

# Factsheet Gruppe 12

*David Schweizer, Elias Vogel, Livia Baumann, Philip Urech, Rachel Kunstmann, Rona Schenk*

## Fragestellung

Was sind die Auswirkungen der durch den Klimawandel verursachten Gletscherschmelze auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte im Schweizer Alpenraum im 21. Jahrhundert?

## Zusammenfassung

Der Klimawandel hat einen bereits heute sichtbaren Gletscherrückzug bewirkt, welcher sich in Zukunft fortsetzen wird<sup>1 2</sup>. Laut Modellberechnungen ist bis 2100 mit einem globalen Gletscherrückgang von 13-36%, regional sogar bis über 70%, zu rechnen<sup>1</sup>. Auch die Gletscher im Schweizer Alpenraum sind aufgrund steigender Temperaturen und kürzeren Wintern betroffen<sup>3 4</sup>.

Der Gletscherrückgang birgt für die Wassernutzung ein grosses Konfliktpotential<sup>5 6 7</sup>, denn Gletscher dienen als Wasserspeicher, regulieren den saisonalen Abfluss und übernehmen eine stabilisierende Rolle beim Wassermanagement<sup>7</sup>. Zukünftig wird sich die zeitliche Verfügbarkeit von Wasser im Alpenraum in den Frühling und Herbst verschieben<sup>3 4</sup>. Dies steht im Konflikt mit der künftig erhöhten Wassernachfrage in der Landwirtschaft im Sommer<sup>5</sup>. Die saisonale Verschiebung hat auch einen Effekt auf die Wasserkraftnutzung. Es werden mit einer tieferen Energieproduktion im Sommer und vermehrten Überläufen im Herbst gerechnet<sup>6</sup>. Bis 2100 wird die Energieproduktion zudem um einen Drittel abnehmen<sup>6</sup>.

Auch der Tourismussektor ist direkt vom Gletscherrückgang betroffen<sup>8 9 10 11 12 13 14 15</sup>. Attraktive Gletscherlandschaften sind bedroht oder sogar bereits heute komplett verschwunden<sup>1 1 2 15</sup>. Durch die zunehmende Häufigkeit von Naturkatastrophen wird der Zugang zu Berghütten erschwert<sup>8</sup> und hochalpine Skigebiete müssen sich an kleinere Gletscherflächen und sinkende Gletscherhöhen anpassen<sup>13</sup>.

Um diese zukünftigen Auswirkungen des Gletscherrückgangs zu prognostizieren und Anpassungsstrategien zu entwickeln, ist die Erfassung von Gletscherdaten essentiell<sup>1 16</sup>. Bei der Wasserversorgung sind technische und regulative Adaptionen gefordert, um die Ressourcennutzung in Zukunft nachhaltig zu gestalten<sup>17 18</sup>. Bei künstlichen Eingriffen in die Landschaft ist das Mitspracherecht der Bevölkerung ein entscheidender Faktor für deren Akzeptanz<sup>19</sup>. Im Tourismussektor sind technische, räumliche oder zeitliche Anpassungen der Infrastruktur gefragt<sup>8 10 12</sup>. Mögliche Anpassungen für Skigebiete sind eine stärkere Gewichtung des Sommertourismus sowie schneeeunabhängige Aktivitäten<sup>20 21</sup>. Technische Anpassungen wie künstlicher Schnee oder Geotextiles sind ebenfalls möglich<sup>20 22 21</sup>. Einen holistischen Ansatz zum künftigen Schutz, Planung und Management von wertvollen Landschaften wie Gletschern liefert das Konzept der Ökosystemdienstleistungen<sup>23 24</sup>.

