



*Drei Doktorandinnen verfolgen im Hochgebirge Auswirkungen des Klimawandels, um das Verständnis dafür auch in der Bevölkerung zu verankern. Bettina Knoflach befasst sich mit Veränderungen von Gebirgssystemen und ist für die Analyse und Kartierung der veränderten Kryosphäre zuständig. Svenja Müller hat einen Studienhintergrund in Biotechnologie und Landschaftsökologie und untersucht die Bodenentwicklung an der Schnittstelle von Kryosphäre und Vegetation. Veronika Deisenrieder befasst sich mit Bildung und Kommunikation für nachhaltige Entwicklung und erforscht Bedingungen, um Umweltwissen der Gesellschaft zugänglich zu machen.*

## **Cryo\_Soil\_TRANSFORM – Kryo-, Pedo- und Anthroposphäre an der Schnittstelle zu transformativem Wissen**

**von Veronika Deisenrieder, Svenja Müller,  
Bettina Knoflach, Lars Keller, Clemens  
Geitner und Johann Stötter**

Seit der Agenda 21 (1992) haben die ökosystemaren Dienstleistungen von Hochgebirgen globale Aufmerksamkeit gewonnen (Debarbieux & Price 2008). Aus der extremen Spezialisierung und der nischenhaften Verbreitungsmuster von Hochgebirgsökosystemen resultiert eine hohe Vulnerabilität gegenüber von außen gesteuerten Prozessen des Wandels. Deshalb sind Gebirgsräume überdurchschnittlich vom Klimawandel betroffen (Beniston 2003, 2005; Stötter & Monreal 2010), wodurch sich hier die Auswirkungen und multiplen Reaktionen auf die einzelnen Naturraumsphären besonders deutlich zeigen. Allen voran sind die Folgen in der Kryosphäre sichtbar. Während eine Vielzahl von Studien die Veränderungen von Gletschern seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Länge (Zemp et al. 2015; WGMS 2017; Leclercq et al. 2014; Vaughan et al. 2013), Fläche (Fischer et al. 2015; Nachtnebel et al. 2014) und Volumen (Zemp et al. 2015; Dyurgerov et al. 2009; Huss et al. 2010) beschreiben, ist über die Abnahmen von Permafrost unterlagerten Flächen bislang noch wenig bekannt. Modellrechnungen lassen jedoch vermuten, dass die Gebiete mindestens den Verlusten der Gletscherflächen entsprechen (Noetzli et al. 2007; Ebohon & Schrott 2008).

Die Bodenbildung in der hochalpinen und nivalen Höhenstufe wird stark von der sich verändernden Kryosphäre und der zum Teil damit im Zusammenhang stehenden Morphodynamik beeinflusst. Fundierte Ergebnisse dazu gibt es jedoch kaum. Die verstärkte Erosion, Umlagerung und Akkumulation in den eisfrei (Gletscher

und Permafrost) gewordenen Arealen haben einen starken Einfluß auf die Bodenbildungs-raten, die ihrerseits wiederum beeinflussen ökologisch relevante chemische, physikalische und (mikro)biologische Parameter wie Nährstoffkreisläufe, Wasserrückhaltevermögen beeinflussen.

Die komplexen Interaktionen zwischen verschiedenen Komponenten der Hochgebirgslandschaft mit unterschiedlichen Reaktions- und Anpassungszeiten sowie Neben- und Rückkopplungseffekten, stellen für Lernende große kognitive Herausforderungen beim Verstehen der Auswirkungen des Klimawandels dar (McNeal et al. 2014). Da die Kenntnis über die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel als Treiber und den Konsequenzen für den Naturraum wesentlich Voraussetzung für Handeln in Richtung einer sozialökologischen Transformation ist, braucht es Konzepte, die diesen Erkenntnisgewinn ermöglichen.

