



Gletscher als klimagesteuerte Systeme

**Ein Beitrag zur komplexen Beziehung zwischen
Hochgebirgsgletschern und klimatischen Einflussfaktoren als
Beispiel einer systemischen Raumsachverhaltsbetrachtung im
Geographieunterricht (Teil II)**

Stefan Winkler

Zitieren dieses Artikels:

Winkler, S. (2004). Gletscher als klimagesteuerte Systeme. Ein Beitrag zur komplexen Beziehung zwischen Hochgebirgsgletschern und klimatischen Einflussfaktoren als Beispiel einer systemischen Raumsachverhaltsbetrachtung im Geographieunterricht (Teil II). *Geographie und ihre Didaktik*, 32(2), S. 57-75. doi 10.60511/zgd.v32i2.254

Quote this article:

Winkler, S. (2004). Gletscher als klimagesteuerte Systeme. Ein Beitrag zur komplexen Beziehung zwischen Hochgebirgsgletschern und klimatischen Einflussfaktoren als Beispiel einer systemischen Raumsachverhaltsbetrachtung im Geographieunterricht (Teil II). *Geographie und ihre Didaktik*, 32(2), pp. 57-75. doi 10.60511/zgd.v32i2.254

GuiD 32 (2004) S. 57 - 75	STEFAN WINKLER: Gletscher als klimagesteuerte Systeme – Ein Beitrag zur komplexen Beziehung zwischen Hochgebirgsgletschern und klimatischen Einflussfaktoren als Beispiel einer systemischen Raumsachverhaltsbetrachtung im Geographieunterricht
------------------------------	--

Gletscher als klimagesteuerte Systeme

Ein Beitrag zur komplexen Beziehung zwischen Hochgebirgsgletschern und klimatischen Einflussfaktoren als Beispiel einer systemischen Raumsachverhaltsbetrachtung im Geographieunterricht (Teil II).

von STEFAN WINKLER (Düsseldorf)

5. Möglichkeiten der Umsetzung der aufgezeigten Thematik im Geographieunterricht

Es liegt nicht in der Intention des Verfassers, die hier dargestellte Thematik von Hochgebirgsgletschern als klimagesteuerte Systeme abschließend in Form eines Vorschlags für eine komplette Unterrichtseinheit, ergänzt durch konkrete Stundenabläufe, zu diskutieren. Hierzu fühlt sich der Verfasser als Vertreter der Fachwissenschaft weder berufen, noch entspricht es seiner Motivation der vorliegenden Darstellung, ganz abgesehen davon, dass diese Zeitschrift grundlegende, konzeptionelle statt unmittelbar praxistaugliche Antworten auf geographiedidaktische Fragen anstrebt. Wie einleitend begründet, hält der Verfasser die Thematik „Hochgebirgsgletscher“ unter der ausgewählten Betrachtungsweise als klimagesteuertes System für *ein* mögliches Beispiel aus dem Bereich der vielschichtigen Geoökosysteme, an dem sich der Schüler *beispielhaft* wichtige *allgemeingültige* Regeln bei der Untersuchung und Bewertung der *aktuellen* und *anwendungsbezogenen* Fragestellung nach möglichen Auswirkungen einer zukünftigen Veränderung der allgemeinen klimatischen Rahmenbedingungen unter Verwendung eines *systemtheoretischen Ansatzes* in vergleichsweise *anschaulicher Weise* erschließen kann.

Wenngleich die Intention, die allgemeinen Prinzipien der Systemtheorie (vgl. VON BERTALANFFY 1957, KLAUS 1985) in Form einer systemischen Betrachtungsweise von Raumsachverhalten als konzeptionelle Grundlage des Geographieunterrichts zu verwirklichen, theoretisch schon umgesetzt und innerhalb der geographiedidaktischen Forschung als allgemeiner Konsens betrachtet werden darf (vgl. KÖCK 1997, 1998, 1999), ist die Anzahl konkreter Beispiele hierzu noch vergleichsweise gering. Wie die umfassenden Arbeiten von REMPFLER (1998, 1999) stammt die Mehrzahl dieser Beispiele aus dem Bereich der Ökologie, in der die systemische

Betrachtungsweise (Beispiel: „Ökosystem“) nicht nur seit längerer Zeit ein elementarer Teil deren fachwissenschaftlichen Selbstverständnisses ist, sondern die auch unzählige, geographiedidaktisch gut umzusetzende Beispiele für eine kausale Verkettung von menschlichem Handeln und dessen Auswirkungen auf die Ökosysteme bietet (z. B. mit dem Thema „Desertifikation“). Damit kann der Forderung nach Berücksichtigung des Lernziels „Raumverhaltenskompetenz“ unterrichtskonzeptionell vergleichsweise leicht Rechnung getragen werden (vgl. KLAUS 1998, MOSIMANN 1998).

Was zeichnet nun gerade Hochgebirgsgletscher vor diesem Hintergrund als gute Beispiele für eine systemische Betrachtungsweise erdräumlicher Sachverhalte aus? Selbst wenn Gletscher auf den ersten Blick als einfach erfassbare Elemente der Geoökosysteme in Hochgebirgsregionen erscheinen, verlangen sie aufgrund der in den vorausgegangenen Ausführungen aufgezeigten Komplexität nach einer systemischen Sachverhaltsbetrachtung. Gleichzeitig sind Gletscher, im Gegensatz zu relativ abstrakten, lediglich instrumentell messbaren physikalischen Größen wie z.B. der Lufttemperatur, visuell „greifbare“ und reale Gegenstände, deren Veränderungen schon allein durch Beobachtung (auch durch Nicht-Wissenschaftler!) nachvollziehbar sind. Sie erfüllen damit nach Ansicht des Verfassers die z. B. bei KÖCK (1997, 1999) formulierten Anforderungen an geeignete Beispielsysteme für die Umsetzung im Geographieunterricht. Ferner lassen sich auch die verschiedenen Ebenen des Systemdenkens, d. h. systemanalytisches, systemtheoretisches und allgemeinsystemtheoretisches Denken (KÖCK 1985), an diesem Beispiel unterrichtskonzeptionell gut umsetzen (s. a. HAGEL 1985), ergänzt und teilweise gekoppelt an eine Analyse der im System Hochgebirgsgletscher vorhandenen Typen von Wirkungsbeziehungen (vgl. KLAUS 1985). Hierzu werden im nachfolgenden Kapitel noch konkrete Beispiele geliefert werden.

Die systemische Betrachtung von Hochgebirgsgletschern sollte nach Ansicht des Verfassers nicht primär in den Kontext der Vermittlung physisch-geographischen Basiswissens bzw. regionalgeographischer Ausführungen gestellt werden. Vielmehr könnte die Thematik in Reaktion auf aktuelle, auch gesellschaftspolitisch relevante Umweltentwicklungen (wie sie regelmäßig in den heutigen Medien auftauchen und somit auch die Schüler erreichen) als in Umfang und Zeitpunkt flexibler Themenblock eingerichtet werden, welcher eine Anpassung an den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen, das Niveau der Jahrgangsstufe, die Schulart und eventuell vorhandene Vorkenntnisse ermöglichen sollte. Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung sind jedoch, dies ist bei aller Aktua-

lität der aktuellen Klimaentwicklung (Stichwort: Globale Erderwärmung) einzuschränken, dass ein zum Verständnis der komplexen Zusammenhänge des klimagesteuerten Systems Hochgebirgsgletscher ausreichendes Basiswissen und entsprechende kognitive Fähigkeiten und Denkleistungen zum Nachvollziehen der teilweise komplexen Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Einflussfaktoren vorhanden sind. Im Detail ist zu fordern, dass grundlegende meteorologische Tatsachen (wie z. B. der Strahlungshaushalt der Atmosphäre) bekannt sind und ein Grundverständnis der einzelnen Klimaparameter und deren Veränderung in Abhängigkeit von der Meereshöhe (= Höhenstufung des Klimas in Gebirgen) bzw. Entfernung zum Meer (maritim – kontinentaler Klimawandel) vorausgesetzt werden darf. Erleichtert würde eine Behandlung der Thematik durch eine bereits zuvor erfolgte Darstellung der „traditionellen“ (morphologischen) Betrachtungsweise von Hochgebirgsgletschern, da dies andernfalls parallel oder unmittelbar vorab erfolgen müsste.