## Teilrecherche 1: Abflussmengen und Gletscherrückgang

*David Schweizer*

Die Erfassung von Gletscherdaten ist essentiell, um die gespeicherten Wassermengen und deren Abflussraten bestimmen und Prognosen erstellen zu können<sup>1 16</sup>. Messungen und Modelle zeigen, dass die Gletscher in der Vergangenheit stark zurückgegangen sind<sup>2 25 26</sup> und auch in Zukunft weiter schrumpfen werden<sup>1</sup>. Dabei spielen viele Faktoren wie die Eisdicke<sup>16</sup> und die Gletscheroberfläche<sup>25 26</sup> eine wichtige Rolle und werden unterschiedlich vom Klimawandel beeinflusst. Zunächst führt die erhöhte Schmelze zu einer erhöhten Abflussmenge, die in trockenen Perioden als Puffer dient, jedoch auch ein erhöhtes Risiko für Hochwasser mit sich bringt. Wenn der Gletscher anschliessend Peak Wasser erreicht, sinkt die Abflussmenge und den betroffenen Einzugsgebieten droht Wassermangel in Trockenzeiten<sup>1</sup>.

Hydrologische Veränderungen in vergletscherten Einzugsgebieten<sup>1</sup>

Untersucht Veränderungen im Gletscherabfluss: Gletscherrückgang aus Modellen bis 2100 etwa 13-36%, regional sogar bis über 70%, Abflussmenge steigt bis Peak Wasser Wendepunkt erreicht wird anschliessend Abnahme, erst Hochwasserrisiko danach kein Puffer mehr für lange Trockenperioden.

Historical analysis and visualization of the retreat of Findelengletscher, Switzerland, 1859–2010<sup>2</sup>

Untersucht die Änderung des Findelengletscher von 1859-2010, 3.5 km Rückgang der Länge,  $4.42 \pm 0.13$  km<sup>2</sup> Verlust der Fläche,  $1.32 \pm 0.52$  km<sup>3</sup> Verlust an Volumen, in den 1920er und 1980er wenig Schmelze, in den 1960er und ab 1990 starke Schmelze, Rückgang wurde Computeranimiert und ist zugänglich.

Evolution of debris cover on glaciers of the Eastern Alps, Austria, between 1996 and 2015<sup>16</sup>

Untersucht die Entwicklung von Schutt bedeckten Gletschern in den österreichischen Alpen von 1996-2015, Schutt und Trümmer können zu erhöhter Schmelze aber auch zur Bewahrung von Eismassen unterhalb führen, sowohl die Anzahl Schutt bedeckter Flächen wie auch der Prozentuale Anteil am ganzen hat zugenommen.

Mass balance and surface evolution of the debris-covered Miage Glacier, 1990–2018<sup>25</sup>

Untersucht die Änderung des Miagegletscher von 1990-2018, wird dünner, kleiner und speichert weniger Wasser, die Schuttbedeckte Fläche vergrösserte sich und wird weiterwachsen und so die Oberflächenschmelze stark beeinflussen.

Worldwide version-controlled database of glacier thickness observations<sup>26</sup>

Ist eine Dokumentation von Datenquellen, Methoden und Problemen der Globalen Gletscherdicke Datenbank (GlaThiDa v3), sind rund 3.8 Millionen Messungen an mehr als 3000 Gletschern und etwa 14% aller Gletscher, regionale Löcher bestehen vor allem in Asien der russischen Arktis und den Anden.

## Teilrecherche 2: Hochalpiner Tourismus

*Rachel Kunstmann*

Die Häufigkeit von Naturkatastrophen wie Steinschlag, Gletscherrückgang, Permafrost, Erosion oder steigender Wasserpegel wird mit dem Klimawandel steigen <sup>8 9</sup>. Dies beeinflusst den ganzen hochalpinen Tourismus und beeinträchtigt den Zugang zu Berghütten, was die Entwicklung neuer Strategien verlangt <sup>8</sup>. Diese Strategien können technisch sein durch die Installation neuer Sicherungen, räumlich indem die Routen neu definiert werden oder zeitlich indem die alpine Saison in den Frühling, frühen oder späten Sommer, Herbst und Winter verschoben wird, wenn die Risiken durch Gletscherschmelzen oder andere Naturgefahren geringer sind <sup>8 10 12</sup>. Bergführer passen sich an, indem sie ihre Kerngebiete im Sommer diversifizieren (z.B. Klettersteige oder Canyoning), sie die alpine Saison in den Frühling, Herbst und Winter verschieben und sie mit Kunden arbeiten, die flexibel sind, dort hin zu fahren, wo die Verhältnisse stabil sind <sup>11 12</sup>.