An diesen Forschungslücken setzt das Projekt *Cryo\_Soil\_TRANSFORM* an, das finanziert von der österreichischen Akademie der Wissenschaften im Rahmen des Forschungsschwerpunkts Erdsystemwissenschaften im April 2019 gestartet wurde. Drei Doktorandinnen mit Forschungsschwerpunkten zur Kryosphäre, zu mikrobiologischen und chemischen Bodenprozessen sowie zur Bildung und Kommunikation für nachhaltige Entwicklung verfolgen entsprechende Fragestellungen in zwei Testregionen in den Zentralalpen. Um darüber hinaus auch die sekundären Klimaeffekte auf den Boden durch veränderte Vegetation zu erforschen, kooperiert das Projekt eng mit dem von der DFG finanzierten Projekt SEHAG und der Arbeitsgruppe für Populationsbiologie und Vegetationsökologie an der Universität Innsbruck, die von Brigitta Erschbaumer geleitet wird.

Die zentralen Ziele des Projekts sind es, zunächst in einem interdisziplinären Ansatz Systemwissen zu generieren, durch

1. eine zeitliche und räumliche Rekonstruktion der Veränderungen in der Kryosphäre seit der kleinen Eiszeit,
2. eine Analyse des Einflusses der sich verändernden Kryosphäre auf ökologisch relevante Bodenparameter und Verbindung der Information mit Vegetation, Mikroklima und morphodynamischen Prozessen,

und in einem weiteren Schritt

3. das naturwissenschaftliche Systemwissen in einer Forschungs-Bildungs-Kooperation als Basis für die Generierung von Transformationswissen zu nutzen.

Die Untersuchungsgebiete liegen im Kaunertal (Tirol) und Martelltal (Südtirol), sind stark von Vergletscherung beeinflusst und bieten aus natur und kulturräumlichen Gründen, logistischen Überlegungen und einer umfangreichen Wissenschaftstradition günstige Voraussetzungen für das inter- und transdisziplinäre Forschungskonzept. Sie umfassen konkret die Einzugsgebiete der Speicherseen in den inneren Tälern, reichen

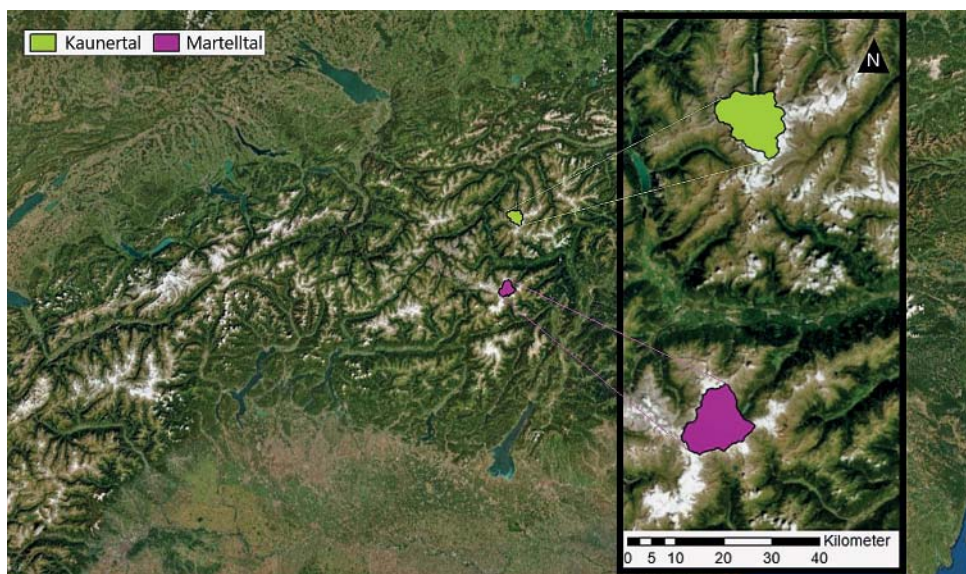


Abb. 1: Lage der Versuchsflächen Kaunertal (Tirol) und Martelltal (Südtirol) im alpinen Gürtel.

von der Waldgrenze bis in die nivale Stufe und liegen darüber hinaus auf einem Nord-Süd-Gradienten mit klimatischen Unterschieden.

