

Geographisches Institut der



**Universität
Zürich**^{UZH}

Abteilung GIVA
Geographische Informationsvisualisierung und Analyse

Wissenschaftskommunikation in der Geographie am Beispiel der heterogenen Verbreitung und der Temperatursensitivität von Permafrost

GEO 511, Masterarbeit

Abgabetermin: 04. Mai 2012

Autor:

Roman Lauer
Matrikelnummer: s04723185
Badenerstrasse 254
8004 Zürich
Tel. 078 734 22 98
roman.lauer@gmx.ch

Betreuung:

Prof. Dr. Sara I. Fabrikant
Dr. Stephan Gruber

Fakultätsvertretung:

Prof. Dr. Sara I. Fabrikant

Vorwort

Die zwei Bereiche Geographie und Publizistikwissenschaft führen in der vorliegenden Arbeit zu einer interessanten Kombination, welche auf verschiedene Elemente der Geographiedidaktik zugreift. Es ist kein Geheimnis, dass es an der Ausdrucksweise vieler Wissenschaftler hapert wie Zetsche (2004) es nennt. Darum ist es in der Absicht dieser Arbeit, eine Verbindung zwischen einer geeigneten Ausdrucksweise und einem spannenden Thema aus dem Bereich Geographie herzustellen.

Ich möchte meinen Betreuern, Prof. Dr. Sara I. Fabrikant und Dr. Stephan Gruber ganz herzlich für die kompetente Unterstützung und stete Hilfsbereitschaft während meiner Arbeit danken.

Ich danke Herrn Hitz und Herrn Lepori und den drei Klassen des 5. Gymnasiums der Kantonsschule Urdorf, dass ich mein Experiment bei ihnen durchführen durfte.

Meinen Freunden danke ich für die zahlreichen konstruktiven Beiträge, mit denen sie zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Zürich, den 04. Mai 2012

Roman Lauer

Zusammenfassung

Eine differenzierte Kommunikation im Fach Geographie ist wichtig, um Prozesse zu verstehen, die im Zuge der Klimaveränderung die Menschen beeinflussen oder durch Menschen beeinflusst werden. Die heterogene Verbreitung und die Temperatursensitivität von Permafrost sind zwei fundamentale Charakteristiken, deren korrektes Verständnis eine grosse Herausforderung für die Wissenschaftskommunikation im Bereich Geographie darstellt. Die Verbreitung von Permafrost ist stark heterogen geprägt, wobei Permafrost oft als homogenes Phänomen interpretiert wird. Auch die Temperatur eines Permafrostbodens kann aufgrund komplexer physikalischer Vorgänge, anders reagieren als man dies ohne ein differenziertes Fachwissen vermuten würde. In der vorliegenden Arbeit wurden drei Kommunikationsmittel, ein Text, ein Text mit Bildern und eine digital-interaktive Flash Animation erstellt, die diesen Inhalt kommunizieren. Als Grundlage zur Herstellung der Kommunikationsmittel dienten Theorien aus der Wissenschaftskommunikation (Zetsche, 2004), der Geographiedidaktik (Reinfried, 2006; 2007; Reinfried et al., 2008) und der multimedialen Didaktik (Mayer, 2005; 2011). Die drei Kommunikationsmittel wurden im Rahmen eines Experimentes an der Kantonsschule Urdorf von 52 Testpersonen aus drei verschiedenen Unterrichtsklassen des 5. Gymnasiums rezipiert. Im Anschluss wurden die Testpersonen zu ihrem Wissen dazu befragt. Jede Klasse behandelte das Thema in einer anderen Kommunikationsform. Ziel war es herauszufinden, mit welchem Kommunikationsmittel die grösste Lerneffizienz erreicht wird und wo die Fehlerquellen liegen, die durch das Medium hervorgerufen wurden. Um methodologische Probleme zu identifizieren, wurden die Kommunikationsmittel von unabhängigen Experten auf ihre Qualität hin bewertet. Dabei stand nicht die absolute Qualität eines einzelnen Mediums im Vordergrund, sondern die relative Qualität der drei Kommunikationsmittel im gemeinsamen Vergleich. Zur Operationalisierung der Untersuchungsfrage wurde eine Befragung der Testpersonen vor und nach der Behandlung des Themas durchgeführt. Diese bestand aus einem Leistungstest, Bewertungs- und Meinungsfragen. Der Vergleich der drei Kommunikationsmittel verlangte nach einer homogenen Ausgangslage, um von unterschiedlichen Testresultaten auf unterschiedliche Medienwirkungen schliessen zu können. Nach dem Experiment wurde deutlich, dass zwischen den Klassen keine homogene Ausgangssituation bzgl. Wissensstand und Motivation bestand. Die Resultate waren nur bedingt aussagekräftig, da die inhomogene Ausgangslage einen grösseren Einfluss auf die Lerneffizienz hatte als die Kommunikationsmittel selbst. Trotzdem liessen sich einige Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Rahmen einer vergleichenden Analyse der drei Kommunikationsmittel identifizieren. Die Theorie wurde bestätigt, dass die Kommunikation eines Lerninhaltes durch multimediale Lehrmittel zu einer höheren Lerneffizienz führt als bei der Kommunikation mit klassischen Lehrmitteln, z.B. in Form eines Textes. Es konnte nicht festgestellt werden, ob ein höhergradig multimediales Lehrmittel, eine digital-interaktive Flash Animation Vorteile im Vergleich mit einer einfachen multimedialen Kommunikationsform, einer Text/Bild-Form mit sich bringt. Die Resultate dieser Arbeit dienen als Ansatz für die weitere Forschung im Bereich der Wissenschaftskommunikation in der Geographie und sollen v.a. auf die Herausforderungen aufmerksam machen, die sich bei medienvergleichenden Analysen ergeben.

Inhalt

1 EINLEITUNG	1
1.1 Wissenschaftliche Motivation	1
1.2 Ziel der Arbeit und Fragestellung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2 THEORETISCHER HINTERGRUND UND AKTUELLER WISSENSSTAND.....	4
2.1 Geographisch-physikalischer Hintergrund	4
2.1.1 Heterogene Verbreitung von Permafrost.....	4
2.1.2 Temperatursensitivität von Permafrost.....	5
2.2 Kommunikationswissenschaftlicher Hintergrund	5
2.2.1 Wissenschaftskommunikation.....	6
2.2.2 Wissenschaftsredaktion.....	8
2.3 Naive Geographie	10
2.4 Alltagsvorstellungen.....	10
2.5 Multimedia	12
2.6 Multimediales Lernen	12
2.6.1 Der Lernprozess.....	13
2.6.2 Der Lehrprozess.....	16
2.6.3 Der Prüfprozess	17
2.7 Interaktivität.....	18
2.8 Herausforderungen beim Vergleichen von Kommunikationsmitteln	19
3 METHODIK	20
3.1 Studiendesign	20
3.2 Teilnehmende.....	20
3.3 Aufbau des Experimentes.....	21
3.4 Herstellung der Kommunikationsmittel	22
3.4.1 Textform.....	23
3.4.2 Text/Bild-Form	23
3.4.3 Digitale Darstellung	24
3.5 Bewertung der Kommunikationsmittel	24
3.6 Die Befragung	26
3.6.1 Operationalisierung der Testfragen.....	27
3.8 Ablauf des Experimentes.....	30

4 RESULTATE	31
4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	32
4.2 Evaluation der Kommunikationsmittel durch Experten.....	32
4.3 Erzielte Leistung der Testpersonen.....	34
4.3.1 Vor dem Treatment.....	35
4.3.2 Nach dem Treatment.....	35
4.3.3 Leistungssteigerung.....	35
4.4 Fehlerquellen und -quoten	36
4.5 Bewertungsfragen	41
4.6 Meinungsfragen	45
5 DISKUSSION	48
5.1 Leistung	48
5.2 Evaluation der Kommunikationsmittel durch Experten.....	49
5.3 Systematische Fehlerquellen	50
5.4 Gemeinsamkeiten und Unterschiede.....	50
5.5 Relevanz und subjektive Vorstellungen der Testpersonen	52
6 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	53
7 LITERATUR	55
8 ANHANG	59
A Unterlagen zum Experiment	59
B Kommunikationsmittel	83

Abbildungen

Abbildung 1 Umgekehrte Pyramide	9
Abbildung 2 Beziehung zwischen Lehren, Lernen und Prüfen	13
Abbildung 3 Kognitive Theorie des multimedialen Lernens.....	14
Abbildung 4 Studiendesign	20
Abbildung 5 Aufbau des Experimentes	22
Abbildung 6 Operationalisierung der Expertenbefragung	25
Abbildung 7 Operationalisierung der Untersuchungsfrage <i>heterogene Verbreitung von Permafrost</i>	29
Abbildung 8 Operationalisierung der Untersuchungsfrage <i>Temperatursensitivität von Permafrostböden</i>	29

Tabellen

Tabelle 1 Mehrdimensionale Taxonomie der Kommunikation nach Maletzke.....	6
Tabelle 2 Zielgruppen, Ziele und Kommunikationsmedien der Wissenschaftskommunikation	7
Tabelle 3 Schritte zum Konzeptwechsel in der Geographiedidaktik	11
Tabelle 4 Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen gemäss der kognitiven Theorie multimedialen Lernens	14
Tabelle 5 Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen gemäss der Cognitive Load Theory.....	16
Tabelle 6 Lernziele nach der Taxonomie von Bloom	17
Tabelle 7 kognitive Lernziele	27
Tabelle 8 Einteilung der Unterrichtsklassen und Treatment.....	31
Tabelle 9 Bewertung der Kommunikationsmittel	33

Diagramme

Diagramm 1 Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	32
Diagramm 2 Bewertung der Kommunikationsmittel	34
Diagramm 3 Erzielte Leistung der Testpersonen	34
Diagramm 4 Leistungssteigerung.....	36
Diagramm 5 Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen I	37
Diagramm 6 Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen II	38
Diagramm 7 Fehlerquellen und -quoten der Klasse A.....	39
Diagramm 8 Fehlerquellen und -quoten der Klasse B.....	40
Diagramm 9 Fehlerquellen und -quoten der Klasse C.....	41
Diagramm 10 Interessensbewertung der Testpersonen vor dem Treatment.....	42
Diagramm 11 Bewertung des Spannungsfaktor der Kommunikationsmittel.....	42
Diagramm 12 Bewertung der Schwierigkeit der Fragen	43
Diagramm 13 Bewertung der sprachlichen Verständlichkeit der Kommunikationsmittel.....	43
Diagramm 14 Bewertung des Vorwissens der Testpersonen.....	44
Diagramm 15 Bewertung der Wissenssteigerung nach dem Treatment	44
Diagramm 16 Bewertung des inhaltlichen Verständnisses	45
Diagramm 17 Meinungsumfrage zu den grössten Herausforderungen im Bereich Permafrost.....	46
Diagramm 18 Meinungsumfrage zu den Einflussfaktoren der Permafrostverbreitung.....	47
Diagramm 19 Meinungsumfrage zu räumlichen Dimensionen einer Permafrostverbreitung.....	47

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftliche Motivation

Die Kommunikation verschiedener Themen der physischen Geographie stellt eine grosse Herausforderung dar. Dies gilt für die Kommunikation zwischen der Geographie als Wissenschaft und einem Laienpublikum, wie auch für die Kommunikation innerhalb von Expertengruppen (Zetzsche, 2004). Eine fehlende oder schlechte Kommunikation eines differenzierten Fachwissens kann zur Folge haben, dass komplexe Themen auf einfache Alltagsvorstellungen reduziert werden, was zu einem falschen Verständnis und falschen Entscheidungen führt (Reinfried, 2007). Die Kommunikation eines wissenschaftlichen Themas kann durch verschiedene Medien stattfinden, wobei die breite Bevölkerung durch Massenmedien am einfachsten erreicht wird. Schüler dagegen erlernen Themen einer Wissenschaft im Rahmen des Unterrichts und Experten tauschen sich gegenseitig aus. Zetzsche (2004) zitiert Niklas Luhmann¹: „Was wir über unsere Gesellschaft, ja, die Welt, in der wir leben, wissen, wissen wir über die Massenmedien“. Unabhängig von der Situation übernimmt während einer Kommunikation eine Instanz die Rolle des Kommunikators und eine andere die Rolle des Rezipienten. Der Kommunikator trägt dabei einen grossen Teil der Verantwortung, wie gut das von ihm präsentierte Thema von den Rezipienten verstanden wurde. Es stellt sich also die Frage, mit welchen Methoden z.T. komplexe Themen kommuniziert werden können, damit die Rezipienten ein maximales Verständnis dafür entwickeln. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bildet deshalb die Geographiedidaktik das Fundament für die Kommunikation der komplexen physisch-geographischen Sachverhalte *Temperatursensitivität und heterogene Verbreitung von Permafrost*. Es sind dies zwei fundamentale Phänomene bzw. Charakteristiken, die zum allgemeinen Verständnis von Permafrost dazugehören, von einer breiten Bevölkerung und sogar von Experten aber nur wenig verstanden werden. Permafrostgebiete kommen auf etwa 22 Millionen Quadratkilometern der Erdoberfläche vor und interagieren mit dem Klima, den Ökosystemen und den Menschen. Im Zuge der Klimaveränderung gewinnt der Permafrost an Bedeutung, wobei davon ausgegangen werden muss, dass in der Zukunft unerwartete Permafrostphänomene auftreten, die einen Einfluss auf die Menschen und das menschliche Verhalten haben werden (Gruber, 2012). Ein vertieftes Wissen im Bereich der thermalen Eigenschaften von Permafrost ist wichtig, um geeignete Lösungen im Bereich der Infrastruktur in Permafrostgebieten zu finden und effektive Anpassungsstrategien an eine wärmere klimatische Situation für betroffene Bevölkerungsgruppen auszuarbeiten (Romanovsky et al., 2010a). Eine differenzierte Kommunikation von Themen aus dem Bereich Permafrost stellt ein wichtiges Instrument zur Sensibilisierung der Bevölkerung, zur Information von Entscheidungsträgern und zur Förderung des aktuellen wissenschaftlichen Diskurses dar (Keller et al., 2008). Um die Relevanz von interpersonaler und massenmedialer Kommunikation eines differenzierten Fachwissens in der Geographie zu erläutern, bezieht sich Reinfried et al. (2008) erstens auf die persönliche Entscheidungsfindung, z.B. zu Gunsten einer nachhaltigen Entwicklung und zweitens sei dieses Wissen „unabdingbar, um sich in unserer hochtechnologischen Gesellschaft zurechtzufinden und umwelt- und sozialverträgliche Neuerungen zu unterstützen, die helfen, unsere heutigen Klimafragen zu lösen.“

¹ Deutscher Soziologe und Gesellschaftstheoretiker (* 8. Dezember 1927 in Lüneburg; † 6. November 1998 in Oberlinghausen) (Quelle: Wikipedia)

1.2 Ziel der Arbeit und Fragestellung

In dieser Masterarbeit werden aktuelle Herausforderungen zum Thema Permafrost kommuniziert und verschiedene Kommunikationsmittel miteinander verglichen. Ziel ist es, kommunikationswissenschaftliche Aspekte in der Kommunikation von physisch-geographischen Themen anzuwenden und miteinander zu vergleichen, so dass die Resultate auf geeignete Methoden zur Wissensvermittlung im Bereich der *Wissenschaftskommunikation in der Geographie* hindeuten. Der kommunizierte Inhalt bezieht sich auf die Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität von Permafrost* und soll in verschiedenen Kommunikationsmitteln präsentiert werden. Die Kommunikationsmittel sollen geographiedidaktisch motiviert sein und einem lernenden Publikum in Form von Lehrmitteln im Rahmen einer Unterrichtsstunde präsentiert werden. Dazu werden die drei Medien *Text*, *Text/Bild*, *digital-interaktive Flash Animation* zur Präsentation der Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität von Permafrost* ausgewählt und auf ihren Erfolg zur Wissensvermittlung miteinander verglichen. Der Fokus liegt dabei auf einer vergleichenden Analyse der drei Kommunikationsmittel, damit künftige Lehr- und Kommunikationsumgebungen mit einer hohen Effizienz in der Wissensvermittlung gestaltet werden können. Die Untersuchungsfrage der vorliegenden Masterarbeit lautet:

Mit welchem der drei Kommunikationsmittel, einem Text, einem Text mit Bildern oder einer digital-interaktiven Flash Animation, lassen sich die Themen Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost am lernförderlichsten kommunizieren?

1.3 Aufbau der Arbeit

Es soll im Folgenden der Begriff *Treatment* als Synonym für den Prozess der Rezeption eines Kommunikationsmittels durch die Testpersonen verwendet werden. Weiter werden die Begriffe *Kommunikationsmittel*, *Lehrmittel* und *Medien* im Rahmen dieser Untersuchung synonym verwendet. In *Kapitel 2* werden theoretische Grundlagen und der aktuelle Wissensstand kommuniziert. Zu Beginn soll der geographisch-physikalische Hintergrund kurz erläutert werden. Es wird dabei das Thema präsentiert, welches die Basis der Kommunikationsmittel bildet. Dieser Teil umfasst eine kurze Erklärung des physisch-geographischen Sachverhaltes und dessen Relevanz und Bezug zu aktuellen Ergebnissen aus der Forschung. Auf eine umfangreiche Ausführung wird verzichtet, da dies die Aufgabe der Kommunikationsmittel ist, deren Herstellung zu einem späteren Zeitpunkt erläutert wird. Die anschließenden, kommunikationswissenschaftlichen Grundlagen präsentieren wichtige Definitionen im Bezug auf die vorliegende Arbeit und stellen einen Bezug zur aktuellen Forschung in der Wissenschaftskommunikation und der Geographiedidaktik her. Sie dienen ausserdem als Basis zum Aufbau des Experimentes und zur Herstellung der drei Kommunikationsmittel im nachfolgenden Kapitel. In *Kapitel 3* werden in erster Linie der Aufbau und das Vorgehen beim Experiment beschrieben. Ein wichtiger Teil dabei ist die Herstellung der drei Kommunikationsmittel, deren Inhalt und Gestaltung auf die Theorie aus *Kapitel 2* zurückführen. Auch die Operationalisierung der Untersuchungsfrage und der Expertenbefragung wird in diesem Kapitel beschrieben und bezieht sich auf theoretische Grundlagen aus *Kapitel 2*. In *Kapitel 4* werden die Resultate aus der Umfrage präsentiert. Dabei werden zuerst die Leistungen der Klassen ausgewertet. Als nächstes werden die Fehlerquellen und dazugehörige Fehlerquoten der einzelnen Klassen und den Klassen im Vergleich dargestellt. Zum Schluss des Kapitels werden die Antworten zu den Bewertungs- und Meinungsfragen präsentiert und ausgewertet. In *Kapitel 5* werden die Resultate aus *Kapitel 4* interpretiert, diskutiert und wenn möglich in den Bezug zur Theorie gestellt. In

Kapitel 6 wird ein Bezug auf die anfangs gesetzten Ziele hergestellt, die Untersuchungsfrage beantwortet und die Methodik kritisch reflektiert. Dies soll zu Verbesserungsvorschlägen und Empfehlungen für künftige Arbeiten führen.

2 Theoretischer Hintergrund und aktueller Wissensstand

2.1 Geographisch-physikalischer Hintergrund

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bezieht sich das geographisch-physikalische Thema auf den räumlichen Charakter von Permafrost, welcher eine starke Heterogenität aufweist, und auf die Temperatursensitivität von Permafrostböden. Dabei können steigende Temperaturen nahe 0°C eine Abnahme der Reaktionsfreudigkeit von Bodentemperaturen zur Folge haben. Die beiden Themen gehören zu den fundamentalen Eigenschaften bzw. Charakteristiken von Permafrost, obwohl sie nur wenig bekannt oder sogar irrelevant erscheinen. Ein Zusammenhang zwischen den Themen besteht durch die Dringlichkeit einer differenzierten Kommunikation im Zuge der Klimaveränderung.

2.1.1 Heterogene Verbreitung von Permafrost

Die Verbreitung von Permafrost ist ein heterogenes Phänomen und wird auf der globalen, regionalen und lokalen Ebene von topographischen und klimatischen Faktoren beeinflusst. Oft treten Permafrostböden dicht neben nicht gefrorenen Böden auf, was sich in einer hohen Unsicherheit bei der Modellierung und Interpretation auswirken kann. Permafrost wird definiert als Fels- oder Bodenmaterial, das mindestens während zwei Jahren Minustemperaturen aufweist. Ein simpler Zusammenhang zwischen Luft- und Bodentemperaturen könnte aufgrund dieser relativ simplen Definition die korrekte Theorie verdrängen. Dass verschiedene topographische und klimatische Faktoren in allen räumlichen Skalenbereichen den Permafrost in Gebirgs- und Polarregionen direkt oder indirekt beeinflussen können, ist nicht offensichtlich, was zur Interpretation von Permafrost als homogenes Phänomen führen kann. Auch viele Permafrost darstellende Produkte unterstützen eine solche Interpretation. Es sei hier auf die Relevanz von Permafrost als stark heterogen vorkommendes Phänomen hingewiesen (Gruber, 2012; French, 2007; Romanovsky et al., 2007).

Der heterogene Charakter einer räumlichen Ausdehnung von Permafrost macht eine Abschätzung und Modellierung schwierig, so dass bis vor kurzem kein adäquater Datensatz zur globalen Ausdehnung von Permafrost bestand (Gruber, 2011). Eine aktuelle Annäherung bietet Gruber (2012), wobei dies in Form einer hochauflösenden (<1km) globalen Permafrostkarte auf GoogleEarth zum ersten Mal überhaupt einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung steht. Die zugrunde liegenden, hochauflösenden Daten und eine einheitliche Methode machen Grubers Karten zu den präzisesten Darstellungen der globalen Permafrostverbreitung weltweit (Medienmitteilung der UZH vom 20.02.2012). Nicht nur die Berechnung und Modellierung der globalen Ausdehnung von Permafrost stellt eine grosse Herausforderung dar, sondern auch der Gebirgspermafrost ist durch eine starke Heterogenität geprägt. Eine aktuelle statistische Annäherung an eine Modellierung von Gebirgspermafrost bietet Boeckli et al. (2012) an.

2.1.2 Temperatursensitivität von Permafrost

Unter Temperatursensitivität von Permafrost versteht man die Empfindlichkeit der Temperatur eines Permafrostbodens auf äussere Energieeinflüsse, z.B. auf einen Lufttemperaturanstieg oder eine Lufttemperaturabnahme. Je wärmer eishaltige Permafrostböden werden, desto stärker nimmt die Temperatursensitivität ab, bis das im Boden vorhandene Eis geschmolzen ist. Die Temperatur eines Permafrostbodens kann somit nahe 0°C stagnieren, obwohl die Umgebungstemperatur zunimmt. Der Grund dafür liegt in der Absorption latenter Wärme beim Phasenwechsel von H₂O. Die gesamte Energie, die z.B. durch einen Lufttemperaturanstieg in einen eishaltigen Permafrostboden nahe 0°C eingetragen wird, wird zum Schmelzen des Eises verwendet, wobei die Temperatur des Bodens kaum zunimmt. Dieser Effekt tritt deutlicher in Erscheinung, je eishaltiger der Boden ist. Es muss also bei Permafrostböden nicht zwingend ein einfacher Zusammenhang zwischen Veränderungen der Luft- und der Bodentemperatur bestehen (Williams and Smith, 1989; Romanovsky et al., 2007).

Romanovsky et al. (2010a) betonen, dass die gemessenen Permafrosttemperaturen in der nördlichen Polarregion während des *International Polar Year (IPY) 2007-2009* bis zu 2°C höher waren als noch vor 20 bis 30 Jahren. Gleichzeitig seien aber die Erwärmungsraten von warmen Permafrostböden nahe 0°C viel kleiner als diejenigen von kalten Permafrostböden. Dieser Effekt wurde v.a. bei eisreichen Böden beobachtet und bestätigt die Theorie der latenten Wärmeabsorption beim Phasenwechsel von H₂O. Gemessen wurden die Temperaturen von 350 Bohrlöchern in Nordamerika (Smith et al., 2010), 45 in Skandinavien (Christiansen et al., 2010) und 180 in Russland (Romanovsky et al., 2010b).

2.2 Kommunikationswissenschaftlicher Hintergrund

Kommunikation ist ein weitläufiger Begriff und kommt in verschiedenen Disziplinen auf unterschiedliche Weise zur Anwendung. In der vorliegenden Arbeit soll der Kommunikationsprozess primär als unidirektionale Informationsübermittlung zwischen Kommunikatoren und Rezipienten verstanden werden. Aufgrund der zahlreichen Definitionen werden die Begriffe Kommunikation, Massenkommunikation und Wissenschaftskommunikation wie folgt verstanden:

Kommunikation:

„Kommunikation – lat. „communis“: „gemeinsam“ – zwischen Menschen kann beispielhaft definiert werden als eine Form des sozialen Handelns, das mit subjektivem Sinn verbunden ist und auf das Denken, Fühlen und Handeln anderer Menschen bezogen stattfindet. Es handelt sich also um ein verbales und/oder nonverbales Miteinander-in-Beziehung-Treten von Menschen zum Austausch von Informationen (Kunczik und Zipfel, 2005:26ff)“.

Massenkommunikation:

„Massenkommunikation, vom amerikanischen Begriff, „mass communication“ übernommen, bezieht sich auf die Verbreitung von Informationen über ein technisches Vermittlungssystem, nämlich die Massenmedien. Meist wird damit auch eine soziologische Theorie der Massengesellschaft verknüpft. Beispielhafte Definition von Massenkommunikation: Informationsverbreitung bzw. Verbreitung symbolischer Inhalte durch spezialisierte soziale Gruppen (Kommunikatoren) mittels technischer Systeme (Medien) an ein grosses, heterogenes und weit verstreutes Publikum (Rezipienten) (Bonfadelli, Jarren und Siegart, 2010:117)“.

Wissenschaftskommunikation

„The use of appropriate skills, media, activities, and dialogue to produce one or more of the following personal responses to science: Awareness, Enjoyment, Opinionforming, Understanding. Science Communication may involve science practitioners, mediators, and or members of the general public, either peer-to-peer or between groups (Burns et al., 2003:191)“.

Mit der mehrdimensionalen Taxonomie der Kommunikation nach Maletzke lassen sich verschiedene Formen von Kommunikation beschreiben, die auch in der vorliegenden Arbeit als Hintergrundinformationen nützlich sein werden (*Tabelle 1*). Kommunikation kann demnach direkt z.B. in Form eines Gesprächs oder indirekt durch technische Hilfsmittel zustande kommen. Sie kann einseitig sein, in Form einer reinen Informationsübermittlung (Transmission, Interpretation) oder als zweiseitiger Prozess zwischen Gesprächspartnern (Austausch, Teilhabe, etc.) stattfinden. Unterscheiden lässt sich auch, ob die Kommunikation privat oder öffentlich ist und ob das Publikum vor Ort oder nach Ort und Zeit dispers ist (Bonfadelli, Jarren und Siegert, 2010).

Tabelle 1 | Mehrdimensionale Taxonomie der Kommunikation nach Maletzke

Quelle: Bonfadelli, Jarren und Siegert (2010:127)

direkt/personal	gegenseitig symmetrisch	privat	Präsenz-Publikum
indirekt durch technische Medien vermittelt	einseitig asymmetrisch	öffentlich	disperses Publikum nach Ort und Zeit

2.2.1 Wissenschaftskommunikation

Zetzsche (2004) definiert Wissenschaftskommunikation als die Vermittlung von Wissen aus der Forschung und Lehre. Rezipienten können u.a. Laien aus der Bevölkerung, Experten im gleichen oder verwandten Fachgebiet sowie Entscheidungsträger sein, wobei die Motivation zwischen den Zielgruppen unterschiedlich ist und zwischen interner und externen Kommunikation unterschieden wird. Bereits hier entscheidet der Kommunikator, wie ein wissenschaftlicher Inhalt aufbereitet werden soll, um bei der entsprechenden Zielgruppe ein maximales Verständnis für ein wissenschaftliches Thema gewinnen zu können. Unterschiede zwischen einer internen und einer externen Wissenschaftskommunikation sind in der *Tabelle 2* dargestellt (Hagenhoff et al., 2007).

Tabelle 2 | Zielgruppen, Ziele und Kommunikationsmedien der Wissenschaftskommunikation

Quelle: Hagenhoff et al. (2007:6)

Wissenschaftskommunikation		
	Intern	extern
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissenschaftler (in Universität und Unternehmen) ▪ Studenten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Öffentlichkeit ▪ Stakeholder/Geldgeber
verfolgte Ziele	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Expertenorientierte Kommunikation innerhalb der Wissenschaft unterstützen <ul style="list-style-type: none"> ○ Problemlösungen erarbeiten ○ Neue Entwicklungen in Forschungsgebieten aufzeigen ○ Verifizierung von Forschungsergebnissen ○ Aufbau von Reputation ▪ Wissenschaftler zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit befähigen ▪ Bedeutung der Wissenschaftskommunikation verdeutlichen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermittlung von wissenschaftlichen Ergebnissen ▪ Nachwuchs für Wissenschaft gewinnen ▪ Vertrauen in Wissenschaft bei Zielpersonen wecken und Glaubwürdigkeit erreichen ▪ Bereitstellung ausreichender Ressourcen für die Wissenschaft sichern ▪ Verhandlungen über Art der Wissenschaft und den (gesellschaftlichen) Umgang mit den Ergebnissen
Kommunikationsmedien (formal)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiss. Zeitschriften (print, online) ▪ Konferenzbände, Monographien ▪ Schutz intellektueller Errungenschaften durch Patente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Massenmedien: TV, Radio ▪ Zeitschriften (print, online) ▪ Ausstellungen

Noch vor zwei bis drei Jahrzehnten ging man von einer klaren institutionellen Trennung zwischen Universitäten und der Industrie aus, wobei ein linearer Wissenstransfer von akademischer Grundlagenforschung zur industriell angewandter Forschung als Basis von Innovation diente. Die Ansprüche an die heutige Wissenschaftskommunikation sind weitaus höher. Die Wissenschaft steht unter öffentlich-politischem Druck, ihre Forschung gegenüber der sie finanzierenden Öffentlichkeit zu rechtfertigen und verlässliche Informationen, die zur Innovation, zum Schutz und zum Wohle der Allgemeinheit dienen, zu kommunizieren. Auch die Kommerzialisierung der Wissenschaftskommunikation hat in den letzten Jahren einen Aufschwung erlebt. Wissenschaftssendungen wie *Galileo* und *Nano* erfreuen sich hoher Einschaltquoten und Online-Portale und Printausgaben erreichen mit wissenschaftlichen Themen eine breite Leserschaft. Oft werden spannende Themen aus der Wissenschaft aufwändig aufbereitet und dienen einem breiten Publikum zur Unterhaltung. Eine weitaus wichtigere Aufgabe übernimmt die Wissenschaftskommunikation jedoch in der Vermittlung aktueller Erkenntnisse oder Herausforderungen einer Wissenschaft, die einen Einfluss auf das Verhalten der Rezipienten haben können. Es handelt sich dabei z.B. um komplexe Sachverhalte im Bereich von Naturkatastrophen. Bei dieser Art von wissenschaftlicher Kommunikation steht nicht die Unterhaltung des Publikums, sondern viel mehr die Information und Sensibilisierung im Vordergrund. Daraus stellt sich die Frage, mit welchen Mitteln eine verständliche Kommunikation eines komplexen Themas, welches nicht unbedingt im Fach- oder Interessengebiet eines Rezipienten liegt, möglich ist. Unter verständlicher Kommunikation versteht Zetsche (2004) einerseits für bestimmte Sachverhalte oder Positionen Verständnis hervorzurufen, andererseits sei es die Verständigung zwischen den Gesprächspartnern. Das Ziel eines wissenschaftlichen Kommunikators, sei es der Wissenschaftler selbst, ein Journalist, ein Öffentlichkeitssprecher o.Ä. ist, ein wissenschaftliches Thema in einer, dem Zielpublikum verständlichen Kommunikationsform wiederzugeben, ohne dass dieses subjektiv oder medial verzerrt wird. Objektivität dient als Leitkriterium von Wissenschaft und wird durch folgende Kriterien bestimmt (Kaden, 2009:48):

1. Intersubjektive Verständlichkeit: Wissenschaftliche Aussagen müssen *kommunizierbar* sein. Sie bilden den Ausgangspunkt der Wissenschaftskommunikation.
2. Unabhängigkeit vom Bezugssystem: Das aussagende Subjekt bzw. seine Perspektive ist für die Gültigkeit der Aussage irrelevant.
3. Intersubjektive Nachprüfbarkeit: Durch die Kommunikation der Bedingungen, die zu einer Erkenntnis und der daraus resultierenden wissenschaftlichen Aussage führen (Methoden, Zitationen) wird ein Erkenntnisweg rekonstruierbar.
4. Methodenunabhängigkeit: Eine Aussage darf nicht in Abhängigkeit zu der Methode stehen, mit der die dahinter stehende Erkenntnis gewonnen wurde.
5. Unkonventionalität: Die Richtigkeit einer Aussage darf sich nicht aus einem Beschluss oder einer Konvention herleiten.

Um eine Verständigung zwischen der Wissenschaft und der Öffentlichkeit zu fördern, gibt es weltweit verschiedene Institutionen wie die Initiative *Wissenschaft im Dialog (WiD)* in Deutschland, die *National Science Week* in Grossbritannien oder die *Fête de la Science* in Frankreich, die den sogenannten Prozess des *Public Understanding of Science and Humanities (PUSH)* verfolgen. Diese Institutionen dienen als Anlaufstellen für einen transparenten Dialog zwischen der Wissenschaft und der Öffentlichkeit und sollen durch verschiedene Projekte und Veranstaltungen die Neugierde der Bevölkerung wecken und die Bedeutung von wissenschaftlichen Fragestellungen verdeutlichen (<http://www.bmbf.de/de/1758.php>, Zugriff: 16.04.2012). Die aktuelle Forschung befasst sich mit neu herausgebildeten Formen der Wissenschaftskommunikation, wie sich diese im Markt etablieren und das System als Ganzes verändern. Sie analysiert den Erfolg und Misserfolg von neuen Medien und der Art Wissenschaft zu kommunizieren und soll dabei Gestaltungshinweise für Neuentwicklungen geben. Auch eine Systematisierung von neuen Formen der Wissenschaftskommunikation und eine vergleichende Analyse zählen zu den aktuellen Herausforderungen, obwohl Einzelbetrachtungen in hinreichender Form dokumentiert sind (Hagenhoff et al., 2007).

2.2.2 Wissenschaftsredaktion

Brake und Weitkamp (2010) betonen, dass nach der schulischen Ausbildung die Medien für viele Erwachsene die wichtigsten Informationsquellen über wissenschaftlichen Themen seien. Darunter nehmen Zeitungen, wissenschaftliche Magazine und das Internet einen hohen Stellenwert ein. Ein für die Öffentlichkeit verfasster Artikel über eine Wissenschaft ist eine non-fiktionale Quelle, die als unabhängige Berichterstattung das Ziel verfolgt, ein Thema zu kommunizieren, damit es ohne fachspezifisches Vorwissen verstanden werden kann und präzise und eindeutig formuliert ist. Weiter zeichnet sich ein guter Artikel durch die Einbettung der wissenschaftlichen Grundlage in einen weiterreichenden Kontext, wie z.B. eigene Interessen des Autors, soziale oder ethische Aspekte aus. Es seien dies die Kriterien, die einen u.U. trockenen wissenschaftlichen Inhalt lesenswert machen und das Interesse der Leser auf sich ziehen. Es gibt gemäss Brake und Weitkamp (2010) sechs Prinzipien bzw. Fragen, die man beim Verfassen eines Artikels mit wissenschaftlichem Inhalt beachten sollte, um einen interessanten und ansprechenden Bericht zu schreiben:

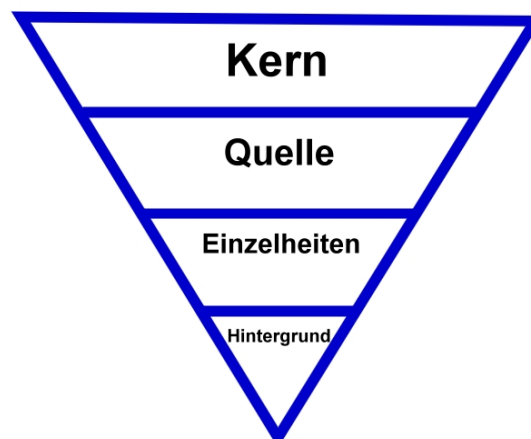
1. Publikum: Für wen schreibt man den Artikel?
2. Grund: Warum schreibt man einen Artikel? Was erwartet man damit zu erreichen?
3. Idee: Weiss man, was man sagen will? Ist es eine gute Idee?
4. Information: Sind Informationen über das Thema verfügbar?
5. Struktur: Hat man eine Struktur für den Artikel identifiziert und passt diese zum Inhalt?
6. Beitrag: Hat man einen eigenen Beitrag zum Thema?