Access routes to high mountain huts facing climate-induced environmental changes and adaptive strategies in the Western Alps since the 1990s <sup>8</sup>

Untersucht Veränderungen von Aufstiegsrouten zu Berghütten bzw. Kletterrouten und welche Strategien Alpenclubs, Bergführer Organisationen, Hüttenwarte adoptieren um Sicherheit im Gelände zu schaffen, Daten aus Geo-Historische Studien und Fragebogen, Wichtigsten Prozesse sind Verlust der Eis-Dicke und Rückzug der Gletscher; Ausrüstung oder Verlagerung der Routen um Zugang zu vereinfachen und sichern.

Impacts of Global Warming on Mountaineering: A Classification of Phenomena Affecting the Alpine Trail Network <sup>9</sup>

Klassifikation der Häufigkeit Naturgefahren und Auswirkung auf Alpine Routen mit Ziel die Erhaltungsarbeiten von alpine routen zu verbessern, Wissenschaftliche Papers; Bergführer Bücher; Interviews, Zwei Klassifikationsgruppen: Änderung der Häufigkeit von Naturkatastrophen (1) und der Zugänglichkeit im Gelände.

Mountain Guide facing the effects of climate change. What perceptions and adaptation strategies at the foot of Mont Blanc? <sup>10</sup>

Relationship between Alpine guides, their area of practice and climate change, quantitative Studie (Arbeitsgewohnheiten, Schwierigkeiten durch Klimawandel und Anpassungsmethoden, sozio-professionales Profil) und Interviews, Steigende Anzahl an ehemalige Routen welche nicht mehr zugänglich sind; Zusammenhang Wärmeperioden im Sommer und Steinbrüche; Weniger Schnee im Winter; Adaptationsstrategien: Route wechseln, gebiet wechseln, wechseln der Kerngebiete von Hoch alpin zu klettern, Biken, via ferrata,..., Verlagerung der Aktivität im Winter, Off-Piste Ski

Risk perception and preferences of mountain tourists in light of glacial retreat and permafrost degradation in the Austrian Alps <sup>11</sup>

Untersuchung der Risikobereitschaft und -Schätzung durch Klimawandel von Touristen, Fragebogen; Choice Experiments, Risikobereitschaft beeinflusst durch drei Faktoren: Erfahrung, Einschätzung der Gefahren, Informationen, Zeit und Wetter.

Strategies used by French Alpine guides to adapt to the effects of climate change <sup>12</sup>

Untersucht den Einfluss von Klimawandel auf Bergführer und die von Ihnen entwickelten Methoden, Fragebogen, Interviews, Anpassungen sind Verschiebung der Saison im Frühling, Herbst oder Winter für einige Routen; Diversifizierung der Tätigkeit (canyoning, via ferrata); Tätigkeit im Winter steigen; Fels; Konditionen besser studieren; mobiler sein (dorthin fahren, wo gute Konditionen); Bergführer welche die Anpassung als schwierig empfinden, empfinden, dass sie ein höheres Risiko einnehmen und ihre Finanzen leiden, die Korrelation ist anders bei Bergführer die die Anpassung nicht als schwierig empfinden, diese passen ihr Kernbereich an.