### Die sich verändernde Kryosphäre

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist die Kryosphäre jene Sphäre in Hochgebirgs-systemen, die die schnellsten und am deutlichsten sichtbaren Reaktionen auf die sich verändernden Klimabedingungen aufweist (Beniston et al. 2018; Gobiet et al. 2014a). Gletscher reagieren sehr sensibel auf atmosphärische Veränderungen und stellen somit geeignete sichtbare Indikatoren für den Wandel im Klimasystem dar (Haeberli et al. 2007). Während sich mittlerweile zahlreiche Studien mit den regionalen und lokalen verändernden Kryosphäre auf die Morphodynamik (Heckmann & Morche 2019) und das Wassermanagement beschäftigen, sind die multiplen Reaktionen der Bodenbildungsprozesse auf die sich wandelnden Umweltbedingungen (Klima und Kryosphäre) noch wenig erforscht (Geitner et al. 2017). Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktionen der Veränderungen in der Kryosphäre sind hierfür wesentliche Voraussetzung.

Die zeitliche Entwicklung von Gletschern kann u. a. anhand von historischen Karten, Luftbildern, Satellitenbildern oder digitalen Höhenmodellen sowie touristischen Photographien flächendeckend rekonstruiert werden. Die räumliche Verbreitung von Permafrost sowie dessen Reaktion auf die sich verändernden klimatischen Bedingungen sind hingegen nur anhand von Indikatoren möglich. Anhand von Blockgletschern



*Abb. 2: Kaunertal – Blick vom Niedermoor im Gepatschferntal zu den neuzeitlichen Ufermoränen des Gepatschferners (zu sehen im Hintergrund). (Foto: Svenja Müller, 2019)*

(Barsch 1978), perennierenden Schneeflecken (Haerberli 1975; Stötter et al. 2012), BTS-Messungen (Haerberli 1975) sowie mittels Fernerkundungstechnologien (Klug et al. 2016) wird versucht, die aktuelle räumliche Verteilung von Permafrost zu erfassen. Schließlich wird ein empirisch-statistischer Modellansatz (PERMAKART) (Keller 1992) angewandt, um auf Basis der erhobenen Indikatoren, mit Hilfe rekonstruierter meteorologischer Schlüsselparameter flächendeckend die räumlich-zeitliche Entwicklung der Permafrostverbreitung seit Mitte des 19. Jahrhunderts zu rekonstruieren (Noetzli et al. 2007; Schrott et al. 2012; Boeckli et al.; Ebohon & Schrott 2008).

### **Hochgebirgsböden durch eine sich verändernde Kryosphäre**

Böden in Hochgebirgsregionen der Alpen reagieren im Vergleich zu anderen Böden besonders sensitiv auf den Klimawandel (Jones & Wigley 1990), da der bisher beobachtete Anstieg der Temperatur deutlich über dem globalen Mittelwert liegt (Auer et al. 2007; Rebetz & Reinhard 2008; Gobiet et al. 2014b; Luterbacher et al. 2004). Daneben werden Böden und ihre Ökosystemfunktionen in der hochalpinen, nivalen Höhenstufe stark von der Kryosphäre beeinflusst. Durch die Frost-Tau-Zyklen, sowohl

bei Permafrost als auch bei saisonalem Frost, kommt es zu oberflächennahen Materialumlagerungen, durch die Boden destabilisiert wird. In den durch das Zurückschmelzen der Gletscher entstehenden Gletschervorfeldern setzt sukzessive initiale Bodenbildung ein, so dass Chronosequenz-Studien ermöglicht werden.