Die bei HAGEL (1985) vorgestellten Möglichkeiten zur Darstellung von Systemen im Geographieunterricht lassen sich gut in der Raumsachverhaltsbetrachtung von Hochgebirgsgletschern umsetzen. Im nachfolgenden Kapitel werden drei Fallbeispiele vorgestellt, an denen sich verschiedene Aspekte der systemtheoretischen Betrachtungsweise demonstrieren bzw. in Gruppenarbeit erarbeiten lassen. Einzelne Aspekte des Systems Hochgebirgsgletscher lassen sich ferner detailliert auf die bestehenden Wirkungsbeziehungstypen (KLAUS 1985) hin analysieren. Beispielsweise stellt die Reaktion der Gletscherfront auf eine Änderung des Massenhaushalts eine einfache Rückkopplung dar, und die einzelnen Ablationsfaktoren (solare Strahlungsbilanz, latenter Wärmefluss etc.) wirken als Parallelkopplung auf die Gesamtablation (Sommerbilanz). Analog kann das System auch auf direkte und indirekte Rückkopplungen hin untersucht werden, um anschließend die Auswirkungen der Veränderung einzelner Faktoren innerhalb solcher Wirkungsgefüge modellhaft prognostizieren zu lassen (vgl. konkrete Fallbeispiele in Kapitel 6). Zahlreiche andere Beispiele lassen sich aus den hier vorliegenden fachlichen Ausführungen ableiten, wobei die zahlreichen Figuren Anregungen zu möglichen Arbeitsmitteln geben sollen und universell (bei entsprechender Datengrundlage) auch für andere Fallbeispiele modifiziert werden können.

Auf Grundlage der erforderlichen kognitiven Denkleistungen in Kombination mit dem notwendigen physisch-geographischen Basiswissen zum Umsetzen einer systemischen Betrachtung von Hochgebirgsgletschern erscheint dem Verfasser die Sekundarstufe I als ein nur bedingt geeignetes Niveau. Besser geeignet wäre, gerade auch von den erforderlichen

systemtheoretischen Denkleistungen her, die Sekundarstufe II und, vor dem Hintergrund der nachfolgend vorgestellten komplizierten Gedankenexperimente und einer als sinnvollen Ergänzung möglichen kritischen Auseinandersetzung mit entsprechender Fachliteratur bzw. Medienberichten, die gymnasiale Oberstufe. Allerdings hält es der Verfasser durchaus für möglich, aus dem hier vorgestellten Themenrahmen einzelne Punkte explizit auszuwählen und an die jeweilige Jahrgangsstufe bzw. Schulart anzupassen, beispielsweise durch Variation der Tiefe des Einstiegs in die Fachmaterie oder den Verzicht auf die kompliziertesten Aspekte der Gletscher als klimagesteuertes System, ohne dabei jedoch die systemische Betrachtungsweise aufzugeben, die bei dieser Thematik notwendig ist. Da jedoch die aktuelle Umweltproblematik Bestandteil des Geographieunterrichts aller Schularten sein sollte, möchte der Verfasser auf eine a priori Ausklammerung einzelner Schularten bzw. Festlegung auf bestimmte Jahrgangsstufen für die Behandlung verzichten.

Die praktische Möglichkeit der Durchführung von Experimenten zur hier vorgestellten Thematik ist in Mitteleuropa außerhalb der Alpen zugegeben begrenzt, ebenso ihre Durchführung im Rahmen von Klassenfahrten oder als außerschulischer Lernort. Allerdings existieren vielfältige Möglichkeiten zur Umsetzung der Thematik mit Hilfe von teilweise didaktisch hervorragend aufgearbeiteten, anschaulichen Arbeitsmaterialien, wobei das Spektrum von (auch historischem) Bildmaterial zu ausführlichen Datensammlungen reicht und teilweise auch problemlos im Internet zu finden ist (siehe Hinweise im Literaturverzeichnis).

6. Fallbeispiele und Gedankenexperimente zur Komplexität des klimagesteuerten Systems Hochgebirgsgletscher

Auf Grundlage der fachlichen Ausführungen und mit Hilfe der Literaturhinweise dürfte es keine Schwierigkeit darstellen, geeignete unterrichtsspezifische Beispiele zur Thematik Hochgebirgsgletscher in systemischer Betrachtungsweise zu finden und als konkrete Unterrichtseinheiten umzusetzen. Die Kopplung allgemeiner Betrachtungen an spezifische Fallbeispiele (einzelne Gletscher oder Regionen) bietet sich aufgrund des hohen visuellen Potentials der Thematik an, da in Literatur, im Internet und ggf. aus eigener Erfahrung (Wanderurlaub in den Alpen etc.) geeignete bildliche Darstellungen und didaktisch gut aufbereitete Diagramme zur Veränderung des Gletscherstands oder der Gletschermasse verhältnismäßig leicht zu finden sind. Die bei HAGEL (1985) an anderen Beispielen aufgezeigten Möglichkeiten der Erarbeitung von Systemen mittels „Schaltplänen“, welche ganz oder teilweise leer zunächst um die entsprechenden Einflussfaktoren ergänzt werden müssen (ggf. mit oder noch ohne Kenn-

zeichnung der korrekten Wechselwirkungen), lassen sich problemlos auch für das System Hochgebirgsgletscher anwenden. Als Vorschlag werden nachfolgend drei konkrete Fallbeispiele/Gedankenexperimente vorgestellt, welche der Verfasser für eine systemische Betrachtung als gut geeignet einstuft. Diese basieren auf den vorausgegangenen fachlichen Ausführungen, die teilweise notwendigen Ergänzungen werden dabei zunächst vorangestellt.