Grundsätzlich können zwei Arten von Artikeln unterschieden werden, die einen wissenschaftlichen Inhalt kommunizieren; Neuigkeiten und Erzählungen bzw. Erläuterungen eines wissenschaftlichen Themas. Dabei unterscheiden sich die beiden Formen nicht nur dadurch, dass Neuigkeiten neues, noch nicht allgemein bekanntes Wissen kommunizieren und in Erzählungen Themen aufgegriffen werden, die möglicherweise bereits bekannt sind und aus Gründen der Unterhaltung, Sensibilisierung, Information, etc. kommuniziert werden. Auch die Struktur dieser beiden Formen unterscheidet sich fundamental. Wo bei Neuigkeiten bereits am Anfang eines Artikels das Wichtigste steht und Schlagzeilen einen grossen Stellenwert haben (*Abbildung 1*), gliedert sich eine Erzählung in die klassische Form mit einer Einleitung, einem Haupt- und einem Schlussteil, bei dem die Hauptaussage das Ende des Berichtes bildet oder im Verlauf der Erzählung hervorgehoben wird. Der Schreibstil des Autors trägt dabei u.a. zum Verständnis des Inhaltes bei. Sätze sollten möglichst kurz und die Satzstruktur einfach sein, weniger als 20 Wörter und ohne verschachtelte Sätze. Passive Sätze sollten vermieden werden und ein Abschnitt sollte sich, wenn möglich, auf eine Idee beschränken. Das wichtigste Wort in einem Satz sollte am Schluss des Satzes, der wichtigste Satz am Schluss des Paragraphen stehen. Denn man erinnert sich am besten an das, was man als letztes gehört hat (Brake und Weitkamp, 2010).

Grundsätzlich lässt sich ein Artikel oder ein Kommunikationsmittel in eine formelle, publikationsorientierte oder eine informelle kollaborations- und organisationsbasierte Form eingliedern. Als spezielle Form zwischen der formellen und informellen Kommunikation stellt das Vorprüfen einer Erkenntnis, also die Kommunikation während eines sogenannten *Peer-Review-Prozesses* dar. Dabei wird die Publikationstauglichkeit des Kommunikationsmittels von Experten überprüft (Kaden, 2009).

Abbildung 1 | Umgekehrte Pyramide

Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/7/73/Umgekehrte_Pyramide.jpg, Zugriff: 10.03.2012



2.3 Naive Geographie

Naive Geographie befasst sich damit, wie die Menschen geographischen Raum und Zeit wahrnehmen und diese Eindrücke kommunizieren. Der Ausdruck *Naive Geographie* weist in erster Linie Paralleltäten mit naiver oder intuitiver/qualitativer Physik auf. Mit *Naiver Physik* beschreibt Patrick Hayes (1978) das fundamentale Wissen, welches die Menschen über deren physikalische Umwelt haben. Es sind vor allem physikalische Prozesse, die *man* aus dem Alltag kennt, die von der Mehrheit der Bevölkerung aber nicht wissenschaftlich oder nur deskriptiv beschrieben werden können. Die Definition naiver Geographie entstand durch die Erweiterung naiver Physik mit dem geographischen Raum und der Integration menschlicher Interaktion in einem System. Die erweiterte Definition von Hardt's (1992:1147) naiver Physik lautet: „Naive Geography is the body of knowledge that people have about the surrounding geographic world.“ Raum-zeitliche Aussagen sind im Alltag zur Gewohnheit geworden und kaum jemand ist sich des geographischen Hintergrundes dieser spontanen Aussagen bewusst. Naiv-geographische Begründungen sind nicht immer ganz korrekt aber auch nicht immer ganz falsch. Davon ausgehend lassen sich intelligente GIS Anwendungen konzipieren, wobei sich Mensch-Computer-Interaktion optimieren lassen, indem menschliche Denkmuster miteinbezogen werden. Für die Kommunikation geographischer Themen spielen naive Denkmuster eine wichtige Rolle, um Rezipienten bei ihrer eigenen Vorstellung eines Sachverhaltes abzuholen und diese mit einer wissenschaftlichen Theorie abzugleichen (Egenhofer und Mark, 1995).

2.4 Alltagsvorstellungen

Reinfried (2006) führt im Zusammenhang mit naiver Geographie den Begriff *Alltagsvorstellungen* ein. Eine Alltagsvorstellung ist eine subjektive Theorie zu einem Thema, die nicht durch eine wissenschaftliche Quelle entstand und in Form eines mentalen Modells gespeichert wird. Sie wird geprägt durch persönliche Sinneserfahrungen, Schulbücher und Lehrmaterial, Erklärungen von Eltern, Geschwistern und Lehrern, den Massenmedien, der Alltagssprache und der Kultur und reduziert z.T. komplexe Sachverhalte auf einfache, kausale Zusammenhänge. Alltagsvorstellungen lassen sich nicht einfach durch wissenschaftliche Theorien ersetzen. Sie bilden die Grundlage für das Verstehen von neuem Wissen, wobei sie in den Lernprozess miteinbezogen werden müssen. Da Alltagsvorstellungen unbewusst oder unterbewusst entstehen, können sie auf bewusstem Wege nur schwer verändert werden und halten sich auch an neu Erlerntem fest. Dies führt u.U. zu einer Kombination einer korrekten Theorie und einer persönlichen Interpretation eines Sachverhaltes. Am folgenden Beispiel ist zu erkennen, wie ein Schüler den Treibhauseffekt mit teilweise korrekten Aussagen und seiner eigenen Vorstellung vom Einfluss des Ozonlochs erklärt: „Der Treibhauseffekt kommt vom Ozonloch, durch das die Strahlen in die Atmosphäre reinkommen und an der Erdoberfläche gespiegelt werden, und nicht mehr herauskönnen. Dann werden sie an der Unterseite der Ozonschicht gespiegelt, so dass es immer wärmer wird (Frank, 19 Jahre) (Reinfried et al., 2008:24)“. Weiter betont Reinfried et al. (2008:24), dass „wenn ein wissenschaftliches Konzept, wie das des Treibhauseffekts, komplex, sehr abstrakt und zudem sinnlich nicht erfahrbar ist, halten sich subjektive Theorien darüber besonders hartnäckig.“

Die Kenntnis von Alltagsvorstellungen von Lernenden und deren Hartnäckigkeit beim Versuch sie zu verändern, führt zu didaktischen Konsequenzen im Lehrprozess. Beim Versuch der Wissenskonstruktion und –rekonstruktion im Klassenzimmer ist es wichtig, die persönlichen Vorstellungen der Lernenden zu klären, zu revidieren und weiterzuentwickeln, anstatt zu versuchen, durch eine reine Wissensvermittlung einen dauerhaften Lernerfolg zu erzielen. Reinfried (2006:38) betont: „Das Verständnis von wissenschaftlichen Konzepten

kann deshalb nur beeinflusst werden, wenn man die tiefe Verankerung und Beharrlichkeit des Vorwissens von Lernenden versteht.“ Lernende sollen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der eigenen Vorstellung und einem wissenschaftlichen Modell erkennen und miteinander vergleichen. Dabei dürfen die subjektiven Vorstellungen von Lernenden nicht a priori als falsch dargestellt werden, sondern sie sollten transparent gemacht, verstanden und soweit möglich, systematisiert werden (Reinfried, 2006). Lernen wird unter der Berücksichtigung des Vorwissens von Lernenden als Konzeptwechsel (Conceptual Change) angesehen. Strategien eines Konzeptwechsels im Unterricht können sowohl kognitive, wie auch affektive Dimensionen des Lernens miteinbeziehen, wobei sich subjektive Theorien signifikant stärker in Richtung wissenschaftliche Theorie verändern lassen, wenn beide Dimensionen angesprochen werden. In der *Tabelle 3* sind die Schritte zu einem erfolgreichen Konzeptwechsel gemäss Reinfried (2007) aufgeführt.

Tabelle 3 | Schritte zum Konzeptwechsel in der Geographiedidaktik
 Quelle: Reinfried (2007:22)

kognitive Dimension	affektive Dimension
<ul style="list-style-type: none"> - Bewusstmachung des subjektiven Vorwissens der Lernenden unter Benutzung umgangssprachlicher Begriffe - Auseinandersetzung mit dem gesicherten Wissen und seiner Entstehung in dem zu behandelnden Kontext, Erlernen der fachspezifischen Terminologie - Offenlegung der Diskrepanz zwischen der wissenschaftlichen und der subjektiven Theorie (metakognitive Fähigkeiten fördern; falsche Annahmen revidieren) - durch die Vernetzung von Altem mit Neuem ein Gesamtverständnis aufbauen 	<ul style="list-style-type: none"> - praktische Erprobung/Anwendung von neuem Wissen in konkreten, Interesse weckenden Situationen (z.B. Experimente, Manipulieren von Modellen) - innere Bindung zu den neuen Konzepten aufbauen und stabilisieren durch deren Übertragung auf einen sinnvollen, nützlichen und motivierenden Kontext

Die praktische Umsetzung eines Konzeptwechsels im Rahmen eines Geographieunterrichts bringt einige Schwierigkeiten mit sich. Die Lernenden haben individuelle, z.T. unterschiedliche, subjektive Vorstellungen über einen Sachverhalt. Es ist kaum möglich für jeden Schüler eine eigene Lernumgebung zu generieren. Auch ist es in der Praxis oft nicht möglich, zu Beginn einer Instruktion das Vorwissen von Lernenden zu ermitteln, um gleich darauf die Lernumgebung entsprechend anzupassen. Um situierte Lernumgebungen für den Geographieunterricht zu systematisieren, braucht es weitere Ergebnisse aus dem Bereich der bisher wenig verbreiteten, konstruktivistisch orientierten, geographiedidaktischen Lehr-Lern-Forschung. Aktuell können Lehrkräfte bei der Planung und Durchführung von Lehrveranstaltungen nichts anderes tun, als die Lernenden „beim Sichzurechtfinden in den bereitgestellten Lernumgebungen zu beobachten und so Erfahrungen über die Wirkung ihres Unterrichts zu sammeln (Reinfried, 2007:26)“.

2.5 Multimedia

Zum Begriff Multimedia existiert gemäss Rey (2008) keine allgemein anerkannte Definition. Weidenmann (1995) bezeichnet als *multimedial* die Integration verschiedener Objekte, technischer Geräte oder Konfigurationen, mit denen sich Botschaften speichern und kommunizieren lassen. Mayer (2005) definiert *Multimedia* ganz einfach als Präsentation einer Information in Wort und Bild, wobei ein Text mit Illustrationen die einfachste Form von Multimedia darstellt. Das Wort steht sowohl für schriftliche, wie auch für gesprochene Sprache und das Bild für statische (Fotos, Graphiken) und dynamische (Animationen, Video) Illustrationen.

Multimedia kann in erster Linie in einer technologisch-zentrierten Sichtweise verstanden werden, wobei funktionale Möglichkeiten multimedialer Präsentationen im Vordergrund stehen. Es geht dabei um die Einbindung neuer Technologien in modernen Kommunikationsmitteln und die Forschung im Bereich neuer Medien und deren Effizienz in der Informationsvermittlung. Alternativ zur technologisch-zentrierten Sichtweise von Multimedia stellt ein Rezipienten-zentrierter Ansatz die Rezipienten in den Mittelpunkt. Ausgehend vom Verständnis wie die menschliche Kognition funktioniert, richtet sich der Fokus auf den Einsatz von Multimedia z.B. in Lehrmitteln, um mit dem menschlichen kognitiven Verarbeitungssystem konsistente Formen zu entwickeln.

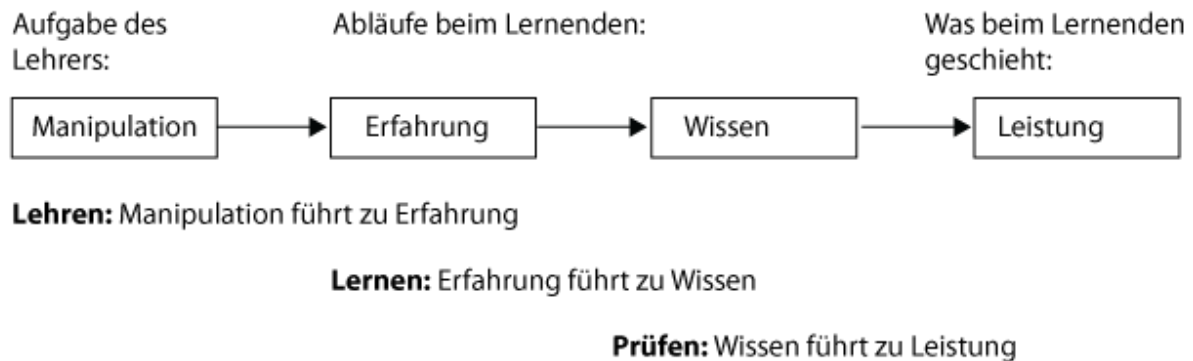
Durch eine aktive Rezeption von Medien kommt es zu einem Lerneffekt bei Rezipienten. Multimediale Formen haben gemäss Mayer (2005) einen grösseren Lerneffekt als klassische Kommunikationsmittel wie z.B. ein einfacher Text. „Unser Gedächtnis speichert visuelle Erinnerungen in Form von Bildern, und nicht in Form von Sprache ab. Darum kommunizieren Bilder sehr viel direkter mit uns als jede Form von Sprache das tun könnte. [...] Menschen sind Bilderinnerungsexperten und speichern zudem über Bilder sehr viel Kontext, der eigentlich nicht direkt angesprochen wird. Bilder dienen als optische Eselsbrücken und steigern erheblich die Merkleistung (Hien und Rümpler, 2008).“

2.6 Multimediales Lernen

Mayer (2011) bezieht sich auf drei Elemente, die nur miteinander zu einem vollumfänglichen Verständnis von multimedialem Lernen führen und jeweils eng miteinander verbunden sind: der Lernprozess (*Learning*), der Lehrprozess (*Instruction*) und der Prüf- bzw. Bewertungsprozess (*Assessment*) (Abbildung 2). Ein Lernprozess findet statt, sobald das Wissen eines Lernenden durch einen Lehrprozess, z.B. eine Instruktion verändert wird. Um zu prüfen, ob durch den Lehrprozess tatsächlich ein Lernprozess eingetreten ist, braucht es den Prüfprozess. Zwei Metaphern sollen den Lerneffekt bei der Rezeption von multimedialen Kommunikationsformen erläutern; die Informations-Akquisition (*Information Acquisition*), wobei aufgrund einer Übermittlung von Informationen diese im Gedächtnis abgespeichert werden und die Wissens-Generierung (*Knowledge Construction*), wobei die Rezeption als aktive, sinnbildende Tätigkeit verstanden wird. Die heutzutage populärste Theorie zur Frage wie Lernen funktioniert, wird durch die Metapher *Knowledge Construction* vertreten. Dabei beinhaltet der Lernprozess die Konstruktion einer mentalen Repräsentation von rezipierten Informationen. Aktives Lernen findet somit statt, wenn der Lernende bereits während eines Lernprozesses die Informationen kognitiv verarbeitet, d.h. den Informationen einen Sinn gibt.

Abbildung 2 | Beziehung zwischen Lehren, Lernen und Prüfen

Quelle: übersetzt aus Mayer (2011:53)



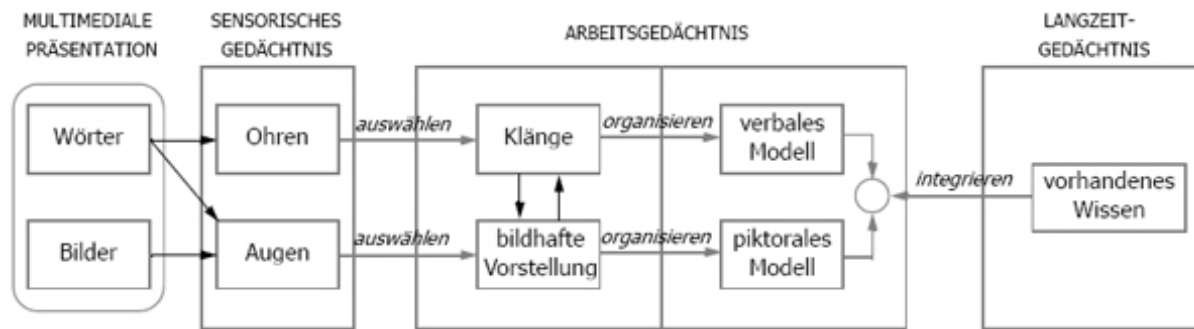
2.6.1 Der Lernprozess

Kognitive Theorie multimedialen Lernens (CTML)

Mayer (2011) beschreibt das menschliche Informationsverarbeitungssystem mit der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (*Cognitive theory of multimedia learning*) (Abbildung 3). Multimediale Informationen werden von den menschlichen Sinnesorganen durch Augen und Ohren aufgenommen, wobei ein Teil dieser Informationen im Kurzzeitgedächtnis weiterverarbeitet bzw. organisiert wird. Die erste Annahme der CTML bezieht sich auf das Prinzip der dualen Kanäle, wobei zwischen einem separaten Kanal für visuell/bildhaft präsentiertes Informationsmaterial und für auditiv/verbale Materialien unterschieden wird. Die verbalen und bildlichen Informationen werden im Arbeitsgedächtnis kombiniert und zu mentalen Modellen zusammengeführt. Es ist für die Effizienz von Lehrmitteln von Vorteil, beide Kanäle der Lernenden zu aktivieren. Eine weitere Annahme der CTML bezieht sich auf die begrenzte Kapazität an Informationen, die in jedem Kanal des Arbeitsgedächtnisses gespeichert werden können. Für die Gestaltung von Lehrmitteln bedeutet dies, dass Lernende nicht durch zu viele Informationseinheiten kognitiv überlastet werden dürfen. Die Annahme der aktiven Informationsverarbeitung erörtert die Effizienz bei einer aktiven Beschäftigung von Lernenden mit dem Lernmaterial. „Um zu einem mentalen Modell zu gelangen bedarf es des Aufbaus diverser Strategien Wissen zu strukturieren. Diese beinhalten Verarbeitungs-, Vergleichs-, Generalisierungs-, Aufzählungs- und Klassifikationsstrukturen (Rey, 2008:40).“ Für die Gestaltung von Lehrmitteln ist es daher wichtig, dass das präsentierte Material eine kohärente Struktur aufweist. Das Langzeitgedächtnis hat einen grossen Einfluss auf den Arbeitsspeicher. Sämtliches Wissen, welches im Langzeitgedächtnis gespeichert ist, muss in das Arbeitsgedächtnis gebracht werden, um aktiv darüber nachdenken zu können. Die CTML umfasst fünf verschiedene kognitive Prozesse, die beim Lernen in einer multimedialen Lernumgebung auftreten können: Selektion von relevanten Wörtern und Bildern, Organisation der ausgewählten Wörter und Bilder und Integration des verbalen und bildhaften mentalen Modells mit dem Vorwissen des Lernenden (Rey, 2008:39ff).

Abbildung 3 | Kognitive Theorie des multimedialen Lernens

Quelle: Mayer (2005:44)



Einen grossen Einfluss auf den Lernprozess haben die Motivation und die Metakognition. Ohne Motivation des Lernenden kann es sein, dass die Informationen bereits vor dem Kurzzeitgedächtnis blockiert werden, keine Organisation zu mentalen Modellen stattfindet und kaum etwas im Langzeitgedächtnis gespeichert wird. Unter Metakognition wird das Wissen eines Lernenden verstanden, wann ein geeigneter Lernprozess angewendet werden soll. Der Lernende ist sich somit bereits während des Lernens bewusst, wann welche Informationen selektiert, Worte und Bilder organisiert und das Vorwissen integriert werden soll, um einen maximalen Lernerfolg zu erzielen (Mayer, 2011).

In der *Tabelle 4* sind die Design- und Gestaltungsempfehlungen von Rey (2008:46) aufgeführt, die sich aus der kognitiven Theorie multimedialen Lernens ableiten lassen und dem Entwurf von multimedialen Lernumgebungen dienen.

Tabelle 4 | Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen gemäss der kognitiven Theorie multimedialen Lernens

Quelle: Rey (2008:46)

Gestaltungsempfehlung	Beschreibung der Empfehlung
Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit	Physikalische Integration multipler Informationsquellen
Modalitätsprinzip	Gemeinsame Verwendung visueller und auditiver Informationen
Redundanzprinzip	Vermeidung von Redundanzen in multiplen Informationsquellen
Multimediaprinzip	Hinzufügen von geeigneten Bildern zu einem Lerntext
Segmentierungsprinzip	Informationsdarbietung in Form von lernergerechten Abschnitten
Vorübungsprinzip	Namen und Charakteristika der zentralen Konzepte vor der multimedialen Botschaft präsentieren und einüben
Kontiguitätsprinzip	Korrespondierende Wörter und Bilder in räumlicher und zeitlicher Nähe anordnen
Kohärenzprinzip	Verzicht auf zusätzliches, für das Verständnis nicht zwingend benötigtes Lernmaterial
Signalisierungsprinzip	Benutzung von Hinweiszeichen, die die Organisationsstruktur des Kerninhaltes hervorheben
Personalisierungsprinzip	Verwendung umgangssprachlicher Formulierungen
Prinzip individueller Unterschiede	Moderierender Einfluss des Vorwissens und der räumlichen Fähigkeiten auf das Multimediaprinzip, das Kontiguitätsprinzip und das Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit

Cognitive Load Theorie (CLT)

Sweller (1988, 2005) stellt durch die Cognitive Load Theorie (CLT) einen weit verbreiteten Erklärungsansatz zum multimedialen Lernen auf. Dabei stützt er sich in erster Linie, ähnlich wie Mayer (2011), auf das Arbeits- und Langzeitgedächtnis. Dabei wird das Speichervermögen des Langzeitgedächtnisses zeitlich und räumlich als sehr gross erachtet. Lernen wird als Veränderung im Langzeitgedächtnis definiert. Das Arbeitsgedächtnis ist im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis zeitlich und räumlich beschränkt und der Lernende ist sich der dort gespeicherten Informationen bewusst. Diese Informationen können durch zwei Speichersysteme ins Arbeitsgedächtnis gelangen. Entweder aus dem Langzeitgedächtnis, was bereits gelernt wurde oder aus dem sensorischen Speicher, was gerade gelernt wird. Bezüglich der Gestaltung von Lernmaterialien gilt es, die zeitliche und räumliche Einschränkung des Arbeitsgedächtnisses zu überwinden. Rey (2008:18) zitiert Sweller (2005): „Verständnis wird demnach in der Cognitive Load Theory definiert als Fähigkeit, die zu verstehenden Informationselemente simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeiten zu können.“ Ähnlich wie bei der Theorie des multimedialen Lernens spielen mentale Modelle, hier Schemata genannt, eine wichtige Rolle. Dies sind kognitive Konstrukte, welche Informationen zur Speicherung in das Langzeitgedächtnis organisieren. Ein Schema kann als einzelne Entität eine umfangreiche Menge an Informationen beinhalten und reduziert so den Cognitive Load. Neben der Ausbildung spielt auch die Automatisierung von Schemata eine wichtige Rolle. Eine Automatisierung wird durch intensive Übung ermöglicht und ist dafür verantwortlich, dass bereits bekannte Informationsverarbeitungsprozesse automatisch ablaufen und den Arbeitsspeicher kaum belasten. Der Grad der Ausbildung von Schemata und deren Automatisierung ist schlussendlich für die Leistungsunterschiede zwischen Experten und Laien verantwortlich (Rey, 2008:19). Der Cognitive Load setzt sich aus folgenden CLs zusammen: Der *intrinsischen Belastung*, wobei diese hoch ist, wenn die Elementinteraktivität des zu lernenden Materials hoch ist, d.h. wenn die Verarbeitung einzelner Informationen parallel und nicht konsekutiv abläuft. Der *extrinsischen Belastung*, welche von der Art der Darbietung abhängig ist und durch eine geeignete Präsentation des Lerninhaltes tief gehalten werden kann. Der *germanen Belastung*, die ebenfalls von der Darbietungsart abhängig ist, im Gegensatz zur extrinsischen Belastung aber für die Konstruktion und Automatisierung von Schemata benötigt wird und durch eine geeignete Präsentationsform hoch sein sollte.

In der *Tabelle 5* sind die Design- und Gestaltungsempfehlungen von Rey (2008:26) aufgeführt, die sich aus der Cognitive Load Theory ableiten lassen, in zahlreichen Untersuchungen empirisch überprüft wurden und zum Entwurf von multimedialen Lernumgebungen dienen.

Tabelle 5 | Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen gemäss der Cognitive Load Theory
Quelle: Rey (2008:26)

Gestaltungsempfehlung	Beschreibung der Empfehlung
Effekt der Zielfreiheit	Einsatz zielfreier oder zielunspezifischer Problemlöseaufgaben anstelle von Aufgaben mit einem vorgegebenen, spezifischen Ziel
Effekt ausgearbeiteter Lösungsbeispiele	Präsentation ausgearbeiteter Lösungsbeispiele anstelle von konventionellen Problemlöseaufgaben
Effekt der Problemvervollständigung	Verwendung von Problemen, bei denen der Lernende die teilweise vorgegebene Lösung selbst vervollständigen muss
Effekt der geteilten Aufmerksamkeit	Physikalische Integration multipler Informationsquellen
Modalitätseffekt	Gemeinsame Verwendung visueller und auditiver Informationen
Redundanzeffekt	Vermeidung von Redundanzen in multiplen Informationsquellen
Variabilitätseffekt	Erhöhung der Variabilität in unterschiedlichen Lernübungen
Effekt der Isolation interagierender Elemente	Isolation von Lernelementen hoher Aufgabenkomplexität
Elementinteraktivitätseffekt	Moderierender Einfluss der Elementinteraktivität auf die aufgeführten Gestaltungsempfehlungen
Imaginationseffekt	Imagination bereits gelernter Arbeitsschritte bei Experten
Expertise-Umkehr-Effekt	Moderierender Einfluss des Vorwissens des Lernenden auf die aufgeführten Gestaltungsempfehlungen
Effekt der abschwächenden Unterstützung	Abschwächung der Unterstützung von Lernenden bei ansteigender Expertise

2.6.2 Der Lehrprozess

Gemäss Mayer's (2011) Definition sei Lehren die Manipulation der Umgebung eines Lernenden um dessen Lernprozess zu begünstigen, was wiederum eine Veränderung in dessen Wissensstand verursacht. Lernen ist sozusagen das Ziel eines Lehrprozesses. Die Umgebung des Lernenden ist ab dem Zeitpunkt verändert, sobald dieser ein Treatment in Angriff nimmt (aktiv) bzw. durch ein Treatment beeinflusst wird (passiv). Bei der Produktion eines Lehrmittels, ist es wichtig, sich mit instruktionellen Lernzielen auseinanderzusetzen. Diese Lernziele sollten definieren, was gelernt wird, wie das Wissen angewendet und die Leistung des Lernenden interpretiert werden soll. Die *Taxonomie von Bloom* stellt ein wichtiges Instrument zur Definition von kognitiven Lernzielen dar (*Tabelle 6*). Ein gutes Lehrmittel sollte schlussendlich dem Lernenden einerseits helfen Lernziele zu erreichen, indem es kognitive Prozesse während des Lernens fördert, und andererseits das kognitive System des Lernenden nicht überlasten.

Tabelle 6 | Lernziele nach der Taxonomie von Bloom

Quelle: eigene Darstellung

Prozess	Definition
1. Wissen	Abrufen von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis
2. Verstehen	Bedeutungskonstruktion aus der Informationsvermittlung
3. Anwenden	Anwenden des Wissens in konkreten Situationen
4. Analyse	Aufspaltung in und in Verbindung setzen von Einzelteilen der Gesamtinformation
5. Synthese	Zusammenfügen von Elementen zu einem Ganzen; Reorganisation zu einer neuen Struktur
6. Evaluation	Beurteilung aufgrund der Theorie

2.6.3 Der Prüfprozess

Das Produkt aus dem Lehr- und Lernprozess ist neues bzw. verändertes Wissen, welches in der Assessment Phase geprüft werden kann und Aufschluss über die Effizienz einer Lehrmethode liefert. Dabei geht man davon aus, dass eine Veränderung des Wissens, mit einer Veränderung der Leistung des Lernenden gemessen werden kann. Die Assessment Phase kann vor, nach oder während der Lehrphase stattfinden, was entweder zur Ermittlung des Vorwissens, des erlernten Wissens oder des aktuellen Wissens während der Lehrphase führt. Aufgrund der Ermittlung des Vorwissens lässt sich im Idealfall ein speziell auf den Wissensstand angepasstes Lehrmittel bzw. Lehrmethode erstellen. Bei der Prüfung während der Lehrphase lässt sich ermitteln, was Lernende in einer kurzen Zeitspanne gelernt haben, wobei man bei schlechten Resultaten im Idealfall die Möglichkeit hat die Lehrmethode bzw. das Lehrmittel anzupassen (z.B. wenn das Unterrichtstempo zu schnell ist). Die Prüfung nach einer Instruktion ermittelt das Verständnis der Lernenden bezüglich des instruierten Themas. In diesem Fall können Anpassungen des Lehrmittels bzw. der Lehrmethode erst auf künftige Instruktionen einen Einfluss haben. Ein geeignetes Assessment Instrument, z.B. in Form eines Tests erfüllt folgende Kriterien (Mayer, 2011):

1. Validität
2. Reliabilität
3. Objektivität
4. Skalierung

Mit der *Validität* wird erstens die Angemessenheit einer Methode, ein bestimmtes Merkmal zu messen beschrieben und zweitens, ob dieses Merkmal eine diagnostische Entscheidung mit entsprechender Güte zulässt. Die *Reliabilität* gibt an, ob eine Messmethode eine gewisse Konsistenz bzw. Zuverlässigkeit aufweist. Ein Test sollte unter gleichen Bedingungen stets die gleichen Resultate liefern und keine Messfehler beinhalten. Mit einem Retest-Verfahren kann ein Test bei identischen Testbedingungen mit den gleichen Testpersonen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden. Mit einem Paralleltest-Verfahren gleichzeitig, jedoch mit unterschiedlichen Testpersonen und mit einem Testhalbierungsverfahren gleichzeitig mit den gleichen Testpersonen. Die Reliabilität wird dann durch die Korrelation zwischen den beiden Testergebnissen ermittelt. Die *Objektivität* bezieht sich auf die Unabhängigkeit von Einflüssen der Untersucher oder der

Untersuchungssituation auf eine Messmethode bzw. die Resultate bei der Durchführung, Auswertung und Interpretation. Die Durchführungsobjektivität ist gegeben, je standardisierter ein Testverfahren ist und somit unabhängig vom Testleiter. Auch die Auswertungsobjektivität ist gegeben, je standardisierter die Punktevergabe ist. Die Interpretationsobjektivität soll sicherstellen, dass die gleichen Testergebnisse von unterschiedlichen Testpersonen zu denselben Schlussfolgerungen führen. Die *Skalierung* gibt an, ob ein Testresultat relativ zu anderen Teilnehmern oder absolut (z.B. ob ein Lernziel erreicht wurde) interpretierbar ist (Moosbrugger und Kelava, 2012).

2.7 Interaktivität

Der Begriff *Interaktivität* beschränkt sich in der vorliegenden Arbeit auf die Interaktion zwischen Rezipienten und Medien. Rey (2008) bezeichnet Animationen und multimediale Lernumgebungen als interaktiv, wenn sie einen Eingriff des Lernenden in die dynamische Visualisierung bzw. Lernumgebung erlauben. Gemäss Schulmeister (2002) werden dabei sechs Stufen der Interaktivität hierarchisch unterschieden, angefangen mit der tiefsten Interaktionsstufe. Rey (2008) kritisiert diese hierarchische Unterscheidung von Interaktionsstufen, da die erste Stufe sich durch ihre Codierungsform von den restlichen unterscheidet, die dritte Stufe als einzige Anregungen an den Benutzer enthält, Vorhersagen über die weitere Entwicklung der Animation zu treffen und nur die letzte Stufe ein Feedback an den Benutzer zurückgibt.

- 1. Objekte betrachten und rezipieren:** Es besteht keinerlei Möglichkeit für den Benutzer, den Inhalt durch eine Aktion zu manipulieren.
- 2. Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren:** Es besteht die Möglichkeit des passiven Betrachtens und Steuerns von Animationen mittels Kontrollkästen (z.B. Film- und Videosequenzen) oder des Aktivierens von Multimedia-Objekten um den Inhalt auszutauschen (z.B. Animated GIF).
- 3. Repräsentationsform variieren:** Es besteht die Möglichkeit der direkten Manipulation von 2- oder 3-dimensionalen Grafiken oder des Aktivierens von Objekten in Filmen. Benutzerhandlungen verändern lediglich die Repräsentationsform, nicht den Inhalt. Bedeutsame Stufe zur Motivation von Lernenden.
- 4. Den Inhalt der Komponente modifizieren:** Der Inhalt der Multimedia-Komponente ist nicht vorgefertigt. Es besteht die Möglichkeit durch Eingabe von Daten oder Variieren von Parametern innerhalb eines gesetzten Rahmens andere Darstellungen zu erzeugen oder andere Relationen zu visualisieren. Voraussetzung für die Entwicklung einer solchen Übung ist das Wissen um kognitive Konzepte der Studierenden und ihre kognitiven Fehler.
- 5. Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren:** Es besteht die Möglichkeit Objekte zu kreieren, Ideen zu visualisieren oder Modelle zu entwerfen.
- 6. Den Gegenstand bzw. Inhalt der Repräsentation konstruieren und durch manipulierende Handlungen intelligente Rückmeldungen vom System erhalten:** Es besteht die Möglichkeit dem System sinntragende Objekte bzw. Aktionen zu übermitteln, die das System mit einer bedeutungsvollen Rückmeldung beantwortet.

2.8 Herausforderungen beim Vergleichen von Kommunikationsmitteln

Mayer (2005) macht auf die Schwierigkeiten aufmerksam, die bei Pauschalvergleichen von Kommunikationsmitteln auftreten können. Als erstes erwähnt er die unbefriedigenden Resultate einer empirischen Studie, bei welcher Studenten einerseits ein Thema in Form einer Animation mit Erzählung und andere dasselbe Thema in Form eines Textes mit Illustrationen rezipierten haben, dabei jedoch keinerlei Unterschiede zwischen den Testergebnissen aufgetreten sind (Mayer, 1997). Weiter treten methodologische Probleme beim Vergleich von Medien auf. Es sei kaum möglich, Unterschiede in der Leistung von Testpersonen zu determinieren, ob sie effektiv auf das Medium oder auf den Inhalt, die Studienverhältnisse, Technisches und Formales, etc. zurückzuführen sind. Die Qualität des Lehrmittels spielt dabei eine grössere Rolle als das Medium selbst. Der Lernprozess durch multimediale Kommunikationsformen darf nicht als reine Informationsvermittlung durch Medien, sondern eher als Wissenskonstruktion definiert werden. Anstatt nun nach dem effizientesten Medium zur Wissensvermittlung zu fragen, sollte nach einer geeigneten Lehrmethode gesucht werden, die zur optimalen kognitiven Verarbeitung der präsentierten Informationen führt. Auch Rey (2008) betont Schwierigkeiten beim Pauschalvergleich zwischen verschiedenen Codierungsformen wie Texten, Animationen und Bildern. Die Gestaltung des Mediums spiele dabei eine entscheidende Rolle. Weiter wird die Inhaltsabhängigkeit der Ergebnisse erwähnt, die man darstellen möchte. So profitieren bestimmte Lerninhalte von einer Animation, andere können dadurch behindert werden. Die Vertrautheit zu einer Darstellung kann ebenfalls einen positiven oder negativen Lerneffekt darstellen, der jedoch Teil des Experimentes sein kann. Einen Text hat mit grosser Wahrscheinlichkeit jeder der Testpersonen bereits gelesen, wobei eine Animation durch einen *Neuheitseffekt* eine aufmerksamkeitslenkende Wirkung auf die Rezipienten haben kann. Die *Passung* der Informationsdarbietung und der späteren Informationsabfrage kann u.U. auch für verzerrte Ergebnisse z.B. in einem Leistungstest führen. Schriftliche Fragen werden somit besser beantwortet, wenn das Medium ein Text war, wenn der Leistungstest Bilder enthält, werden die Fragen besser beantwortet, wenn das rezipierte Medium in Bildform präsentiert wurde. Die grosse Mehrheit der Studien, wobei Medien miteinander verglichen wurden, wiesen inkonsistente Ergebnisse auf. Angesichts dieser Herausforderungen lohnt es sich nicht, danach zu suchen, ob Multimedia die Lernleistung begünstigt, sondern vor allem wie multimediale Lernumgebungen möglichst lernförderlich gestaltet werden können (Rey, 2008:16).