Durch die hohe räumliche Heterogenität der alpinen Landschaft existieren bio-diverse Artenkombinationen mit zahlreichen Nischenarten. Veränderungen der (mikro) klimatischen Bedingungen und der Bodenparameter beeinflussen die Lebensraumbedingungen, wobei es ist noch nicht eindeutig geklärt ist, ob durch die starke Heterogenität der Lebensräume ein Ausweichen der Arten in andere Nischen erschwert wird (Kienast et al. 1998; Becker & Bugmann 2001; Xu et al. 2009; Monreal & Stötter 2014; Scherrer & Körner 2011). Daher soll die Veränderung der Böden durch kryogene und morphodynamische Prozesse in diesem Projekt untersucht werden.

Um die Zusammenhänge zwischen, Kryosphäre, Morphodynamik, Boden und Vegetation besser verstehen zu können, werden mehrere Boden-Vegetations-Plots in den Forschungsgebieten angelegt und auf ökologisch wichtige Parameter untersucht. Dabei werden mikroklimatische Messungen mit Laboranalysen, On-Site-Messungen und



Abb. 3: Beispiel eines natürlich freigelegten Anmoor-Bodenprofils auf 2.200 m ü. Adria, Obere Birg, Kaunertal.

(Foto: Svenja Müller, 2019)

klassischen Bodenprofilansprachen kombiniert. Die ausgewählten Flächen repräsentieren die Heterogenität der Hochgebirgsböden und befinden sich im Gletschervorfeld (Flächen mit unterschiedlich stark vorangeschrittener initialer Pedogenese), in einem Höhen transekt (ungestörte Flächen in verschiedenen Vegetationszonen, beginnend ab der Waldgrenze) und in zahlreichen von der Kryosphäre beeinflussten Flächen unter Berücksichtigung folgender Phänomene bzw. Prozesse:

- Solifluktion
- Frostmuster
- Blockgletscher
- Hanginstabilitäten
- Sackungen im Permafrost
- Schneetälchen
- Schneeflecken
- Stellen mit früherer Aperzeit
- Schneeschurf und Umlagerungen durch Lawinen

### **Klimawandelbildung für eine gesellschaftliche Transformation**

Für das Entstehen von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) als Ausgangspunkt für das Finden von Antworten auf die „Grand Challenges“ des 21. Jahrhunderts bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit von Wissenschaft und Gesellschaft (UNESCO 2014). Speziell Kinder und Jugendliche spielen dabei eine wichtige Rolle, da sie während ihrer gesamten Lebenszeit und im stetig zunehmenden Maße mit den Herausforderungen des Klimawandels und seinen regionalen Folgeerscheinungen



*Abb. 4: Schülerinnen bei der Erforschung der Bodenbeschaffenheit in Begleitung der Expertin im Rahmen der Pionier-Bodenstation in Obergurgl.*

(Foto: Miriam Gadner, 2019)

konfrontiert sind. Das seit 2012 von der Arbeitsgruppe *Education and Communication for Sustainable Development* entwickelte Programm „*k.i.d.Z.21 – Kompetent in die Zukunft*“, gilt als größte Initiative zur schulbegleitenden Klimawandelbildung in Österreich (Keller et al. 2019). Grundlegende Erkenntnisse hieraus sind eine deutliche Überlegenheit innovativer didaktischer Ansätze gegenüber klassischen Konzepten der schulischen Klimawandelbildung (Keller et al. 2019). Der moderate Konstruktivismus bildet hierbei die zentrale didaktische Theorie des Projekts, die auf hochgradig eigenständiger Wissenserarbeitung aufbauend auf individuellen Präkonzepten fokussiert (Sinatra et al. 2014; Vosniadou 2013) und in authentischen Lern-

kontexten mit direkter Erfahr- und Sichtbarkeit der Auswirkungen des Klimawandels eingebettet wird (siehe Abb. 4).