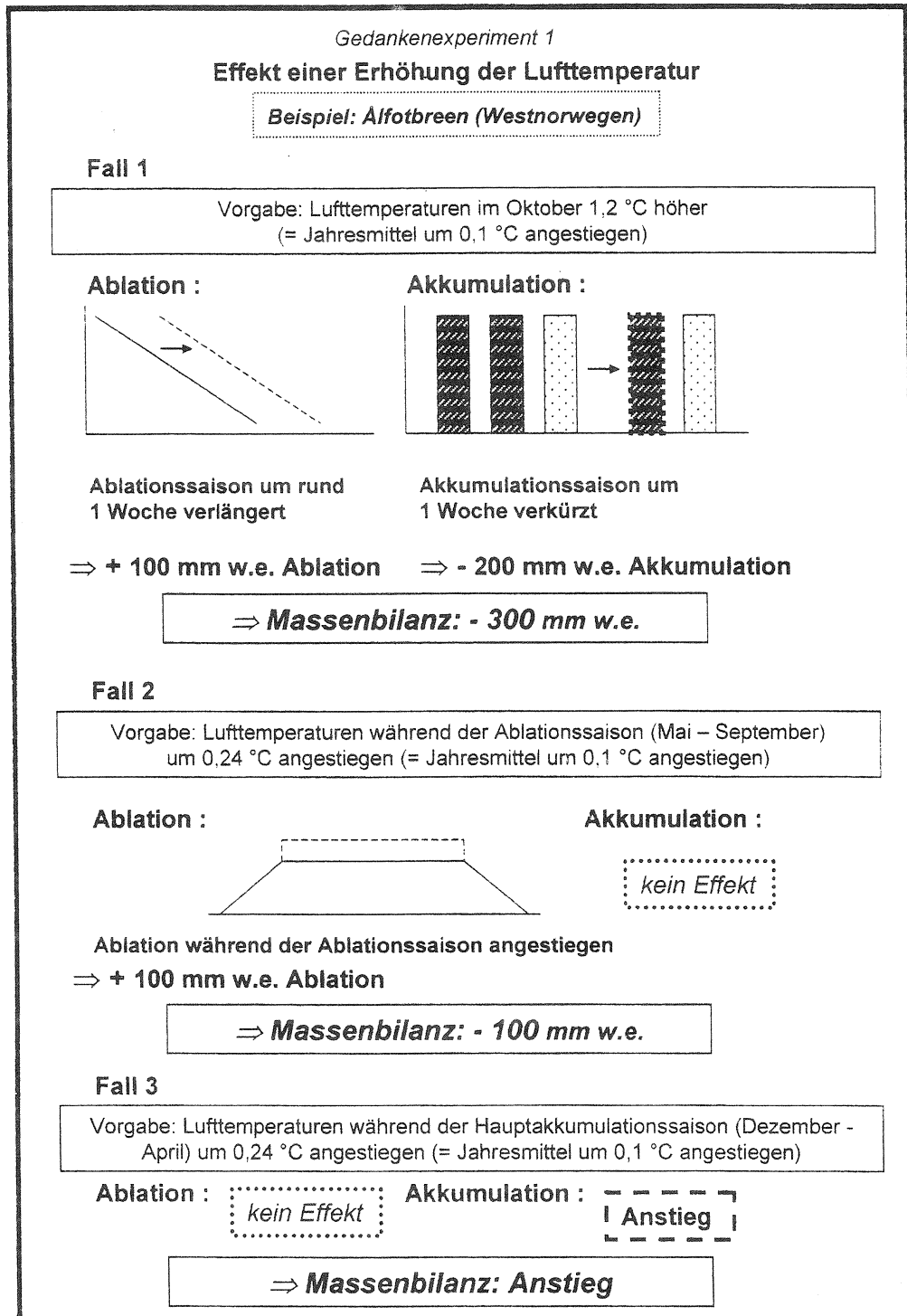
6.1 Der Herbst in seiner Schlüsselrolle an maritimen Gletschern

Der Herbst besitzt als Übergangsphase von Regen zu Schnee eine Schlüsselrolle an sensitiv reagierenden maritimen Gletschern. In maritimen Regionen liegt das Niederschlagsmaximum im Herbst, also in der Phase sinkender Lufttemperaturen. Schon geringfügige Verschiebungen des Niederschlagsmaximums bzw. ein Ansteigen oder Absinken der Lufttemperaturen besitzen großen Einfluss und können für den gesamten Massenhaushalt entscheidend sein. Ein konkretes Beispiel hierzu liefert das maritime Westnorwegen, wo ein Anfang der 1990er Jahre aufgetretenes starkes Gletschermassenwachstum mit einer markanten Verschiebung des Niederschlagsmaximums vom Herbst in den Winter zusammenfällt (WINKLER & HAAKENSEN 1999, WINKLER 2002b) und diese Massenzuwächse in ihrer Größenordnung nicht ausschließlich auf die absolute Steigerung der Niederschläge über die gesamte Akkumulationsperiode von Oktober bis April zurückgeführt werden konnten. Durch Verschiebung des Niederschlagsmaximums erhöhte sich der Prozentanteil der Niederschläge in fester Form, weil bei der niedrigen Höhenlage der Gletscher auch im Spätherbst der Niederschlag noch als Regen fallen kann.

Eine hervorgehobene Bedeutung des Herbstes zeigen theoretische Modelle mit Simulationen der Massenbilanz (z. B. LAUMANN & REEH 1993 etc) wie einfache Gedankenexperimente, z. B. für den westnorwegischen Ålfotbre, einen der maritimsten Gletscher Südnorwegens (WINKLER & HAAKENSEN 1999). Dieses konkrete Gedankenexperiment kann mit Hilfe eines einfachen Modells auch für andere Gletscher oder Regionen innerhalb des Unterrichts nachvollzogen werden; denn nachdem die natürlichen Rahmenbedingungen (das Obersystem) bekannt sind, kann über ein Ursache-Wirkungs-Schema der unterschiedlichen beteiligten Einflussfaktoren mit Beispielrechnungen der Effekt auf die Massenbilanz als Simulation vorgegebener Veränderung der beteiligten Faktoren durchgerechnet und das Ergebnis unterschiedlicher Simulationen verglichen werden.