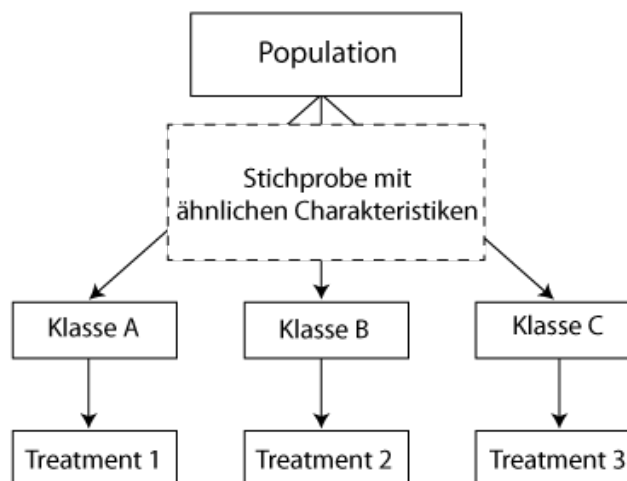
3 Methodik

3.1 Studiendesign

In einem kontrollierten *between-groups Experiment* wurden Testpersonen gebeten, eines von drei Medien zum Thema *Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost* zu rezipieren und einen Leistungstest zu absolvieren. Die Leistung ist in diesem Experiment der Indikator für den Erfolg einer Kommunikationsform zur Wissensvermittlung des geographisch-physikalischen Sachverhaltes. Die *Kommunikationsform/Klasse* bildet die unabhängige, die *erzielte Leistung* die abhängige Variable. Das Wissen der Testpersonen nach dem Treatment, wurde im Bezug auf deren Vorwissen analysiert. Zusätzlich wurden Bewertungen der Kommunikationsmittel von den Testpersonen, Informationen über die Testpersonen und Einschätzungen der Testpersonen zum Thema erfasst (Martin, 2008).

Abbildung 4 | Studiendesign

Quelle: adaptiert von <http://www.hsrmethode.org/Glossary/Terms/B/Between%20Group%20Design.aspx> (Zugriff: 17.01.2012)



3.2 Teilnehmende

Das Experiment wurde am 25. November 2011 an der Kantonsschule Urdorf in drei Unterrichtsklassen des 5. Gymnasiums im Rahmen einer Geographiestunde durchgeführt. Die Wahl dieser Stichprobe erfolgte nach mehreren Kriterien. Die Absicht war es, möglichst viele Faktoren zu kontrollieren, um eine hohe Objektivität des Experimentes zu gewährleisten. So wurde in erster Linie von einem homogenen Wissensstand in den drei Unterrichtsklassen ausgegangen. Einen weiteren Kontrollfaktor stellte das Alter der Schüler dar. So bezog sich das Experiment auf Personen im Alter zwischen 16 und 18 Jahren. Eine mögliche Repräsentanz einer breiteren Bevölkerung durch die Stichprobe wurde ebenfalls bedacht und damit begründet, dass die Schüler einer Mittelschule im höheren Semester durch ihre angehende akademische Ausbildung ein junges, interessiertes Publikum bilden, das durch den Geographieunterricht einen Bezug zur vorliegenden Problemstellung herstellen kann.

Die drei Klassen setzten sich zusammen aus einer naturwissenschaftlich orientierten Klasse mit Schwerpunkt Mathematik/Physik, einer weiteren naturwissenschaftlich orientierten Klasse mit Schwerpunkt Biologie/Chemie und einer wirtschaftswissenschaftlich orientierten Klasse. In der naturwissenschaftlichen Klasse mit Schwerpunkt Mathematik/Physik beteiligten sich 17 Schüler (2 Frauen, 15 Männer) am Experiment, in der Klasse mit Schwerpunkt Biologie/Chemie waren es 14 Schüler (9 Frauen, 5 Männer) und in der Klasse mit Schwerpunkt Wirtschaft haben 21 Schüler (10 Frauen, 11 Männer) am Experiment teilgenommen.

3.3 Aufbau des Experimentes

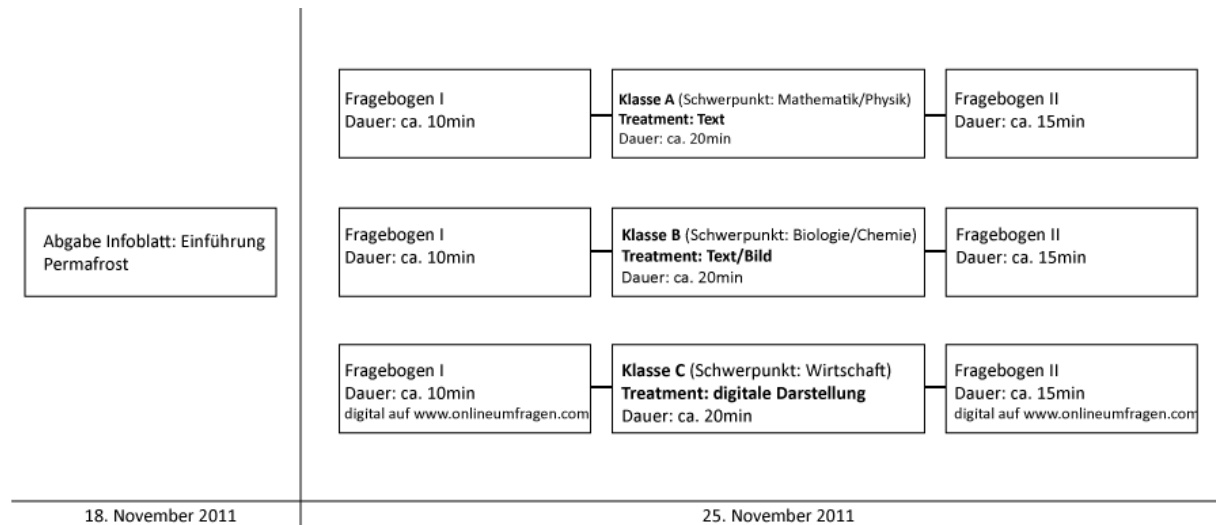
Das Thema *Permafrost* wurde im Rahmen des Geographieunterrichts an der Kantonsschule Urdorf bis zur Durchführung des vorliegenden Experimentes noch nicht behandelt. Die Ausgangslage wurde als *kein fachliches Wissen der Testpersonen zum Thema Permafrost* definiert. Eine kurze Definition und ein erster Überblick über das Thema wurde den Testpersonen eine Woche vor der Durchführung des Experimentes in Form einer A4-Doppelseite und der Überschrift *Was ist Permafrost? (siehe Anhang)* abgegeben, mit der Bitte sich zu Hause damit zu befassen. Diese Einführung diente den Testpersonen als Hintergrundinformation, worauf die Präsentation der Themen *Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost* aufbaute. Ob und wie intensiv sich die Testpersonen mit der Einführung befassten, wurde statistisch nicht überprüft, drückte sich aber im Experiment indirekt in der Ermittlung des Vorwissens aus.

Das Experiment wurde jeweils mit einem Fragebogen zur Ermittlung des Vorwissens der Testpersonen zu den Themen *Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost* begonnen. Die dafür vorgesehene Zeit betrug 10 Minuten. Im Anschluss befassten sich die Testpersonen jeweils mit einem von drei Kommunikationsmitteln, die entweder in Form eines einfachen Textes, eines Textes mit Illustrationen oder einer digital-interaktiven Flash Animation präsentiert wurden. Der Inhalt der Lehrmittel umfasste die Themen *Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost*. Die vorgesehene Rezeptionszeit betrug 20 Minuten. Im Anschluss wurden die Testpersonen noch einmal befragt, wobei die Testfragen identisch mit denjenigen im ersten Fragebogen waren, durch zusätzliche Fragen aber weitere Informationen erfasst wurden. Die dafür vorgesehene Zeit betrug 15 Minuten. Die vorgesehenen Zeiten dienten als Richtwerte, damit die Experimente jeweils in einer Schulstunde, also 45 Minuten durchzuführen waren. Damit sie ungefähr eingehalten werden konnten, waren mehrere Pretests und Anpassungen der Fragebögen und der Kommunikationsmittel nötig.

Der Text und der illustrierte Text wurden den Testpersonen in gedruckter Form in einem gebundenen Dossier abgegeben. Aufgrund der knappen Zeiteinteilung wurde davon ausgegangen, dass ein Zurückblättern, um z.B. während des zweiten Fragebogens nach Antworten im Text zu suchen nicht möglich war. Die digitale Form stand den Testpersonen im Internet unter www.permafrostinfo.ch/permanim zur Verfügung. Von dort aus wurden sie zum ersten Fragebogen auf www.onlineumfragen.com geleitet, nach Beantwortung des ersten Fragebogens zur Animation auf www.permafrostinfo.ch/permanimation und schlussendlich zum zweiten Fragebogen wieder auf www.onlineumfragen.com. Es war den Testpersonen in diesem Fall technisch nicht möglich, manuell zwischen Fragebogen und Animation zu wechseln. Aus organisatorischen Gründen wurde ein Kommunikationsmittel jeweils einer Schulklasse zugewiesen. Die Zuweisung erfolgte nach Zufall.

Abbildung 5 | Aufbau des Experimentes

Quelle: eigene Darstellung



3.4 Herstellung der Kommunikationsmittel

Der Grund für die Wahl der drei Kommunikationsmittel, einem Text, einem Text mit Bildern und einer digital-interaktiven Flash Animation, war in erster Linie der Anschluss an das Prinzip der dualen Kanäle aus der kognitiven Theorie multimedialen Lernens. Dabei haben gemäss Mayer (2011) multimediale Kommunikationsmittel eine höhere Lerneffizienz als klassische Lehrmittel. Es stand nicht die simple Überprüfung der Theorie im Mittelpunkt, vielmehr diente ein klassischer Text ohne Illustrationen als Kontrollgruppe, um durch Multimedia hervorgerufene Lerneffekte der anderen beiden Kommunikationsmittel zu identifizieren. Im Anschluss an Hagenhoff et al. (2007) galt das weitere Interesse einer vergleichenden Analyse einer relativ einfachen Form eines multimedialen Kommunikationsmittels mit tiefem Grad an Interaktivität (Text/Bild) mit einer komplexeren Form eines multimedialen Kommunikationsmittels mit höherem Interaktivitätsgrad (digital-interaktive Flash Animation). Die Form der drei Kommunikationsmittel setzte sich aus einem Text zusammen, der in allen drei Fällen identisch war. Zusätzlich wurde dieser Text in einem Fall mit Illustrationen und in einem weiteren Fall, mit interaktiven Elementen ergänzt. Die fachliche Basis der drei Kommunikationsmittel bildete die Literatur, wie sie in *Kapitel 2.1.1* und *Kapitel 2.1.2* erwähnt wird. Die inhaltliche Überprüfung der Kommunikationsmittel auf fachliche Korrektheit, wurde in Rücksprache mit den Betreuern der vorliegenden Arbeit gehalten. Die Herausforderung bei der Erstellung der drei Kommunikationsmittel war die geeignete Verfassung des Lerninhaltes, um gemäss der Cognitive Load Theory von Sweller (1988, 2005) die intrinsische und die extrinsische Belastung tief zu halten und die germane Belastung der Testpersonen zu fördern. Dies war nicht einfach zu bewerkstelligen, da die extrinsische und germane Belastung von der Darbietungsart abhängig sind und im vorliegenden Experiment gerade die Darbietungsarten der Hauptuntersuchungsgegenstand ist. Es war also z.B. nicht möglich den Inhalt gemäss der Cognitive Load Theory in der Textform optimal zu kommunizieren, da dafür Abbildungen nötig gewesen wären. Der Kompromiss lag in der möglichst effizienten (gemäss CLT) Verfassung des Lerninhaltes in der jeweiligen (z.T. beschränkten) Kommunikationsform. Zur Maximierung der Lerneffizienz der drei Kommunikationsmittel dienten die Gestaltungsempfehlungen von Rey (2008) (*Tabelle 4* und *Tabelle 5*).

3.4.1 Textform

Die maximal verfügbare Rezeptionszeit von 20 Minuten bildete eine grosse Herausforderung beim Schreiben des Textes und bestand in der Fokussierung auf wesentliche Aspekte der beiden Themen *Heterogenität und Temperatursensitivität von Permafrost* (siehe Anhang). Gemäss Brake und Weitkamp (2010) wurden im Vorfeld sechs Schlüsselfragen (siehe Kapitel 2.2.2) beantwortet, um den Text entsprechend der Präsentationssituation zu gestalten. Das Publikum bestand dabei aus Mittelschülern zwischen 16 und 18 Jahren ohne Vorwissen im Bezug auf den kommunizierten Inhalt. Es wurde davon ausgegangen, dass nicht alle Fremdwörter verstanden wurden, was dazu führte, dass Begriffserklärungen in Form von Fussnoten wichtige Begriffe erläutern sollten. Das Experiment fand im Rahmen einer Pflichtlektion an der Kantonsschule statt. Die Aufmerksamkeit und das Interesse der Schüler konnte nicht als selbstverständlich angenommen werden. Die Konsequenz für das Kommunikationsmittel bestand darin, dass es v.a. durch dessen Gestaltung ansprechend wirkte. Der Text wurde zweispaltig aufgebaut und die verwendete Schrift *Theinhardt Medium* ohne Serife mit Schriftgrösse 10 pt sollte modern wirken. Die Gestaltung des Textes sollte schlussendlich mehr an einen Artikel aus einer Zeitschrift als an ein Lehrmittel erinnern, womit auch die Frage der Struktur beantwortet wäre. Der Grund für die Kommunikation der Themen wurde als Unwissenheit bzw. falsche Vorstellungen der Rezipienten von Vorgängen im Bereich Permafrost definiert. Für die Kommunikation bedeutete das, dass die Rezipienten mit Ihrer Unwissenheit bzw. mit ihren subjektiven Theorien konfrontiert und über die wissenschaftliche Theorie informiert wurden, wobei die *Tabelle 3* als Leitfaden zum erfolgreichen Konzeptwechsel in der Geographiedidaktik herangezogen wurde (Reinfried, 2007). Auf einen eigenen Beitrag zu den Themen wurde aus Zeitgründen und zur Erhaltung der Objektivität des Artikels verzichtet.

3.4.2 Text/Bild-Form

Beim Kommunikationsmittel, welches in der vorliegenden Arbeit *Text/Bild* genannt wird, wurde der Text (siehe Kapitel 3.4.1) mit Abbildungen ergänzt, die zur Illustration des schriftlich verfassten Inhaltes dienten (siehe Anhang). Um eine Verknüpfung zwischen dem Text und den Abbildungen herzustellen, wurde der Text leicht angepasst, wobei der fachliche Inhalt nicht verändert wurde. Die Abbildungen wurden entweder aus der Literatur, wie in Kapitel 2.1.1 und Kapitel 2.1.2 erwähnt, übernommen oder auf Basis dieser Literatur zum Zweck einer geeigneten Visualisierung des Inhaltes erstellt. Eigene Darstellungen wurden mit Hilfe von *Adobe Illustrator CS5* und *Google SketchUp Pro 8* konstruiert. Die Positionierung der Abbildungen im Text wurde so gewählt, dass sie die Aufmerksamkeit der Leser auf sich ziehen, da in diesem Fall das Interesse dem potentiell leistungsförderndem Lerneffekt von Illustrationen gilt. Es wurde versucht, ein harmonisches Verhältnis von Bild, Text und freien Flächen zu bilden, wobei der Weissraum ein wichtiger Faktor ist, um Spannung zwischen Text- und Bildelementen zu erzeugen (Hien und Rümpler, 2008). Die Illustrationen bestehen aus generalisierten Kartendarstellungen, einem abstrahierten 3-D Modell, einem Satellitenbild, Fotoaufnahmen und Liniendiagrammen. Bei der Bildproduktion und der Wahl der Illustrationen wurde darauf geachtet, dass sie mit der Bildbeschreibung auch von Laien verstanden wurden, da von keinem Vorwissen der Rezipienten ausgegangen wurde. Je komplexer also eine Illustration, desto ausführlicher die Bildbeschreibung oder Erläuterung im Text.

3.4.3 Digitale Darstellung

Die digitale Darstellung der Themen erfolgte mittels *Adobe Flash CS5* und *ActionScript 3.0* (siehe Anhang - Datenträger CD/Animation.swf). Das Prinzip bestand darin, die Illustrationen aus der Text/Bild-Version mit einer animierten und wenn möglich interaktiven Dimension zu ergänzen. Der Text diente auch in diesem Fall als Basis und wurde bei den entsprechenden Illustrationen in einem Textfeld aufgeführt und mit Verweisen auf die Abbildungen ergänzt. Im Unterschied zu den gedruckten Versionen erschienen in der Animation nur immer die Textteile, die inhaltlich zur aktuellen Seite und Illustration gehörten. Die Rezipienten sahen den Text also nicht in voller Länge, sondern immer nur Auszüge davon. Gemäss Schulmeister (2002) gehört die vorliegende Animation zur Interaktivitätsstufe 3, *Repräsentationsform variieren* und ist bedeutsam für die Motivation von Lernenden. Diese Stufe ermöglicht den Testpersonen die direkte Manipulation von 2- oder 3-dimensionalen Grafiken und die Veränderung der Repräsentationsform, nicht aber des Inhaltes. Da interaktive Elemente in einer Animation noch keine effektiv interaktive Handlung von Rezipienten impliziert, dienten Handlungsaufforderungen während der Animation dazu, die Testpersonen zu ermutigen, die ganze Bandbreite der möglichen Interaktionselemente zu bedienen. Als Plattform zur Publikation der Animation diente URL www.permafrostinfo.ch/permanimation. Die Bildschirmauflösung der Computer, auf denen die Animation präsentiert wurde betrug 1280x768 Pixel und die Bildschirmgröße 15 Zoll. Mit Hilfe von Color Oracle² wurde überprüft, ob die gewählten Farben in der Animation am Bildschirm auch für Menschen mit Farbenblindheit eindeutig zu erkennen waren. Die Farben sollten gemäss diesem Test auch für Menschen mit Blau-, Grün-, sowie Rotblindheit eindeutig voneinander zu unterscheiden sein.

3.5 Bewertung der Kommunikationsmittel

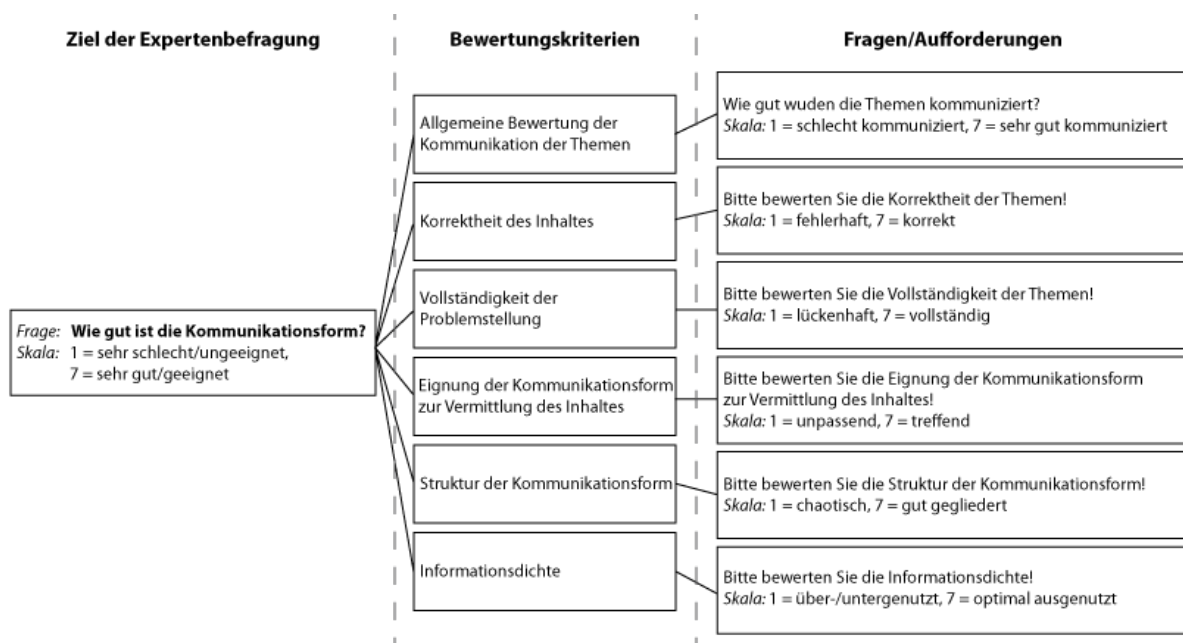
Um methodologische Probleme bei Pauschalvergleichen wie sie Mayer (2005) und Rey (2008) beschreiben zu identifizieren und quantifizieren, wurden die drei Kommunikationsmittel von unabhängigen Experten bewertet. Ziel der Expertenbefragung war es, herauszufinden ob und wie stark sich die drei Kommunikationsmittel durch ihre mediale Qualität unterscheiden. Der Inhalt sollte in allen drei Kommunikationsmitteln identisch sein. Es wurde eine Quantifizierung der Unterschiede zwischen den drei Kommunikationsmitteln angestrebt, um auf unterschiedliche Lerneffekte zu schliessen, die aufgrund unterschiedlicher Qualitäten der Medien zustande gekommen sind. Als Experten wurden diplomierte Geographen bzw. Masterabsolventen mit Hauptfach Geographie und weiterführender akademischer Ausbildung im Bereich physische Geographie ausgewählt. Die Untersuchungsfrage lautete: *Wie hoch ist die Qualität der Kommunikationsmittel auf einer Skala von 1-7?* Dabei spielte nicht der absolute Wert eine Rolle, sondern der Vergleich der drei Kommunikationsmittel untereinander. Die Experten hatten die Möglichkeit den Text, die Text/Bild-Form oder die digital-interaktive Flash Animation herunterzuladen bzw. anzuschauen und diese im Anschluss auf www.onlineumfragen.com zu bewerten.

² www.colororacle.org

Operationalisiert wurden die Kriterien *Kommunikation*, *Korrektheit*, *Vollständigkeit*, *Eignung*, *Struktur* und *Informationsdichte* der Kommunikationsmittel, wobei die Antworten für die beiden Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität* teilweise separat erfasst wurden (Abbildung 6). Die Kriterienauswahl erfolgte mit dem Fokus auf eine objektive Bewertung drei unabhängiger Kommunikationsformen, z.B. der Eignung eines Kommunikationsmittels zur Vermittlung der Information. Zusätzlich sollten Kriterien bewertet werden, die Gefahr laufen bei der Transformation einer Information zwischen zwei Medien verzerrt zu werden, z.B. die Vollständigkeit zwischen der Text- und der Text/Bild-Form. Ein standardisierter Fragebogen bot, neben einer quantitativen Bewertung der Kriterien mittels sieben-stufigen Likert-Skalen die Möglichkeit, jedes Kriterium in einem Textfeld zu kommentieren. Aus den durchschnittlichen Bewertungen der einzelnen Kriterien wurde schlussendlich die *Qualität* der drei Kommunikationsmittel berechnet.

Abbildung 6 | Operationalisierung der Expertenbefragung

Quelle: eigene Darstellung



3.6 Die Befragung

Ein Teil des Experimentes wurde in Form einer standardisierten Befragung der Testpersonen durchgeführt. Als Instrument dienten Fragebögen mit geschlossenen Fragen. Diese waren in allen drei Klassen inhaltlich identisch. Eine Klasse füllte die Fragebögen online auf www.onlineumfragen.com aus, bei den anderen beiden Klassen waren sie Teil eines gebundenen Dossiers in Druckversion. Die Befragungssituation wurde in den drei Fällen möglichst homogen gehalten, um die Reliabilität des Experimentes zu erhöhen. Das Experiment fand in zwei Fällen in einer Unterrichtsstunde des Faches Geographie in einem Klassenzimmer der Kantonsschule Urdorf statt und in einem Fall, ebenfalls im Rahmen einer Geographielektion jedoch in einem Computerraum an der Kantonsschule Urdorf.

Ein Teil des Fragebogens bestand aus einem Leistungstest, der sich aus den Wissensfragen bzw. -statements zusammensetzte, die als eindeutig richtig oder falsch definiert werden konnten (*siehe Anhang*). Diese Fragen dienten zur Quantifizierung des Fachwissens der Testpersonen im ersten und im zweiten Fragebogen. Das Antwortformat des Leistungstests bestand aus einer *richtig*-, einer *falsch*- und einer *weiss nicht*-Option, wobei für eine korrekte Antwort 1 Punkt, für eine falsche bzw. nicht gewusste Antwort 0 Punkte vergeben wurden. Dieses Antwortformat weist bereits darauf hin, dass es sich bei den Testfragen nicht um Fragen im klassischen Sinn handelt, sondern um Aussagen, die von den Testpersonen verifiziert bzw. falsifiziert werden sollten. Bei der Auswertung der Testfragen wurde zwischen *falsch markierten* und *nicht gewussten* Antworten unterschieden. Ziel des Tests war es, die Kausalitätsbeziehung zwischen der abhängigen Variable *Leistung* und der unabhängigen Variable *Klasse* zu messen (Scholl, 2009). Ein weiterer Teil des Fragebogens bestand aus Bewertungsfragen, die auf individuellen Likert-Skalen von 1-5 bewertet werden konnten und verschiedene Zwecke erfüllten. In erster Linie sollten sich die Testpersonen damit selber einschätzen. Das Interesse galt dem Vorwissen, dem Verständnis und dem Interesse der Testpersonen gegenüber dem Thema. Die Resultate sollten u.a. Hinweise zur Motivation der Testpersonen liefern, eine Korrelation zwischen Selbsteinschätzung und tatsächlichen Testresultaten veranschaulichen und die Wirkung der Kommunikationsmittel auf die Testpersonen erläutern. Weiter dienten die Bewertungsfragen zur Bewertung der Kommunikationsmittel durch die Testpersonen. Mit Hilfe von Multiple-Choice Fragen wurden Meinungen der Testpersonen im Bezug auf den Inhalt erfasst. Es wurde erfasst, wie die Testpersonen über verschiedene Abläufe und Charakteristiken zum Thema denken und wie diese Denkmuster durch das Treatment verändert wurden. Dabei gab es keine eindeutig richtigen oder falschen Antworten.

3.6.1 Operationalisierung der Testfragen

Im ersten Schritt wurden, separat für beide Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität*, kognitive Lernziele gemäss der Taxonomie von Bloom aufgestellt. Die Lernziele dienen als theoretische Konstrukte zur weiteren Operationalisierung der Testfragen und wurden nicht im einzelnen überprüft, ob sie tatsächlich erreicht wurden (*Tabelle 7*).

Tabelle 7 | kognitive Lernziele

Quelle: eigene Darstellung/Bloom (1976)

Lernziele zur heterogenen Verbreitung von Permafrost	Lernziele zur Temperatursensitivität von Permafrost
Wissen	
<ul style="list-style-type: none"> - Definieren der Problemstellung - Definieren räumlicher Skalen in Bezug auf Permafrostvorkommen - Auflisten der Ursachen einer heterogenen Permafrostverbreitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Definieren der Problemstellung - Definieren einer zeitlichen Skala - Repetieren der im Permafrostboden ablaufenden Prozesse bei steigenden Lufttemperaturen - Nennen der Faktoren, die eine abnehmende Temperatursensitivität eines Permafrostbodens beeinflussen
Verstehen	
<ul style="list-style-type: none"> - Übersetzen der Faktoren einer heterogenen Verbreitung von Permafrost in konkrete Beispiele 	<ul style="list-style-type: none"> - Diskutieren, wie ein Permafrostboden in der Natur auf steigende Lufttemperaturen reagieren könnte - Beschreiben, wie die Faktoren (Eisgehalt, Wärmezufuhr, etc.), die Temperatursensitivität eines Permafrostbodens beeinflussen
Anwenden	
<ul style="list-style-type: none"> - Skizzieren einer Situation mit allen möglichen Permafrostbegünstigenden und -hemmenden Faktoren 	<ul style="list-style-type: none"> - Skizzieren eines möglichen Temperaturverlaufs eines Permafrostbodens als Reaktion auf steigende Lufttemperaturen - Interpretieren des Temperaturverlaufs in einem Permafrostboden bei steigenden Lufttemperaturen
Analyse	
<ul style="list-style-type: none"> - In Verbindung setzen der Faktoren, die zur heterogenen Permafrostverbreitung beitragen (z.B. die Topographie hat Einfluss auf das Mikroklima und das Mikroklima beeinflusst die Vegetation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Schätzen (anhand einer aktuellen Temperatur eines Permafrostbodens), wie die Temperatur eines Permafrostbodens auf eine Wärmezufuhr reagieren wird
Synthese	
<ul style="list-style-type: none"> - Formulieren von Lösungsansätze zum besseren Verständnis heterogener Verbreitung von Permafrost in Gebirgsregionen 	-
Bewertung	
-	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluieren des Phänomens „Permafrost“ als Klimaindikator

Bei der operationalen Definition ging es darum, die Lernziele in messbare Indikatoren (Variablen) umzusetzen. Ausgangslage war das Ziel der Fragebögen. Dabei möchte man das Verständnis der Testpersonen bzgl. der Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität* messen. Dazu war es in erster Linie sinnvoll, zwischen dem Problem und dem richtigen Verständnis zu unterscheiden. Unter Problem wurden Gründe verstanden, die zu einem mangelnden oder falschen Verständnis der Sachverhalte führen können. Die Frage, ob die

Testpersonen den Unterschied zwischen der korrekten und der falschen Theorie im Bezug auf das Thema kennen führt zur Frage nach der Relevanz des Themas, denn die Annahme war, dass die korrekte Theorie nicht oder nur teilweise bekannt ist. Fragen in diesem Bereich des Fragebogens richteten sich an die subjektiven Theorien der Testpersonen.

Auf der anderen Seite der Problemerkennung steht die Frage nach dem korrekten Verständnis der Sachverhalte. Welches korrekte Wissen haben die Testpersonen zu den Themen? Die Testfragen dazu wurden in drei übergeordneten Kapiteln erstellt; *Gründe*, *Theorie* und *Interpretation*. Das Kapitel Theorie fasst Fragen zusammen, mit denen gemessen wurde, wie stark die Testpersonen mit der Theorie zum Thema vertraut sind. Als Beispiel wurde gefragt, wie die Temperatur eines Permafrostbodens auf eine steigende Lufttemperatur reagiert oder in welchen räumlichen Dimensionen Permafrost vorkommen kann. Der Fokus lag auf einer korrekten Darstellung der Testpersonen *wie* ein Phänomen aussieht oder *wie* es sich verhält. Fragen in diesem Bereich richteten sich an die Lernziele *Wissen* und *Verstehen* gemäss der Taxonomie von Bloom. Unter dem Kapitel *Gründe* wurden Fragen formuliert, mit denen nach den Gründen der korrekten Theorie gefragt wurde. Die Fragestellung lautete; Warum ist Permafrost ein heterogenes Phänomen und warum sinkt u.U. die Temperatursensitivität von Permafrostböden? Der Fokus richtete sich auf die Begründung der Testpersonen *warum* die Sachverhalte so waren, wie sie beschrieben wurden bzw. wie sie sich die Testpersonen vorstellten. Gemäss der Taxonomie von Bloom richteten sich Fragen aus diesem Kapitel an die Lernziele aus dem Bereich *Analyse*. Fragen des Kapitels *Interpretation* sollten das Wissen der Testpersonen in konkreten Situationen abfragen. Diese Fragen richteten sich gemäss den Lernzielen von Bloom an die Bereiche *Anwenden* und *Synthese*. Der Fokus lag auf konkreten Beispielen, wobei die Testpersonen durch die Anwendung ihres Wissens und teilweise durch Übertragung ihres Wissens auf neue Situationen, Phänomene und Prozesse identifizieren sollten.

Der letzte Schritt der Operationalisierung umfasste die Ausarbeitung konkreter Fragen und Aussagen für den Fragebogen. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Antwortpotenzial ausgeschöpft ist und nicht nur die Erinnerungsleistung, sondern vor allem das Verständnis der Testpersonen abgefragt wurde. Gemäss Rey (2008) ist es jedoch schwierig die Erinnerungsleistung von der Verständnisleistung abzugrenzen, denn Verständnis kann nur dann in Erscheinung treten, wenn Informationen zuvor gespeichert worden sind. Die Herausforderung in der Formulierung von geeigneten Antwortvorlagen bestand darin, eine geeignete Kombination von wahren Aussagen und falschen, subjektiven Vorstellungen anzubieten. Da die subjektiven Vorstellungen der Testpersonen aber nicht a priori bekannt waren, wurde unter den korrekten Antworten eine Auswahl an Antworten angeboten, die mögliche subjektive Vorstellungen der Testpersonen vertraten. So bestanden schlussendlich die Antwortvorlagen bei allen Fragen, die es zu verifizieren bzw. falsifizieren galt aus einer Kombination korrekter und falscher (durch mögliche Alltagsvorstellungen motivierter) Aussagen.

Abbildung 7 | Operationalisierung der Untersuchungsfrage *heterogene Verbreitung von Permafrost*
 Quelle: eigene Darstellung

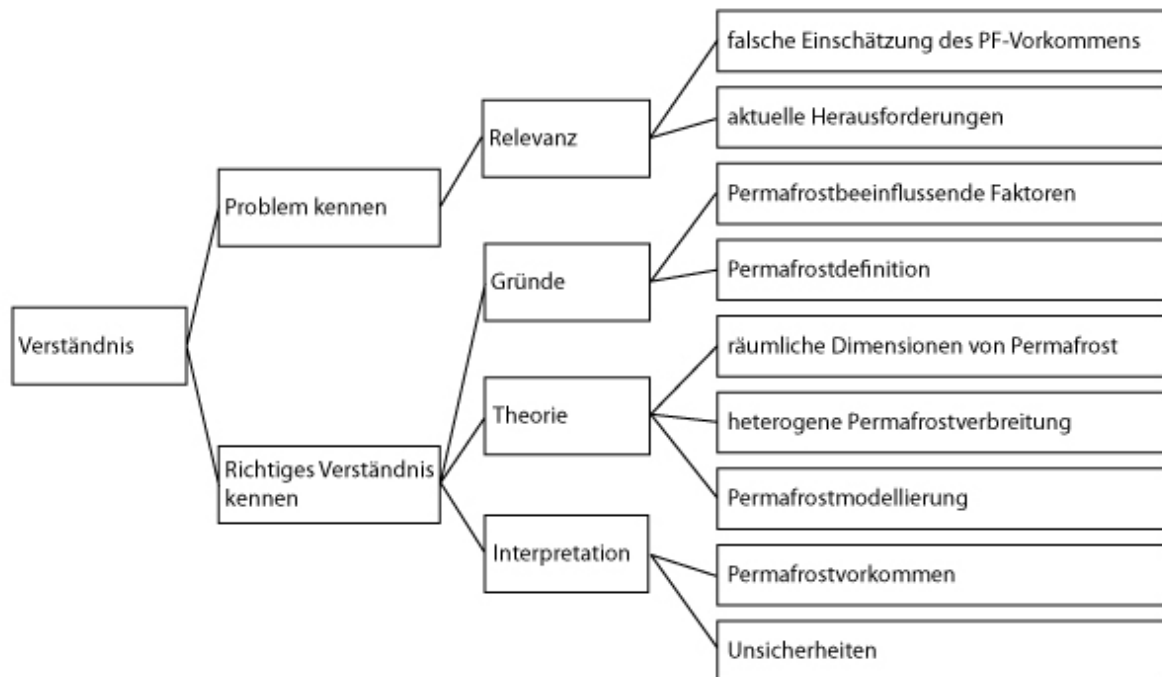
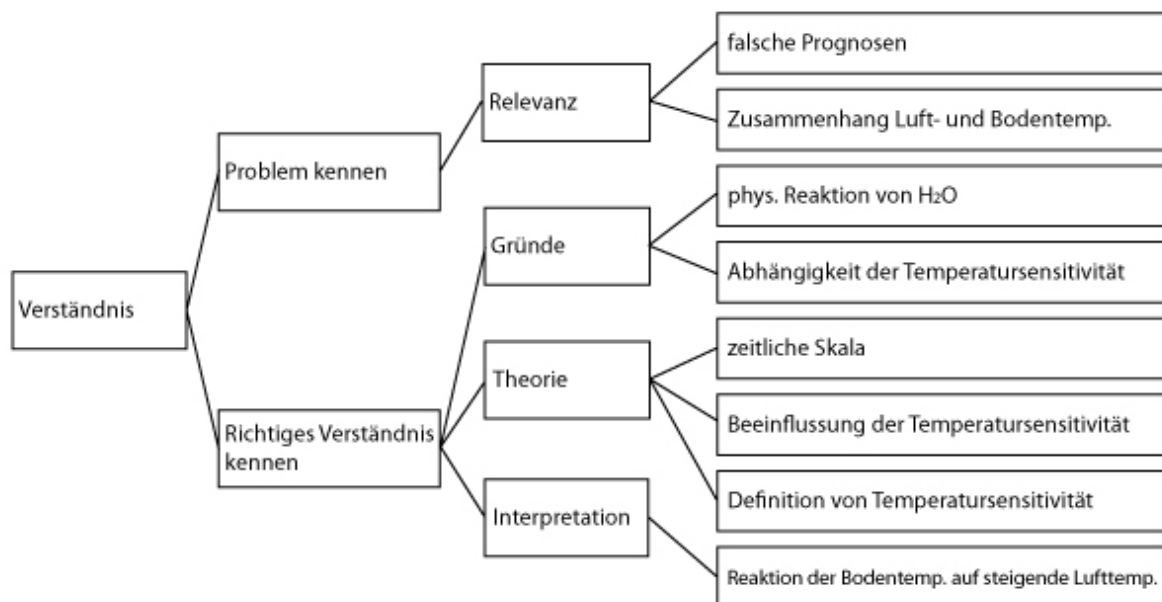


Abbildung 8 | Operationalisierung der Untersuchungsfrage *Temperatursensitivität von Permafrostböden*
 Quelle: eigene Darstellung



3.8 Ablauf des Experimentes

Das Experiment wurde am Freitag, 25. November 2011 durchgeführt. Nach einer kurzen persönlichen Vorstellung in den Unterrichtsklassen wurden die Testpersonen gebeten sich dem Experiment zu widmen. Der Ablauf war soweit selbsterklärend, mündlich betont wurde dennoch der Gebrauch der *weiss nicht*-Option in den Fragebögen bei Unverständnis inhaltlicher wie auch sprachlicher Natur und die Bitte, das Experiment selbstständig durchzuführen. Fragen der Testpersonen wurden während des Experimentes keine beantwortet. Begonnen hat die Klasse mit Schwerpunkt Wirtschaft am Morgen um 10.05 Uhr. Das Treatment bestand aus der digital-interaktiven Flash Animation und das Experiment fand im Computerraum statt. Nach anfänglichen, technischen Problemen wurde das Experiment mit ca. 7 Minuten Verspätung begonnen, wobei zwei der Testpersonen nach 45 Minuten aus zeitlichen Gründen nicht fertig geworden sind und deren zweiter Fragebogen folglich nicht in die Auswertung miteinbezogen werden konnte. Die Klasse mit Schwerpunkt Biologie/Chemie nahm um 11.05 Uhr als zweite am Experiment teil. Das Treatment in diesem Fall bestand aus der Text/Bild-Form und ist den Testpersonen in einem gebundenen Dossier abgegeben worden. Bereits nach 38 Minuten schloss in diesem Fall die letzte Person das Experiment ab. Die Klasse mit Schwerpunkt Mathematik/Physik nahm als letzte, am Nachmittag am Experiment teil. Das Treatment bestand aus einem Text ohne Illustrationen und wurde den Testpersonen ebenfalls in einem gebundenen Dossier abgegeben. Nach 35 Minuten hat die letzte Testperson das Experiment abgeschlossen.