Basierend auf diesem Konzept werden die natursystemischen Erkenntnisse von Cryo\_Soil\_TRANSFORM für eine interdisziplinäre Forschungs-Bildungs-Kooperation nach Vorbild von k.i.d.Z.21 genutzt, um junge Menschen auf die Herausforderungen des Klimawandels und seiner Folgewirkungen vorzubereiten. Die verschiedenen natur- und bildungswissenschaftliche Kompetenzen der Projektmitarbeiterinnen werden dabei zusammengeführt, um das Bewusstsein für die Folgen der Erwärmung in alpinen Hochgebirgen zu schärfen. Unter Verwendung des bewährten Lernsettings werden nun im Speziellen die Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Kryosphäre und Pedosphäre in das bisherige k.i.d.Z.21-Bildungsformat integriert und das Kauner- und Martelltal als zusätzliche Forschungsstandorte erschlossen. Aus diesem Grund erfolgt die Auswahl von Untersuchungsflächen im Gelände nicht nur nach dem Kriterium eines maximierten Forschungsoutputs naturwissenschaftlicher Daten, sondern auch nach didaktischen Gesichtspunkten sowie der Zugänglichkeit für Schüler\*innen. Neben einer sicheren Begehbarkeit im Gelände spielt hier zusätzlich auf kognitiver Ebene die Möglichkeit selbständiger Erschließbarkeit zentraler Zusammenhänge der Auswirkungen des Klimawandels auf die Kryo- und Pedosphäre im Ansatz des moderaten Konstruktivismus eine bedeutende Rolle.



Abb. 5: Experimente zur Erkundung der Bodenbeschaffenheit.

(Foto: Miriam Gadner, 2019)

Eine kontinuierliche Weiterentwicklung dieses innovativen Lernsettings erfolgt durch eine schrittweise Integration natur- und bildungswissenschaftlicher Forschungsergebnisse des Projekts Cryo\_Soil\_TRANSFORM. Durch begleitende Evaluation des entstehenden Ziel- und Transformationswissens liefert die Bildungsforschung

wiederum geeignete Rahmenbedingungen, um Wissen über naturwissenschaftliche Zusammenhänge zugänglich zu machen und dadurch ein erweitertes Mensch-Umwelt-Systemwissen zu generieren.

Durch k.i.d.Z.21 konnte bisher eine signifikante Erhöhung des Klimawandelbewusstseins bei Jugendlichen mit unterschiedlichen Präkonzepten in geeigneten BNE-Settings nachgewiesen werden, wie z. B. das Betroffenheitsgefühl in Gestalt einer verschärften Wahrnehmung des Klimawandels in seiner räumlichen und zeitlichen Dimension (Kuthe et al. 2019). Jedoch bleibt die Frage offen, wie weitere Dimensionen

des Klimawandelbewusstseins gestärkt werden können, wie etwa Verantwortungsbe-  
wusstsein und Selbstwirksamkeit, und wie eine Bewusstseinssteigerung schließlich  
in eine tatsächliche Verhaltensänderung von möglichst vielen Jugendlichen mit ver-  
schiedenen Ausprägungen an Klimawandelbewusstsein münden kann (UNGAR 1994;  
Ranney & Clark 2016), um eine sozial-ökologische Transformation der Gesellschaft  
zu ermöglichen.

Gerade in Zeiten von *Fridays-For-Future* wird die gesellschaftliche Bedeutung der  
Schulbildung für klimafreundliches Handeln kritisch hinterfragt (Evensen 2019). Ob  
und wie klimafreundliche Handlungen durch Bewusstseinssteigerungen im neuen  
Kontext der Kombination formeller Klimawandelbildung und freiwilliger Protestpartizi-  
pation angestoßen werden können, wirft interessante Fragen für die Bildungsforschung  
dieses Projekts auf.