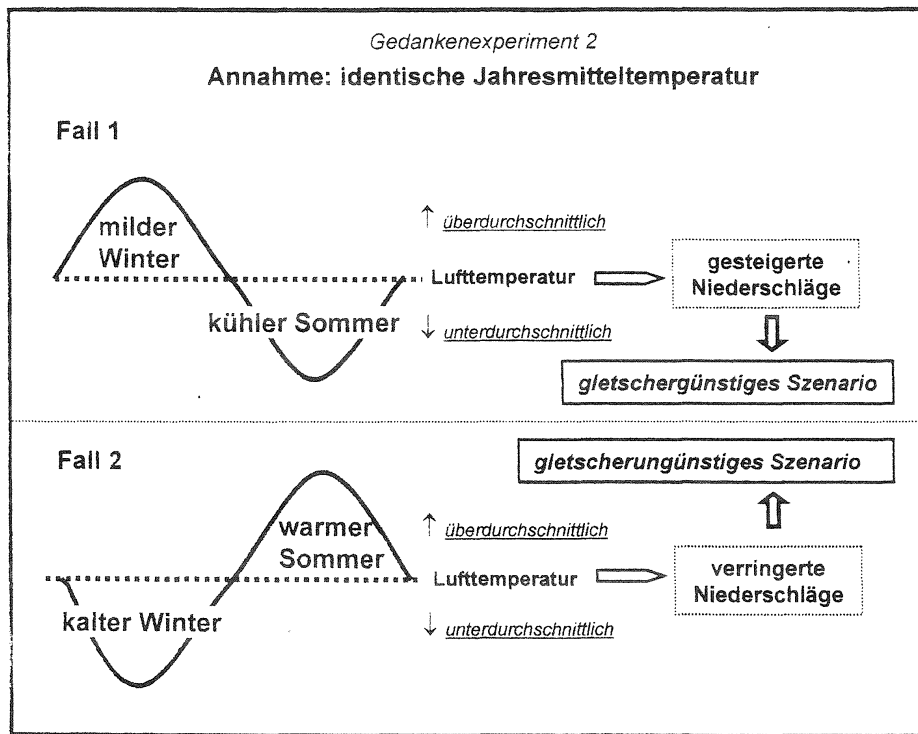
Im Fallbeispiel des Älfotbreen werden für das Höhenstockwerk des Gletschers Jahresniederschlagssummen von über 5.000 mm kalkuliert, wobei der durchschnittliche wöchentliche Niederschlag im Monat Oktober ungefähr 200 mm beträgt. Gleichzeitig sinkt im Oktober die Lufttemperatur durchschnittlich um 1°C ab (DNMI, unveröffentlicht). Ausgangsszenario der Gedankenexperimente ist ein angenommener Anstieg des Jahresmittels der Lufttemperatur um $0,1^{\circ}\text{C}$. Gesetzt den (rein theoretischen) Fall 1 eines allein auf den Monat Oktober begrenzten Anstiegs mit einem als Folge $1,2^{\circ}\text{C}$ höheren Monatsmittel, verlängert sich die Ablationsperiode um ca. 1 Woche, und die Ablation steigt um 100 mm w.e., gerechnet auf die Massenbilanz des Jahres (s. Fig. 19). Zusätzlich fällt noch rund eine Woche länger der Niederschlag in Form von Regen und nicht als Schnee, womit zusätzliche 200 mm w.e. an Schneeakkumulation der Massenbilanz verloren gehen. Addiert ergibt sich eine Summe von 300 mm w.e. auf der negativen Bilanzseite des Massenhaushalts. Würde in einem anderen Szenario (Fall 2) sich der Anstieg der Lufttemperatur auf die Monate Mai bis September beschränken (d.h. in den 4 Monaten jeweils um $0,3^{\circ}\text{C}$ höhere Monatsmittel auftreten), ergäbe sich eine um 100 mm w.e. höhere Ablation für die gesamte Ablationsperiode. Ein negativer Effekt für die Akkumulation träte aber nicht auf, da im Sommer die Niederschläge ohnehin fast ausnahmslos als Regen fallen, auch in den höheren Stockwerken des Gletschers. Verglichen mit Fall 1 wird deutlich, dass ein im Herbst auftretender Anstieg der Lufttemperatur einen stärkeren Effekt (im konkreten Beispiel um den Faktor 3) hätte. Im Fall 3 eines möglichen Lufttemperaturanstiegs im Winter dürften sich kaum negative Auswirkungen auf die Massenbilanz einstellen, da milde Winter niederschlagsreich und durch häufige südwestliche Luftströmungen gekennzeichnet sind, eine Situation, in welcher am Älfotbreen eine extrem hohe Akkumulation registriert wurde (7.500 mm w.e. im Winter 1988/89 und 8.650 mm w.e. im Winter 1989/90 – HAAKENSEN 1989, ELVEHØY & HAAKENSEN 1992).

Auch wenn es sich um recht extreme theoretische Rechenbeispiele mit Eintreffwahrscheinlichkeit in der Realität handelt, die Sensibilität maritimer Gletscher gegenüber Veränderungen der Lufttemperatur und des Niederschlags im Herbst lässt sich durch solche Gedankenexperimente und einfache Simulationen im Unterricht mathematisch leicht nachvollziehen. Verschiedene Simulationen können zudem verglichen und auf ihre Plausibilität untersucht werden, vergleicht man sie mit in der Literatur vorliegenden Prognosen der zukünftigen Klimaentwicklung. Als zusätzlichen Schritt könnte auf Grundlage des entwickelten Simulations-



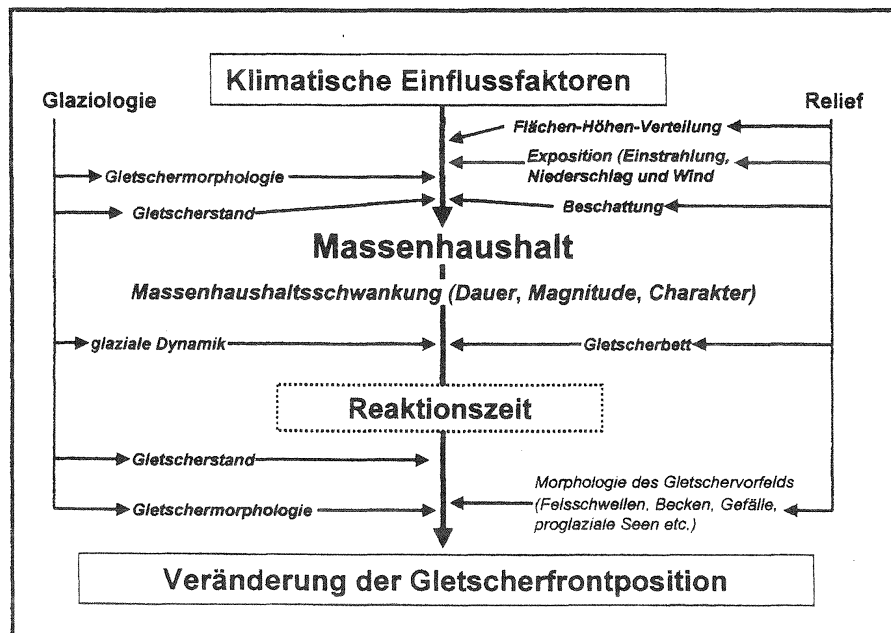
Figur 19

Schematische Darstellung des Gedankenexperiments 1 zur Verdeutlichung der Funktion des Herbst als Schlüsseljahreszeit und Notwendigkeit einer saisonalen Differenzierung einer Veränderung der Lufttemperatur für Prognosezwecke (Erläuterung im Text).



Figur 20

Schematische Darstellung des Gedankenexperiments 2 zur Verdeutlichung der Problematik einer Verwendung von Jahresmitteltemperaturdaten für Prognosezwecke (Erläuterung im Text; leicht modifiziert n. WINKLER 2002b).



Figur 21

Schematische Darstellung möglicher nicht-klimatischer Einflussfaktoren auf Massenhaushalt und Gletscherfrontposition (s. Text, vgl. WINKLER 1996,2001,2002a,2002b; leicht modifiziert n. WINKLER 2002b).

modells ein Forderungskatalog erarbeitet werden, wie hoch die Anforderungen an die saisonale (wie regionale) Auflösung von Prognosedaten aus Klimamodellen sein müssen, will man verlässliche Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Massenbilanz treffen (teilweise zu hoch für die heute existierenden Klimamodelle). Einzelne Einflussfaktoren innerhalb des Modells könnten im Sinne der systemischen Betrachtungsweise zusätzlich einer spezifischen Gewichtung unterworfen werden, um innerhalb des Systems „starke“ von „normalen“ Faktoren differenzieren zu können.