4 Resultate

Im Folgenden werden die drei Unterrichtsklassen Klasse A, Klasse B und Klasse C genannt. Die Klasse A vertritt die Testpersonen mit Schwerpunkt Mathematik-Physik, die sich beim vorliegenden Experiment mit dem Text auseinandersetzten. Die Klasse B vertritt die Testpersonen mit Schwerpunkt Biologie-Chemie, die sich mit der Text/Bild Form befassten und die Klasse C vertritt diejenige Testpersonen mit Schwerpunkt Wirtschaft, bei denen das Treatment aus einer digital-interaktiven Flash Animation bestand.

Tabelle 8 | Einteilung der Unterrichtsklassen und Treatment

Unterrichtsklasse	Schwerpunkt	Treatment
Klasse A	Mathematik/Physik	Text
Klasse B	Biologie/Chemie	Text/Bild
Klasse C	Wirtschaft	Digital-Interaktive Flash Animation

Aus den gestellten Fragen wurden zur Leistungsmessung diejenigen ausgewählt, die als eindeutig richtig oder eindeutig falsch definiert werden konnten. Dies sind die Fragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang. Anhand dieser Fragen wurde gemessen, welche Punktzahl die Testpersonen erreicht haben. Das Mass, wie gut eine Klasse einen Leistungstests im Durchschnitt absolviert hat, setzt sich im Folgenden aus der Anzahl falsch oder mit *weiss nicht* beantworteten Fragen in Prozent zusammen. Um die Leistung der Testpersonen zu beschreiben, eignet sich der Prozentsatz *nicht richtig beantworteten Fragen* besser als der Prozentsatz richtig beantworteter Fragen, da sich so Vergleiche zwischen falsch beantworteten und *nicht gewussten* Aufgaben und Fehlerquellen besser interpretieren und visualisieren lassen.

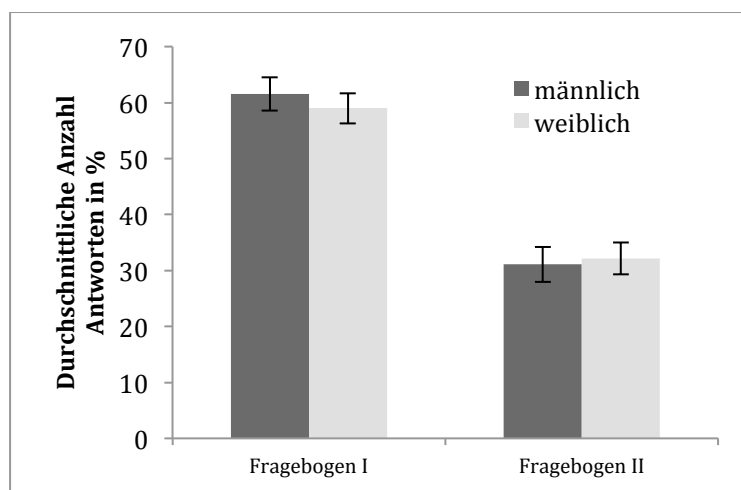
Nach der Evaluation der Kommunikationsmittel durch die Experten (*Kapitel 4.2*), geht es im ersten Teil der Präsentation der Resultate v.a. um die Häufigkeit der Fehler im Vergleich zwischen den Unterrichtsklassen (*Kapitel 4.3*). In einem zweiten Teil werden v.a. die Fehlerquellen und dazugehörige Fehlerquoten visualisiert (*Kap. 4.4*) und schlussendlich die Bewertungsfragen (*Kapitel 4.5*) und Meinungsfragen (*Kapitel 4.6*) präsentiert.

Analog zum Ausdruck *Fragebogen I* wird im Folgenden der Begriff *vor dem Treatment* bzw. *nach dem Treatment* zum Begriff *Fragebogen II* verwendet. Inferentiell-statistische Auswertungen kommen zusammen mit deskriptiven Statistiken vor und wurden basierend auf Field (2009) mit der Analyse Software *SPSS 20.0* erstellt. Die Fehlerbalken in den Diagrammen repräsentieren jeweils einen Standardfehler (+/- 1 Standardfehler). Bei der Präsentation von Mittelwerten (z.T. abgekürzt durch *M*) wird immer auch die Standardabweichung *SD* (Standard Deviation) erwähnt.

4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede

Eine Analyse geschlechtsspezifischer Unterschiede zwischen Testergebnissen beschränkte sich auf die Untersuchung in der Klasse C. Diese war mit einem 47%igen Anteil weiblicher Testpersonen die ausgewogenste im Vergleich zur Klasse A mit einem knapp 12%igen Anteil und der Klasse B mit einem 64%igen Anteil weiblicher Testpersonen. Mit einem Durchschnitt von 61.53% (SD=9.77%) der nicht richtig beantworteten Testfragen im ersten Fragebogen, unterscheidet sich der männliche Teil der Klasse C kaum vom weiblichen Teil, der im Durchschnitt 59% (SD=8.59%) der Testfragen nicht richtig beantwortet hat. Auch nach dem Treatment unterscheiden sich die Resultate zwischen dem männlichen und weiblichen Teil der Klasse C kaum. Der männliche Teil beantwortete dabei im Durchschnitt noch 31.08% (SD=9.34%) der Testfragen nicht richtig, beim weiblichen Teil waren es 32.17% (SD=9.03%) der Testfragen (*Diagramm 1*).

Diagramm 1 | Geschlechtsspezifische Unterschiede – Vergleich geschlechtsspezifischer Unterschiede in den Testresultaten, durchgeführt in der Unterrichtsklasse C.



4.2 Evaluation der Kommunikationsmittel durch Experten

An der Expertenbefragung haben insgesamt zehn Experten teilgenommen, wobei drei davon den Text, drei die Text/Bild Version und vier die digitale Darstellung bewertet haben. Die Bewertungen pro Kriterium setzen sich aus dem Durchschnitt der Einzelbewertungen der Experten zusammen. Diese sind in *Tabelle 9* nochmals im Detail ersichtlich und im *Diagramm 2* visualisiert. Der Mittelwert aus den Kriterienbewertungen misst schlussendlich die *Qualität* der Kommunikationsmittel im Bezug auf die vorliegenden Kriterien. Die Textform (behandelt von der Unterrichtsklasse A) erhielt dabei 5.81 (SD=0.8) Bewertungspunkte, die Text/Bild-Form (behandelt von der Klasse B) erhielt 6.07 (SD=0.66) und die digital-interaktive Flash Animation (behandelt von der Klasse C) erhielt 5.97 (SD=0.57) von sieben möglichen Bewertungspunkten.

Zur weiteren qualitativen Bewertung der drei Kommunikationsmittel sollten die Kommentare der Experten beitragen. Dabei wurde bei der Textform kritisiert, dass beim Thema *Heterogenität* eine zu starke Mischung der Beispiele aus Gebirgs- und Polarregionen besteht. Weiter komme das Phänomen der schwindenden *Temperatursensitivität* nur im Falle eines eishaltigen Bodens vor, was im Text nicht genügend betont werde. Eine weitere Kritik der

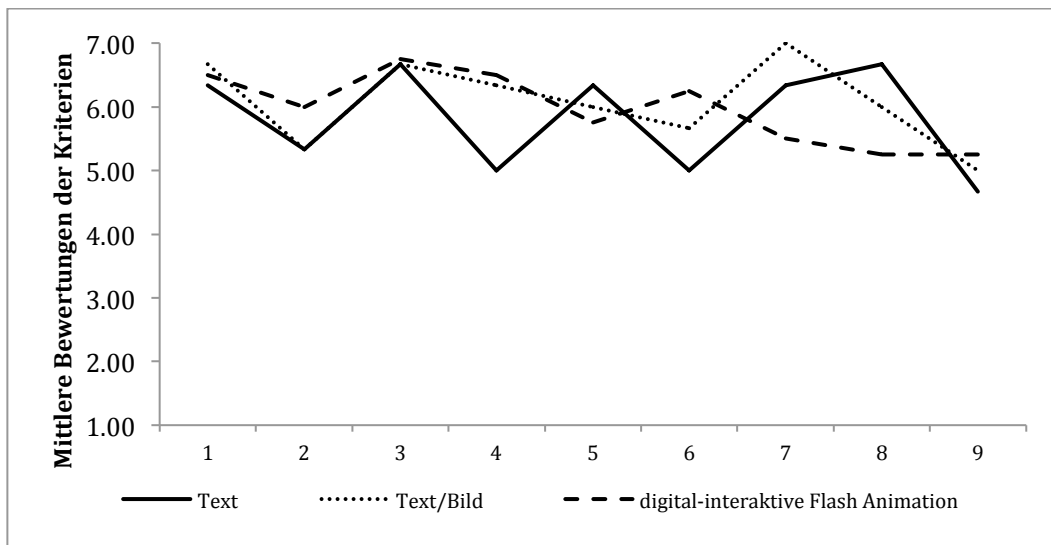
Textform betraf die Informationsdichte, wobei die beiden Themen kaum auf zwei Seiten vollständig erklärt werden können und mehr Beispiele zu einem besseren Verständnis führen würden. Zur Text/Bild Form wurde bemerkt, dass sie eine gute aber relativ grobe Übersicht über die Themen vermittelt. Die Bilder seien gut gewählt, die Abbildung des Phasendiagramms sei aber aufgrund der bereits guten Erklärung im Text und der schwierigen Vorstellung der Einheiten nicht mehr nötig. Bei der digitalen Darstellung komme gemäss Experten der Zusammenhang zwischen den Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität* zu wenig zur Geltung. Es sei nicht klar, wieso diese beiden Themen zusammen in einer Darstellung präsentiert werden.

Tabelle 9 | Bewertung der Kommunikationsmittel – Evaluation der drei Kommunikationsmittel *Text*, *Text/Bild*, *digital-interaktive Flash Animation* durch eine Expertenbefragung in den Kriterien *allgemeine Bewertung*, *Korrektheit*, *Vollständigkeit*, *Eignung*, *Struktur* und *Informationsdichte* auf Likert-Skalen von 1-7 und der Durchschnitt.

Frage	Skala	Text	Text&Bild	digitale Darstellung
1. Wie gut wurde Ihrer Meinung nach das Thema "heterogene Permafrostverbreitung" kommuniziert?	1=schlecht 7=sehr gut kommuniziert	M=6.33, SD=0.58	M=6.67, SD=0.58	M=6.50, SD=0.58
2. Wie gut wurde Ihrer Meinung nach das Thema "Temperatursensitivität von Permafrost" kommuniziert?	1=schlecht 7=sehr gut kommuniziert	M=5.33, SD=0.58	M=5.33, SD=0.58	M=6.00, SD=0.00
3. Bitte bewerten Sie die Korrektheit des Themas "heterogene Permafrostverbreitung", mit: Der Text ist ...	1=fehlerhaft, 7=korrekt	M=6.67, SD=0.58	M=6.67, SD=0.58	M=6.75, SD=0.50
4. Bitte bewerten Sie die Korrektheit des Themas "Temperatursensitivität von Permafrost", mit: Der Text ist ...	1=fehlerhaft, 7=korrekt	M=5.00, SD=1.00	M=6.33, SD=0.58	M=6.50, SD=0.58
5. Bitte bewerten Sie die Vollständigkeit des Themas "heterogene Permafrostverbreitung", mit: Der Text ist ...	1=lückenhaft, 7=vollständig	M=6.33, SD=0.58	M=6.00, SD=0.00	M=5.75, SD=0.50
6. Bitte bewerten Sie die Vollständigkeit des Themas "Temperatursensitivität von Permafrost", mit: Der Text ist ...	1=lückenhaft, 7=vollständig	M=5.00, SD=0.00	M=5.67, SD=0.58	M=6.25, SD=0.96
7. Bitte bewerten Sie die Kommunikationsform, mit: Der Artikel ist zur Vermittlung der Themen ...	1=unpassend, 7=treffend	M=6.33, SD=0.58	M=7.00, SD=0.00	M=5.50, SD=0.58
8. Bitte bewerten Sie die Struktur des Artikels:	1=chaotisch, 7=gut gegliedert	M=6.67, SD=0.58	M=6.00, SD=1.00	M=5.25, SD=0.50
9. Bitte bewerten Sie die Informationsdichte, mit: Der Platz wurde ...	1=über-/untergenutzt, 7=optimal ausgenutzt	M=4.67, SD=0.58	M=5.00, SD=0.00	M=5.25, SD=0.50
	Durchschnittliche Bewertung	M=5.81, SD=0.80	M=6.07, SD=0.66	M=5.97, SD=0.57

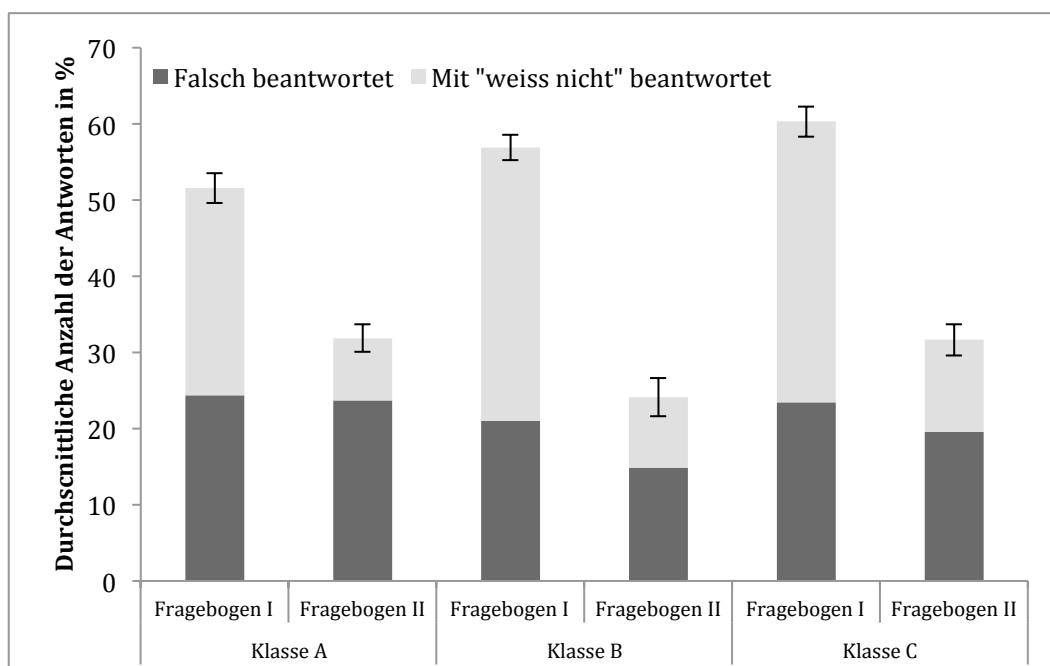
Die Verteilung der Kriterienbewertungen der Experten reichen im Durchschnitt von 4.67 (SD=0.58) bei der *Informationsdichte* des Textes bis 7 (SD=0) bei der Eignung des Artikels zur Vermittlung der Themen bei der Text/Bild-Form. Der Text erhielt bei der *Korrektheit des Themas* und der Vollständigkeit des Themas im Vergleich mit den anderen beiden Kommunikationsmitteln eine tiefere Bewertung. In allen drei Fällen erhielt die Frage wie gut das Thema *heterogene Permafrostverbreitung* kommuniziert wurde eine höhere Bewertung als die Frage wie gut das Thema *Temperatursensitivität* kommuniziert wurde.

Diagramm 2 | Bewertung der Kommunikationsmittel – Visualisierung der durchschnittlichen Bewertungen der Kriterien zur Evaluation der Kommunikationsmittel durch Experten. Die Kriterien von 1-9 und die entsprechenden Likert-Skalen von 1-7 beziehen sich auf die Tabelle 9.



4.3 Erzielte Leistung der Testpersonen

Diagramm 3 | Erzielte Leistung der Testpersonen – Anzahl nicht richtig beantworteter Testfragen in Fragebogen I und II in %. Unterscheidung zwischen falsch beantworteter und mit *weiss nicht* beantworteter Testfragen.



4.3.1 Vor dem Treatment

Im ersten Fragebogen wurden von der Klasse A im Durchschnitt 51.58% (SD=8.04%), von der Klasse B 56.94% (SD=6.29%) und von der Klasse C 60.32% (SD=9.10%) der Testfragen nicht richtig beantwortet. Davon hat die Klasse A im Durchschnitt 27.20% (SD=12.58%) der Antworten nicht gewusst und 24.38% (SD=7.50%) der Fragen falsch beantwortet. Die Klasse B hat im Durchschnitt 35.92% (SD=13.51%) der Antworten nicht gewusst und 21.01% (SD=9.16%) der Fragen falsch beantwortet und die Klasse C hat im Durchschnitt 36.85% (SD=10.35%) der Antworten nicht gewusst und 23.46% (SD=5.92%) der Fragen falsch beantwortet (*Diagramm 3*).

Mit einem Kolmogorov-Smirnov Test wurde im ersten Fragebogen bei keiner der drei Klassen eine signifikante Abweichung der Verteilung der abhängigen Variable *Leistung*, von einer Normalverteilung gemessen; $D_A(17) = 0.13, p > 0.05$, $D_B(14) = 0.15, p > 0.05$, $D_C(21) = 0.12, p > 0.05$. Levene's Test für Varianzhomogenität zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianzen, $F(2,52) = 1.39, p > 0.05$. Eine einfaktorielle, unabhängige Varianzanalyse ANOVA durfte durchgeführt werden und bestätigte einen signifikanten Unterschied in der abhängigen Variable *Leistung* zwischen mindestens zwei unabhängigen Variablen *Klasse* im ersten Fragebogen, $F(2,52) = 5.515, p < 0.05, \omega = 0.70$. Gabriel's post hoc Vergleich der drei unabhängigen Variablen *Klasse* zeigte eine signifikante Differenz der Mittelwerte der Klasse A und der Klasse C ($p < 0.05$).

4.3.2 Nach dem Treatment

Nach dem Treatment beantworteten die Testpersonen der Klasse A im Durchschnitt noch 31.88% (SD=7.51%), die Klasse B 24.12% (SD=9.32) und die Klasse C 31.66% (SD=8.94%) der Testfragen nicht korrekt. Dabei lag der Anteil mit *weiss nicht* beantworteter Testfragen im Durchschnitt bei 8.18% (SD=5.90%) bei der Klasse A, bei 9.21% (SD=8.48%) bei der Klasse B und bei 12.05% (SD=5.80%) bei der Klasse C. Der durchschnittliche Anteil falsch beantworteter Testfragen lag bei der Klasse A auch nach dem Treatment noch bei 23.70% (SD=7.72%), bei der Klasse B bei 14.90% (SD=8.32%) und bei der Klasse C bei 19.60% (SD=6.34) (*Diagramm 3*).

Mit einem Kolmogorov-Smirnov Test wurde im zweiten Fragebogen bei keiner der drei Klassen eine signifikante Abweichung der Verteilung der abhängigen Variable *Leistung*, von einer Normalverteilung gemessen; $D_A(17) = 0.14, p > 0.05$, $D_B(14) = 0.13, p > 0.05$, $D_C(19) = 0.14, p > 0.05$. Levene's Test für Varianzhomogenität zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianzen, $F(2,50) = 3.12, p > 0.05$. Eine einfaktorielle, unabhängige Varianzanalyse ANOVA durfte durchgeführt werden und bestätigte einen signifikanten Unterschied in der abhängigen Variable *Leistung* zwischen mindestens zwei unabhängigen Variablen *Klasse* im zweiten Fragebogen, $F(2,50) = 3.992, p < 0.05, \omega = 0.07$. Gabriel's post hoc Vergleich der drei unabhängigen Variablen *Klasse* zeigte eine signifikante Differenz der Mittelwerte zwischen den Klassen A und B und zwischen den Klassen B und C ($p < 0.05$).

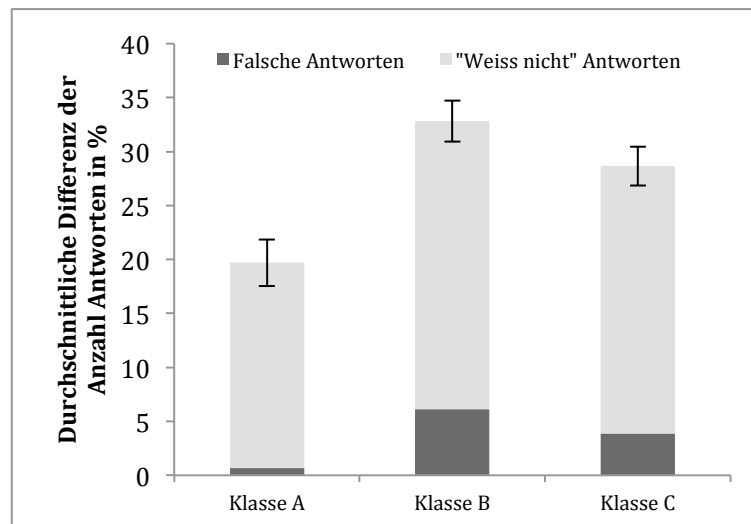
4.3.3 Leistungssteigerung

Die durchschnittliche Leistungssteigerung der Testpersonen lässt sich als Differenz der nicht richtig beantworteten Testfragen zwischen Fragebogen I und Fragebogen II berechnen (*Diagramm 4*). Die Klasse A konnte nach dem Treatment im Durchschnitt 19.69% (SD=8.86%) mehr Testfragen richtig beantworten als im ersten Fragebogen, wobei 0.68% der

Fragen solche waren, die im ersten Fragebogen falsch und 19.01% solche, die mit *weiss nicht* beantwortet wurden. Die Klasse B konnte nach dem Treatment 32.82% (SD=7.91%) mehr Fragen richtig beantworten als im ersten Fragebogen, wobei 6.11% der Fragen solche waren, die im ersten Fragebogen falsch und 26.71% solche, die mit *weiss nicht* beantwortet wurden. Die Klasse C konnte nach dem Treatment 28.66% (SD=7.85%) mehr Testfragen richtig beantworten als im ersten Fragebogen, wobei 3.86% der Fragen solche waren, die im ersten Fragebogen falsch und 24.80% solche, die mit *weiss nicht* beantwortet wurden.

Mit einem Kolmogorov-Smirnov Test wurde bei der Analyse der Leistungsdifferenz, zwischen dem ersten und dem zweiten Fragebogen, bei keiner der drei Klassen eine signifikante Abweichung der Verteilung der abhängigen Variable *Leistung*, von einer Normalverteilung gemessen; $D_A(17) = 0.11, p > 0.05, D_B(14) = 0.13, p > 0.05, D_C(19) = 0.12, p > 0.05$. Levene's Test für Varianzhomogenität zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Varianzen, $F(2,50) = 0.66, p > 0.05$. Eine einfaktorielle, unabhängige Varianzanalyse ANOVA durfte durchgeführt werden und bestätigte einen signifikanten Unterschied in der abhängigen Variable *Leistung* zwischen mindestens zwei unabhängigen Variablen *Klasse* bei der Analyse der Leistungsdifferenzen, $F(2,50) = 8.215, p < 0.05, \omega = 0.14$. Gabriel's post hoc Vergleich der drei unabhängigen Variablen *Klasse* zeigte eine signifikante Differenz der Mittelwerte zwischen den Klassen A und B und zwischen den Klassen A und C ($p < 0.05$).

Diagramm 4 | Leistungssteigerung – Durchschnittliche Differenz der Anzahl nicht richtig beantworteter Testfragen zwischen Fragebogen I und II in %. Unterscheidung zwischen falsch beantworteter und mit *weiss nicht* beantworteter Testfragen.



4.4 Fehlerquellen und -quoten

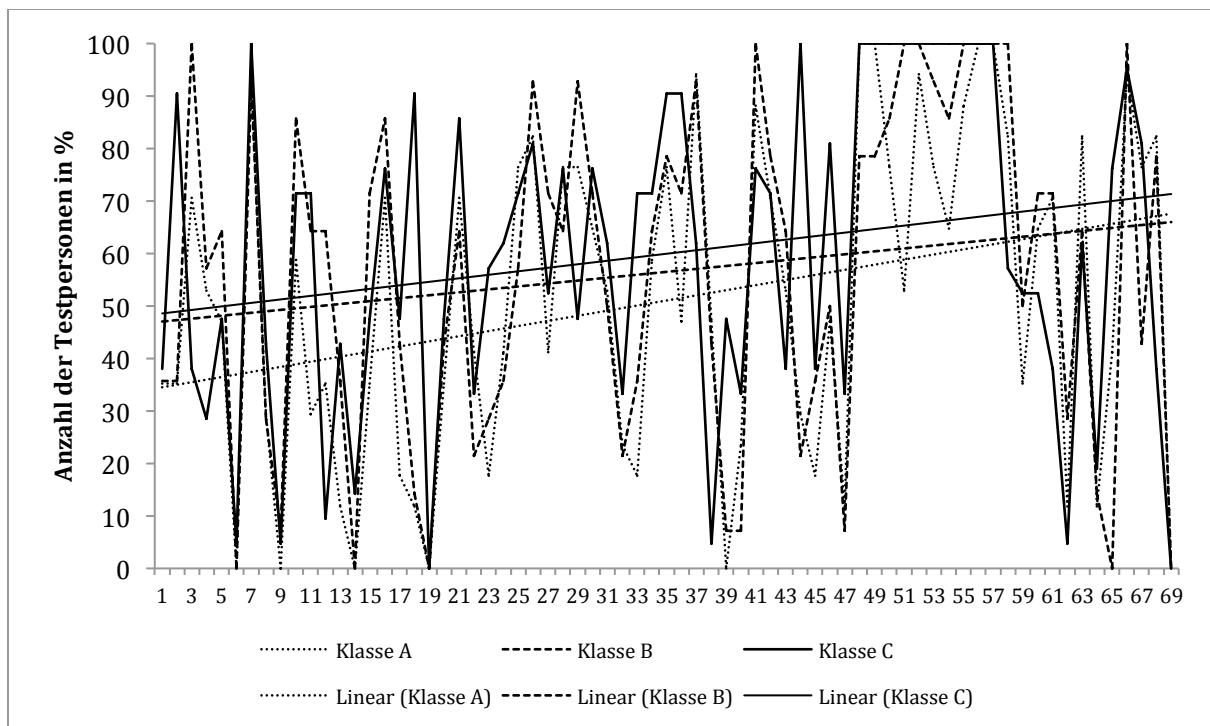
Im Folgenden werden unter der Bezeichnung *Fehler* alle nicht richtig markierte Fragen verstanden, d.h. falsche Antworten sowie mit *weiss nicht* beantwortete Fragen. Unterschieden werden Fehlerquellen, die sich auf die Testfragen aus der Tabelle im Anhang beziehen und in den folgenden Diagrammen auf der x-Achse repräsentiert werden und Fehlerquoten, die auf der y-Achse dargestellt sind. Die x-Achse enthält eine zeitliche Dimension, da die Testfragen von 1 bis 69 nacheinander in den Fragebögen vorgekommen sind. Die Fehlerquote einer Frage wird anhand der Anzahl Testpersonen in Prozent gemessen, die dort eine falsche Antwort oder die Option *weiss nicht* markiert haben. Fehlerquoten werden bei

Interpretationen gerundet. In den *Diagrammen 7-8* werden zusätzlich diejenigen Fragen gekennzeichnet, bei denen nach dem Treatment eine höhere Fehlerquote gemessen wurde als vor dem Treatment. Das heisst, dass bei den betroffenen Fragen, Testpersonen nach dem Treatment eine Frage falsch oder mit *weiss nicht* beantwortet haben, obwohl ihre Antwort im ersten Fragebogen richtig war.

Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen I

Die Verteilung der Fehler zeigt bei allen drei Klassen im ersten Fragebogen ein ähnliches Muster, wobei sich unterschiedliche Testergebnisse v.a. durch unterschiedliche Fehlerquoten und nicht unbedingt durch unterschiedliche Fehlerquellen zwischen den Klassen ergeben haben. Auffallend ist die Enthaltbarkeit der Klasse C bei den *Fragen 49-59*, denn sie wurden von allen Testpersonen mit *weiss nicht* beantwortet. Es sind dies die Fragen, bei denen der Begriff *Temperatursensitivität* in der einleitenden Frage vorkam. Auch die anderen beiden Klassen weisen bei diesen Fragen eine relativ hohe Fehlerquote auf. Auffallend ist ebenfalls die Zunahme der Fehlerquoten gegen Ende des Tests in allen drei Klassen, wobei die Klasse A die höchste und die Klasse B die niedrigste Steigung verzeichnet. Die Fehlerquoten der Klasse B und der Klasse C liegen zu Beginn nahe beieinander und driften erst im Verlauf des Tests weiter auseinander, v.a. durch die Zunahme der Fehlerquoten der Klasse C. Im Gegensatz dazu sind die Fehlerquoten der Klasse A zu Beginn relativ tief und nähern sich den anderen beiden Klassen erst im Verlauf des Tests. Gegen Schluss übersteigen die Fehlerquoten der Klasse A diejenigen der Klasse B (*Diagramm 5*).

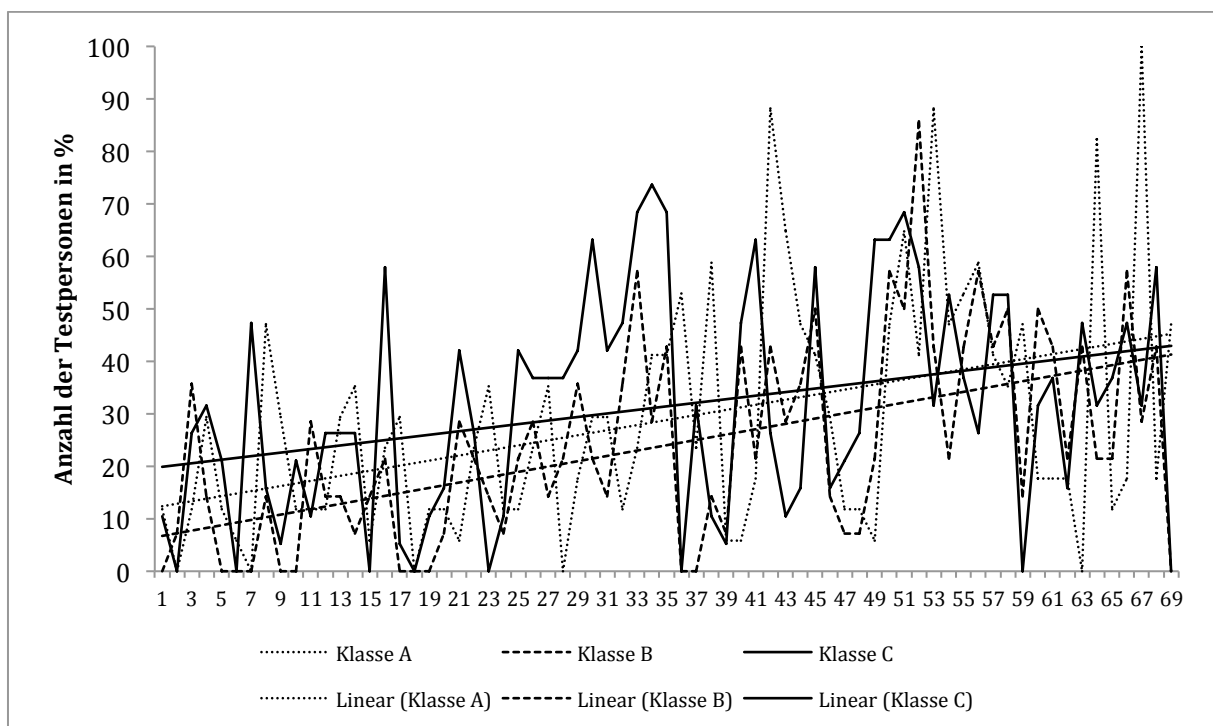
Diagramm 5 | Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen I – Visualisierung der Fehlerhäufigkeit bei den einzelnen Testfragen im ersten Fragebogen. Die x-Achse bezieht sich auf die Testfragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang, die y-Achse repräsentiert die Anzahl Testpersonen der Klassen in Prozent.



Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen II

Die Visualisierung der Fehlerquellen der drei Klassen im zweiten Fragebogen zeigt im Vergleich untereinander ein etwas heterogeneres Muster als es im ersten Fragebogen der Fall war. Auffällig ist die höhere Fehlerquote der Klasse C im Bereich der Fragen 26-35 im Vergleich mit den anderen beiden Klassen. Es ist dies der Bereich, bei dem die Testpersonen allgemeine Aussagen über die Verbreitung von Permafrost und dessen möglicher Beeinflussung verifizieren bzw. falsifizieren sollten. Die Klasse A fällt einige Male durch erhöhte Fehlerquoten bei Einzelfragen im Vergleich mit den anderen Klassen auf. So wurde z.B. von knapp 90% der Testpersonen nicht richtig beantwortet, dass die Temperatur eines Permafrostbodens auch linear zur Lufttemperatur ansteigen kann (*Frage 42 - richtig*). Bei der Klasse B wurde diese Frage lediglich von knapp 30% und bei der Klasse C von 10% nicht richtig beantwortet. Auch die Frage ob sich mit der Temperatursensitivität beschreiben lässt, wie gut eine Temperaturmessung Auskunft über Veränderungen im Boden gibt (*Frage 53 - richtig*), haben die Testpersonen der Klasse A mit einer wesentlich höheren Fehlerquote beantwortet als die Testpersonen der anderen Klassen. Weitere Ausreisser von Fehlerquoten der Klasse A liegen bei den Fragen, ob unterhalb der Waldgrenze auch Permafrost vorkommen kann (*Frage 8 - richtig*) und ob die Vegetation (*Frage 64 - falsch*) und die Dicke eines Permafrostkörpers (*Frage 67 - falsch*) einen Einfluss auf die Temperatur des Permafrostbodens haben können. Bis auf die Ausnahme der Klasse A, bei der niemand die richtige Antwort wusste, dass die Dicke eines Permafrostkörpers keinen direkten Einfluss auf eine steigende Permafrostbodentemperatur hat (*Frage 67*), wurde jedoch jede Testfrage von mindestens 10% der Testpersonen einer Klassen, richtig beantwortet. Auffallend sind ausserdem auch beim zweiten Fragebogen die erhöhten Fehlerquoten gegen Ende des Tests, wobei die Klasse A und die Klasse B eine fast parallele, zeitliche Zunahme der Fehlerquoten aufweisen. Die Klasse A hat dabei eine konstant höhere Fehlerquote als die Klasse B (*Diagramm 6*).