## Teilrecherche 3: Wasserkonflikte und Ressourcenmanagement

*Livia Baumann*

Gletscher dienen als Wasserspeicher, regulieren den saisonalen Abfluss und übernehmen eine stabilisierende Rolle für das Wassermanagement <sup>7</sup>. Da die Gletscher durch den Klimawandel gefährdet sind, besteht ein Konfliktpotential zwischen verschiedenen Sektoren im Bereich der Wassernutzung und beeinträchtigt so die Gesellschaft auf vielerlei Arten <sup>5 6 7</sup>. In der Landwirtschaft wird wegen der längeren und wärmeren Vegetationszeit mit erhöhtem Wasserverbrauch gerechnet <sup>5</sup>. Im Sektor der Wasserkraft gehören die tiefe Energieproduktion im Sommer und die vermehrten Überläufe im Herbst zu den grössten Herausforderungen <sup>6</sup>. Bis 2100 wird die Energieproduktion aus Wasserkraft um ein Drittel abnehmen <sup>6</sup>. Um die Ressourcennutzung nachhaltig zu gestalten sind technische und regulative Adaptionen gefordert sowie umfassendere Methoden wie das Nachhaltigkeitsrad oder Adaptive Governance Prinzipien anzuwenden <sup>17 18</sup>.

Implications of climate change scenarios for agriculture regions – A case study in the Swiss Rhone catchment <sup>5</sup>

Untersucht Bedeutung von Klimawandelszenarien für Landwirtschaft in Rhonegebiet (1951-2050); Wasserverbrauch in nächsten 30 Jahren um 4-16% höher als 1981-2009; tiefere Lagen: Risiko für Hitze, höhere Lagen: längere Vegetationszeit, höhere Nachfrage nach Bewässerung; technische oder regulatorische Verbesserungen für Verminderung von Wasserkonflikten.

Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production through the 21st century <sup>6</sup>

Untersucht Prognosen von Wasserressourcen im Vispatal und deren Unsicherheiten im Kontext der Energiegewinnung durch Wasserkraft (WK) im 21. Jhd.; physikalisch basiertes hydrologisches Modell, Betriebsbestimmungen integriert; Abnahme Abflussmenge für WK-Produktion um 1/3 bis 2100. 2. Hälfte 21. Jhd. WK muss in Sommer Produktion reduzieren; verstärkter Niederschlag im Herbst (Überlauf); Infrastrukturanpassungen bei WK nötig.

Impacts of Glacier Recession and Declining Meltwater on Mountain Societies <sup>7</sup>

Untersucht Auswirkungen von Eisschmelze auf Gesellschaft in Bergregionen (Sozioökonomie, Wasserkraft, Landwirtschaft und kulturelle Auswirkungen); Forderung nach Inkludierung mehrerer Faktoren in akad. Forschung: z.B. soziale Konflikte, Wasserrecht, landw. Praktiken, Verteilungsunterschiede, Zeitpunkt der Folgen; soziale Treiber des Wandels; Kritik: Umweltwissenschaftlicher Determinismus

Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhone basin <sup>17</sup>

Untersucht werden soziale und physikalische Resultate aus dem EU-FP7 ACQWA (Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water) Projekt bezogen auf das obere Rhonegebiet. Unsicherheiten fordern Wassermanagement schon jetzt heraus, durch Klimawandel grössere Intensität und Häufigkeit; Vorschläge von Massnahmen und Adaptive Governance Prinzipien (basierend auf Flexibilität, Iterativität, Konnektivität) über verschiedene Ebenen (lokal, regional, Staatsebenen) für besseres Management der Schwankungen und unvorhersehbaren Unsicherheiten von Klimawandel.

Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel <sup>18</sup>

Untersucht Nachhaltigkeit im Wassermanagement in Rhonetal im interdisziplinären Kontext. Nachhaltigkeitsrad basierend auf vier Prinzipien (Regionale Entwicklung, Ökologische Integrität, Gerechtigkeit, Adaptive Kapazität); Konkretisierung durch Wissen, Interessen von Akteuren und Charakteristiken der Region.