6.2 Jahresmitteltemperaturen und ihre Aussagekraft bezüglich der Entwicklung der Massenbilanz von Gletschern

Im Regelfall werden bei auf der Grundlage von Klimamodellen für bestimmte Szenarien einer anthropogen verursachten Veränderung der Zusammensetzung der Erdatmosphäre (z.B. eines Anstiegs des CO₂-Gehalts) erstellte Prognosen zu erwartende Veränderungen der Lufttemperaturen als Änderungen des Jahresmittels angegeben. Ungeachtet der Tatsache, dass diese Angaben häufig auf die notwendige regionale Differenzierung verzichten und ohne Berücksichtigung der Notwendigkeit einer kritischen Überprüfung der Grundlagen und Erstellung solcher Prognosen zur Beurteilung deren Wahrscheinlichkeit, bietet sich, basierend auf dem komplexen Beziehungsgeflecht zwischen einzelnen klimatischen Einflussfaktoren und dem klimagesteuerten System Hochgebirgsgletscher (wiederum gut mit einer zu entwickelnden Schalttafel zu verdeutlichen), ein theoretisches Gedankenexperiment an. Ziel ist, den Nutzen solcher Prognosen zur Vorhersage der Reaktion der Gletscher zu bewerten, möglicherweise in Gruppenarbeit mit anschließender gemeinsamer Diskussion. Nicht zuletzt sind diesbezügliche Vorhersagen in den Medien immer wieder zu finden, und es existieren wissenschaftliche Arbeiten, die im Umkehrschluss für vergangene Jahrzehnte Veränderungen der Jahresmitteltemperatur auf der Grundlage von Daten der Veränderungen der Gletscherfront rekonstruieren (OERLEMANS 1994; s. u.).

Da das Bilanzjahr eines Gletschers in Akkumulations- und Ablationssaison aufgegliedert wird, sollten beide Teilbilanzen sinnvollerweise zunächst separat betrachtet werden. Diesem Umstand trägt eine auf die Jahresmitteltemperatur beschränkte Vorgabe der Klimaentwicklung in keiner Weise Rechnung. Aus Angaben über einen bestimmten Anstieg der Jahresmitteltemperatur können wegen der fehlenden saisonalen Differenzierung keine direkten Rückschlüsse auf Auswirkungen auf die Teilbilanzen gezogen werden. Stellt man sich als Gedankenexperiment eine ungefähr um den Mittelwert der letzten Jahrzehnte liegende Jahresmitteltem-

peratur im Jahr X vor, kann diese (beispielsweise) aus zwei stark differierenden Szenarien resultieren (vgl. Fig. 20). In Szenario 1 liegen die Lufttemperaturen während der winterlichen Akkumulationssaison unter dem langjährigen Durchschnitt und werden in der nachfolgenden sommerlichen Ablationssaison durch überdurchschnittliche Lufttemperaturen „ausgeglichen“. Die Jahresmitteltemperatur zeigt so keine auffälligen Abweichungen. Bei Szenario 2 folgt auf einen milden Winter mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen ein Sommer mit unterdurchschnittlichen Lufttemperaturen. Auch in diesem Fall heben sich die saisonalen Abweichungen gegenseitig auf, so dass als Konsequenz die Jahresmitteltemperaturen beider Szenarien identisch könnten. Dies gilt aber in einem solchen Fall nicht für den Massenhaushalt eines Gletschers.

Im Szenario 1 ist die winterliche Akkumulation unterdurchschnittlich, denn kalte Winter sind trockener und gletscherungünstig. Dies gilt auch für Sommer mit überdurchschnittlichen Temperaturen, da neben einer gesteigerten Ablation durch die hohen Temperaturen (sensibler Wärmefluss) auch sommerliche Schneefälle seltener auftreten (s. o.). Szenario 1 zeigt insgesamt gletscherungünstige Verhältnisse und würde eine negative Nettobilanz zur Folge haben. Dahingegen wäre die Akkumulation bei Szenario 2 vermutlich überdurchschnittlich, denn milde Winter sind niederschlagsreich. Eine entsprechende gletschergünstige Bewertung gilt auch für kühle, feuchte Sommer, in denen die Ablation unterdurchschnittlich ausfällt und Gletscher u. a. durch häufige sommerliche Schneefälle profitieren. Resultierend wäre im Szenario 2 eine positive Nettobilanz und eine Zunahme der Gletschermasse zu erwarten. Diese einfachen Rückkopplungen sollten nach einer ersten Darstellung der Grundlagen der Massenbilanz und der klimatischen Rahmenbedingungen bekannt sein, womit sich als erster Schritt innerhalb dieses Gedankenexperiments auch eine Überprüfung des Lernerfolgs bewerkstelligen lässt.

Eine in Diskussion weiter zu bearbeitende Frage ist nun, wie sich, wenn zwei bezüglich des Gletschermassenhaushalts extrem unterschiedliche Szenarien theoretisch bei identischer Jahresmitteltemperatur auftreten können, überhaupt gesicherte Prognosen des Gletscherverhaltens erstellen lassen, wenn als Grundlage lediglich Angaben zur Entwicklung der Jahresmitteltemperatur vorliegen? Selbst wenn die Probleme einer Prognose des Gletscherverhaltens nur vereinfacht aufgezeigt werden, müsste in einer Diskussion deren Problematik deutlich werden. Die Schüler können so einen Hinweis darauf bekommen, weswegen einfache Schlagworte zwar populär sind und einprägsam formuliert werden können, der

Realität des komplexen klimagesteuerten Systems Gletscher aber nicht gerecht werden.

Die aufgezeigte Problematik der Einengung der Betrachtungsweise auf die Jahresmitteltemperatur kann auch am Beispiel der Arbeit zur Rekonstruktion der Jahresmitteltemperatur auf der Grundlage des Gletscherverhaltens von OERLEMANS (1994) exemplarisch vermittelt werden. Ohne das von OERLEMANS (1994) verwendete mathematische Modell einer kritischen Überprüfung unterziehen zu müssen und unter Verzicht auf eine Kritik an der sehr „subjektiven“ Auswahl der untersuchten Gletscher (von 48 zur Berechnung eines „globalen“ Mittelwerts des Gletscherrückzugs der letzten 100 Jahre herangezogenen Gletschern liegen 24 in den nordamerikanischen Rocky Mountains - eine wenig repräsentative Auswahl bei zudem teilweise nicht optimalen Datensätzen), können bereits Schüler höherer Jahrgangsstufen auf der Grundlage der zuvor vorgestellten glaziologischen Fakten selbstständig Kritikpunkte an dieser Arbeit entwickeln. Konkret zu fordern wäre die Kritik an der Verwendung von Gletscherfrontschwankungsdaten zur direkten Ableitung von Änderungen der Lufttemperatur (Nichtberücksichtigung der Massenbilanz und Bedeutung der Reaktionszeit). Weiter zu nennen ist die mangelnde regionale Differenzierung, deren Notwendigkeit die Unterschiede im Gletscherverhalten Ende des 20. Jahrhunderts mehr als eindrucksvoll unterstreichen (WINKLER 2002b). Auch bei Nichtberücksichtigung dieser Einschränkungen dürften keine direkten Rückschlüsse auf die Jahresmitteltemperatur gezogen werden, da beispielsweise der Faktor Niederschlag und das jeweilige glaziologische Regime unbeachtet bleibt. Es könnten lediglich partiell Rückschlüsse auf die klimatischen Verhältnisse während Akkumulations- oder Ablationssaison in regionaler Differenzierung gezogen werden, also ohne unabhängige Zusatzinformationen über die Klimaentwicklung (z.B. durch historische Wetterbeobachtungen, Dendrochronologie etc.) keine Aussagen über die Entwicklung der Jahresmitteltemperatur gezogen werden.

6.3. „Gletscherrückzug oder Gletschervorstoß als Folge einer globalen Erderwärmung“ – welche Aussage trifft zu?