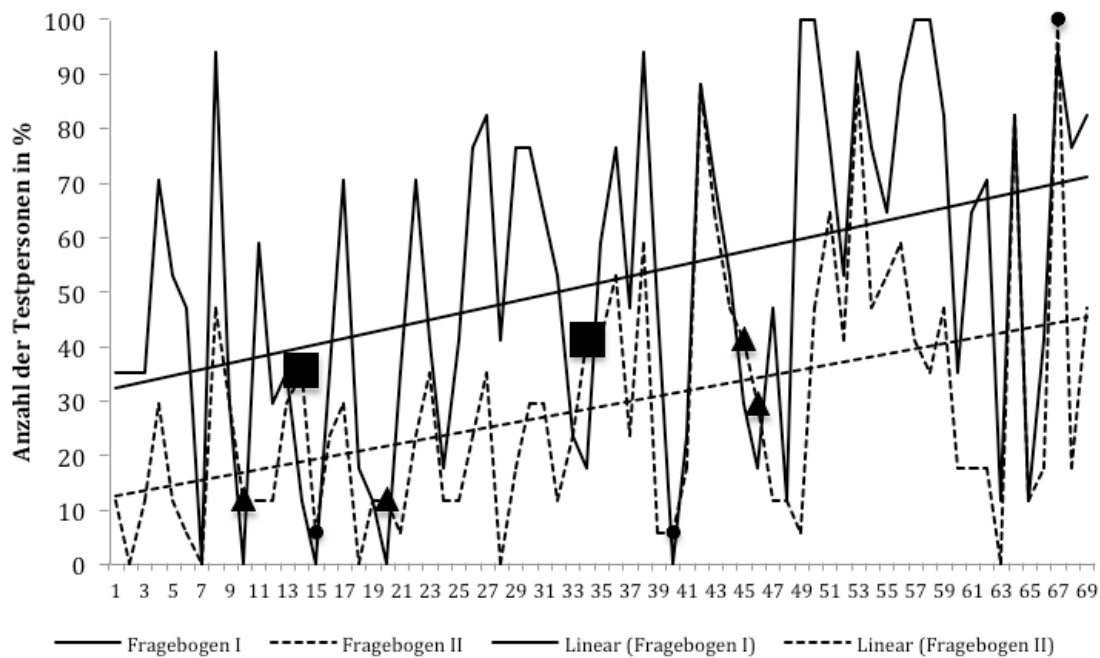
Diagramm 6 | Fehlerquellen und -quoten im Fragebogen II – Visualisierung der Fehlerhäufigkeit bei den einzelnen Testfragen im zweiten Fragebogen. Die x-Achse bezieht sich auf die Testfragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang, die y-Achse repräsentiert die Anzahl Testpersonen der Klassen in Prozent.



Fehlerquellen und -quoten der Klasse A

Ein visueller Vergleich der Fehlerquellen der Klasse A zwischen Fragebogen I und Fragebogen II im *Diagramm 7* deutet darauf hin, dass die Fehlerquellen auch nach dem Treatment bei den selben Fragen liegen wie im ersten Fragebogen. Bei vielen Fragen sind die Fehlerquoten im zweiten Fragebogen tiefer als im ersten, bei einigen Fragen ist dies nicht der Fall. Die höchste Fehlerquotenzunahme von 23% wurde nach dem Treatment bei der Frage gemessen, ob man Permafrost in die Klassen *kontinuierlich*, *diskontinuierlich* und *sporadisch* einteilen könne (*Frage 14 - richtig*) und bei der entsprechenden Aussage, dass eine Klasseneinteilung in *kontinuierlichen*, *diskontinuierlichen* und *sporadischen* Permafrost sinnlos sei (*Frage 34 - falsch*). Die meisten Fragen, die im ersten Fragebogen von allen richtig beantwortet wurden, wurden nach dem Treatment von mindestens 10% der Testpersonen nicht mehr richtig beantwortet.

Diagramm 7 | Fehlerquellen und -quoten der Klasse A – Vergleich der Fehlerquellen und -quoten der Klasse A im Fragebogen I und Fragebogen II. Die x-Achse bezieht sich auf die Testfragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang, die y-Achse repräsentiert die Anzahl Testpersonen der Klassen in Prozent.



Fehlerquotenzunahme:

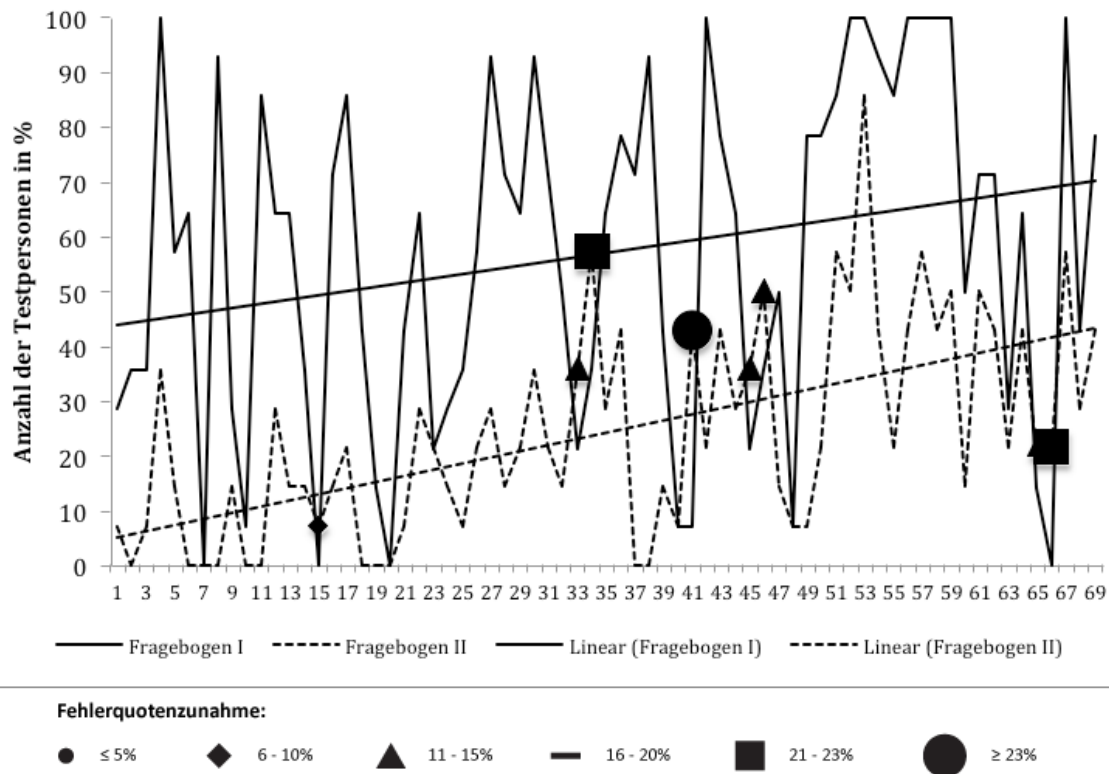
- ≤ 5%
- ◆ 6 - 10%
- ▲ 11 - 15%
- 16 - 20%
- 21 - 23%
- ≥ 23%

Fehlerquellen und -quoten der Klasse B

Die Visualisierung der Fehlerquellen und -quoten der Klasse B im *Diagramm 8* zeigt nach dem Treatment ein teilweise ähnliches Muster wie im ersten Fragebogen. Auffallend sind die zahlreichen Fragen zum Thema *heterogene Verbreitung von Permafrost*, die von allen Testpersonen richtig beantwortet wurden. Einige Fragen wurden jedoch auch hier im zweiten Fragebogen schlechter beantwortet als im ersten. Die höchste Fehlerquotenzunahme von knapp 37% liegt bei der Aussage, dass die Temperatur eines Permafrostbodens mit einer Verzögerung auf einen Lufttemperaturanstieg reagieren kann (*Frage 41 - richtig*). Bei der Aussage, dass eine Klasseneinteilung in *kontinuierlichen*, *diskontinuierlichen* und *sporadischen* Permafrost sinnlos sei (*Frage 34 - falsch*) wurde eine Fehlerquotenzunahme

von 22% gemessen. Auch bei der Aussage, dass die aktuelle Temperatur eines Permafrostbodens einen Einfluss auf die Geschwindigkeit dessen Temperaturzunahme haben kann (Frage 66 - richtig), wurde eine Fehlerquotenzunahme von 22% nach dem Treatment gemessen, obwohl diese Frage im ersten Fragebogen von allen Testpersonen richtig beantwortet wurde.

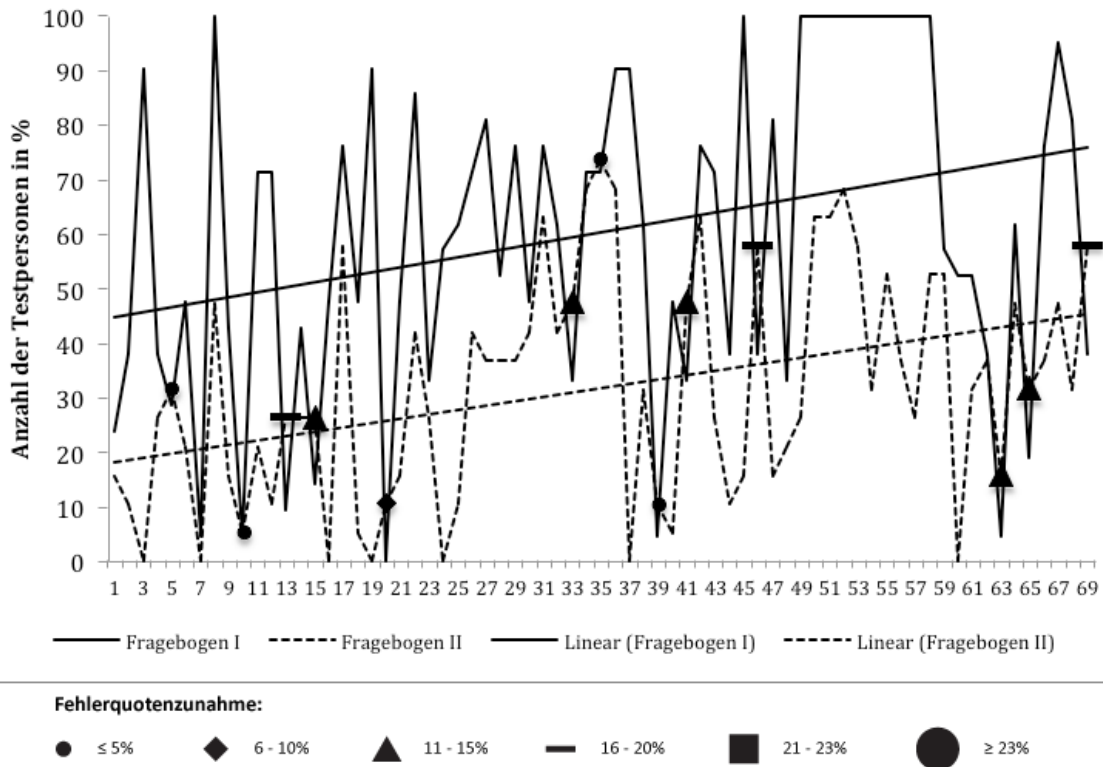
Diagramm 8 | Fehlerquellen und -quoten der Klasse B – Vergleich der Fehlerquellen und -quoten der Klasse A im Fragebogen I und Fragebogen II. Die x-Achse bezieht sich auf die Testfragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang, die y-Achse repräsentiert die Anzahl Testpersonen der Klassen in Prozent.



Fehlerquellen und -quoten der Klasse C

Ein visueller Vergleich der Fehlerquellen und -quoten der Klasse C im *Diagramm 9* zwischen Fragebogen I und Fragebogen II deutet auf teilweise identische Fehlerquellen hin. Bereits erwähnt wurde die vollständige Enthaltbarkeit der Testpersonen bei allen Fragen im ersten Fragebogen, bei denen der Begriff *Temperatursensitivität* vorkam. Auffallend ist die nicht allzu hohe aber häufige Fehlerquotenzunahme bei einzelnen Fragen nach dem Treatment. Die Fehlerquoten sind bis auf die *Fragen 49-59* relativ gleichmässig über alle Testfragen verteilt. Obwohl nur eine Frage im ersten Fragebogen von allen Testpersonen korrekt beantwortet wurde, konnten nach dem Treatment relativ viele Fragen von allen Testpersonen der Klasse korrekt beantwortet werden. Die meisten Fragen, die von allen Testpersonen korrekt beantwortet wurden stammen aus dem Bereich *Heterogenität*.

Diagramm 9 | Fehlerquellen und -quoten der Klasse C – Vergleich der Fehlerquellen und -quoten der Klasse A im Fragebogen I und Fragebogen II. Die x-Achse bezieht sich auf die Testfragen 1-69 aus der Tabelle im Anhang, die y-Achse repräsentiert die Anzahl Testpersonen der Klassen in Prozent.



4.5 Bewertungsfragen

Interesse

Im ersten Fragebogen wurden die Testpersonen nach ihrem Interesse bzgl. der Themen *Permafrost allgemein*, *Verbreitung von Permafrost* und *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* befragt. Die persönlichen Bewertungen wurden auf einer Likert-Skala von 1-5 (1=kein Interesse, 5=grosses Interesse) eingetragen. Die durchschnittlichen Bewertungen der eigenen *Interessenseinschätzung* der drei Klassen sind im *Diagramm 10* aufgeführt.

Die durchschnittliche Bewertung der Klasse C lag bei allen drei Themen unter den Bewertungen der anderen beiden Klassen. Das Interesse für die *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* (Klasse A: $M= 3.76$, $SD= 0.97$; Klasse B: $M= 3.71$, $SD= 0.91$; Klasse C: $M= 3.10$, $SD= 1.10$) wurde jeweils im Durchschnitt höher bewertet, als das Interesse für *heterogene Verbreitung von Permafrost* (Klasse A: $M= 2.94$, $SD= 0.90$; Klasse B: $M= 3.07$, $SD= 1.00$; Klasse C: $M= 2.81$, $SD= 0.81$). Das Interesse für *Permafrost allgemein* wurde im Durchschnitt mit 3.35 ($SD=0.86$) von der Klasse A, mit 3.29 ($SD=0.83$) von der Klasse B und mit 2.57 ($SD=0.81$) von der Klasse C bewertet.

Spannungsfaktor

Im zweiten Fragebogen wurde erfasst wie ansprechend und motivierend die Vermittlung der Themen durch die Kommunikationsmittel war, was hier als Spannungsfaktor interpretiert wird. Die Testpersonen wurden aufgefordert auf einer Likert-Skala von 1-5 (1=langweilig, 5=sehr spannend) einzutragen, wie *interessant/spannend/motivierend* sie den Inhalt empfanden. Die durchschnittlichen Bewertungen des *Spannungsfaktors* der drei Kommunikationsmittel sind im *Diagramm 11* aufgeführt.

Die durchschnittlichen Motivationsbewertungen der drei Klassen nach dem Treatment liegen nahe beieinander. Die mittlere Bewertung der Klasse A ist mit 3.41 (SD=1.12) Bewertungspunkten am tiefsten, gefolgt von der mittleren Bewertung der Klasse C mit 3.58 (SD=0.77) Bewertungspunkten. Die Klasse B hat ihre Motivation im Durchschnitt mit 3.64 (SD=0.93) am höchsten bewertet.

Diagramm 10 | Interessensbewertung der Testpersonen vor dem Treatment – durchschnittliche Bewertung des Interesses der Testpersonen bzgl. der Themen *Permafrost allgemein*, *Verbreitung von Permafrost* und *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* vor dem Treatment auf einer Likert-Skala von 1 (kein Interesse) bis 5 (grosstes Interesse).

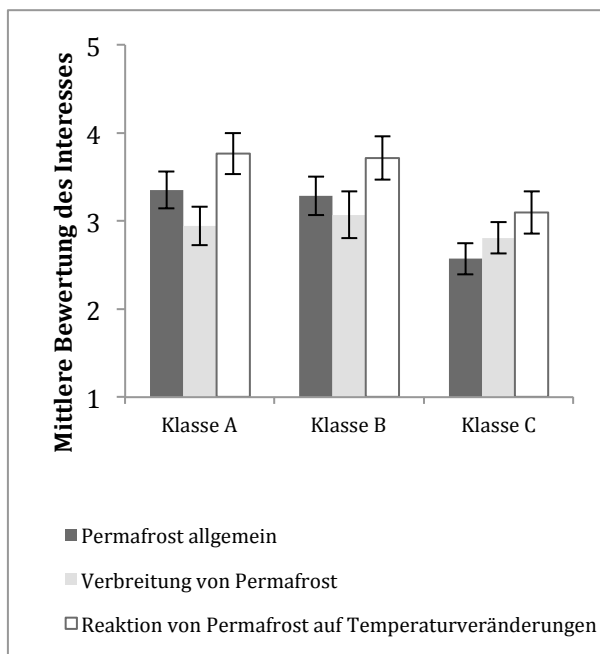
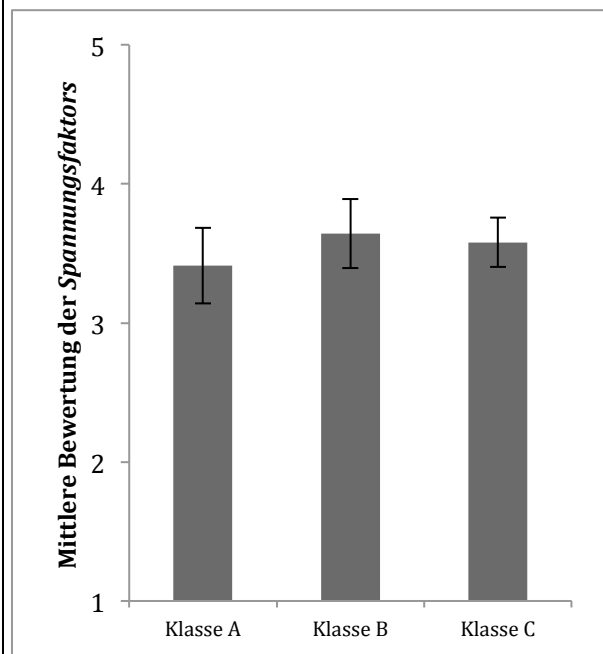


Diagramm 11 | Bewertung des Spannungsfaktor der Kommunikationsmittel – durchschnittliche Bewertung des Spannungsfaktors der Kommunikationsmittel durch die Testpersonen nach dem Treatment auf einer Likert-Skala von 1 (langweilig) bis 5 (sehr spannend).



Verständnis der Fragen im Fragebogen

In beiden Fragebögen wurden die Testpersonen gebeten, auf einer Likert-Skala von 1-5 (1= zu schwierige Fragen, 5= sehr einfache Fragen) einzutragen, wie gut sie die Fragen in den Fragebögen verstanden haben bzw. wie schwierig die Fragen zu verstehen waren (*Diagramm 12*). Dabei liegt die durchschnittliche Bewertung der Klasse A bei 2.41 (SD=0.71), der Klasse B bei 2.5 (SD=0.65) und der Klasse C bei 2.9 (SD=0.77) im ersten Fragebogen. Im zweiten Fragebogen liegen die durchschnittlichen Bewertungen bei 3.46 (SD=0.72) der Klasse A, bei 3.57 (SD=0.85) der Klasse B und bei 3.53 (SD=0.7) der Klasse C.

Sprachliche Verständlichkeit der Kommunikationsmittel

Nach dem Treatment wurden die Testpersonen gebeten auf einer Likert-Skala von 1-5 (1 = unverständlich, 5= sehr gut verständlich) einzutragen, wie verständlich die Sprache in den Kommunikationsmittel für sie war (*Diagramm 13*). Dabei bewertete die Klasse A die Verständlichkeit im Durchschnitt mit 3.59 (SD=1.12), die Klasse B mit 3.86 (SD=0.95) und die Klasse C mit 3.68 (SD=0.82).

Diagramm 12 | Bewertung der Schwierigkeit der Fragen – durchschnittliches Verständnis der Fragen in den Fragebögen I & II auf einer Likert-Skala von 1 (zu schwierige Fragen) bis 5 (sehr einfache Fragen).

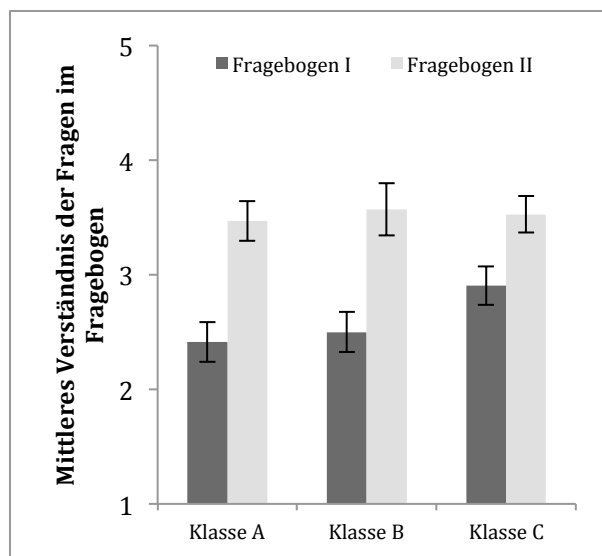
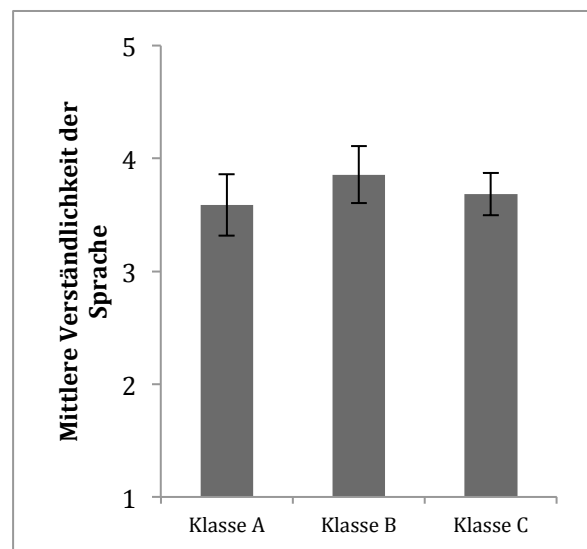


Diagramm 13 | Bewertung der sprachlichen Verständlichkeit der Kommunikationsmittel – durchschnittliche Bewertung der Verständlichkeit der Sprache in den Kommunikationsmitteln auf einer Likert-Skala von 1 (unverständlich) bis 5 (sehr gut verständlich).



Selbsteinschätzung des Vorwissens der Testpersonen

Die Testpersonen wurden im ersten Fragebogen danach befragt, wie gut sie ihr Wissen bezüglich der *Verbreitung von Permafrost* und der *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* einschätzen. Dazu wurden sie gebeten ihre persönliche Einschätzung auf einer Likert-Skala von 1-5 (1 = kein Fachwissen, 5 = breites Fachwissen) einzutragen (*Diagramm 14*).

Die Kenntnis des Themas *Verbreitung von Permafrost* wurde von allen drei Klassen im Durchschnitt höher bewertet (Klasse A: M=2.47, SD=0.94; Klasse B: M=2.71, SD=0.73; Klasse C: M=1.95, SD=0.80) als die Kenntnis über *Reaktionen von Permafrost auf Temperaturveränderungen* (Klasse A: M=2.24, SD=0.75; Klasse B: M=2.29, SD=0.73; Klasse C: M=1.57, SD=0.87). Die Selbsteinschätzungen des Vorwissens der Klasse C liegen bei beiden Themen unter denjenigen der anderen beiden Klassen.

Selbsteinschätzung des neu erlernten Wissens der Testpersonen

Im zweiten Fragebogen wurden die Testpersonen danach befragt, wie viel sie ihrer Meinung nach dazugelernt haben. Dazu wurden sie aufgefordert auf einer Likert-Skala (1 = nichts dazugelernt, 5 = sehr viel dazugelernt) einzutragen, wie hoch sie ihre persönliche Wissenssteigerung einschätzen (*Diagramm 15*).

Auch nach dem Treatment schätzten die Testpersonen der Klasse C ihre Wissenssteigerung bei beiden Themen im Durchschnitt tiefer ein als die anderen beiden Klassen. Höher bewertet wurde jeweils in allen drei Klassen die Wissenssteigerung zum Thema *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* (Klasse A: $M=3.88$, $SD=1.17$; Klasse B: $M=4.21$, $SD=0.58$; Klasse C: $M=3.74$, $SD=0.93$) als diejenige zum Thema *Verbreitung von Permafrost* (Klasse A: $M=3.59$, $SD=0.87$; Klasse B: $M=3.57$, $SD=0.85$; Klasse C: $M=3.26$, $SD=0.65$).

Diagramm 14 | Bewertung des Vorwissens der Testpersonen – durchschnittliche, subjektive Bewertung der Testpersonen über die Kenntnis der Themen *Verbreitung von Permafrost* und *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* vor dem Treatment auf einer Likert-Skala von 1 (kein Fachwissen) bis 5 (breites Fachwissen).

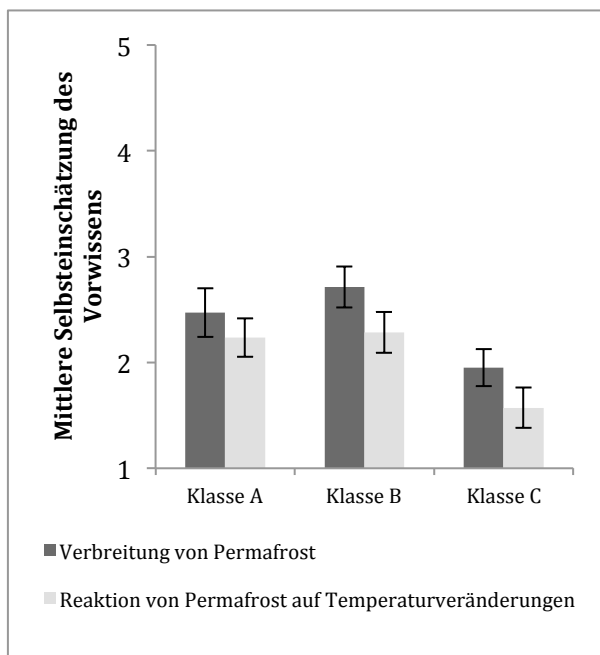
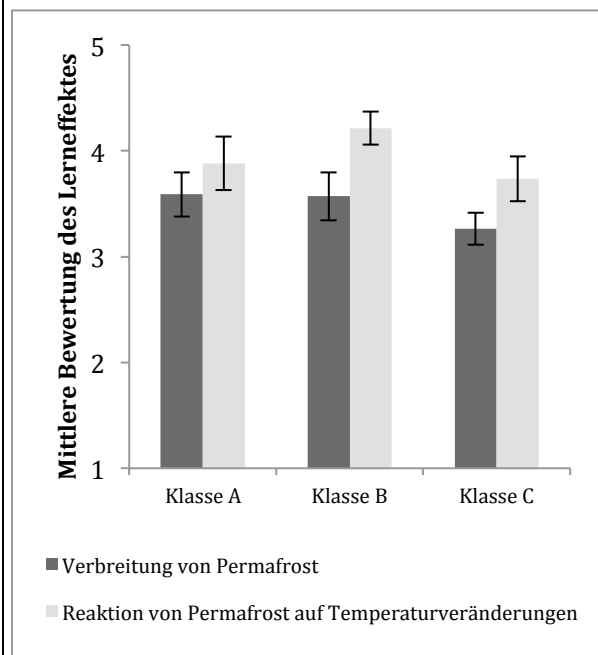


Diagramm 15 | Bewertung der Wissenssteigerung nach dem Treatment – durchschnittliche, subjektive Bewertung der Wissenssteigerung der Testpersonen zu den Themen *Verbreitung von Permafrost* und *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* nach dem Treatment auf einer Likert-Skala von 1 (nichts dazugelernt) bis 5 (sehr viel dazugelernt).

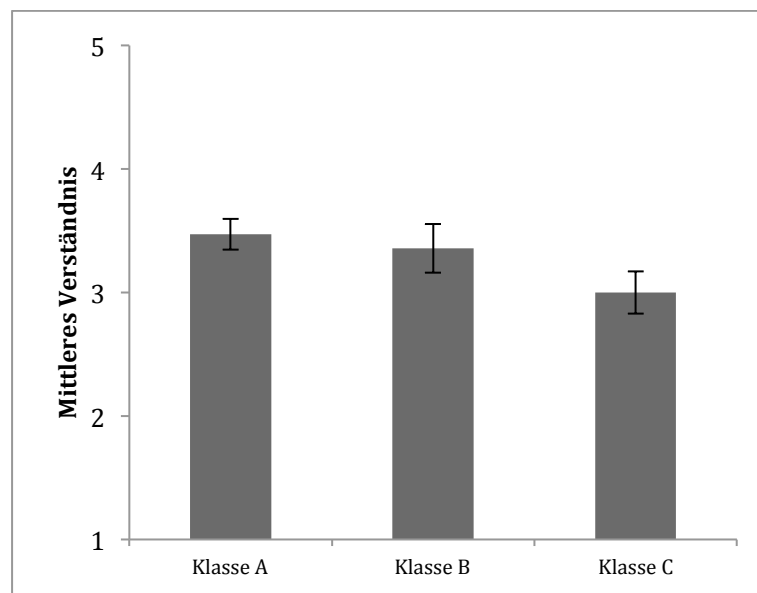


Selbsteinschätzung des inhaltlichen Verständnisses der Testpersonen

Abschliessend wurden die Testpersonen im zweiten Fragebogen danach befragt, wie gut sie den gesamten, kommunizierten Inhalt verstanden haben. Dazu wurden sie gebeten ihre persönliche Einschätzung auf einer Likert-Skala von 1-5 (1=überhaupt nicht verstanden, 5=sehr gut verstanden) einzutragen (*Diagramm 16*).

Die Testpersonen der Klasse A haben das Verständnis bzgl. des kommunizierten Inhaltes, gemäss ihren eigenen Einschätzungen im Durchschnitt mit 3.47 ($SD=0.51$) bewertet. Die Testpersonen der Klasse B schätzten ihr Verständnis des Inhaltes im Durchschnitt mit 3.35 ($SD=0.74$) und diejenigen der Klasse C mit 3 ($SD=0.75$) Bewertungspunkten ein. Die Klasse B wurde zusätzlich gebeten, den Nutzen der Illustrationen, im Hinblick auf das Gesamtverständnis, auf einer Likert-Skala von 1-5 (1=überhaupt nicht hilfreich, 5=sehr hilfreich) einzutragen. Dieser Nutzen wurde im Durchschnitt mit 4.36 ($SD=0.74$) bewertet.

Diagramm 16 | Bewertung des inhaltlichen Verständnisses – durchschnittliche, subjektive Bewertung des Verständnisses der kommunizierten Themen von den Testpersonen auf einer Likert-Skala von 1 (überhaupt nicht verstanden) bis 5 (sehr gut verstanden).



Korrelation: Verständnis (Selbsteinschätzung) vs. Testresultat

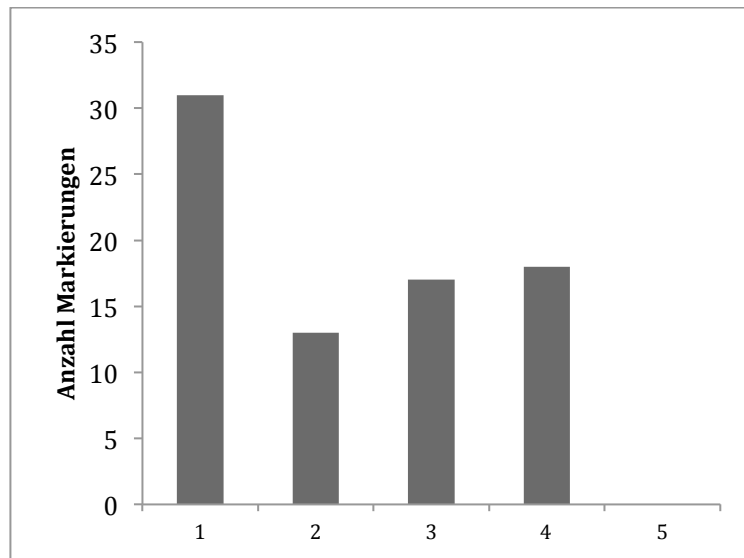
Die subjektive Einschätzung des inhaltlichen Verständnisses der Testpersonen wurde anhand einer Korrelationsanalyse mit den tatsächlichen Testresultaten der Klassen verglichen. Da die Daten der Testresultate nicht auf einer Intervall-Skala liegen, wurde die Korrelationsanalyse mit einem Kendall-Tau-b Test durchgeführt. Man beachte, dass die Leistung mit dem Prozentsatz nicht richtiger Antworten gemessen wurde, d.h. eine negative Korrelation bedeutet einen positiven Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung des Verständnisses der Testpersonen und der Anzahl tatsächlich korrekt beantworteter Fragen. Nach diesem Test wurde in der Klasse A eine signifikant ($p < 0.05$, zweiseitig) negative Korrelation ($r = -0.451$) zwischen der Leistung im Test und der Selbsteinschätzung des Verständnisses der Testpersonen gemessen. Auch bei der Klasse B wurde eine signifikant ($p < 0.05$, zweiseitig) negative Korrelation ($r = -0.516$) zwischen den beiden Variablen gemessen. Bei der Klasse C wurde eine leicht negative ($r = -0.104$), nicht signifikante ($p > 0.05$, zweiseitig) Korrelation zwischen den Variablen gemessen.

4.6 Meinungsfragen

Herausforderungen im Permafrost

Zu Beginn wurden die Testpersonen danach befragt, was ihrer Meinung nach die grössten Herausforderungen im Bereich Permafrost seien (*Diagramm 17*). Die Anzahl Markierungen sind in absoluten Zahlen angegeben und beziehen sich auf die Gesamtheit aller drei Klassen von 52 Testpersonen. Bei dieser Multiple Choice Aufgabe wurden *Naturkatastrophen im Zusammenhang mit tauendem Permafrost* (1) mit 31 Markierungen, von allen Befragten am häufigsten genannt. Das Verständnis, *wie Permafrost auf Temperaturveränderungen reagiert* (2), belegte mit 13 Markierungen den vorletzten und das *Verständnis der Permafrostverbreitung* (5) mit keiner Markierung den letzten Rang. Dazwischen lagen die Themen *Bauen im Permafrost* (3) mit 17 und das *Verständnis von Rückkoppelungseffekten* (4) mit 18 Markierungen. Es wurden keine weiteren Vorschläge im Textfeld genannt.

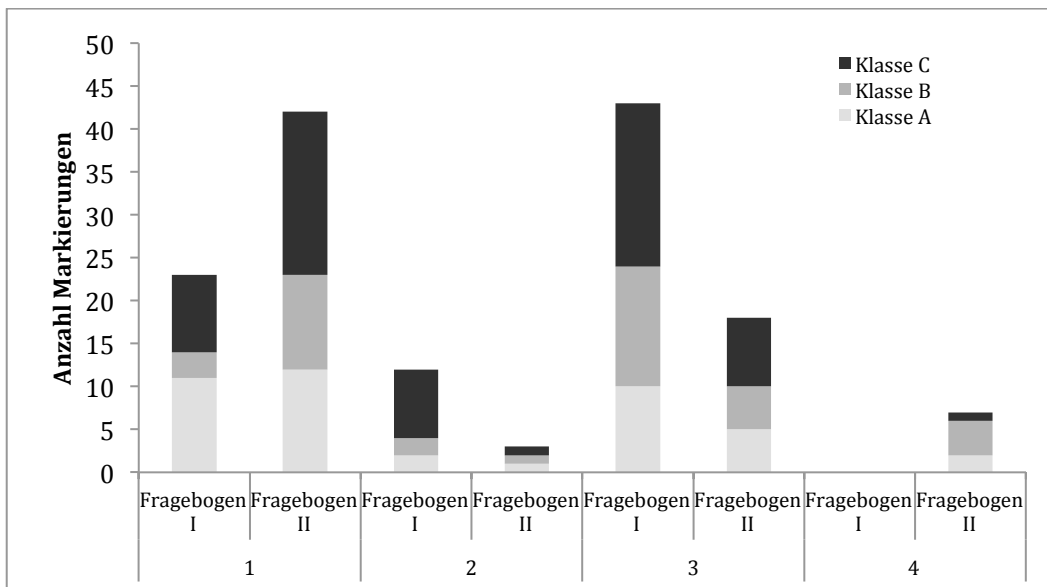
Diagramm 17 | Meinungsumfrage zu den grössten Herausforderungen im Bereich Permafrost – Anzahl Markierungen der Themen *Naturkatastrophen im Zusammenhang mit tauendem Permafrost (1)*, *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen (2)*, *Bauen im Permafrost (3)*, *Verständnis von Rückkoppelungseffekten (4)* und *Verständnis der Permafrostverbreitung (5)* zur Multiple Choice Frage nach den grössten Herausforderungen im Bereich Permafrost.