## Literatur

- Auer, Ingeborg; Böhm, Reinhard; Jurkovic, Anita; Lipa, Wolfgang; Orlik, Alexander; Potzmann, Roland et al. (2007): HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. In: *International journal of climatology* 27 (1), S. 17–46.
- Barsch, D. (1978): Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost – an example from the alps. In: W. G. Schneider und R.J.E. Brown (Hg.): *Proceedings Third International Conference of Permafrost*, Vol 1. Edmonton, Canada, S. 348–353.
- Becker, Alfred; Bugmann, Harald (2001): Global change and mountain regions. IGBP Stockholm, Sweden.
- Beniston, Martin (2003): Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. In: *Climatic Change* 59 (1/2), S. 5–31. DOI: 10.1023/A:1024458411589.
- Beniston, Martin (2005): Mountain Climates and Climatic Change: An Overview of Processes Focusing on the European Alps. In: *Pure appl. geophys.* 162 (8-9), S. 1587–1606. DOI: 10.1007/s00024-005-2684-9.
- Beniston, Martin; Farinotti, Daniel; Stoffel, Markus; Andreassen, Liss M.; Coppola, Erika; Eckert, Nicolas et al. (2018): The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. In: *The Cryosphere* 12 (2), S. 759–794. DOI: 10.5194/tc-12-759-2018.
- Boeckli, Lorenz; Brenning, A.; Gruber, A.; Noetzli, Jeannette: Alpine permafrost index map, supplement to: Boeckli, Lorenz; Brenning, A.; Gruber, A.; Noetzli, Jeannette (2012): Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics. *The Cryosphere*, 6, 807-820.
- Debarbieux, Bernard; Price, Martin F. (2008): Representing Mountains: From Local and National to Global Common Good. In: *Geopolitics* 13 (1), S. 148–168. DOI: 10.1080/14650040701783375.
- Dyurgerov, Mark; Meier, Mark F.; Bahr, David B. (2009): A new index of glacier area change: a tool for glacier monitoring. In: *J. Glaciol.* 55 (192), S. 710–716. DOI: 10.3189/002214309789471030.
- Ebohon, B.; Schrott, L. (2008): Modeling Mountain Permafrost Distribution. A New Permafrost Map of Austria. In: D. Kane und K. Hinkel (Hg.): *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*. Fairbanks, Alaska, S. 397–402.
- Evensen, Darrick (2019): The rhetorical limitations of the #FridaysForFuture movement. In: *Nat. Clim. Chang.* 9 (6), S. 428–430. DOI: 10.1038/s41558-019-0481-1.
- Fischer, A.; Seiser, B.; Stocker Waldhuber, M.; Mitterer, C.; Abermann, J. (2015): Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. In: *The Cryosphere* 9 (2), S. 753–766. DOI: 10.5194/tc-9-753-2015.
- Geitner, Clemens; Baruck, Jasmin; Freppaz, Michele; Godone, Danilo; Grashey-Jansen, Sven; Gruber, Fabian E. et al. (2017): Soil and Land Use in the Alps – Challenges and Examples of Soil-Survey and Soil-Data Use to Support Sustainable Development. In: *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*: Elsevier, S. 221–292.