Als Abschluss einer Bearbeitung der Thematik „Hochgebirgsgletscher als klimagesteuerte Systeme“ bietet sich, als Form einer Lernerfolgskontrolle der zuvor vermittelten Sachverhalte und Überprüfung der kognitiven Fähigkeiten im systemanalytischen und systemtheoretischen Kontext, eine Gruppenarbeit mit anschließender, auf Grundlage selbst entwickelter Argumentationsketten geführter Diskussion an. Ausgangspunkt ist die provokative Gegenüberstellung zweier Thesen, wie sie schlagwortartig

als Überschriften in den heutigen Printmedien auftauchen könnten. Die These „Gletscherrückzug als Folge einer globalen Erderwärmung“ soll der, zugegeben zunächst weniger logisch erscheinenden These „Gletschervorstoß als Folge einer globalen Erderwärmung“ gegenübergestellt werden. Ziel soll sein, unter Anwendung der bekannten Zusammenhänge zwischen den klimatischen Einflussfaktoren und der Massenbilanz eines Gletschers jeweils Argumente für oder gegen den Wahrheitsgehalt der beiden Thesen zu erarbeiten. Zusatzaufgabe hierbei ist die Erstellung eines Schaubilds, welches die Komplexität des Systems Hochgebirgsgletscher darstellt (vgl. Fig. 21) und die Notwendigkeit der systemischen Betrachtungsweise innerhalb des Unterrichts unterstreichen helfen soll. Außerdem sollte ggf. eine (zunächst allgemeine) regionale Differenzierung vorgenommen werden.

Gewünschtes Ergebnis im Verlauf einer solchen Diskussion ist die gemeinsam zu erarbeitende Schlussfolgerung, dass beide (!) Thesen auf der Grundlage des aktuellen Wissensstands über das System Hochgebirgsgletscher theoretisch wahr (oder falsch) sein können, was davon abhängt, in welcher Region und unter welchem glaziologischen Regime man die Thesen überprüft. Empirisch kann dann einfach gezeigt werden, dass in den europäischen Alpen und kontinentalen Gebirgsregionen ein Gletscherrückzug als Folge einer globalen Erderwärmung zu erwarten ist und aktuell tatsächlich eine solche Entwicklung auftritt. In maritimen Gebirgsregionen kann dagegen als Folge einer Erderwärmung ein Gletschervorstoß auftreten, was entsprechend am Beispiel von Westnorwegen belegt werden kann. Im letztgenannten Fall wird jedoch eine weiterführende Betrachtungsweise, welche als Folge des Anstiegs der Lufttemperaturen einen Anstieg auch der Meeresoberflächentemperaturen, der Verdunstungsraten und der Niederschläge in küstennahen Gebirgsregionen ableitet, erforderlich. Dieser kausale Zusammenhang wird in einigen Klimaprognosen berücksichtigt, obwohl die Prognose des Niederschlags mit einer deutlich größeren Unsicherheit behaftet ist. Da in maritimen Regionen ein Anstieg der winterlichen Schneeakkumulation zu einem Massenzuwachs der Gletscher führt, kann es dort als Folge der globalen Erderwärmung zu einem Gletschervorstoß kommen, allerdings nur, solange eine kritische Schwelle der Lufttemperaturen in der Schlüsseljahreszeit Herbst nicht überschritten wird und die (erhöhten) Niederschläge ausschließlich als Regen fallen.

Gerade dieses Fallbeispiel wird einer systemtheoretischen Betrachtungsweise voll gerecht, müssen doch die Zusammenhänge innerhalb des Systems Hochgebirgsgletscher in ihren Wirkungsbeziehungen bekannt sein,

um erfolgreiche Ergebnisse zu erzielen. Außerdem tritt die Notwendigkeit einer räumlichen Differenzierung von Systemen auf den Plan, ergänzt um die Feststellung, dass es sich bei Hochgebirgsgletschern um dynamische und komplexe Systeme handelt, deren Prognose aufgrund von (noch) unbekanntem Schwellenwerten nur sehr schwierig ist. Die Bedeutung des Inputs und der Veränderung des Inputs kann unterstrichen werden, ebenso die Problematik der Prognose des Outputs, zu der auch die systemimmanente Verzögerung infolge einer nicht unmittelbaren Reaktion der Gletscher zählt. Allgemeinsystemtheoretische kognitive Leistungen können in Weiterführung der konkreten glaziologischen Thematik an diesem Fallbeispiel vermittelt und eingeübt werden.

7. Schlussbemerkung - von der Notwendigkeit räumlicher Differenzierung und komplexer Betrachtungsweise

Ziel einer auch im Rahmen des Geographieunterrichts nach Ansicht des Verfassers wünschenswerten exemplarischen Darstellung der Hochgebirgsgletscher als klimagesteuerte Systeme ist die Notwendigkeit, durch Veränderung der gegenwärtigen klimatischen Rahmenfaktoren bewirkte Veränderungen innerhalb der Geoökosysteme in einer komplexen und gleichzeitig räumlich differenzierten Betrachtungsweise zu analysieren. An diesem Beispiel kann deutlich gemacht werden, dass auf einzelne Schlagworte verkürzte Aussagen der Vielschichtigkeit der Geoökosysteme wenig gerecht werden und die vorschnelle Ausweisung „globaler“ Trends die realen Verhältnisse in der Natur verzerrt oder sogar falsch wiedergeben.

Es soll (und kann) nicht Ziel einer Behandlung der Thematik „Hochgebirgsgletscher als klimagesteuerte Systeme“ sein, den Wahrheitsgehalt unterschiedlicher Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Klimas und den anthropogenen Anteil an jener Entwicklung kritisch zu hinterfragen. Der Verfasser legt Wert auf die Feststellung, dass die hier dargestellten glaziologischen Sachverhalte nicht in eine bestimmte gesellschaftskritische oder umweltpolitische Richtung zu interpretieren sind. Denn ungeachtet eines möglichen anthropogenen Einflusses auf die zukünftige Klimaentwicklung bzw. dessen Stärke und möglicher Konsequenzen oder notwendiger Gegenmaßnahmen ist Faktum, dass das Klima im Verlauf der Erdgeschichte niemals über längere Zeiträume „stabil“ war. Es unterlag permanenten Veränderungen und würde/wird auch ohne anthropogenen Einfluss in der Zukunft jenen Veränderungen unterliegen. Somit besitzt die Frage nach den Auswirkungen von Klimaänderungen auf Geoökosysteme eine generelle Natur, ebenso der Wunsch nach einer Entschlüsselung gegenwärtiger oder vergangener Klimaveränderungen

durch Untersuchung des Verhaltens des komplexen klimagesteuerten Systems „Gletscher“.

Dies ist nur durch ein detailliertes Verständnis jenes komplexen Systems zu erreichen, auch wenn dadurch evtl. „unpopuläre“ Erkenntnisse zu Tage gefördert werden (wie z. B. das nicht in das weit verbreitete Bild der „globalen Erwärmung“ passende aktuelle Massenwachstum der Gletscher in maritimen Gebirgsregionen). Es ist aber Überzeugung des Verfassers, dass gerade aufgrund eines geschärften Umweltbewusstseins großer Teile der heutigen Schülergeneration und einer Emotionalisierung (bisweilen Polemisierung) der Darstellungsweise der aktuellen Klimaentwicklung in der Öffentlichkeit nicht auf eine sorgfältige, wissenschaftlich geprägte Analyse der vorliegenden Hinweise verzichtet werden sollte. Nur so besteht die Chance, die Komplexität der „Natur“ zu vermitteln, was wiederum einen unschätzbaren Wert hinsichtlich des Lernziels eines umweltgerechten Verhaltens und Umweltverständnisses hat. Je klarer dem Schüler die Komplexität der Geoökosysteme wird, desto kritischer wird er gegenüber populistischer Argumentation aller an der aktuellen Umweltdiskussion beteiligten Gesellschaftsgruppen. Hochgebirgsgletscher sind dabei nur ein Beispiel, wie im Hinblick auf diese übergeordnete Zielvorstellung Fachwissenschaft und Fachdidaktik zukünftig enger zusammenarbeiten könnten.