Beeinflussung der Permafrostverbreitung

Die Frage wodurch die Permafrostverbreitung am stärksten beeinflusst werde, beantworteten die meisten Testpersonen im ersten Fragebogen mit der *Höhenlage und geographischen Breite (3)* (43 Markierungen), gefolgt von den *lokalen topographischen und klimatischen Faktoren (1)* (23 Markierungen) und den *Klimazonen der Erde (2)* (12 Markierungen). Niemand war der Meinung, dass man diese Frage so nicht beantworten könne. Nach dem Treatment wurden die *lokalen topographischen und klimatischen Faktoren (1)* am häufigsten genannt (42 Markierungen), gefolgt von der *Höhenlage und geographischer Breite (3)* (18 Markierungen). Die Antwort *Klimazonen der Erde (2)* wurde nur noch dreimal markiert und die Antwort *kann man nicht sagen (4)* sieben Mal (*Diagramm 18*). Die Anzahl Antworten sind im *Diagramm 18* weiter in die Anzahl Antworten pro Klasse unterteilt. Bei der Interpretation muss man jedoch bedenken, dass es sich auch hier um absolute Zahlen handelt und in den Klassen eine unterschiedliche Anzahl Testpersonen befragt wurden. Nennenswert ist, dass alle Antworten von allen drei Klassen markiert bzw. eine Antwort von keiner Klasse markiert wurde.

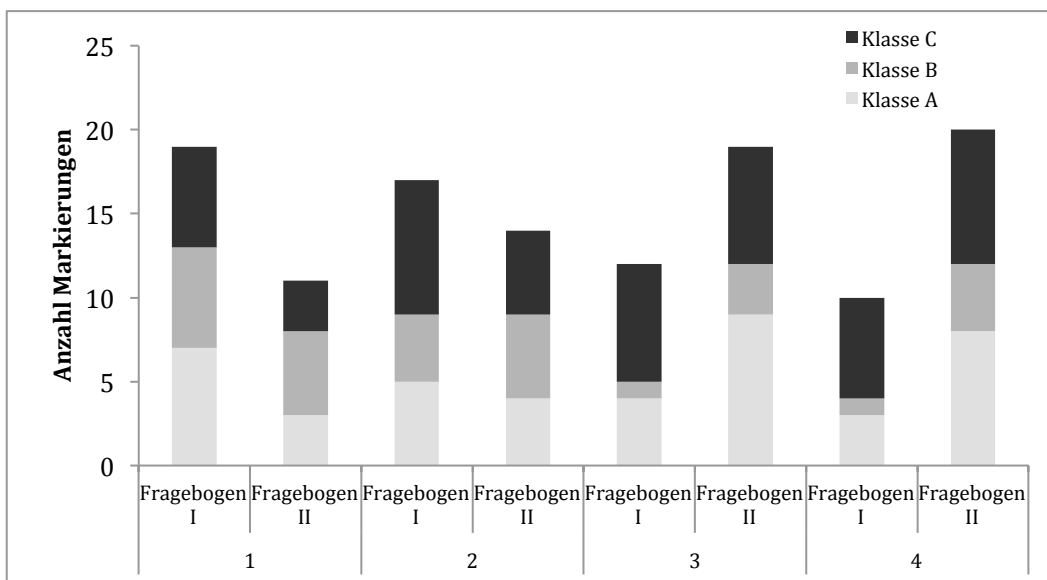
Diagramm 18 | Meinungsumfrage zu den Einflussfaktoren der Permafrostverbreitung – Anzahl Markierungen zu Vorschlägen von möglichen Einflussfaktoren auf die Permafrostverbreitung im Fragebogen I & II, unterschieden nach Häufigkeiten in den Klassen. 1 = lokale topographischen und klimatischen Faktoren, 2 = Klimazonen der Erde, 3 = Höhenlage und geographische Breite, 4 = kann man nicht allgemein sagen.



Räumliche Dimensionen von Permafrost

Die Frage, welche Dimension eine Permafrostverbreitung annehmen kann, wurde im ersten Fragebogen überwiegend mit einer grossräumigen, nach dem Treatment mit einer eher kleinräumigen Ausdehnung beantwortet. Die Antwort *101-1000 Kilometer* (1) wurde im ersten Fragebogen insgesamt 19 Mal markiert, gefolgt von den Antworten *1-100 Kilometer* (2) (17 Markierungen), *101-999 Meter* (3) (12 Markierungen) und *1-100 Meter* (4) (10 Markierungen). Im zweiten Fragebogen wurde die Antwort *101-1000 Kilometer* (1) insgesamt nur noch elf Mal markiert, gefolgt von den Antworten *1-100 Kilometer* (2) (15 Markierungen) und *101-999 Meter* (3) (19 Markierungen). Die Antwort *1-100 Meter* (4) wurde schlussendlich im zweiten Fragebogen mit 20 Markierungen am häufigsten gewählt (Diagramm 19).

Diagramm 19 | Meinungsumfrage zu räumlichen Dimensionen einer Permafrostverbreitung – Anzahl Markierungen zu Vorschlägen von möglichen räumlichen Dimensionen einer Permafrostverbreitung im Fragebogen I & II, unterschieden nach Häufigkeiten in den Klassen. 1 = 101-1000 Kilometer, 2 = 1-100 Kilometer, 3 = 101-999 Meter, 4 = 1-100 Meter.



5 Diskussion

5.1 Leistung

Drei Klassen des 5. Gymnasiums der Kantonsschule Urdorf wurden mittels dreier unterschiedlicher Kommunikationsmittel zu den Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität* von Permafrost informiert und zu ihrem Wissen dazu befragt. Die Klasse B, eine naturwissenschaftlich orientierte Klasse mit Schwerpunkt Biologie/Chemie, erzielte nach der Behandlung des Themas durch ein Kommunikationsmittel in gedruckter Text/Bild-Form ein signifikant besseres Resultat im anschliessenden Leistungstest als die anderen beiden Klassen. Diese haben dasselbe Thema in einer Textform (Klasse A, eine naturwissenschaftlich orientierte Klasse mit Schwerpunkt Mathematik/Physik) bzw. in einer digital-interaktiven Flash Animation (Klasse C, eine wirtschaftlich orientierte Klasse) behandelt (*Kapitel 4.3.2*). Mayer (2005) begründet eine bessere Lerneffizienz von multimedialen Lehrmitteln im Vergleich mit klassischen Lehrmitteln durch das Prinzip der dualen Kanäle aus der kognitiven Theorie multimedialen Lernens. Informationen durch einen Text mit Illustrationen präsentiert, werden besser verstanden und kognitiv verarbeitet, als wenn sie nur in verbaler Form kommuniziert werden. Diese Theorie kommt anhand der Testergebnisse der Klassen A und B zum Ausdruck. Die Frage stellt sich, warum die Klasse C im Vergleich mit der Klasse A im Leistungstest nicht wesentlich bessere Resultate erzielt hat. Immerhin wurde der Klasse C das Thema in Form einer digital-interaktiven Flash Animation präsentiert. Die Ermittlung des Vorwissens und einigen Hintergrundinformationen über die Testpersonen sollten weitere Anhaltspunkte liefern, um diese Frage zu beantworten.

Die Resultate im Leistungstest vor dem Treatment unterschieden sich zwischen der Klasse A und der Klasse C signifikant (*Kapitel 4.3.1*). Der Wissensstand der Klasse C liegt im Bezug auf die Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität* von *Permafrost* deutlich unter demjenigen der Klasse A. Die Annahme, beim Experiment von einer homogenen Stichprobe bzgl. Wissensstand ausgehen zu können, musste verworfen werden. Die durchschnittlich tiefere Bewertung des Interesses der Klasse C gegenüber den Themen weist zudem auf eine fehlende Motivation im Vergleich mit den anderen beiden Klassen hin. Gemäss Mayer (2011) ist es schwierig, rezipierte Informationen zu verarbeiten und zu mentalen Modellen weiter zu organisieren wenn die Motivation der Lernenden fehlt. Die Selbsteinschätzung des Verständnisses der Testpersonen nach dem Treatment korrelierte nicht mit den effektiven Testresultaten der Klasse C. Zwar war die Korrelation der anderen beiden Klassen auch nicht besonders hoch, aber nur diejenige der Klasse C war nicht signifikant. Die Testpersonen der Klasse C haben sich somit selber unterschätzt, denn ihre Testergebnisse waren besser als sie gedacht haben. Abschliessend sei erwähnt, dass obwohl die Testpersonen ihre Motivation nach dem Treatment bzw. den Spannungsfaktor der Kommunikationsmittel und den Lerneffekt in allen drei Klassen ähnlich bewerteten (*Kapitel 4.5*), die Klasse C nach dem Treatment einen ähnlichen Wissensstand erreichte wie die Klasse A.

Trotz der inhomogenen Ausgangslage zwischen den drei Untersuchungsgruppen lag das durchschnittliche Verbesserungspotential der Klasse A nach dem ersten Fragebogen bei 51.58% der Fragen, wobei die effektive Leistungssteigerung der Klasse im zweiten Fragebogen 19.69% betrug. Bei der Klasse B lag das Verbesserungspotential bei 56.94%, die effektive Leistungssteigerung der Klasse nach dem Treatment betrug 32.82%. Die Klasse C hätte sich potentiell um 60.32% verbessern können, verbesserte sich effektiv um 28.66% nach dem Treatment. Die effektive Leistungssteigerung der Klasse A lag signifikant unter derjenigen der Klassen B und C (*Kapitel 4.3.3*). Auffallend ist, dass die effektive Leistungssteigerung, die aus der Differenz der durchschnittlichen Anzahl nicht richtig

markierten Antworten einer Klasse zwischen dem ersten und dem zweiten Fragebogen berechnet wurde, zum grössten Teil aus denjenigen Fragen bestand, die vor dem Treatment mit *weiss nicht* markiert wurden. Diejenigen Fragen hingegen, die im ersten Fragebogen bereits falsch waren, wurden nach dem Treatment mit grosser Wahrscheinlichkeit auch wieder falsch beantwortet. Reinfried et al. (2008) betonen in diesem Zusammenhang die Hartnäckigkeit von subjektiven Theorien bzw. Alltagsvorstellungen. Es ist einfacher Lernenden neues Wissen beizubringen, als ihr bestehendes Wissen zu verändern. Obwohl versucht wurde in den Kommunikationsmitteln auf mögliche Alltagsvorstellungen der Testpersonen einzugehen und einen Konzeptwechsel gemäss Reinfried (2007) herbeizuführen, konnte nur wenig bestehendes (falsches) Wissen der Testpersonen verändert werden.

Sowohl im ersten als auch im zweiten Fragebogen wurde in allen drei Klassen eine Zunahme der Fehlerquoten gegen Ende des Leistungstests gemessen (*Kapitel 4.4*). Als Grund dafür lässt sich eine Zunahme des Schwierigkeitsgrades beim Thema *Temperatursensitivität* oder eine nachlassende Konzentration der Testpersonen gegen Ende des Leistungstests vermuten. Es stehen keine geeigneten Resultate zur Verfügung um diesen Effekt zu analysieren. Die Klasse C hat diejenigen Aussagen im ersten Fragebogen ohne Ausnahme mit *weiss nicht* beantwortet, bei welchen der Begriff *Temperatursensitivität* in der einleitenden Frage vorkommt. Es ist anzunehmen, dass der Begriff den Testpersonen nicht bekannt war und diese Fragen konsequent ausgelassen wurden. Es ist jedoch auch anzunehmen, dass der Begriff den anderen beiden Klassen nicht bekannt war und trotzdem einige korrekte Antworten markiert wurden. Die Klasse C hat im Vergleich mit den anderen beiden Klassen im Durchschnitt die meisten *weiss nicht*-Antworten in beiden Fragebögen markiert. Es spielt auch hier wahrscheinlich wieder die Motivation eine Rolle, wobei die Testpersonen der Klasse A und der Klasse B eher dazu bereit waren, sich mit Fragen auseinanderzusetzen, die sie auf den ersten Blick nicht verstanden haben. Die Testpersonen der Klasse C verloren eher die Motivation sich damit auseinanderzusetzen als diejenigen der Klasse A und der Klasse B.

5.2 Evaluation der Kommunikationsmittel durch Experten

Im nächsten Schritt werden die Resultate der Expertenbewertung analysiert, um eine Aussage über die Vergleichbarkeit der Kommunikationsmittel zu machen (*Kapitel 4.2*). In den Kommentaren der Evaluation der Kommunikationsmittel richteten sich viele Kritiken an den geographischen Inhalt, der bei allen drei Kommunikationsmitteln derselbe war. Die Validität der Expertenbefragung wie sie von Moosbrugger und Kelava (2012) beschrieben wird, wäre aus Sicht der Kommentaranalyse nicht erfüllt, da sie keine Auskunft über die Vergleichbarkeit der Kommunikationsmittel liefert. Die Evaluation richtete sich deshalb primär auf die quantitative Bewertung der Kriterien gemäss *Tabelle 9*. Daraus resultierend liegt die durchschnittliche Qualität der drei Kommunikationsmittel in einem Bereich von 5.81 (SD=0.80) Bewertungspunkten beim Text, 6.07 (SD=0.66) Bewertungspunkten bei der Text/Bild-Form und 5.97 (SD=0.57) Bewertungspunkten bei der digital-interaktiven Flash Animation. Auf eine Varianzanalyse wurde aufgrund des sehr kleinen Stichprobenumfangs (10 Experten) verzichtet. Die Evaluation ist deshalb mit Vorsicht zu werten, liefert aber trotzdem eine Auskunft über die Vergleichbarkeit der drei Kommunikationsmittel. Das *Diagramm 2* deutet darauf hin, dass die Evaluationskriterien relativ gleichmässig bewertet worden sind und nicht eine sehr hohe Bewertung eines Kriteriums eine tiefe Bewertung eines anderen Kriteriums ausgeglichen hat. Mayer (2005) macht darauf aufmerksam, dass die Qualität eines Lehrmittels einen grösseren Einfluss auf die Leistung von Lernenden hat als das Medium selbst. Im vorliegenden Experiment lässt sich sagen, dass der geographisch-

physikalische Inhalt den Testpersonen in drei qualitativ vergleichbaren Kommunikationsmitteln präsentiert wurde. Vergleichbar sind die Kommunikationsmittel untereinander im Bezug auf die sechs bewerteten Kriterien, wie sie im *Kapitel 3.5* erläutert werden.

5.3 Systematische Fehlerquellen

Im folgenden Schritt sollen systematische Fehlerquellen identifiziert werden, d.h. Fehler, die aufgrund methodologischer Faktoren gemacht wurden und nicht auf die Medienwirkung zurückzuführen sind. Zwei solcher Faktoren sind die Verständlichkeit der Fragen und die sprachliche Verständlichkeit der Kommunikationsmittel. Die Testpersonen wurden danach befragt, wie gut sie die Fragen in den Fragebögen und die Sprache in den Kommunikationsmitteln verstanden haben (*Kapitel 4.5*). Vor dem Treatment wurde die Verständlichkeit der Fragen von allen drei Klassen relativ tief bewertet. So weisen die Bewertungen darauf hin, dass die Klasse A und die Klasse B nach eigenen Angaben im Durchschnitt nur etwa die Hälfte der Fragen im Fragebogen vollständig verstanden hat. Die Klasse C bewertete interessanterweise die Verständlichkeit der Fragen im Durchschnitt am höchsten. Trotzdem wurden auch von der Klasse C immer noch 40% der Fragen nicht vollständig verstanden. Nach dem Treatment wurden nach eigenen Angaben der Testpersonen in der Klasse A im Durchschnitt etwa 30% der Fragen, in der Klasse B 29% der Fragen und in der Klasse C ebenfalls 29% der Fragen nicht richtig verstanden. Die sprachliche Verständlichkeit der Kommunikationsmittel wurde im Durchschnitt zwischen 3.6 und 3.9 von 5 (sehr gut verständlich) bewertet. Etwa ein Viertel des Textes wurde also in allen drei Klassen sprachlich nicht vollständig verstanden. Diese Bewertungen müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden. Der Begriff *Verständlichkeit* lässt einen grossen Interpretationsraum offen. Eine nach eigenen Angaben fünfzig prozentige Verständlichkeit muss nicht heissen, dass die Hälfte der Fehler im anschliessenden Leistungstest auf eine Unverständlichkeit zurückzuführen sind, denn auch eine nicht vollständig verstandene Frage führt in vielen Fällen zum richtigen Resultat und umgekehrt. Es soll lediglich gezeigt werden, wie sicher sich die Testpersonen nach eigener Einschätzung bei ihren Antworten aufgrund des sprachlichen Verständnisses und des Verständnisses der Fragen im Durchschnitt waren. Die Schlussfolgerung davon ist, dass im ersten Fragebogen mehr falsche Antworten (und solche die mit *weiss nicht* beantwortet wurden) auf eine Unverständlichkeit der Fragen zurückzuführen sind als im zweiten. Ausserdem wurde ein gewisser Teil der Fragen nach dem Treatment falsch und mit *weiss nicht* beantwortet, weil die Testpersonen sprachlich nicht alles verstanden haben. Zetsche (2004) betont in diesem Zusammenhang die Verständigung zwischen den Gesprächspartnern, wobei in diesem Fall die Kommunikatorrolle vom Kommunikationsmittel übernommen wird. Formale Hindernisse führen in diesem Fall zu keinem hundert prozentigen Verständnis zwischen Kommunikator und Rezipient.

5.4 Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Im Anschluss an Hagenhoff et al. (2007) soll im Folgenden eine vergleichende Analyse der drei Kommunikationsmittel stattfinden. Der Fokus liegt auf den Gemeinsamkeiten und den Unterschieden der Testresultate der drei Unterrichtsklassen (*Kapitel 4.4*). Die Klasse C verzeichnete nach dem Treatment im Fragebereich der allgemeinen Aussagen über die räumliche Verbreitung von Permafrost durchschnittlich höhere Fehlerquoten im Leistungstest als die anderen beiden Klassen. In der digital-interaktiven Flash Animation wurden viele der Faktoren, die eine Permafrostverbreitung kleinräumig beeinflussen können, in einem 3-dimensionalen Modell dargestellt. Diese konnten interaktiv ein- und ausgeblendet werden.

Nun stellt sich die Frage, ob die Testpersonen die Interaktivität des Modells überhaupt genutzt haben, obwohl sie in der Animation dazu aufgefordert wurden. Es könnte auch sein, dass die Testpersonen zwar die Interaktivität des Modells genutzt, die Erklärung dazu aber nicht gelesen haben. Eine Herausforderung im Rahmen dieser Untersuchung besteht in der Nachvollziehbarkeit der vollumfänglichen Nutzung aller Elemente einer multimedialen Kommunikationsform durch die Testpersonen und in einer optimalen Kombination aus Bild- und Textelementen. Die Gestaltung der Kommunikationsmittel geht zurück auf die Empfehlungen von Rey (2008). Wie stark sich jedoch auch eine optimale Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen gegen eine fehlende Motivation durchsetzen kann bleibt fraglich.

Die Aussage, dass die Bodentemperatur eines Permafrostbodens auch linear zur Lufttemperatur ansteigen kann, z.B. bei einem Boden ohne Eisgehalt, wurde in den Kommunikationsmitteln nicht speziell erwähnt, ist aber korrekt. Es wurde sehr oft erwähnt, dass in den meisten Fällen die Temperatur eines Permafrostbodens bei steigenden Lufttemperaturen immer langsamer ansteigt. Trotzdem hatten die Klassen B und C eine deutlich geringere Fehlerquote bei der Frage, ob eine Bodentemperatur auch linear zum Lufttemperaturanstieg ansteigen könne. Die Illustration eines steigenden Temperaturverlaufs eines Permafrostbodens mit einem gewissen Eisgehalt verhalf den Testpersonen der Klasse B und der Klasse C offensichtlich dazu, ihr mentales Modell auf eine neue, unbekannte Situation zu übertragen und anzupassen. Die gleiche Situation wurde bei der Frage festgestellt, ob Permafrost auch unter der Waldgrenze vorkommen kann. Es wurde in den Kommunikationsmitteln zwar nicht speziell erwähnt, doch ist es möglich aus den permafrostbeeinflussenden Faktoren abzuleiten, dass Permafrost durchaus auch unter der Waldgrenze vorkommen kann. Die Klassen B und C hatten auch bei dieser Frage eine deutlich geringere Fehlerquote als die Klasse A. Es scheint so, als würden die Testpersonen der Klasse A diejenigen Fragen richtig beantworten, die auf konkreten Aussagen im Text basieren (*Wissen* und *Verstehen* gemäss der Taxonomie von Bloom). Eine höhere Fehlerquote erreichen sie jedoch bei den Fragen, bei denen es darum geht ihr Wissen auf andere Situationen zu übertragen (*Anwenden* und *Synthese* gemäss der Taxonomie von Bloom). Mayer (2011) betont, dass im Arbeitsgedächtnis die verbalen und bildlichen Informationen kombiniert und zu mentalen Modellen organisiert werden. Es sei für die Effizienz von Lehrmitteln von Vorteil beide Kanäle zu aktivieren (*Kapitel 2.6.1*). Das Experiment deutet darauf hin, welchen Einfluss das Weglassen des bildlichen Kanals auf die kognitive Verarbeitung von Informationen und in diesem Fall auf die Leistung der Testpersonen hat.

Die Klasse C wies die meisten Fragen der drei Klassen auf, bei welchen im zweiten Fragebogen die Fehlerquote höher lag als im ersten. Die Fehlerquote war bei den betroffenen Fragen zwar nicht sehr hoch, dafür streuten die Fälle ohne ein bestimmtes Muster über den ganzen zweiten Fragebogen. Es scheint so, als hätten die Kommunikationsmittel in allen drei Klassen nicht nur Wissen vermittelt, sondern in manchen Fällen bestehendes Wissen verunsichert. Dabei kam dieser Effekt bei der Klasse C am deutlichsten zum Vorschein. Fragen bzw. Aussagen, bei denen alle drei Klassen im zweiten Fragebogen eine höhere Fehlerquote hatten als im ersten sind folgende: *Die Lufttemperatur beeinflusst das Permafrostvorkommen (Frage 15 - richtig)* und *wie schnell ein Permafrostboden auftaut ist abhängig vom Temperaturgefälle Boden-Luft (Frage 46 - richtig)*. Es stellt sich die Frage, ob die Testpersonen verunsichert wurden, da in den Kommunikationsmitteln oft erwähnt wird, dass das Permafrostvorkommen nicht *nur* von der Lufttemperatur abhängig ist. Diese starke Betonung anderer Faktoren, die das Permafrostvorkommen beeinflussen, könnte zur Vernachlässigung fundamentaler Faktoren wie der Lufttemperatur führen. Jäckel (2011:206) führt in diesem Zusammenhang den Begriff *Priming* ein. Dabei erhalten Themen mit hoher

Medienpräsenz eine höhere Priorität. Die Aussage, dass die Bodentemperatur eines Permafrostbodens mit einer Verzögerung auf eine ansteigende Lufttemperatur reagieren kann (*Frage 41 - richtig*), wurde von der Klasse B und der Klasse C im zweiten Fragebogen mit einer höheren Fehlerquote beantwortet als im ersten Fragebogen. Die Testpersonen waren in diesem Fall damit konfrontiert, eine visuelle Information in verbale Mittel umzusetzen. Da die Testpersonen der Klasse A nie ein Bild von der Situation einer ansteigenden Bodentemperatur gesehen haben, war für sie der Kausalzusammenhang aus dem Text eindeutig. Rey (2008) betont in diesem Zusammenhang die *Passung* der Informationsabfrage auf die Informationsdarbietung, die zum besseren Ergebnis der Klasse A bei dieser Frage führte (*Kapitel 2.8*).

5.5 Relevanz und subjektive Vorstellungen der Testpersonen

Im letzten Teil dieser Diskussion sollen die Fragen zur Relevanz und zu subjektiven Vorstellungen der Testpersonen analysiert werden. Zur Frage, welches die grössten Herausforderungen beim richtigen Verständnis im Bereich Permafrost sind, wurden *Naturkatastrophen* am häufigsten markiert. Die Themen *Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen* und das *Verständnis der Permafrostverbreitung* erreichten mit 13 und keiner Markierung den vorletzten und letzten Rang (*Kapitel 4.6*). Es stellt sich die Frage, ob die Testpersonen überhaupt wissen, was mit der heterogenen Verbreitung und der Temperatursensitivität gemeint ist und dass diese zwei Charakteristiken die Basis vieler Prozesse im Bereich Permafrost bilden. *Naturkatastrophen* sind allgemein sehr medienpräsent, was gemäss Jäckel (2011:206) zu einem Priming-Effekt und bei dieser Umfrage zur Einstufung von Naturkatastrophen als grösste Herausforderung führte. Natürlich gehören Naturkatastrophen zu den grossen Herausforderungen im Bereich Permafrost. In dieser Frage ging es aber darum, zu schauen, wie viele Testpersonen sich über die zu Grunde liegenden Charakteristiken Gedanken machen. Das Resultat bestätigt schlussendlich die Relevanz einer differenzierten Kommunikation der beiden Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität*. Gleichzeitig wurde das persönliche Interesse der Testpersonen gegenüber der *Temperatursensitivität* höher eingestuft als die *Permafrostverbreitung* und das Vorwissen zum Thema *Temperatursensitivität* tiefer als dasjenige zum Thema *Permafrostverbreitung* (*Kapitel 4.5*). Dass die Testpersonen bei diesen Bewertungen durch ihre fehlende Kenntnis des Themas *Temperatursensitivität* geleitet wurden, wäre denkbar.

Bei den Meinungsfragen zu permafrost-beeinflussenden Faktoren und einer möglichen räumlichen Dimensionen von Permafrost konnten ebenfalls Priming-Effekte beobachtet werden (*Kapitel 4.6*). Die Testpersonen liessen sich aber auch sehr leicht beeinflussen. Das führte dazu, dass die Meinungen der Testpersonen aus dem ersten Fragebogen sehr schnell verworfen wurden und sich die Testpersonen des eben rezipierten Inhaltes bedienten, ohne das neu erlernte Wissen in Bezug zu ihrem bereits bestehenden Wissen zu setzen. Vor allem bei der räumlichen Dimension von Permafrost wurde im ersten Fragebogen öfters eine grossräumige Skala markiert. Nach dem Treatment eher eine kleinräumige, obwohl die Markierung aller Dimensionen korrekt gewesen wäre. Bei der Frage welche Faktoren die Permafrostverbreitung am stärksten beeinflussen, wurde nach dem Treatment v.a. die Antwort *lokale klimatische und topographische Faktoren* markiert, da dies auch ausdrücklich kommuniziert wird. Dennoch kann man diese Aussage nicht verallgemeinern, was zur korrekten Antwort *kann man nicht sagen* führen würde. Die Testpersonen wurden schlussendlich stark von den Kommunikationsmitteln beeinflusst und gefordert. Wo eine Antwort quasi offensichtlich war, wurde sie verwendet, ohne den zusätzliche Aufwand, die Information in einen Kontext zu stellen.

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Das Ziel der Arbeit wurde teilweise erreicht. Die drei Kommunikationsmittel Text, Text/Bild und die digital-interaktive Flash Animation dienten als Informationsträger der Themen *Heterogenität* und *Temperatursensitivität von Permafrost* und wurden einem lernenden Publikum präsentiert. Die vergleichende Analyse stellte sich als grosse Herausforderung dar, da nicht, wie ursprünglich angenommen, von einer homogenen Ausgangslage bzgl. Wissensstand und Motivation der Testpersonen ausgegangen werden konnte. Die inhomogene Ausgangslage der drei Klassen hatte einen grösseren Einfluss auf unterschiedliche Testergebnisse als die Kommunikationsmittel. Die deutlich tiefere Motivation der Klasse C hatte die grössten Auswirkungen auf Unterschiede in den Testresultaten im Vergleich zu den anderen beiden Klassen. Alle Resultate der vorliegenden Untersuchung beziehen sich somit auf diese konkrete Befragungssituation und lassen sich nur beschränkt verallgemeinern. Dennoch konnten einige unterschiedliche und gemeinsame Wirkungen der drei Kommunikationsmittel auf die Testpersonen festgestellt werden, die eine vergleichende Analyse ansatzweise ermöglichen und Hinweise auf geeignete Methoden zur Wissensvermittlung im Bereich der *Wissenschaftskommunikation in der Geographie* liefern; (1) Die Klasse A hatte nach der Rezeption des Textes die grösste Mühe beim erfolgreichen Anwenden der rezipierten Theorie in konkreten Situationen. (2) Alle drei Kommunikationsmittel erwiesen sich nicht *nur* als lernförderlich, sondern führten in manchen Fällen zu einer Verunsicherung von bereits bestehendem, korrektem Wissen. Am deutlichsten trat dieser Effekt bei der digital-interaktiven Flash Animation auf. (3) Mit der Text/Bild-Form wurde der grösste Erfolg bei einem Konzeptwechsel bei den Testpersonen erreicht, d.h. es konnten im Verhältnis am meisten der falsch beantwortete Fragen aus dem ersten Fragebogen nach dem Treatment korrekt beantwortet werden.

Zur Untersuchungsfrage, mit welchem Kommunikationsmittel sich die Themen am lernförderlichsten kommunizieren lassen, lässt sich sagen, dass die beiden multimedialen Kommunikationsmittel deutlich lernfördernder waren als der Text ohne Bilder (*Kapitel 4.3.3*). Aufgrund unterschiedlicher Ausgangslagen lässt sich nach dem Experiment jedoch nicht sagen, ob die multimediale Text/Bild-Form oder die digital-interaktive Flash Animation zu einem besseren Verständnis der Sachverhalte geführt hat. Hingegen ist der Effekt nicht zu vernachlässigen, dass die Klasse C, die das kleinste Vorwissen und die kleinste Motivation bzgl. des Themas hatte, sich nach dem Treatment auf einem ähnlichen Wissensniveau befand wie die Klasse A, die zu Beginn das grösste Vorwissen hatte.

Der Text war das einzige Kommunikationsmittel im Experiment, welches nicht multimedial präsentiert wurde, also über keine bildliche Komponenten verfügte. Wenn der relativ geringe Aufwand einer zusätzlichen Visualisierung mit der deutlich besseren Lerneffizienz von multimedialen Lehrmitteln verglichen wird, kann man von visualisierten Informationen in der Geographiedidaktik und der Wissenschaftskommunikation in der Geographie nur profitieren. Zur Herstellung der digital-interaktiven Flash Animation wurde in dieser Arbeit sehr viel Zeit investiert. Das Resultat fiel eher bescheiden aus. In erster Linie waren das Interesse und die Motivation der Testpersonen dafür verantwortlich, dass keine besseren Resultate erzielt worden sind. Die Frage stellt sich jedoch, ob sich eine aufwändige, digitale Darstellung lohnt, wenn bereits zu Beginn klar ist, dass der *Inhalt* des Kommunikationsmittels für ein Desinteresse seitens der Rezipienten verantwortlich ist. Im vorliegenden Experiment konnte die digital-interaktive Flash Animation zur Lerneffizienz der Testpersonen beitragen. Doch hätte eine beliebige, qualitativ gleichwertige, multimediale Kommunikationsform vielleicht zu ähnlichen Resultaten geführt. Irgendwann wird ein Punkt erreicht, bei welchem auch die

Darstellungsform ein Desinteresse und eine fehlende Motivation von den Rezipienten nicht mehr ersetzen kann. Ein wichtiger Teil bei der Herstellung geeigneter Kommunikationsformen in der Geographie ist deshalb, die Kenntnis der Motivation und des Vorwissens von Rezipienten.

Die Methodik der vorliegenden Arbeit unterliegt einer grossen Kritik, da eine homogene Stichprobe fundamental ist, um lehrmittelabhängige Leistungsunterschiede zwischen den Testpersonen festzustellen. Um klassenabhängige Leistungsunterschiede zu eliminieren, hätte man idealerweise die Unterrichtsklassen in drei Gruppen geteilt, wobei jeweils in jeder Klasse alle drei Kommunikationsmittel zum Einsatz gekommen wären. Eine wichtige Erkenntnis ist dennoch, dass Pauschalvergleiche von Kommunikations- und Lehrmitteln u.U. zu konsistenten Ergebnissen führen können, wenn die methodologischen Rahmenbedingungen kontrolliert und erfasst werden. Die relative Bewertung von Medien durch unabhängige Experten kann sich als wichtiges Instrument durchsetzen, um eine Auskunft über die Vergleichbarkeit von Kommunikationsmitteln zu geben. Der Bewertungsbogen der Kommunikationsmittel in dieser Arbeit wäre mit weiteren Kriterien ausbaufähig, womit man die Validität steigern könnte. Die Umfrage bildet im Experiment ein solides Werkzeug, welches einerseits Informationen über die Leistung, sowie subjektive Bewertungen und Vorstellungen der Testpersonen erfasst. Die Leistung kann in ein richtiges bzw. falsches Wissen und kein Wissen gegliedert werden, was eine Rolle bei der Forschung im Bereich von Alltagsvorstellungen spielt. Auch die Darstellung der nicht richtig beantworteten Fragen hat sich bewährt, bei welcher die Fehlerquellen und Fehlerquoten zusammen dargestellt wurden. Dies ermöglicht den Überblick über die Stärken und Schwächen von Testpersonen oder Kommunikationsmitteln.

Die vorliegende Arbeit dient als Ansatz zur vergleichenden Analyse der drei Kommunikationsmittel *Text*, *Text/Bild* und einer *digital-interaktiven Flash Animation* und soll mit den gewonnenen Erkenntnissen dazu beitragen, künftige Medienvergleiche im Bereich der Wissenschaftskommunikation in der Geographie zu unterstützen. Vor allem soll auf die Herausforderungen und die Schwierigkeiten dabei aufmerksam gemacht und auf geeignete Methoden zur Reliabilitätsabschätzung der Messresultate hingedeutet werden. Wie bereits in dieser Masterarbeit wird sich die zukünftige Forschung im Bereich der Geographiedidaktik mit vergleichenden Analysen von multimedialen Lehrmitteln auseinandersetzen müssen, um Methoden herzustellen, die es erlauben Lernumgebungen möglichst lernförderlich zu gestalten. Weiter könnte sich der Fokus auf die Systematisierung von wissenschaftskommunizierenden Medien richten, um für verschiedene Situationen und Rezipientengruppen eine standardisierte Anleitung für eine möglichst effiziente Kommunikation eines Sachverhaltes anzubieten. Auch in der Forschung im Bereich von Alltagsvorstellungen und naiver Geographie liegt ein grosses Potential für die Umsetzung von lerneffizienten Kommunikationsmitteln. Aus der Sicht des physisch-geographischen Inhaltes besteht grosser Kommunikationsbedarf, wie dies u.A. im *Kapitel 5.5* deutlich wurde.

7 Literatur

- BLOOM, S. (1976): *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*, 5. Aufl. Weinheim: Beltz Verlag.
- BOECKLI, L., BRENNING, A., GRUBER, S., NOETZLI, J. (2012): A statistical approach to modelling permafrost distribution in the European Alps or similar mountain ranges. In: *The Cryosphere Discuss.*, 6: 125-140
- BONFADELLI, H., JARREN, O., SIEGERT, G. (2010): *Einführung in die Publizistikwissenschaft*, 3. Auflage. Stuttgart: UTB.
- BRAKE, M.L., WEITKAMP, E. (2010): *Introducing Science Communication: A Practical Guide*. Hampshire: Palgrave MacMillan Ltd.
- BURNS, T., O'CONNOR, D., STOCKMAYER, S. (2003): Science Communication: A contemporary definition. In: *Public understanding of science*, 12(2): 183-202.
- CHRISTIANSEN, H.H., ETZELMÜLLER, B., ISAKSEN, K., JULIUSSEN, H., FARBROT, H., HUMIUM, O., JOHANSSON, M., INGEMAN-NIELSEN, T., KRISTENSEN, L., HJORT, J., HOLMLUND, P., SANNEL, A.B.K., SIGSGAARD, C., AKERMAN, H.J., FOGED, N., BLIKRA, L.H., PERNOSKY, M.A., ODEGARD, R.S. (2010): The thermal state of permafrost in the nordic area during the international polar year 2007-2009. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(2): 156-181.
- EGENHOFER, M.J., MARK, D. (1995): Naive Geography. In: *Spatial Information Theory: International Conference, COSIT 1995, Vol. 988*. Berlin: Springer-Verlag: 1-15.
- FIELD, A.P. (2009): *Discovering Statistics Using SPSS: (And Sex Drugs and Rock'n'Roll)*, 3rd Edition. London, UK: SAGE Publications Ltd.
- FRENCH, H.M. (2007): *The Periglacial Environment*. John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester: 458ff.
- GRUBER, S. (2011): Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. In: *The Cryosphere Discuss.*, 5: 1547-1582
- GRUBER, S. (2012): Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. In: *The Cryosphere Discuss.*, 6: 221-233
- HAEBERLI, W., NOETZLI, J., ARENSEN, L., DELALOYE, R., GÄRTNER-ROER, I., GRUBER, S., ISAKSEN, K., KNEISEL, C., KRAUTBLATTER, M., PHILLIPS, M. (2010): Mountain permafrost: development and challenges of a young research field. In: *Journal of Glaciology, Vol. 56, No. 200*: Cambridge: 1043-1058.
- HAGENHOFF, S., SEIDENFADEN, L., ORTELBACH, B., SCHUMANN, M. (2007): *Neue Formen der Wissenschaftskommunikation - Eine Fallstudienuntersuchung*. Göttingen: Universitätsverlag.