- Gobiet, Andreas; Kotlarski, Sven; Beniston, Martin; Heinrich, Georg; Rajczak, Jan; Stoffel, Markus (2014a): 21st century climate change in the European Alps – A review. In: *The Science of the total environment* (493), S. 1138–1151. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.
- Gobiet, Andreas; Kotlarski, Sven; Beniston, Martin; Heinrich, Georg; Rajczak, Jan; Stoffel, Markus (2014b): 21st century climate change in the European Alps – a review. In: *Science of the Total Environment* 493, S. 1138–1151.
- Haerberli, Wilfried (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). In: D. Vischer (Hg.): *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Bd. 17. Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.
- Haerberli, Wilfried; Hoelzle, Martin; Paul, Frank; Zemp, Michael (2007): Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. In: *Ann. Glaciol.* 46, S. 150–160. DOI: 10.3189/172756407782871512.
- Heckmann, Tobias; Morche, David (Hg.) (2019): *Geomorphology of Proglacial Systems. Landform and Sediment Dynamics in Recently Deglaciated Alpine Landscapes*. Cham, Switzerland: Springer.
- Huss, Matthias; Hock, Regine; Bauder, Andreas; Funk, Martin (2010): 100-year mass changes in the Swiss Alps linked to the Atlantic Multidecadal Oscillation. In: *Geophys. Res. Lett.* 37 (10). DOI: 10.1029/2010GL042616.
- Jones, Philip D.; Wigley, Tom M. L. (1990): Global warming trends. In: *Scientific American* 263 (2), S. 84–91.
- Keller, Felix (1992): Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the geographical information system ARC/INFO. In: *Permafrost and Periglac. Process.* 3 (2), S. 133–138. DOI: 10.1002/ppp.3430030210.
- Keller, Lars; Stötter, Johann; Oberrauch, Anna; Kuthe, Alina; Körfgen, Annemarie; Hüfner, Katharina (2019): Changing Climate Change Education: Exploring moderate constructivist and transdisciplinary approaches through the research-education co-operation k.i.d.Z.21. In: *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society* 28 (1), S. 35–43. DOI: 10.14512/gaia.28.1.10.
- Kienast, Felix; Wildi, Otto; Brzeziecki, Bogdan (1998): Potential impacts of climate change on species richness in mountain forests—an ecological risk assessment. In: *Biological Conservation* 83 (3), S. 291–305.
- Klug, C.; Rieg, L.; Ott, P.; Mössinger, M.; Sailer, R.; Stötter, J. (2016): A Multi-Methodological Approach to Determine Permafrost Occurrence and Ground Surface Subsidence in Mountain Terrain, Tyrol, Austria. In: *Permafrost and Periglac. Process.* 28 (1), S. 249–265. DOI: 10.1002/ppp.1896.
- Kuthe, Alina; Körfgen, Annemarie; Stötter, Johann; Keller, Lars (2019): Strengthening their climate change literacy: A case study addressing the weaknesses in young people’s climate change awareness. In: *Applied Environmental Education & Communication* 47 (2), S. 1–14. DOI: 10.1080/1533015X.2019.1597661.
- Leclercq, P. W.; Oerlemans, J.; Basagic, H. J.; Bushueva, I.; Cook, A. J.; Le Bris, R. (2014): A data set of worldwide glacier length fluctuations. In: *The Cryosphere* 8 (2), S. 659–672. DOI: 10.5194/tc-8-659-2014.
- Luterbacher, Jürg; Dietrich, Daniel; Xoplaki, Elena; Grosjean, Martin; Wanner, Heinz (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. In: *Science* 303 (5663), S. 1499–1503.
- McNeal, Karen S.; Libarkin, Julie C.; Ledley, Tamara Shapiro; Bardar, Erin; Haddad, Nick; Ellins, Kathy; Dutta, Saranee (2014): The Role of Research in Online Curriculum Development: The Case of EarthLabs Climate Change and Earth System Modules. In: *Journal of Geoscience Education* 62 (4), S. 560–577. DOI: 10.5408/13-060.1.
- Monreal, Matthias; Stötter, Johann (2014): Adaptation to Climate Change in Mountain Regions: Global Significance of Marginal Places. In: *Impact of Global Changes on Mountains: Responses and Adaptation*: CRC Press Boca Raton, S. 139–154.
- Nachtnebel, H.P. M. Dokulil, M. Kuhn, W. Loiskandl, R. Sailer, W. Schöner (2014): Der Einfluss des Klimawandels auf die Hydrosphäre. In: *APCC, Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC) Band 2, Kap2. Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich*, S. 411–466.
- Noetzli, Jeannette; Gruber, Stephan; Kohl, Thomas; Salzmann, Nadine; Haerberli, Wilfried (2007): Three-dimensional distribution and evolution of permafrost temperatures in idealized high-mountain topography. In: *J. Geophys. Res.* 112 (F2), S. 123. DOI: 10.1029/2006JF000545.