Experiment 1 - Dichtevergleich

Im Winter kann die unterschiedliche Dichte von Neu- und Altschnee durch ein einfaches Experiment gezeigt werden. Man füllt identische Behälter bis zu einer bestimmten Höhe mit Neuschnee und (falls vorhanden) Altschnee und/oder Eis (es muss natürlich kein Gletschereis sein). Nach dem vollständigen Abschmelzen kann dann der Wasserwert der entsprechenden Schneehöhe gemessen werden. Die Schüler dürfte dabei beeindruckt sein, welcher Neuschneehöhe die an Hochgebirgsgletschern gemessene und bei der Massenbilanz in Wasserwert angegebene winterliche Schneeakkumulation entsprechen würde (z.B. die durchschnittlich über 3,5 m w.e. hohe Akkumulation am westnorwegischen Ålfotbreen entspricht rd. 35 m frischem Neuschnee!).

Experiment 2 - Albedo

Aus der Physik entliehen ist ein einfaches Experiment zur Bedeutung der Albedo für die Energieaufnahme einer Oberfläche. Man setzt Platten gleichen Materials (z.B. Metall/Blech, Kunststoff oder Holz), aber unterschiedlicher Oberflächenfarbe (Schwarz und Weiß ist ausreichend) der Sonne als natürlicher Strahlungsquelle aus und vergleicht den Anstieg der Oberflächentempe-

ratur. Wie aus dem Alltag bekannt, erwärmt sich das dunkle Material schneller, nimmt also mehr Energie auf. Dies kann nun auf die unterschiedlichen Gletscheroberflächen (Neuschnee, Firn und Eis) übertragen werden und verdeutlicht die steuernde Wirkung der Albedo bei der Energieaufnahme und Ablation.

Experiment 3 – Abflussschwankung

Dieses Experiment lässt sich auf Klassenfahrten/Exkursionen in die Alpen durchführen, gesetzt den Fall, es gibt einen durch Gletscherschmelzwasser gespeisten Bach oder Fluss. Mit einer vorhandenen oder auch provisorisch schnell herzustellenden Meßlatte kann während des Aufenthalts der Wasserstand (als Anzeiger der Abflussmenge) während verschiedener Tageszeiten und (ggf.) Witterungseinflüsse gemessen und mit Wetterbeobachtungen verglichen werden. Ist die Maßstelle nicht allzu weit vom Gletscher entfernt, wird ein typischer Tagesgang in Schönwetterperioden abzulesen sein. Sollte ein Wettersturz mit Neuschnee auftreten, wird der Abfluss als Folge rasch absinken und auch die nächsten Tage trotz evtl. wieder hoher Lufttemperaturen erst langsam wieder ansteigen, zeigt also die kausale Verknüpfung der Ablation mit den Faktoren Albedo, Neuschneefällen und solarer Einstrahlung. Jedem Bergwanderer dürfte in diesem Zusammenhang das Problem bekannt sein, dass ein am frühen Morgen noch einfach zu überquerender Gletscherbach am späten Nachmittag eventuell unpassierbar ist.

Der Verfasser möchte den Kollegen folgender Institutionen für die Bereitstellung von Daten während der langjährigen Arbeit auf diesem Forschungsfeld danken: NVE (Norges Vassdrags- og Energidirektoratet, Oslo), DNMI (Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo), KFG (Kommission für Glaziologie, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München) und WGMS (World Glacier Monitoring Service, Zürich). Dank gilt auch zahlreichen, hier ungenannten Fachkollegen aus Deutschland, Großbritannien, Neuseeland und Norwegen für gemeinsame Diskussionen und Forschungsprojekte, ebenso wie verschiedenen studentischen Hilfskräften für die Unterstützung bei den Geländearbeiten. Inspirierend auf die vorliegende didaktische Darstellung der Thematik wirkte die langjährige erfolgreiche Kooperation mit dem Norsk Bremuseum (Norwegisches Gletschermuseum) in Fjærland wie auch die gute Zusammenarbeit mit den Kollegen des Lehrstuhls für Didaktik der Geographie der Universität Würzburg. Schließlich dankt der Verfasser dem Herausgeber dieser Zeitschrift für den Anstoß zu dieser speziell systemischen Betrachtung und unterrichtsbezogenen Aufarbeitung des Gletschermassenhaushalts.

Literaturverzeichnis und -empfehlungen:

- BARRY, R. G. (1992): Mountain weather and climate. – 2. Auflage, London.⁽⁺⁾
- BENN, D. I. & D. J. A. EVANS (1998): Glaciers & glaciation. – London.⁽⁺⁾
- BENNETT, M. R. & N. F. GLASSER (1996): Glacial geology. – Chichester.⁽⁺⁾
- BERTALANFFY, L. VON (1957): Allgemeine Systemtheorie. – In: Deutsche Universitätszeitung 12, S. 8 – 12.
- CHINN, T. J. H. (1995): Glacier fluctuations in the Southern Alps of New Zealand determined from snowline elevation. – In: Arctic and Alpine Research 27, S. 187 - 198.
- CHINN, T. J. H. & M. J. SALINGER (1999): New Zealand glacier snowline survey, 1999. - NIWA Technical Report 68.
- ELVEHØY, H. & N. HAAKENSEN (1992): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1990 og 1991. – NVE Publikasjon 1992/3.
- HAAKENSEN, N. (1989): Akkumulasjon på breene i Norge vinteren 1988-89. – In: Været 13, S. 91 – 94.
- HAEBERLI, W. / HOELZLE, M. / SUTER, S. / FRAUENFELDER, R. (1998): Fluctuations of glaciers 1990 - 1995. - Vol. VII, World Glacier Monitoring Service.
- HAGEL, J. (1985): Möglichkeiten der Darstellung von Systemen im Geographieunterricht. – In: Geographie und Schule 7, Heft 33, S. 19 – 28.
- HAMBREY, M. (1994): Glacial environments. – London.⁽⁺⁾
- HAMBREY, M. & ALEAN, J. (1992): Glaciers. – Cambridge.⁽⁺⁾
- HAUNER, U. (2003): Glazialmorphologie im Erdkundeunterricht. – In: Geographische Rundschau 55, Heft 2, S. 44 – 47.
- HOINKES, H. (1955): Measurement of ablation and heat balance on alpine glaciers. – In: Journal of Glaciology 2, S. 497 – 501.
- HOINKES, H. & RUDOLPH, R. (1962): Mass balance studies on the Hintereisferner (Oetztal Alps) 1952 – 1961. – In: Journal of Glaciology 4, S. 266 – 280.
- HOINKES, H. & UNTERSTEINER, N. (1952): Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern 1. Vernagtferner (Ötztaler Alpen) August 1950. – In: Geografiska Annaler 33, S. 99 – 158.
- HOLMLUND, P. & JANSSON, P. (1999): The Tarfala mass balance programme. – In: Geografiska Annaler 81 A, S. 621 – 631.
- KIRKBRIDE, M. P. (1993): The temporal significance of transitions from melting to calving termini at glaciers in the central Southern Alps of New Zealand. – In: The Holocene 3, S. 232 – 240.