- HARDT, S. (1992): Physics, Naive. In: *Encyclopedia of Artificial Intelligence, 2. Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2: 1147-1149.
- HAYES, P. (1978): The Naive Physics Manifesto. In: *Expert Systems in the Microelectronic Age*. Edingburgh: Edingburgh University Press: 242-270.
- HIEN, K., RÜMPLER, S. (2008): *Grafische Gestaltung in Naturwissenschaften und Medizin: Wissenschaftliche Informationen vermitteln und präsentieren*. Freiburg: Spektrum Akademischer Verlag.
- JÄCKEL, M. (2011): *Medienwirkungen. Ein Studienhandbuch zur Einführung, 5. Auflage*. Heidelberg: Springer VS Verlag.
- KADEN, B. (2009): *Library 2.0 und Wissenschaftskommunikation*. Berlin: Simon Verlag für Bibliothekswissen.
- KELLER, F., ZEHNDER, U., EGLI-BROZ, H. (2008): *Permafrost und Klimawandel, Themeneinheit für den Geographieunterricht – Material für Lernende*. Compendio Bildungsmedien AG, Zürich.
- KUNCZIK, M., ZIPFEL, A. (2005): *Publizistik. Ein Studienhandbuch, 2. Auflage*. Böhlau: UTB.
- MARCHENKO, S., ISHIKAWA, M., SHARKHUU, N., JIN, H., LI, X., LIN, Z., YABUKI, H., BROWN, J. (o.J.): *Distribution and Monitoring of Permafrost in Central and Eastern Asia*
- MARTIN, D.W. (2008): *Doing Psychology Experiments, 7th Edition*. Belmont, CA: Thomson/Wadsworth.
- MAYER, R.E. (1997): Multimedia learning: Are we asking the right questions? In: *Educational Psychologist*, 32: 1-19.
- MAYER, R.E. (2005): *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- MAYER, R.E. (2011): *Applying the Science of Learning*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- MOOSBRUGGER, H., KELAVA, A. (2012): *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*, Berlin: Springer.
- MUNACK, H., SCHRÖDER, H. (2009): Der Wärmehaushalt periglazialer Hochgebirgsböden - Zusammenhänge zwischen Bodentiefe und Frostwechseln (Nördlicher Tian Shan, Kasachstan). In: *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal*, 58/1, Hannover: 70-85
- NÖTZLI, J., GRUBER, S., HAEBERLI, W. (2006): *3D-Modellierung der thermischen Bedingungen im Bereich des Gipfelgrates der Zugspitze*. Glaciology and Geomorphodynamics Group, Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

- REINFRIED, S. (2006): Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. In: *Geographie heute*, 243, Seelze: Friedrich Verlag GmbH: 38-43.
- REINFRIED, S. (2007): Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorie am Beispiel des Conceptual Change. In: *Geographie und Schule*, 29, Heft 168. Hallbergmoos: Aulis Verlag: 19-28.
- REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2008): Der Treibhauseffekt – Folge eines Lochs in der Atmosphäre? Wie sich Schüler ihre Vorstellungen bewusst machen und sie verändern können. In: *Geographie heute*, 265, Seelze: Friedrich Verlag GmbH: 24-33.
- REY, G.N. (2008): *Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen: zur Gestaltung dynamischer, interaktiver Visualisierungen*. Saarbrücken: VDM.
- RISEBOROUGH, D., SHIKLOMANOV, N., ETZELMÜLLER, B., GRUBER, S., MARCHENKO, S. (2008): Recent advances in permafrost modelling. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 20(1): 1-14.
- ROMANOVSKY, V.E., GRUBER, S., INSTANES, A., JIN, H., MARCHENKO, S.S., SMITH, S.L., TROMBOTTO, D., WALTER, K.M. (2007): Frozen Ground. In: *UNEP Global Outlook for Ice and Snow*. United Nations Environment Program: 181-200.
- ROMANOVSKY, V.E., SMITH, S.L., CHRISTIANSEN, H.H. (2010a): Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007-2009: a synthesis. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(2): 106-116.
- ROMANOVSKY, V.E., DROZDOV, D.S., OBERMAN, N.G., MALKOVA, G.V., KHOLODOV, A.L., MARCHENKO, S.S., MOSKALENKO, N.G., SERGEEV, D.O., UKRAINTSEVA, N.G., ABRAMOV, A.A., GILICHINSKY, D.A., VASILIEV A.A. (2010b): Thermal state of permafrost in Russia. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(2): 136-155.
- SALZMANN, N. (2006): *The use of Results from Regional Climate Models for Local-scale Permafrost Modelling in Complex High-mountain Topography - Possibilities, Limitations and Challenges for the Future*. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.
- SCHOLL, A. (2009): *Die Befragung, 2. Auflage*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft GmbH.
- SCHULMEISTER, R. (2002): *Taxonomie der Interaktivität von Multimedia - ein Beitrag zur aktuellen Metadaten-Diskussion*. ti+ti, 4, 193-199.
- SMITH, S.L., ROMANOVSKY, V.E., LEWKOWICZ, A.G., BURN, C.R. ALLARD, M., CLOW, G.D., YOSHIKAWA, K., THROOP, J. (2010): Thermal State of permafrost in North America: a contribution to the International Polar Year. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(2): 117-135.
- SWELLER, J. (1988): Cognitive load during problem solving: Effects on learning. In: *Cognitive Science*, 12, 257-285.

- SWELLER, J. (2005): Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In: R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 19-30). Cambridge, MA. Cambridge University Press.
- WEIDENMANN, B. (1995): Multimedia, Multicodierung, Multimodalität. In: *Issing, L. & Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim: Psychologie-Verl.-Union, 65-84.
- WILLIAMS, P.J., SMITH, M.W. (1989): *The Frozen Earth: Fundamentals of Geocryology*. Cambridge University Press: Cambridge: 83ff.
- ZETSCHKE, I. (2004): *Wissenschaftskommunikation. Streifzug durch ein ,neues' Feld*. Lemmens Verlags- und Mediengesellschaft GmbH: Bonn.

8 Anhang

A Unterlagen zum Experiment

A1 Infoblatt *Einführung in den Permafrost*

Permafrost – Eine Einführung

Einführung: Was ist Permafrost?

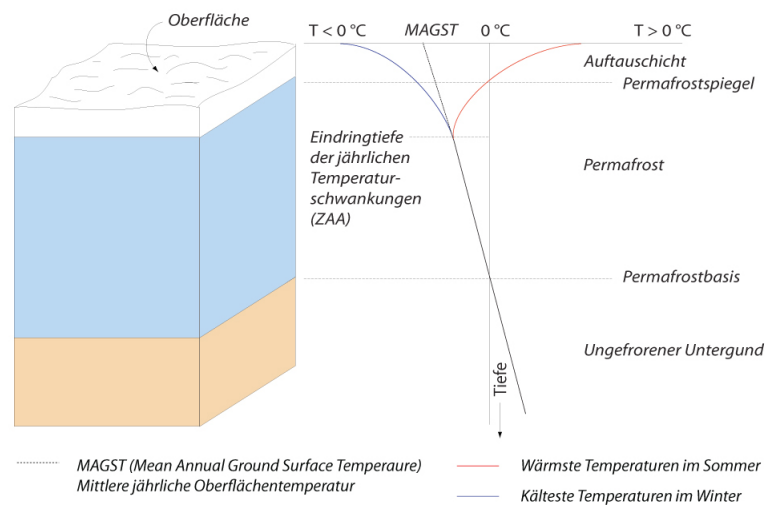
Als **Permafrost** (Dauerfrostboden) bezeichnet man Untergrund, der während mindestens zwei Jahren Temperaturen unter 0°C aufweist. Permafrost kommt in Polargebieten und in Gebirgsregionen vor.

Insgesamt sind etwa 20% der Erdoberfläche von Permafrost betroffen. In Kanada sind etwa 60% des Staatsgebiets Permafrostregionen, in der Schweiz sind es etwa 5% der Fläche.

Die **sommerliche Auftauschicht** beträgt jeweils nur wenige Dezimeter oder Meter. Die Mächtigkeit des Permafrostkörpers kann wenige Meter bis viele hundert Meter betragen. Die Untergrenze des Permafrosts wird auch als **Permafrostbasis** bezeichnet, die Obergrenze als **Permafrostspiegel**. Die tiefste Permafrostbasis wurde in Sibirien in einer Tiefe von 1500m festgestellt.

Permafrost ist nur über die andauernd negativen Untergrund-Temperaturen definiert. Das heisst, Eis kann, muss aber nicht vorkommen. Es zeigt sich jedoch, dass Problemsituationen stets mit Eisvorkommen zu tun haben.

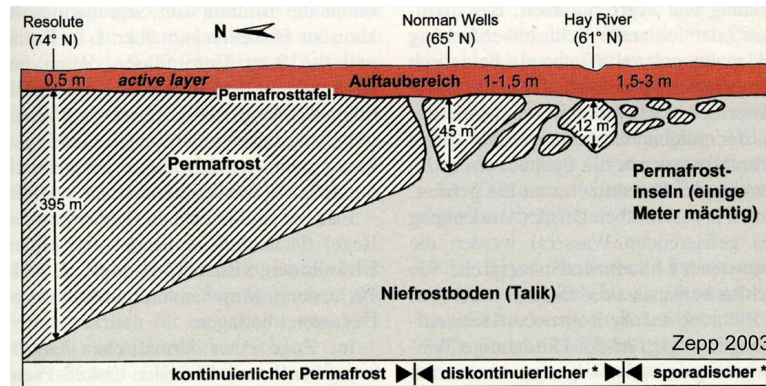
Abb. 1: Temperaturprofil im Boden in Permafrostgebieten (Quelle: Nötzli und Gruber 2005)



Da die Nordhalbkugel in den potenziellen Permafrost-Breitenlagen um 60-90° bedeutend mehr Landmasse aufweist als die Südhalbkugel, liegen die grossen Permafrostgebiete der Erde auf der Nordhalbkugel.

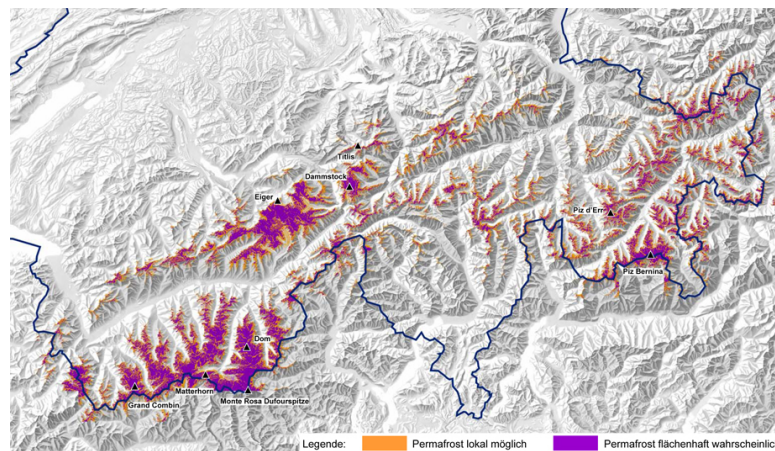
Permafrost ist nicht in all seinen Verbreitungsgebieten flächendeckend vorhanden. Je nach Klimabedingungen und lokalen Gegebenheiten kann er **kontinuierlich**, **diskontinuierlich** oder **sporadisch** in Erscheinung treten.

Abb. 2: Kontinuierlicher, diskontinuierlicher und sporadischer Permafrost (Quelle: Zepp 2003)



Permafrost findet sich auch in Gebirgsregionen, v.a. in Höhenlagen oberhalb der Waldgrenze. In den Alpen ist dies z.B. ab einer Höhe von 2500 m.ü.M der Fall. Ausschlaggebend für die niedrigen Untergrundtemperaturen sind zum einen die Höhenlage, aber auch lokale Eigenschaften können eine wichtige Rolle spielen. Insgesamt liegt die durchschnittliche Jahrestemperatur der Luft in diesen Regionen unter dem Gefrierpunkt. Die Mächtigkeit der alpinen Permafrostkörper kann einige hundert Meter betragen.

Abb. 3: Übersicht über die potentielle Permafrostverbreitung in der Schweiz (Quelle: BAFU)



Literatur

Keller, F., Zehnder, U., Egli-Broz, H. (2008): *Permafrost und Klimawandel*. Themeneinheit für den Geografieunterricht – Material für Lernende. Compendio Bildungsmedien, Zürich.
 Nötzli, J. und Gruber, S. (2005): *Alpiner Permafrost – Ein Überblick*. In: *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, 70. Jahrgang, München. 111-121.
 Zepp, H. (2003): *Geomorphologie*. Paderborn.

A2 Fragebogen I

FRAGEBOGEN I

FRAGE 1: Was sind Ihrer Meinung nach die grössten Herausforderungen im Bereich Permafrost?

Naturkatastrophen im Zusammenhang mit tauendem Permafrost

Das Verständnis wie der Permafrost auf Temperaturveränderungen reagiert

Bauen im Permafrost

Das Verständnis der Rückkoppelungseffekte von Permafrost mit dem Klima

Das Verständnis wo überall Permafrost vorkommt

FRAGE 2: Wie stark interessieren Sie folgende Themen?

	überhaupt nicht		- / +	grosses Interesse	
	-	0		0	+
a) Permafrost allgemein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) Verbreitung von Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c) Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 3: Wie gut schätzen Sie Ihr Wissen in folgenden Kategorien ein?

	kein Fachwissen		- / +	breites Fachwissen	
	-	0		0	+
a) Permafrost allgemein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) räumliche Verbreitung von Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TESTFRAGEN ZUR VERBREITUNG VON PERMAFROST

FRAGE 4: Das Permafrostvorkommen wird am stärksten durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Lokale topographische und klimatische Faktoren
- Die Klimazonen der Erde
- Die Höhenlage und die geographische Breite
- Kann man nicht sagen

FRAGE 5: Die Verbreitung von Permafrost kann folgende Dimensionen annehmen:

- 101-1000 Kilometer
- 1-100 Kilometer
- 101-999 Meter
- 1-100 Meter

FRAGE 6: Der Permafrost ...

	richtig	falsch	weiss nicht
... ist ein homogenes (gleichartig, gleichmässig) Phänomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist ein heterogenes (ungleichartig, ungleichmässig) Phänomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist in Gebirgsregionen homogen verteilt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist in Polargebieten homogen verteilt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... kommt in kalten Regionen homogen vor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... kann auch in kalten Regionen höchst heterogen vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 7: Permafrost kommt an folgenden Orten vor:

	richtig	falsch	weiss nicht
– In den Schweizer Alpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Unterhalb der Waldgrenze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Oberhalb der Waldgrenze flächendeckend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Oberhalb der Waldgrenze gibt es Regionen, wo kein Permafrost vorkommt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Auch an Orten, wo die mittlere jährliche Lufttemperatur über 0°C liegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 8: Permafrost kann man in folgende Klassen einteilen:

	richtig	falsch	weiss nicht
– Kommt vor/kommt nicht vor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Prozentual je nach mittlerer jährlicher Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Kontinuierlich, diskontinuierlich, sporadisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 9: Das Permafrostvorkommen wird beeinflusst durch...

	richtig	falsch	weiss nicht
...die Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Bodenbeschaffenheit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...das Mikroklima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Topographie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Tiere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...das Klima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Schneedecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Vegetation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 10: Es ist sinnvoll die Verbreitung von Permafrost auf folgenden Ebenen zu untersuchen:

	richtig	falsch	weiss nicht
– Global	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Regional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Lokal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 11: Bei der Darstellung einer Permafrostverbreitung in einer Karte ...

	richtig	falsch	weiss nicht
... sind Unsicherheiten in Gebirgsregionen klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... sind Unsicherheiten in Polargebieten klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist die Skalierung entscheidend, wie stark Permafrost- und Nicht-Permafrostgebiete zusammenfallen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 12: Allgemeine Statements			
	richtig	falsch	weiss nicht
- Die Vegetation kann einen grösseren Einfluss auf das Permafrostvorkommen haben als die Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Das Klima hat den grössten Einfluss auf die Permafrostverbreitung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Schneedecke hat einen kühlenden Effekt auf den Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Schneedecke hat einen wärmenden Effekt auf den Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Je komplexer die Topographie, desto mehr Einfluss haben grossräumige Klimafaktoren auf das Permafrostvorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Kleinräumige Eigenschaften können in Polarregionen einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung haben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



FRAGE 13: Wie sicher sind sie, dass sie in einem Bohrloch an folgenden Orten tatsächlich Permafrost finden?

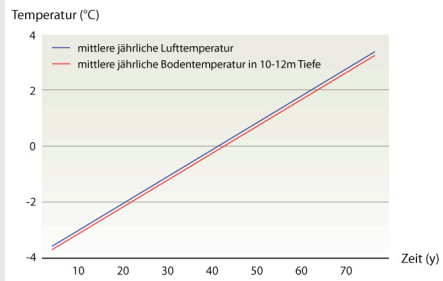
	sehr unsicher		-/+	ganz sicher	
	-	o	o	o	+
- 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- 3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 14: Permafrostmodellierung

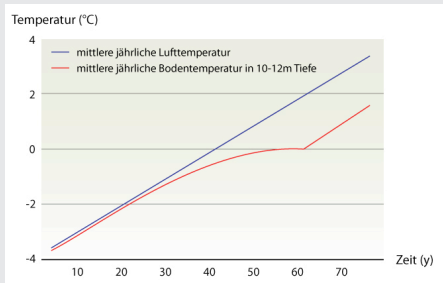
	richtig	falsch	weiss nicht
- Die Grenze einer Permafrostklasse, wie sie in der Abb. dargestellt wird, existiert in der Realität nicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Die Grenze einer Permafrostklasse, kann in der Realität stark von der Darstellung in der Abb. abweichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Realität sind die Klassengrenzen fließend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Unterscheidung in kontinuierlichen, diskontinuierlichen und sporadischen Permafrost ist sinnlos, da zu wenig Details beachtet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts können grössere Gebiete mit sporadischem Permafrost vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Klasse des sporadischen Permafrosts (hier: isolated patches) können grössere Gebiete aus der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TESTFRAGEN ZUR TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

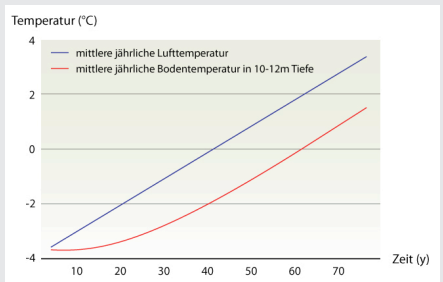
FRAGE 15: Wie könnte die Temperatur eines Permafrostbodens auf die Zunahme der Lufttemperatur reagieren?



A
○



B
○



C
○

FRAGE 16: Bitte ankreuzen, was Sie für richtig halten

Mit der globalen Erwärmung schmilzt der Permafrost

Alle Permafrostböden sind gleich stark von der Klimaerwärmung betroffen

Je wärmer es wird, desto weniger schnell tauen die Permafrostböden

Je wärmer es wird, desto schneller tauen die Permafrostböden

Ein Gletscher schmilzt bei einer Klimaerwärmung schneller als Permafrost

Permafrost schmilzt bei einer Klimaerwärmung schneller als Gletscher

FRAGE 17: Die Erwärmung eines Bodens (mit gewissem Eisgehalt) von -11°C auf -1°C dauert...

...länger...

...gleich lang...

...weniger lang...

...als die Erwärmung des Bodens von -1°C auf 10°C bei gleicher Energiezufuhr.

FRAGE 18: Bei einem Anstieg der Lufttemperatur kann die Temperatur eines Permafrostbodens folgendermassen reagieren...

	richtig	falsch	weiss nicht
...mit einer Verzögerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...linear dazu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...zuerst linear, dann immer schwächer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...zuerst linear, dann immer stärker	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...gar nicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 19: Wie schnell ein Permafrostboden auftaut, ist abhängig von...

	richtig	falsch	weiss nicht
...Temperaturgefälle Boden-Luft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...Bodenwassergehalt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...Aktuelle Temperatur des Bodens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 20: Mit der Temperatursensitivität eines Permafrostbodens lässt sich beschreiben,...

	richtig	falsch	weiss nicht
... wie stark die Temperatur des Bodens auf steigende Lufttemperaturen reagiert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie stark die Temperatur des Bodens auf sinkende Lufttemperaturen reagiert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie stark der Permafrost bei einer Erwärmung taut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wieviel Energie benötigt wird, um Eis zu schmelzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie gut eine Temperaturmessung Auskunft über Veränderungen im Boden gibt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 21: Die Temperatursensitivität von Permafrostböden bei steigenden Lufttemperaturen...

	richtig	falsch	weiss nicht
... zeigt kaum Veränderungen über 0°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... zeigt kaum Veränderungen unter 0°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... nimmt mit der Zeit ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... nimmt mit der Zeit zu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... erreicht ihr Minimum, je kälter der Permafrostboden ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... erreicht ihr Minimum, je wärmer der Permafrostboden ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 22: Die Temperatur eines Permafrostbodens reagiert sensibel auf einen Lufttemperaturanstieg bei...

	richtig	falsch	weiss nicht
... allen Temperaturen gleich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... -1°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... -10°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 23: Folgende Faktoren beeinflussen (beschleunigen/verzögern) eine steigende Permafrostbodentemperatur:

	richtig	falsch	weiss nicht	beschleunigen	verzögern
- Bodeneis bzw. Bodenwasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Vegetation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Bodentemperatur selbst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Dicke des Permafrostkörpers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Phasenwechsel von Wasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Absorption latenter Wärme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 24: Wie schwierig war die Beantwortung dieses Fragebogens?

.....

zu schwierig				kein Problem
-		- / +		+
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 25: Wie gut haben Sie die Fragen verstanden?

.....

zu schwierige Fragen				sehr einfache Fragen
-		- / +		+
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A3 Fragebogen II

FRAGEBOGEN II

FRAGE 1	langweilig			sehr spannend
Wie interessant/spannend/motivierend fanden Sie den Text?	-		- / +	+
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 2	überhaupt nicht			sehr gut
Wie gut, glauben Sie, haben Sie das Thema verstanden?	-		- / +	+
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 3: Wie schätzen Sie Ihr Wissen zu diesem Zeitpunkt in folgenden Kategorien ein?				
	nichts dazugelernt			sehr viel dazugelernt
	-		- / +	+
a) Permafrost allgemein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) räumliche Verbreitung von Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c) Reaktion von Permafrost auf Temperaturveränderungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 4: Wie verständlich wurden die folgenden Themen kommuniziert?				
	schlecht kommuniziert			sehr gut kommuniziert
	-		- / +	+
a) Die heterogene Permafrostverbreitung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) Die abnehmende Temperatursensitivität von Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 5:	unverständlich			sehr gut verständlich
Wie verständlich war für Sie die Sprache?	-		- / +	+
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 6:	überhaupt nicht			sehr hilfreich
Wie hilfreich waren die Illustrationen?	-		- / +	+
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 7: Wie schwierig fanden Sie die Themen?				
	kein Problem			zu schwierig
	-		- / +	+
a) Die heterogene Permafrostverbreitung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b) Die abnehmende Temperatursensitivität von Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TESTFRAGEN ZUR VERBREITUNG VON PERMAFROST

FRAGE 8: Das Permafrostvorkommen wird am stärksten durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Lokale topographische und klimatische Faktoren
- Die Klimazonen der Erde
- Die Höhenlage und die geographische Breite
- Kann man nicht sagen

FRAGE 9: Die Verbreitung von Permafrost kann folgende Dimensionen annehmen:

- 101-1000 Kilometer
- 1-100 Kilometer
- 101-999 Meter
- 1-100 Meter

FRAGE 10: Der Permafrost ...

	richtig	falsch	weiss nicht
... ist ein homogenes (gleichartig, gleichmässig) Phänomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist ein heterogenes (ungleichartig, ungleichmässig) Phänomen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist in Gebirgsregionen homogen verteilt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist in Polargebieten homogen verteilt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... kommt in kalten Regionen homogen vor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... kann auch in kalten Regionen höchst heterogen vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 11: Permafrost kommt an folgenden Orten vor:

	richtig	falsch	weiss nicht
– In den Schweizer Alpen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Unterhalb der Waldgrenze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Oberhalb der Waldgrenze flächendeckend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Oberhalb der Waldgrenze gibt es Regionen, wo kein Permafrost vorkommt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Auch an Orten, wo die mittlere jährliche Lufttemperatur über 0°C liegt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 12: Permafrost kann man in folgende Klassen einteilen:

	richtig	falsch	weiss nicht
– Kommt vor/kommt nicht vor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Prozentual je nach mittlerer jährlicher Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Kontinuierlich, diskontinuierlich, sporadisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 13: Das Permafrostvorkommen wird beeinflusst durch...

	richtig	falsch	weiss nicht
...die Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Bodenbeschaffenheit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...das Mikroklima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Topographie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Tiere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...das Klima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Schneedecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...die Vegetation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 14: Es ist sinnvoll die Verbreitung von Permafrost auf folgenden Ebenen zu untersuchen:

	richtig	falsch	weiss nicht
– Global	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Regional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
– Lokal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 15: Bei der Darstellung einer Permafrostverbreitung in einer Karte ...

	richtig	falsch	weiss nicht
... sind Unsicherheiten in Gebirgsregionen klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... sind Unsicherheiten in Polargebieten klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... ist die Skalierung entscheidend, wie stark Permafrost- und Nicht-Permafrostgebiete zusammenfallen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 16: Allgemeines			
	richtig	falsch	weiss nicht
- Die Vegetation kann einen grösseren Einfluss auf das Permafrostvorkommen haben als die Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Das Klima hat den grössten Einfluss auf die Permafrostverbreitung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Schneedecke hat einen kühlenden Effekt auf den Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Schneedecke hat einen wärmenden Effekt auf den Permafrost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Je komplexer die Topographie, desto mehr Einfluss haben grossräumige Klimafaktoren auf das Permafrostvorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Kleinräumige Eigenschaften können in Polarregionen einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung haben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



FRAGE 17: Wie sicher sind sie, dass sie in einem Bohrloch an folgenden Orten tatsächlich Permafrost finden?

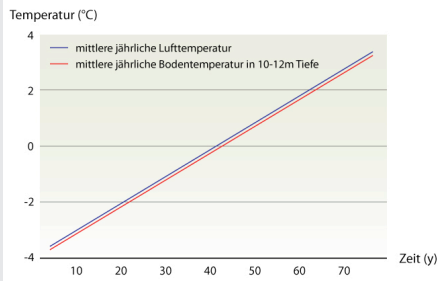
	sehr unsicher		-/+	ganz sicher	
	-	o	o	o	+
- 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- 3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 18: Permafrostmodellierung

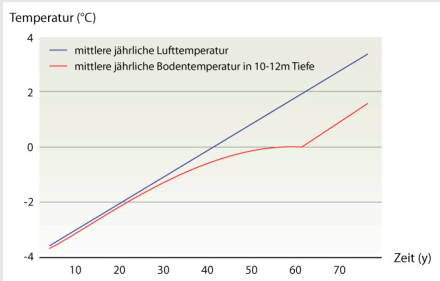
	richtig	falsch	weiss nicht
- Die Grenze einer Permafrostklasse, wie sie in der Abb. dargestellt wird, existiert in der Realität nicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Die Grenze einer Permafrostklasse, kann in der Realität stark von der Darstellung in der Abb. abweichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Realität sind die Klassengrenzen fließend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Eine Unterscheidung in kontinuierlichen, diskontinuierlichen und sporadischen Permafrost ist sinnlos, da zu wenig Details beachtet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts können grössere Gebiete mit sporadischem Permafrost vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- In der Klasse des sporadischen Permafrosts (hier: isolated patches) können grössere Gebiete aus der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts vorkommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TESTFRAGEN ZUR TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

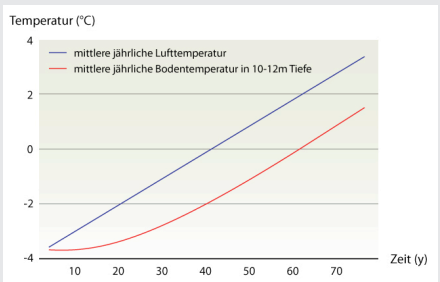
FRAGE 19: Wie könnte die Temperatur eines Permafrostbodens auf die Zunahme der Lufttemperatur reagieren?



A
○



B
○



C
○

FRAGE 20: Bitte ankreuzen, was Sie für richtig halten

Mit der globalen Erwärmung schmilzt der Permafrost	<input type="radio"/>
Alle Permafrostböden sind gleich stark von der Klimaerwärmung betroffen	<input type="radio"/>
Je wärmer es wird, desto weniger schnell tauen die Permafrostböden	<input type="radio"/>
Je wärmer es wird, desto schneller tauen die Permafrostböden	<input type="radio"/>
Ein Gletscher schmilzt bei einer Klimaerwärmung schneller als Permafrost	<input type="radio"/>
Permafrost schmilzt bei einer Klimaerwärmung schneller als Gletscher	<input type="radio"/>

FRAGE 21: Die Erwärmung eines Bodens (mit gewissem Eisgehalt) von -11°C auf -1°C dauert...

...länger...	<input type="radio"/>
...gleich lang...	<input type="radio"/>
...weniger lang...	<input type="radio"/>

...als die Erwärmung des Bodens von -1°C auf 10°C bei gleicher Energiezufuhr.

FRAGE 22: Bei einem Anstieg der Lufttemperatur kann die Temperatur eines Permafrostbodens folgendermassen reagieren...

	richtig	falsch	weiss nicht
...mit einer Verzögerung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...linear dazu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...zuerst linear, dann immer schwächer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...zuerst linear, dann immer stärker	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...gar nicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 23: Wie schnell ein Permafrostboden auftaut, ist abhängig von...

	richtig	falsch	weiss nicht
...Temperaturgefälle Boden-Luft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...Bodenwassergehalt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
...Aktuelle Temperatur des Bodens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 24: Mit der Temperatursensitivität eines Permafrostbodens lässt sich beschreiben,...

	richtig	falsch	weiss nicht
... wie stark die Temperatur des Bodens auf steigende Lufttemperaturen reagiert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie stark die Temperatur des Bodens auf sinkende Lufttemperaturen reagiert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie stark der Permafrost bei einer Erwärmung taut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wieviel Energie benötigt wird, um Eis zu schmelzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie gut eine Temperaturmessung Auskunft über Veränderungen im Boden gibt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 25: Die Temperatursensitivität von Permafrostböden bei steigenden Lufttemperaturen...

	richtig	falsch	weiss nicht
... zeigt kaum Veränderungen über 0°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... zeigt kaum Veränderungen unter 0°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... nimmt mit der Zeit ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... nimmt mit der Zeit zu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... erreicht ihr Minimum, je kälter der Permafrostboden ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... erreicht ihr Minimum, je wärmer der Permafrostboden ist	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 26: Die Temperatur eines Permafrostbodens reagiert sensibel auf einen Lufttemperaturanstieg bei...

	richtig	falsch	weiss nicht
... allen Temperaturen gleich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... -1°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... -10°C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 27: Folgende Faktoren beeinflussen (beschleunigen/verzögern) eine steigende Permafrostbodentemperatur:

	richtig	falsch	weiss nicht	beschleunigen	verzögern
- Bodeneis bzw. Bodenwasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Vegetation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Lufttemperatur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Bodentemperatur selbst	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Dicke des Permafrostkörpers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Phasenwechsel von Wasser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
- Absorption latenter Wärme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 28: Wie schwierig war die Beantwortung dieses Fragebogens?

zu schwierig				kein Problem
-		- / +		+
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FRAGE 29: Wie gut haben Sie die Fragen verstanden?

zu schwierige Fragen				sehr einfache Fragen
-		- / +		+
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

A4 Expertenbefragung

Expertenbefragung

Roman Lauer

Expertenbefragung zur Kommunikationsform mit dem Thema „Heterogene Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost“

Ausgangslage

Im Rahmen meiner Masterarbeit wurde am 25. November 2011 ein Experiment mit drei Klassen des 5. Gymnasiums an der Kantonsschule Urdorf durchgeführt. Die Schüler wurden gebeten einen Fragebogen auszufüllen, sich im Anschluss mit einem Medium zum Thema „Heterogene Verbreitung und abnehmende Temperatursensitivität von Permafrost“ zu befassen und nochmals einen Fragebogen auszufüllen. Eine Klasse befasste sich mit einem einfachen Text ohne Bilder, eine weitere mit einer Text/Bild Form und die dritte Klasse sollte das Thema mittels einer digitalen Form erarbeiten. Inhaltlich waren die Medien identisch. Gemessen wurde die Wissenssteigerung der Schüler, die durch das jeweilige Medium erzielt wurde.

Ziel der Expertenbefragung

Mein Experiment soll den Erfolg der drei Medien bzgl. der Kommunikation komplexer geographischer Themen messen und einen Vergleich untereinander erlauben. Um Unterschiede zwischen den Medien zu quantisieren, die nicht aufgrund der Kommunikationsform entstehen, möchte ich die drei Medien durch Experten beurteilen lassen. Im besten Fall erreichen also bei dieser Expertenbefragung alle drei Kommunikationsformen eine ähnliche Bewertung.

Vorgehen

Ich bitte Sie unter folgendem Link EINE der drei Medien (in diesem Fall Text) zu lesen und im Anschluss den Fragebogen auszufüllen:

<http://www.permafrostinfo.ch/permtext>

Zeitaufwand (max. 20 min)

- Text lesen (10 min)
- Bewertung abgeben (10 min)

Zusätzliche Informationen

Bitte beachten Sie, dass bei der Textform mit Absicht keine Bilder vorhanden sind um einen Lernerfolg eines reinen Textes zu messen, d.h. eine fehlende Visualisierung sollte hier kein Kriterium sein.

Vielen Dank für's Mitmachen

A5 Testfragen zur Leistungsmessung

Frage-Nr.	Frage bzw. Aussage	richtig	FALSCH
Der Permafrost ...			
1	ist ein homogenes (gleichartig, gleichmässig) Phänomen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	ist ein heterogenes (ungleichartig, ungleichmässig) Phänomen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	ist in Gebirgsregionen homogen verteilt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	ist in Polargebieten homogen verteilt	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	kommt in kalten Regionen homogen vor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	kann auch in kalten Regionen höchst heterogen vorkommen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permafrost kommt an folgenden Orten vor:			
7	In den Schweizer Alpen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Unterhalb der Waldgrenze	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Oberhalb der Waldgrenze flächendeckend	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Oberhalb der Waldgrenze gibt es Regionen, wo kein Permafrost vorkommt	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Auch an Orten, wo die mittlere jährliche Lufttemperatur über 0°C liegt	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Permafrost kann man in folgende Klassen einteilen:			
12	Kommt vor/kommt nicht vor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Prozentual je nach mittlerer jährlicher Lufttemperatur	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Kontinuierlich, diskontinuierlich, sporadisch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Permafrostvorkommen wird beeinflusst durch...			
15	die Lufttemperatur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	die Bodenbeschaffenheit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	das Mikroklima	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	die Topographie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	die Tiere	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	das Klima	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	die Schneedecke	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	die Vegetation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es ist sinnvoll die Verbreitung von Permafrost auf folgenden Ebenen zu untersuchen:			
23	Global	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	Regional	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	Lokal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Darstellung einer Permafrostverbreitung in einer Karte ...			
26	ist die Skalierung entscheidend, wie stark Permafrost- und Nicht-Permafrostgebiete zusammenfallen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Allgemeine Aussagen			
27	Die Vegetation kann einen grösseren Einfluss auf das Permafrostvorkommen haben als die Lufttemperatur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	Eine Schneedecke hat einen kühlenden Effekt auf den Permafrost	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	Eine Schneedecke hat einen wärmenden Effekt auf den Permafrost	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	Je komplexer die Topographie, desto mehr Einfluss haben grossräumige Klimafaktoren auf das Permafrostvorkommen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	Kleinräumige Eigenschaften können in Polarregionen einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung haben	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	Die Grenze einer Permafrostklasse, wie sie in der Abb. dargestellt wird, existiert in der Realität nicht	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	In der Realität sind die Klassengrenzen fließend	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	Eine Unterscheidung in kontinuierlichen, diskontinuierlichen und sporadischen Permafrost ist sinnlos, da zu wenig Details beachtet werden	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

35	In der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts können grössere Gebiete mit sporadischem Permafrost vorkommen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	In der Klasse des sporadischen Permafrosts (hier: isolated patches) können grössere Gebiete aus der Klasse des kontinuierlichen Permafrosts vorkommen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie könnte die Temperatur eines Permafrostbodens auf die Zunahme der Lufttemperatur reagieren?			
37	C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
38	Je wärmer es wird, desto schneller tauen die Permafrostböden	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die Erwärmung eines Bodens (mit gewissem Eisgehalt) von -11°C auf -1°C dauert...			
39	länger	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	gleich lang	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
...als die Erwärmung des Bodens von -1°C auf 10°C bei gleicher Energiezufuhr			
Bei einem Anstieg der Lufttemperatur kann die Temperatur eines Permafrostbodens folgendermassen reagieren...			
41	mit einer Verzögerung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42	linear dazu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43	zuerst linear, dann immer schwächer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44	zuerst linear, dann immer stärker	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
45	gar nicht	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wie schnell ein Permafrostboden auftaut, ist abhängig von...			
46	Temperaturgefälle Boden-Luft	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
47	Bodenwassergehalt	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
48	Aktuelle Temperatur des Bodens	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit der Temperatursensitivität eines Permafrostbodens lässt sich beschreiben,...			
49	wie stark die Temperatur des Bodens auf steigende Lufttemperaturen reagiert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
50	wie stark die Temperatur des Bodens auf sinkende Lufttemperaturen reagiert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
51	wie stark der Permafrost bei einer Erwärmung taut	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
52	wieviel Energie benötigt wird, um Eis zu schmelzen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
53	wie gut eine Temperaturmessung Auskunft über Veränderungen im Boden gibt	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Temperatursensitivität von Permafrostböden bei steigenden Lufttemperaturen...			
54	zeigt kaum Veränderungen über 0°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
55	zeigt kaum Veränderungen unter 0°C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
56	nimmt mit der Zeit ab	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
57	nimmt mit der Zeit zu	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
58	erreicht ihr Minimum, je kälter der Permafrostboden ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
59	erreicht ihr Minimum, je wärmer der Permafrostboden ist	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Temperatur eines Permafrostbodens reagiert sensibel auf einen Lufttemperaturanstieg bei...			
60	allen Temperaturen gleich	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
61	-1°C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
62	-10°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Folgende Faktoren beeinflussen (beschleunigen/verzögern) eine steigende Permafrostbodentemperatur:			
63	Bodeneis bzw. Bodenwasser	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
64	Vegetation	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
65	Lufttemperatur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
66	Bodentemperatur selbst	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
67	Dicke des Permafrostkörpers	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
68	Phasenwechsel von Wasser	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
69	Absorption latenter Wärme	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B Kommunikationsmittel

B1 Text

ROMAN LAUER

DIE VERBREITUNG UND TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

Im folgenden Artikel werden zwei Charakteristiken thematisiert, die zu den grössten Herausforderungen in der Erforschung von Permafrost gehören: Die heterogene Verbreitung von Permafrost und der Verlust der Temperatursensitivität von Permafrostböden bei steigenden Lufttemperaturen. Ein richtiges Verständnis dieser Phänomene soll in erster Linie eine richtige Einschätzung relevanter Prozesse im Permafrostbereich erlauben und zu besseren Schlussfolgerungen bei klimarelevanten Fragen führen.