- Ranney, Michael Andrew; Clark, Dav (2016): Climate Change Conceptual Change: Scientific Information Can Transform Attitudes. In: *Topics in cognitive science* 8 (1), S. 49–75. DOI: 10.1111/tops.12187.
- Rebetez, M.; Reinhard, M. (2008): Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004. In: *Theoretical and Applied Climatology* 91 (1-4), S. 27–34.
- Scherrer, Daniel; Körner, Christian (2011): Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming. In: *Journal of biogeography* 38 (2), S. 406–416.
- Schrott, L.; Otto, J.Ch.; Keller, F. (2012): Modelling alpine permafrost distribution in the Hohe Tauern region, Austria. In: *Austrian Journal of Earth Sciences* (105/2), S. 169–183, zuletzt geprüft am 21.07.2019.
- Sinatra, Gale M.; Kienhues, Dorothe; Hofer, Barbara K. (2014): Addressing Challenges to Public Understanding of Science: Epistemic Cognition, Motivated Reasoning, and Conceptual Change. In: *Educational Psychologist* 49 (2), S. 123–138. DOI: 10.1080/00461520.2014.916216.
- Stötter, J.; Krainer, K.; Sailer, R.; Monreal, M. (2012): Grundlagen der Permafrostforschung. In: Johann Stötter und Rudolf Sailer (Hg.): *Permafrost in Südtirol*. Innsbruck: Selbstverlag Innsbrucker Geographische Studien (39), S. 15–44.
- Stötter, J.; Monreal, M. (2010): Mountains at risk. In: A. Borsdorf, G. Grabherr, K. Heinrich, B. Scott und J. Stötter (Hg.): *Challenges for Mountain Regions – Tackling Complexity*. Wien: Böhlau, 86–93.
- UNESCO (2014): UNESCO-Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Bonn: Dt. UNESCO-Kommission. Online verfügbar unter <http://www.bne-portal.de/sites/default/files/downloads/publikationen/DUK%20-%20Roadmap%20Weltaktionsprogramm%20BNE.pdf>.
- UNGAR, SHELDON (1994): Apples and oranges: Probing the attitude-behaviour relationship for the environment. In: *Canadian Review of Sociology/Revue canadienne de sociologie* 31 (3), S. 288–304. DOI: 10.1111/j.1755-618X.1994.tb00950.x.
- Vaughan, D. G.; J.C. Comiso I.; Allison, J.; Carrasco, G.; Kaser, R.; Kwok, P. et al. (2013): Observations: Cryosphere. *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 and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Online verfügbar unter [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter04\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter04_FINAL.pdf), zuletzt geprüft am 21.07.2019.
- Vosniadou, Stella (Hg.) (2013): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York: Routledge (Educational psychology handbook series).
- WGMS 2017: *Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014–2015)*. Zemp, M., Nussbaumer, S. U., GärtnerRoer, I., Huber, J., Machguth, H., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.) ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/ UNESCO/ WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 244 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2017-10.
- Xu, Jianchu; Grumbine, R. Edward; Shrestha, Arun; Eriksson, Mats; Yang, Xuefei; Wang, Y. U.N.; Wilkes, Andreas (2009): The melting Himalayas: cascading effects of climate change on water, biodiversity, and livelihoods. In: *Conservation Biology* 23 (3), S. 520–530.
- Zemp, Michael; Frey, Holger; Gärtner-Roer, Isabelle; Nussbaumer, Samuel U.; Hoelzle, Martin; Paul, Frank et al. (2015): Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. In: *J. Glaciol.* 61 (228), S. 745–762. DOI: 10.3189/2015JoG15J017.