNET WP3 Educational toolkit [GERMAN] <http://www.permanet-alpinespace.eu/products.html> (10.06.2015).
- PermaNET (2015c): PermaNET. Permafrost – Werkzeuge für den Unterricht. http://www.permanet-alpinespace.eu/archive/pdf/PermaNET_Toolkit_Ueberblick.pdf (10.06.2015).
- Pichler, H. (2013): Kritische Kompetenzorientierung konkret. Fachdidaktische Leitgedanken für die Umsetzung einer kritisch gewendeten Kompetenzorientierung im GW-Unterricht und für die Erstellung von Aufgaben für die kompetenzorientierte Reife- (und Diplom-)Prüfung. In: GW-Unterricht 130, 15–22.
- Rawding, C. (2013): Physische Geographie im Unterricht. In: Rolfes M. & Uhlenwinkel A. (Hrsg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig: Westermann Verlag, 434–443.
- Rempfler, A. & R. Uphues R. (2010): Sozialökologisches Systemverständnis. Grundlage für die Modellierung von geographischer Sytemkompetenz. In: Geographie und ihre Didaktik 38/4, 205–217.
- Rinschede, G. (2007): Geographiedidaktik. Grundriß Allgemeine Geographie. Paderborn: Verlag Ferdinand Schöningh, 3. Auflage.
- Rhode-Jüchtern, T. (2009): Eckpunkte einer modernen Geographiedidaktik. Hintergrundbegriffe und Denkfikuren. Seelze-Velber: Kallmeyer, Klett, Erhard Friedrich Verlag.
- Sitte, C. (2015): Physiogeographie im Geographie (und Wirtschaftskunde)-Unterricht: Reduziert und an den Rand gedrängt? Oder ein Trittstein zum kompetenzorientierten Unterricht? In: GW-Unterricht 138, 27–43 (dieses Heft).
- UBZ – Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark (2015): www.ubz-stmk.at/gebirge (10.06.2015).
- Vogt, J. (2001): Die Bedeutung der Physischen Geographie als konstitutiver Bestandteil des Erdkundeunterrichts. In: Geographisches Jahrbuch Burgenland 25, Neutal, 186–195. (aus „Das vereinigte Deutschland auf dem Weg ins 21. Jahrhundert“, Tagg.bd. z. 27. Dt. Schulgeographentag 2000, Duisburg).
- Wüthrich, C. (2013): Methodik des Geographieunterrichts. Das geographische Seminar. Braunschweig: Westermann Verlag.
- Zubrzycki, S., L. Kutzbach & E.-M. Pfeiffer (2012): Böden in Permafrostgebieten der Arktis als Kohlenstoffsенke und Kohlenstoffquelle. In: Polarforschung 81 (1), 33–46. http://epic.awi.de/30346/1/Polarforschung_81-1_33-46.pdf (10.06.2015).