- KIRKBRIDE, M. P. & WARREN, C. R. (1999): Tasman Glacier, New Zealand: 20th-century thinning and predicted calving retreat. – In: *Global and Planetary change* 22, S. 11 – 28.
- KLAUS, D. (1985): Allgemeine Grundlagen des systemtheoretischen Ansatzes. – In: *Geographie und Schule* 7, Heft 33, S. 1 – 7.
- KLAUS, D. (1998): Systemtheoretische Grundlagen räumlicher Komplexität. – In: *Geographie und Schule* 20, Heft 116, S. 2 – 17.
- KLEMSDAL, T. (1970): A glacial-meteorological study of Gråsübreen, Jotunheimen. – In: *Norsk Polarinstitutt Årbok 1968*, S. 58 – 74.
- KÖCK, H. (1985): Systemdenken – geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. – In: *Geographie und Schule* 7, Heft 33, S. 15 – 19.
- KÖCK, H. (1997): Der systemtheoretische Ansatz im Geographieunterricht. – In: *Münchner Studien zur Didaktik der Geographie* 10, S. 137 – 146.
- KÖCK, H. (1998): Zur Relativität räumlicher Komplexität. – In: *Geographie und Schule* 20, Heft 116, S. 18 – 24.
- KÖCK, H. (1999): Systemische Welt – Systemische Geographie. – *Geographiedidaktische Forschungen* 32, S. 163 – 181.
- LANG, H., SCHÄDLER, B. & DAVIDSON, D. (1977): Hydrological investigations on the Ewigschneefeld – Großer Aletschgletscher. – In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 12, S. 109 – 124.
- LAUMANN, T. & REEH, N. (1993): Sensitivity to climate change of the mass balance of glaciers in southern Norway. – In: *Journal of Glaciology* 39, S. 656 – 665.
- LIESTØL, O. (1994): *Kompendium i Glasiologi*. – 2. Auflage, Rapportserie i Naturgeografi Universitetet i Oslo 3.
- LIESTØL, O. (2000): *Glaciology*. – Oslo.
- MOSER, H., ESCHER-VETTER, H., OERTER, H., REINWARTH, O. & ZUNKE, D. (1986): *Abfluß in und von Gletschern*. – 2 Bände, GSF-Bericht 41/86.
- MOSIMANN, T. (1998): *Landschaftsökologie in der Schule – Grundlage für das Verständnis der Welt von heute und morgen*. – In: *Die Erde* 129, S. 21 – 37.
- NESJE, A. (1992): Topographical effects on the equilibrium-line altitude on glaciers. – In: *GeoJournal* 27, S. 383 – 391.
- NESJE, A. (1995): *Brelære*. – Kristiansand S.
- NESJE, A. & DAHL, S. O. (2000): *Glaciers and environmental change*. – London. ⁽⁺⁾
- OERLEMANS, J. (1994): Quantifying global warming from the retreat of glaciers. – In: *Science* 264, S. 243 – 245.

- ØSTREM, G. & TVEDE, A. (1986): Comparison of glacier maps - a source of climatological information? – In: *Geografiska Annaler* 68 A, S. 225 – 231.
- ØSTREM, G., DALE SELVIG, K. & TANDBERG, K. (1988): Atlas over breer i Sør-Norge. - NVE Meddelelser Hydrologisk Avdeling 61.
- ORHEIM, O. (1970): Glaciological investigations of Store Supphellebre, West-Norway. – Norsk Polarinstitutt Skrifter 151.
- PATERSON, W.S.B. (1994): *The physics of glaciers*. – 3. Aufl. – Oxford⁽⁺⁾
- REMPFLER, A. (1998): *Das Geoökosystem und seine schuldidaktische Aufarbeitung*. – Basel *Physiogeographica* 26.
- REMPFLER, A. (1999): Geoökologie und Systemdenken. – In: *Geographie und ihre Didaktik* 27, S. 173 – 199.
- SHARP, M. (1988): Surging glaciers – behaviour and mechanisms. – In: *Progress in Physical Geography* 12, S. 349 – 370.
- TVEDE, A. (1971): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. – In: NVE Hydrologisk Avdeling Rapport, S. 2 – 71.
- TVEDE, A. (1973): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1971. – In: NVE Hydrologisk Avdeling Rapport, S. 2 – 73.
- TVEDE, A. (1974): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1972. – In: NVE Hydrologisk Avdeling Rapport, S. 1 – 74.
- WILHELM, F. (1975): *Schnee- und Gletscherkunde*. – Berlin.
- WINKLER, S. (1996): Frührezente und rezente Gletscherstandsschwankungen in Ostalpen und West-/Zentralnorwegen. – *Trierer Geographische Studien* 15.
- WINKLER, S. (2001): Untersuchungen zur Klima- und Morphodynamik in skandinavischen Gebirgsregionen während des Holozän – ein Vergleich ihrer Wechselwirkungen und Prozeßsysteme im überregionalen Kontext kaltgemäßigter maritimer Gebirgsregionen. – Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Universität Trier.
- WINKLER, S. (2002a): *Kleine Einführung in die Gletscherkunde*. – 3. Auflage, Publikasjonar frå Norsk Bremuseum 1.
- WINKLER, S. (2002b): Von der „Kleinen Eiszeit“ zum „globalen Gletscherrückzug“ – eignen sich Gletscher als Klimazeugen? – *Abhandlungen der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz* 2002 Nr. 3.
- WINKLER, S. & HAAKENSEN, N. (1999): Kritische Überprüfung der Möglichkeit zur Prognose des Gletscherverhaltens auf Grundlage von Modellierungen – dargestellt anhand von regionalen Beispielen aus Norwegen. – In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 143, S. 291 – 304.

WINKLER, S., HAAKENSEN, N., NESJE, A. & RYE, N. (1997): Glaziale Dynamik in Westnorwegen – Ablauf und Ursachen des aktuellen Gletschervorstoßes am Jostedalsbreen. – In: Petermanns Geographische Mitteilungen 141, S. 43 – 63.

(⁺) = empfehlenswerte Lehrbücher neueren Datums

Internet-Adressen mit Information und weiteren informativen *links*:

http://www.bre.museum.no	(Norsk Bremuseum)
http://www.geo.unizh.ch/wgms	(World Glacier Monitoring Service)
http://www.glaziologie.de	(Kommission für Glaziologie, BAdW)
http://www.nve.no	(Norges Vassdrags- og Energiedirektoratet)

Summary

Glaciers as Climate-driven Systems

Natural systems are rather complex. However, it is important to understand the interactions and causal connections within such systems as mountain glaciers. The variable influence of climate factors on glacier behaviour is among the key issues of past and present global change. In this paper, a brief introduction of glaciology focussed on mass balance is followed by information on the mechanism of glacier front position changes. Glaciers are primarily presented as complex systems and elements of geoecosystems in high mountain regions. The second part shows ways to transform this subject for geography lessons. Accompanied with some general considerations, specific case examples clarifying the complex nature of the system 'glacier' are given. Along follow additional experiments and figures suggested to be used if 'glaciers' are made subject of lessons or projects within geography at school level.