## Teilrecherche 4: Hochwassermanagement

*Philip Urech*

Aufgrund von steigenden Temperaturen sind im schweizerischen Alpenraum in Zukunft kürzere Winter mit weniger Schneemassen zu erwarten<sup>3 4 27</sup>. Ebenfalls wird Wasser in Form von Regen über einen weiteren Zeitraum im Jahr fallen<sup>4</sup>. Diese beiden Faktoren führen dazu, dass sich die zeitliche Verfügbarkeit von Wasser im Alpenraum in den Frühling und Herbst verschieben werden<sup>4 28</sup>, was zur Folge hat, dass im Sommer sowie im Winter weniger Wasser respektive Schnee vorhanden sein wird. Handlungsansätze für die Wissenschaft liegen darin, dass in Zukunft noch breitere Einflussfaktoren für Prognosen berücksichtigt werden. Entscheidungsträgern wird vorgeschlagen, sich auf einen kleineren Rahmen zu fokussieren, sowie eine engere Zusammenarbeit zwischen ihren jeweiligen Abteilungen zu schaffen<sup>29</sup>.

### Simulations of future snow cover and discharge in Alpine headwater catchments<sup>3</sup>

Untersucht, wie sich die Schneebedeckung sowie der Abfluss mengenmässig und zeitlich unter diversen Klimawandelszenarien verändern. Betrachtet werden dabei das Dischmatal und der Inn. Das Paper kommt zum Schluss, dass deutlich mehr Wasser in flüssiger Form zu konzentrierteren Peaks (Frühling & Herbst) abfließen wird.

### Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change<sup>4</sup>

Untersucht, welche Faktoren ausschlaggebend sind für die Häufigkeit von Überschwemmungen in einer Zeitspanne von 22 Jahren in der Schweiz und Österreich. Die Autorenschaft kommt zum Schluss, dass in Zukunft jährlich mehr Wasser abfließen wird, als das heute der Fall ist. Das kommt daher, dass der Niederschlag seltener liegenbleibt in der Form von Schnee.

### Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy<sup>29</sup>

Untersucht, wie sich die Veränderungen auf die Wasserverfügbarkeit auswirken könnte. Dabei werden Aspekte aus dem Trinkwassermanagement, Adaptionmöglichkeiten und weiterentwickelte Richtlinien betrachtet. Dämme und Reservoirs werden als Möglichkeit zur Wasserspeicherung genannt. Weiter sollten Unklarheiten im Bereich von technologischen Neuheiten für Entscheidungsträger möglichst weit beseitigt werden, soweit als möglich als Option und nicht als Meinung.

<p><b>Research should:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• improve the utility of science for water managers</li> <li>• develop scenarios that encompass changes in variability</li> <li>• develop standardised regional scenarios</li> <li>• address the full set of drivers</li> <li>• engage in collaboration across disciplines</li> <li>• examine suites of adaptive measures</li> <li>• present options rather than advice</li> </ul> <p><b>Research must:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lobby for long-term monitoring</li> </ul>	<p><b>Management should:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• be more adaptive at smaller scales</li> <li>• embrace transboundary collaboration</li> </ul> <p><b>Management must:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• embrace non-stationarity</li> </ul>
<p><b>Researcher and managers should:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• develop a common language</li> <li>• establish longterm forums for interaction</li> <li>• be actively engaged in water resources planning</li> </ul>	
<p>National initiatives are required for addressing large scale problems</p>	

### Effect of glaciers on streamflow trends in the Swiss Alps<sup>28</sup>

Untersucht, wie der Abfluss von Gletschern mit Niederschlag, Temperatur und Schneebeschaffenheit in den Jahren 1974-2004 korreliert. Das Verhalten von stark vergletscherten Bereichen unterscheidet sich stark von schwach vergletscherten Bereichen. Der steigende Abfluss lässt sich durch steigende Temperaturen sowie weniger Schneebedeckung erklären.

Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate <sup>27</sup>

Untersucht den Abfluss mehrerer Gletscher im Kanton Wallis für die Jahre 2007-2100. In der ersten Hälfte des 21. JH sei Niedrigwasser noch kein Problem, da die schmelzenden Gletscher genügend Wasser 'herstellen'. Das Potential für Hochwasser ist jedoch aufgrund der verschiebenden Wasservorkommnisse erhöht.