DIE HETEROGENE VERBREITUNG VON PERMAFROST

Geprägt durch lokale und regionale Gegebenheiten kann die räumliche Verbreitung von Permafrost auf verschiedenen Skalen stark variieren. Mittlere jährliche Bodentemperaturen und das Permafrostvorkommen schwanken v.a. in Gebirgsregionen auf einer Skala von wenigen Metern bis Kilometern. Man kann z.B. Temperaturunterschiede im Boden von bis zu 15 °C auf einer horizontalen Distanz von einem Kilometer beobachten.

PROBLEMSTELLUNG

Aufgrund des verborgenen Charakters und der Assoziation mit grossräumigen Klimafaktoren führt das Verständnis einer Permafrostverbreitung, v.a. in Gebirgsregionen, fälschlicherweise oft zu dessen Wahrnehmung als homogenes¹ Phänomen. Auch Kartendarstellungen können diese falsche Vorstellung unterstützen. Der Permafrost wird wie z.B. in der meist verbreiteten Kartendarstellung der IPA (International Permafrost Association) in Klassen (bzgl. dessen prozentualen Anteils) gegliedert und vermittelt so ein scheinbar homogenes Bild der räumlichen Ausdehnung auf der Nordhalbkugel. Der Permafrost ist jedoch ein diskretes Phänomen mit zwei Klassen (kommt vor/kommt nicht vor), wird aber auf der Basis von Bodentemperaturen (metrisch skalierte Variable) bestimmt. Da die räumliche Heterogenität² eine Modellierung fundamental einschränkt, kommt es zu grossen Unsicherheiten und starker Aggregation³, je tiefer die räumliche Auflösung⁴ einer Darstellung ist. Die Klassen „kommt vor“ bzw. „kommt nicht vor“ sind dann durch eine Mischung aus räumlicher Aggregati-

on von Permafrost bzw. Nicht-Permafrost und einem Unsicherheitsfaktor ersetzt. Die Folge davon ist, dass über grosse Gebiete die z.T. stark heterogene Permafrostverbreitung zu einem Zustand (z.B. „Permafrost kommt vor“) zusammengefasst wird.

RICHTIGES VERSTÄNDNIS

Oft haben kleinräumige Klima- und Bodeneigenschaften einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung, da sie grossräumige Klimafaktoren stark überprägen. Um also eine Permafrostverbreitung möglichst genau zu visualisieren und damit Unsicherheiten und Aggregationen zu minimieren, ist u.U. eine Modellierung in einer räumlichen Auflösung im Bereich von Mikro- (<25m) und Meso-Skalen (25-250m) nötig.

Die Permafrostverbreitung kann in drei Hierarchiestufen verstanden werden. Auf der globalen Ebene bildet das Klima die Rahmenbedingungen für das Vorkommen von Permafrost. Niederschlag, Temperatur, Strahlung, etc. werden durch grossräumige atmosphärische Phänomene beeinflusst und determinieren den Permafrost.

Auf der regionalen Ebene können verschiedene Eigenschaften, darunter auch die Topographie, einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung haben. So spielt die Exposition und die damit einfallende Sonnenstrahlung eine wichtige Rolle, ob Permafrost vorkommt oder nicht. An schattigen Orten ist das Vorkommen sogar in Regionen möglich, wo die mittlere jährliche Lufttemperatur über 0°C liegt. Windexponierte Kuppen begünstigen den Permafrost eher als windgeschützte Mulden und in steiler Topographie wird das Temperaturregime zusätzlich durch laterale

¹ gleichmässig verteilt

² räumliche Uneinheitlichkeit

³ Vereinigung

⁴ im Kontext: je weniger detailliert

Wärmeflüsse von der Süd- zur Nordseite beeinflusst. Mikroklimata können das Permafrostvorkommen regional oder lokal begünstigen oder hemmen.

Auf der lokalen Ebene kann die Bodenbeschaffenheit und -bedeckung den Permafrost beeinflussen. Grobe Schuttblöcke haben z.B. einen kühlenden Effekt. Der schattenspendende und Niederschlag zurückhaltende Effekt einer Vegetationsschicht schützt den Boden vor wärmenden Sonnenstrahlen und begünstigt das Permafrostvorkommen. Eine dünne Schneedecke kann sich als kühlender, eine dicke Schneedecke als Wärme isolierender Faktor auswirken. Lawinenschnee, welcher in Hangfusslagen lange liegen bleibt, begünstigt das Permafrostvorkommen auch in tieferen, wärmeren Regionen.

Um die heterogene Verbreitung von Permafrost zu verstehen und Kartendarstellungen richtig zu interpretieren, müssen topoklimatische Eigenschaften auf globaler, regionaler und lokaler Ebene beachtet werden.

DIE ABNEHMENDE TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

Die Temperatur eines Permafrostbodens nahe 0°C reagiert kaum mehr auf eine äussere Wärmezufuhr. Im südlichen Mackenzie Valley und im südlichen Yukon Territory wurden in den letzten zwanzig Jahren keine signifikanten Veränderungen in den Temperaturen der relativ dünnen und warmen Permafrostböden beobachtet, obwohl nahegelegene, kältere und mächtigere Permafrostböden mit einem Anstieg der Bodentemperatur auf die ansteigenden Lufttemperaturen in dieser Region reagierten. Da die Reaktion von Permafrost auf das globale Klima von besonderem Interesse ist, liegt der Fokus hier in einer zeitlichen Dimension von Jahrzehnten.

PROBLEMSTELLUNG

Ein Anstieg der Lufttemperatur wird oft mit dem Tauen von Permafrostböden assoziiert. „Als Folge des Klimawandels erwarten die Experten ein Abschmelzen des Permafrosts“ heisst es sogar auf der Homepage des Bundesamtes für Umwelt. Doch ein Anstieg der Lufttemperatur ist nicht gleichzusetzen mit dem Tauen von Permafrost. Die thermalen⁵ Eigenschaften eines Bodens werden mit steigendem

Wasser- bzw. Eisgehalt stark verändert, wobei meistens kein einfacher Zusammenhang zwischen einer steigenden Lufttemperatur und der Bodentemperatur besteht.

Die Temperatur eines kalten Permafrostbodens kann stark auf ändernde Lufttemperaturen reagieren. Die Temperatursensitivität des Bodens ist in diesem Fall hoch. Es ist wahrscheinlich, dass bei steigenden Lufttemperaturen und einem gewissen Bodenwasser- bzw. Bodeneisgehalt, die Temperatur zu einem späteren Zeitpunkt, nahe 0°C, so gut wie gar nicht mehr auf den Lufttemperaturanstieg reagiert. In diesem Fall hat der Permafrostboden die Temperatursensitivität verloren.

RICHTIGES VERSTÄNDNIS

Bei dem Versuch, einen Permafrostboden nahe 0°C in den positiven Temperaturbereich zu erwärmen, muss in erster Linie Energie für den Phasenwechsel des im Boden vorhandenen Eises investiert werden. Die Wärmekapazität, also die Energie, die benötigt wird um Eis zu erwärmen, steigt kurz vor dem Phasenwechsel um mehrere Potenzen an. So benötigt man doppelt so viel Energie, um reines Eis (0°C) zu Wasser (0°C) zu schmelzen, wie Eis von -100°C auf 0°C zu erwärmen. Erfolgt die Energiezufuhr durch einen Lufttemperaturanstieg, wie es in der Natur der Fall sein könnte, wird die Energie beim Phasenwechsel in Form von latenter Wärme⁶ absorbiert, ohne dass die Temperatur des Bodens ansteigt.

Somit kann die Lufttemperatur um einige Grad Celsius ansteigen, die Bodentemperatur stagniert⁷ jedoch so lange nahe 0°C, bis das im Boden vorhandene Eis komplett geschmolzen ist. Erst wenn dies zutrifft, reagiert die Temperatur des Bodens wieder sensibel auf äussere Wärmeeinflüsse.

Die Menge des im Boden vorhandenen Eises und die zugeführte Energiemenge spielen also eine entscheidende Rolle, wobei der Effekt der abnehmenden Temperatursensitivität und die Dauer der Stagnation der Bodentemperatur nahe 0°C bei einem hohen Eis- bzw. Wassergehalt am grössten ist.

Eine ansteigende Lufttemperatur hat grosse Auswirkungen auf die Temperatursensitivität eines Permafrostbodens mit Eisvorkommen. Diese Sensitivität nimmt bei steigenden Temperaturen ab, wobei sie ihr Minimum beim Phasenwechsel, nahe der 0°C-Grenze erreicht. Wie sensibel ein Permafrostboden schlussendlich auf Veränderungen der Lufttemperatur reagiert, hängt von dessen Bodentemperatur ab.

⁵ wärmebezogen

⁶ nicht fühlbar

⁷ kein weiterer Anstieg

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

French, H.M. (2007): *The Periglacial Environment*. John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester: 458ff.

Gruber, S. (2011): Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. In: *The Cryosphere Discuss.*, 5: 1547-1582

Haeberli, W., Noetzli, J., Arenson, L., Delaloye, R., Gärtner-Roer, I., Gruber, S., Isaksen, K., Kneisel, C., Krautblatter, M., Phillips, M. (2010): Mountain permafrost: development and challenges of a young research field. In: *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 200: Cambridge: 1043-1058.

Keller, F., Zehnder, U., Egli-Broz, H. (2008): *Permafrost und Klimawandel, Themeneinheit für den Geographieunterricht – Material für Lernende*. Compendio Bildungsmedien AG, Zürich.

Marchenko, S., Ishikawa, M., Sharkhuu, N., Jin, H., Li, X., Lin, Z., Yabuki, H., Brown, J. (o.J.): *Distribution and Monitoring of Permafrost in Central and Eastern Asia*

Munack, H., Schröder, H. (2009): Der Wärmehaushalt periglazialer Hochgebirgsböden - Zusammenhänge zwischen Bodentiefe und Frostwechseln (Nördlicher Tian Shan, Kasachstan). In: *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal*, 58/1, Hannover: 70-85

Nötzli, J., Gruber, S., Haeberli, W. (2006): *3D-Modellierung der thermischen Bedingungen im Bereich des Gipfelgrates der Zugspitze*. Glaciology and Geomorphodynamics Group, Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

Riseborough, D., Shiklomanov, N., Etzelmüller, B., Gruber, S., Marchenko, S. (2008): Recent advances in permafrost modelling. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 20(1): 1-14.

Romanovsky, V.E., Gruber, S., Instanes, A., Jin, H., Marchenko, S.S., Smith, S.L., Trombotto, D., Walter, K.M. (2007): Frozen Ground. In: *UNEP Global Outlook for Ice and Snow*. United Nations Environment Program: 181-200.

Salzmann, N. (2006): *The use of Results from Regional Climate Models for Local scale Permafrost Modelling in Complex High-mountain Topography - Possibilities, Limitations and Challenges for the Future*. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

Williams, P.J., Smith, M.W. (1989): *The Frozen Earth: Fundamentals of Geocryology*. Cambridge University Press: Cambridge: 83ff.

B2 Text/Bild

ROMAN LAUER

DIE VERBREITUNG UND TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

Im folgenden Artikel werden zwei Charakteristiken thematisiert, die zu den grössten Herausforderungen in der Erforschung von Permafrost gehören: Die heterogene Verbreitung von Permafrost und der Verlust der Temperatursensitivität von Permafrostböden bei steigenden Lufttemperaturen. Ein richtiges Verständnis dieser Phänomene soll in erster Linie eine richtige Einschätzung relevanter Prozesse im Permafrostbereich erlauben und zu besseren Schlussfolgerungen bei klimarelevanten Fragen führen.

DIE HETEROGENE VERBREITUNG VON PERMAFROST

Geprägt durch lokale und regionale Gegebenheiten kann die räumliche Verbreitung von Permafrost auf verschiedenen Skalen stark variieren. Mittlere jährliche Bodentemperaturen und das Permafrostvorkommen schwanken v.a. in Gebirgsregionen auf einer Skala von wenigen Metern bis Kilometern. Man kann z.B. Temperaturunterschiede im Boden von bis zu 15 °C auf einer horizontalen Distanz von einem Kilometer beobachten. Als Beispiel zeigt die Abb. 1 die modellierten, mittleren Oberflächentemperaturen der Jahre 2000-2005 im Zugspitzgebiet.

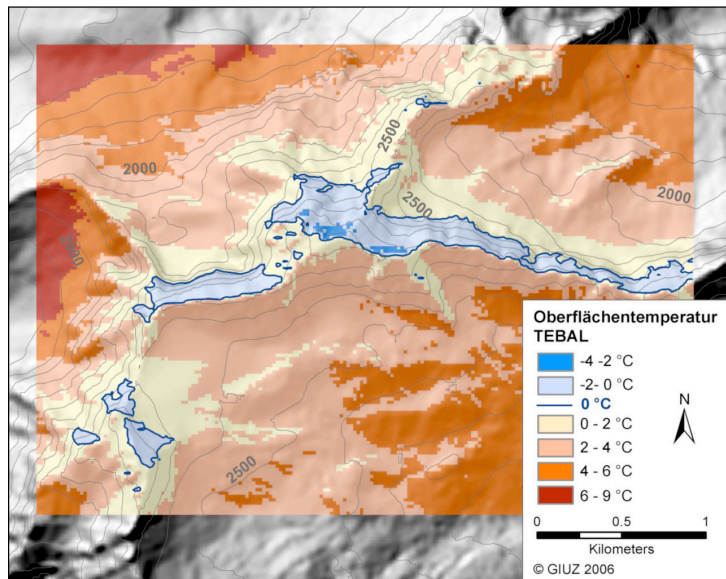


Abb. 1: Klassierte mittlere Oberflächentemperaturen für die Jahre 2000-2005 im Zugspitzgebiet, Quelle: Nötzli, Gruber, Haeberli (2006)

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

PROBLEMSTELLUNG

Aufgrund des verborgenen Charakters und der Assoziation mit grossräumigen Klimafaktoren führt das Verständnis einer Permafrostverbreitung, v.a. in Gebirgsregionen, fälschlicherweise oft zu dessen Wahrnehmung als homogenes¹ Phänomen. Auch Kartendarstellungen können diese falsche Vorstellung unterstützen. Der Permafrost wird wie z.B. in Abb. 2, der meist verbreiteten Kartendarstellung der IPA (International Permafrost Association) in Klassen (bzgl. dessen prozentualen Anteils) gegliedert und vermittelt so ein scheinbar homogenes Bild der räumlichen Ausdehnung auf der Nordhalbkugel. Der Permafrost ist jedoch ein diskretes Phänomen mit zwei Klassen (kommt vor/kommt nicht vor), wird aber auf der Basis von Bodentemperaturen (metrisch skalierte Variable) bestimmt.



Abb. 2: Permafrostverbreitung auf der Nordhemisphäre gemäss IPA (International Permafrost Association), Quelle: Romanovsky et al. (2007)

Da die räumliche Heterogenität² eine Modellierung fundamental einschränkt, kommt es zu grossen Unsicherheiten und starker Aggregation³, je tiefer die räumliche Auflösung⁴ einer Darstellung ist. Die Klassen „kommt vor“ bzw. „kommt nicht vor“ sind dann durch eine Mischung aus räumlicher Aggregation von Permafrost bzw. Nicht-Permafrost und einem Unsicherheitsfaktor ersetzt. Die Folge davon ist, dass über grosse Gebiete die z.T. stark heterogene Permafrostverbreitung zu einem Zustand (z.B. „Permafrost kommt vor“) zusammengefasst wird. Die Abb. 3 verdeutlicht am Beispiel der Altai Region, wie relativ grosse Gebiete mit unterschiedlichen Permafrostklassen, in der Hauptdarstellung als Aggregation dargestellt werden und die Unsicherheit dadurch ansteigt.

¹ gleichmässig verteilt

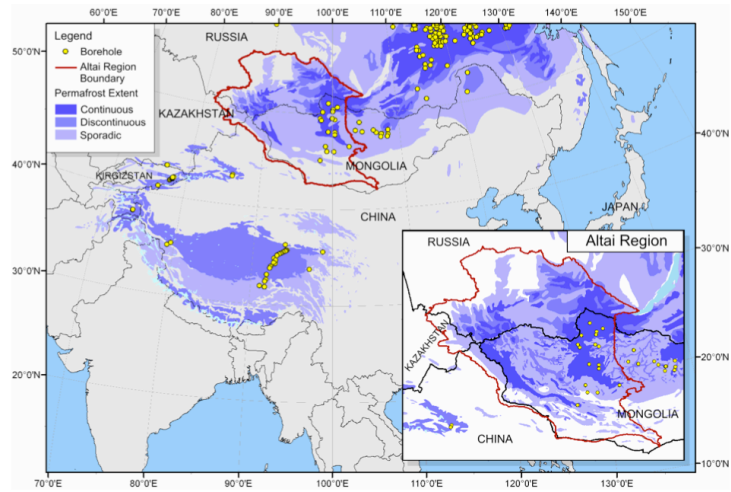
² räumliche Uneinheitlichkeit

³ Vereinigung

⁴ im Kontext: je weniger detailliert

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

Abb. 3: Darstellung der Permafrostverbreitung in Zentral- und Ostasien, Quelle: Marchenko et al. (o.J.)



RICHTIGES VERSTÄNDNIS

Oft haben kleinräumige Klima- und Bodeneigenschaften einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung, da sie grossräumige Klimafaktoren stark überprägen. Um also eine Permafrostverbreitung möglichst genau zu visualisieren und damit Unsicherheiten und Aggregationen zu minimieren, ist u.U. eine Modellierung in einer räumlichen Auflösung im Bereich von Mikro- (<25m) und Meso-Skalen (25-250m) nötig (vgl. Abb. 4).

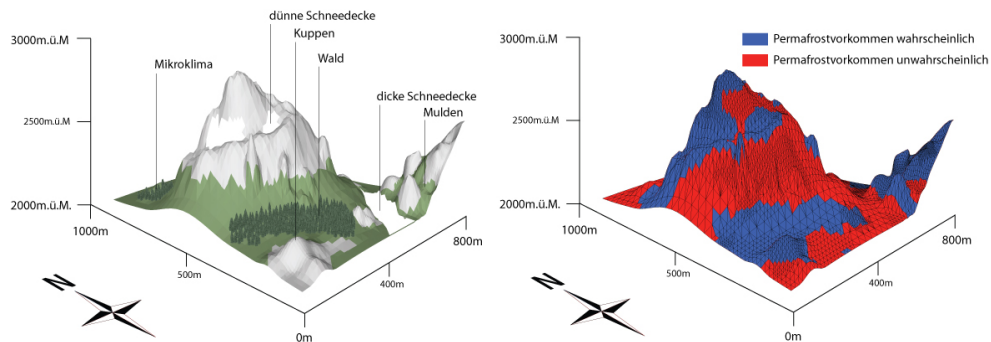


Abb. 4: Einfluss kleinräumiger Eigenschaften auf die lokale Permafrostverbreitung, Quelle: eigene Darstellung

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

DIE PERMAFROSTVERBREITUNG KANN IN DREI HIERARCHIE-STUFEN VERSTANDEN WERDEN:



GLOBALE EBENE⁵:

Auf der globalen Ebene bildet das Klima die Rahmenbedingungen für das Vorkommen von Permafrost. Niederschlag, Temperatur, Strahlung, etc. werden durch grossräumige atmosphärische Phänomene beeinflusst und determinieren den Permafrost.



REGIONALE EBENE⁶:

Auf der regionalen Ebene können verschiedene Eigenschaften, darunter auch die Topographie, einen grossen Einfluss auf die Permafrostverbreitung haben. So spielt die Exposition und die damit einfallende Sonnenstrahlung eine wichtige Rolle, ob Permafrost vorkommt oder nicht. An schattigen Orten ist das Vorkommen sogar in Regionen möglich, wo die mittlere jährliche Lufttemperatur über 0°C liegt. Windexponierte Kuppen begünstigen den Permafrost eher als windgeschützte Mulden und in steiler Topographie wird das Temperaturregime zusätzlich durch laterale Wärmeflüsse von der Süd- zur Nordseite beeinflusst. Mikroklimata können das Permafrostvorkommen regional oder lokal begünstigen oder hemmen.



LOKALE EBENE⁷:

Auf der lokalen Ebene kann die Bodenbeschaffenheit und -bedeckung den Permafrost beeinflussen. Grobe Schuttblöcke haben z.B. einen kühlenden Effekt. Der schattenspendende und Niederschlag zurückhaltende Effekt einer Vegetationsschicht schützt den Boden vor wärmenden Sonnenstrahlen und begünstigt das Permafrostvorkommen. Eine dünne Schneedecke kann sich als kühlender, eine dicke Schneedecke als Wärme isolierender Faktor auswirken. Lawenschnee, welcher in Hangfusslagen lange liegen bleibt, begünstigt das Permafrostvorkommen auch in tieferen, wärmeren Regionen.

Um die heterogene Verbreitung von Permafrost zu verstehen und Kartendarstellungen richtig zu interpretieren, müssen topoklimatische Eigenschaften auf globaler, regionaler und lokaler Ebene beachtet werden.

⁵ Bildquelle 1: www.geocaching.com (Zugriff: 08.11.2011)
⁶ Bildquelle 2: www.tadschikistan-reisen.de (Zugriff: 08.11.2011)
⁷ Bildquelle 3: privat (aufgenommen: 2010)

DIE ABNEHMENDE TEMPERATURSENSITIVITÄT VON PERMAFROST

Die Temperatur eines Permafrostbodens nahe 0°C reagiert kaum mehr auf eine äussere Wärmezufuhr. Im südlichen Mackenzie Valley (Abb. 5: Fort Simpson und Northern Alberta) und im südlichen Yukon Territory wurden in den letzten zwanzig Jahren keine signifikanten Veränderungen in den Temperaturen der relativ dünnen und warmen Permafrostböden beobachtet, obwohl nahegelegene, kältere und mächtigere Permafrostböden mit einem Anstieg der Bodentemperatur auf die ansteigenden Lufttemperaturen in dieser Region reagierten. Da die Reaktion von Permafrost auf das globale Klima von besonderem Interesse ist, liegt der Fokus hier in einer zeitlichen Dimension von Jahrzehnten.

Temperatur in 10-12m Tiefe (°C)

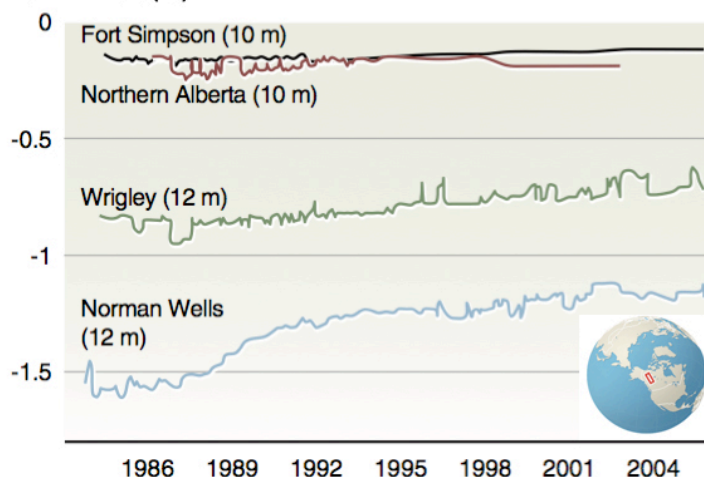


Abb. 5: Bodentemperaturen in Tiefen von 10-12m zwischen 1984 und 2006 im zentralen und südlichen Mackenzie Valley, Quelle: Romanovsky et al. (2007)

PROBLEMSTELLUNG

Ein Anstieg der Lufttemperatur wird oft mit dem Tauen von Permafrostböden assoziiert. „Als Folge des Klimawandels erwarten die Experten ein Abschmelzen des Permafrosts“ heisst es sogar auf der Homepage des Bundesamtes für Umwelt. Doch ein Anstieg der Lufttemperatur ist nicht gleichzusetzen mit dem Tauen von Permafrost. Die thermalen⁸ Eigenschaften eines Bodens werden mit steigendem Wasser- bzw. Eisgehalt stark verändert, wobei meistens kein einfacher Zusammenhang zwischen einer steigenden Lufttemperatur und der Bodentemperatur besteht. Die Abb.6 zeigt eine mögliche Reaktion der Temperatur eines Permafrostbodens mit Eisgehalt auf eine linear ansteigende Lufttemperatur.

⁸ wärmebezogen

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

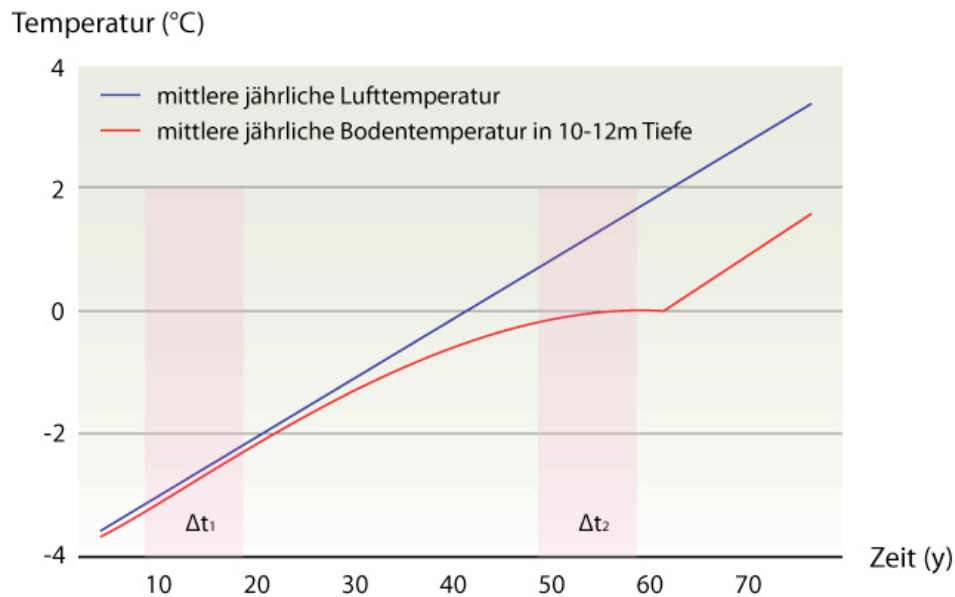


Abb. 6: Mögliche Temperaturreaktion eines Permafrostbodens (rot) auf einen linearen Temperaturanstieg (blau), Quelle: eigene Darstellung

Die Temperatur eines kalten Permafrostbodens kann stark auf ändernde Lufttemperaturen reagieren (Abb. 6: Δt_1). Die Temperatursensitivität des Bodens ist in diesem Fall hoch. Es ist wahrscheinlich, dass bei steigenden Lufttemperaturen und einem gewissen Bodenwasser- bzw. Bodeneisgehalt, die Temperatur zu einem späteren Zeitpunkt, nahe 0°C, so gut wie gar nicht mehr auf den Lufttemperaturanstieg reagiert (Abb. 6: Δt_2). In diesem Fall hat der Permafrostboden die Temperatursensitivität verloren.

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

RICHTIGES VERSTÄNDNIS

Bei dem Versuch, einen Permafrostboden nahe 0°C in den positiven Temperaturbereich zu erwärmen, muss in erster Linie Energie für den Phasenwechsel des im Boden vorhandenen Eises investiert werden. Die Wärmekapazität, also die Energie, die benötigt wird um Eis zu erwärmen, steigt kurz vor dem Phasenwechsel um mehrere Potenzen an (vgl. Abb. 7).

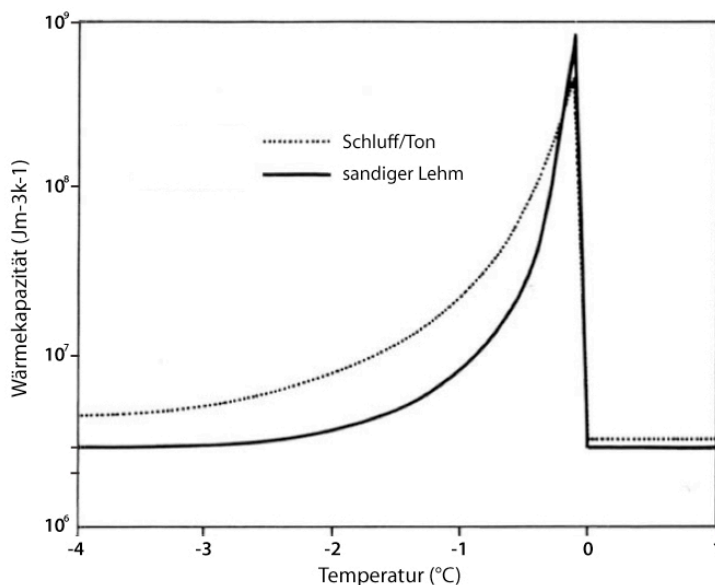


Abb. 7: Anstieg der Wärmekapazität zweier Permafrostböden mit unterschiedlicher Bodensubstanz nahe 0°C, Quelle: Williams and Smith (1989)

Die Abb. 8 zeigt die benötigte Energie, um reines Eis bzw. Wasser zu erwärmen. Ersichtlich wird, dass fast doppelt so viel Energie investiert werden muss, um Eis (0°C) zu Wasser (0°C) zu schmelzen, wie Eis von -100°C auf 0°C zu erwärmen. Erfolgt die Energiezufuhr durch einen Lufttemperaturanstieg, wie es in der Natur der Fall sein könnte, wird die Energie beim Phasenwechsel in Form von latenter Wärme⁹ absorbiert, ohne dass die Temperatur des Bodens ansteigt. Somit kann die Lufttemperatur um einige Grad Celsius ansteigen, die Bodentemperatur stagniert¹⁰ jedoch so lange nahe 0°C, bis das im Boden vorhandene Eis komplett geschmolzen ist. Erst wenn dies zutrifft, reagiert die Temperatur des Bodens wieder sensibel auf äussere Wärmeeinflüsse.

Die Menge des im Boden vorhandenen Eises und die zugeführte Energiemenge spielen also eine entscheidende Rolle, wobei der Effekt der abnehmenden Temperatursensitivität und die Dauer der Stagnation der Bodentemperatur nahe 0°C bei einem hohen Eis- bzw. Wassergehaltes am grössten ist.

⁹ nicht fühlbar
¹⁰ kein weiterer Anstieg

Die Verbreitung und Temperatursensitivität von Permafrost

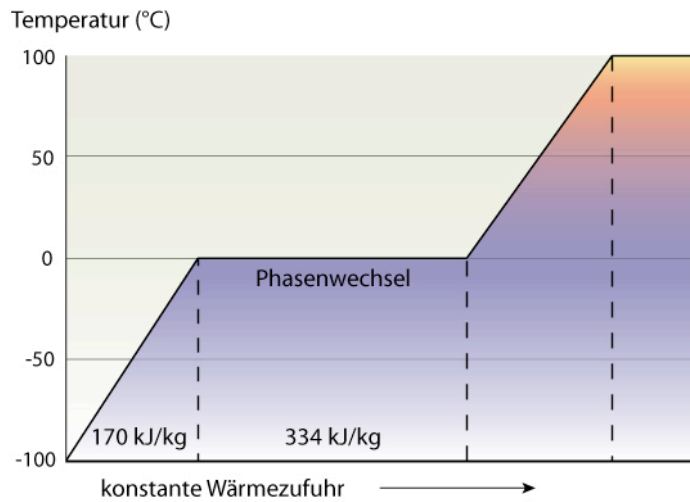


Abb. 8: Phasenwechsel-diagramm (mit Fokus auf fest-flüssig), Quelle: eigene Darstellung

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

French, H.M. (2007): *The Periglacial Environment*. John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester: 458ff.

Gruber, S. (2011): Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. In: *The Cryosphere Discuss.*, 5: 1547-1582

Haeberli, W., Noetzli, J., Arenson, L., Delaloye, R., Gärtner-Roer, I., Gruber, S., Isaksen, K., Kneisel, C., Krautblatter, M., Phillips, M. (2010): Mountain permafrost: development and challenges of a young research field. In: *Journal of Glaciology*, Vol. 56, No. 200: Cambridge: 1043-1058.

Keller, F., Zehnder, U., Egli-Broz, H. (2008): *Permafrost und Klimawandel, Themeneinheit für den Geographieunterricht – Material für Lernende*. Compendio Bildungsmedien AG, Zürich.

Marchenko, S., Ishikawa, M., Sharkhuu, N., Jin, H., Li, X., Lin, Z., Yabuki, H., Brown, J. (o.J.): *Distribution and Monitoring of Permafrost in Central and Eastern Asia*

Munack, H., Schröder, H. (2009): Der Wärmehaushalt periglazialer Hochgebirgsböden - Zusammenhänge zwischen Bodentiefe und Frostwechselln (Nördlicher Tian Shan, Kasachstan). In: *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science Journal*, 58/1, Hannover: 70-85

Nötzli, J., Gruber, S., Haeberli, W. (2006): *3D-Modellierung der thermischen Bedingungen im Bereich des Gipfelgrates der Zugspitze*. Glaciology and Geomorphodynamics Group, Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

Riseborough, D., Shiklomanov, N., Etzelmüller, B., Gruber, S., Marchenko, S. (2008): Recent advances in permafrost modelling. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 20(1): 1-14.

Romanovsky, V.E., Gruber, S., Instanes, A., Jin, H., Marchenko, S.S., Smith, S.L., Trombotto, D., Walter, K.M. (2007): Frozen Ground. In: *UNEP Global Outlook for Ice and Snow*. United Nations Environment Program: 181-200.

Salzmann, N. (2006): *The use of Results from Regional Climate Models for Local-scale Permafrost Modelling in Complex High-mountain Topography - Possibilities, Limitations and Challenges for the Future*. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.

Williams, P.J., Smith, M.W. (1989): *The Frozen Earth: Fundamentals of Geocryology*. Cambridge University Press: Cambridge: 83ff.

B3 Digital-interaktive Flash Animation

Auf der beiliegenden CD im Ordner `digital_interaktiv/digital_interaktiv.html` mit einem Browser öffnen (bevorzugt Firefox)!

Alternativ kann die Animation bis Dezember 2012 auf <http://www.permafrostinfo.ch/permanimation> angeschaut werden.

Persönliche Erklärung:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Zürich, den 04.05.2012