## Teilrecherche 5: Veränderung in den Skigebieten

*Rona Schenk*

Zwar sind Schweizer (Gletscher)Skigebiete eher hochgelegen und deshalb im europäischen Vergleich weniger vom Gletscherschwund betroffen, dennoch ist eine Anpassung an kryosphärische Veränderungen notwendig für ihr Weiterbestehen <sup>14</sup>. Die Skigebiete müssen sich an kleinere Gletscherflächen und sinkende Höhen der Gletscher anpassen <sup>13</sup>. Möglich sind einerseits Verhaltensänderungen wie die Nutzung der Resorts für den Sommertourismus beziehungsweise für schneeunabhängige Aktivitäten <sup>20 21</sup>. Andererseits gibt es technische Anpassungen wie künstlicher Schnee, Verschiebung des Schnees oder Geotextiles, wobei letztere den Schwund um 69% reduzieren können <sup>20 22 21</sup>.

Adaptation to mountain cryosphere change: issues and challenges <sup>20</sup>

Untersucht werden verschiedene Methoden zur Adaption an die sich verändernde Kryosphäre in den Anden, Alpen, Tamir, Tien Shan und Himalaya; im Tourismussektor sind dies v.a. Verhaltensänderungen und technische Anpassungen; in der Schweiz werden Resorts für den Sommertourismus genutzt; Skitouristen wechseln teilweise zu schneeunabhängigen Aktivitäten oder zu anderen Skigebieten.

Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate <sup>13</sup>

Untersucht Skigebiete in Österreich auf die Effekte durch die kryosphärischen Veränderungen; Gletscherskigebiete müssen sich an kleinere Gletscherflächen und sinkende Höhen des Gletschers anpassen; Skigebiete auf Gletschern haben keinen Einfluss auf deren Volumenänderung.

The non-woven geotextiles as strategies for mitigating the impacts of climate change on glaciers <sup>22</sup>

Untersucht die Schutzwirkung von Geotextiles auf italienischen Gletschern, verschiedene Materialien werden getestet; durch die um 50% erhöhte Albedo (vgl. mit unbedecktem Gletscher) kann der Schwund um 69% reduziert werden; am besten funktioniert das Vlies aus Polypropylen mit der Masse 500g/m<sup>2</sup> pro Flächeneinheit und Dicke 3.7mm.

Glacier Retreat: Reviewing the Limits of Human Adaptation to Climate Change <sup>21</sup>

Untersucht weltweit die Massnahmen bei sich verändernden Gletschern; einige Skigebiete passen sich an, z.B. durch eine Verschiebung der Infrastruktur oder durch Ausweichen auf andere Aktivitäten; andere versuchen den Gletscher zu erhalten (Geotextiles, künstlicher Schnee, Verschieben des Schnees -> alles teuer und ev. nicht mehr sinnvoll bei noch wärmeren Temperaturen); wieder andere bieten reduzierte Preise für Besuchende, die CO<sub>2</sub>-Ausgleiche kaufen oder CO<sub>2</sub>-arm anreisen.

Impact of snow variability on the Swiss winter tourism sector: implications in an era of climate change <sup>14</sup>

Untersucht die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintertourismus in der Schweiz; die Schweiz ist im europäischen Vergleich weniger betroffen, da die Skigebiete meist in relativ grosser Höhe liegen; Anpassungen sind aber entscheidend für das Überleben der Skigebiete; Familien bevorzugen eher tiefergelegene Skigebiete und wenn diese schliessen, fehlen den anderen Gebieten die zukünftigen Skitouristen (Kinder lernen es nicht mehr).

## Teilrecherche 6: Veränderung des Landschaftsbildes

### *Elias Vogel*

Die gesellschaftliche Nachfrage nach unberührter Natur, wie sie in Gletscherlandschaften der Schweizer Alpen zu finden ist, hat zugenommen<sup>30</sup>. Leider werden diese Landschaften massiv durch den Klimawandel bedroht oder sind sogar bereits heute komplett verschwunden<sup>15</sup>. Das Konzept der Ökosystemdienstleistung ist ein holistischer Ansatz, um in Zukunft wertvolle Landschaften besser zu schützen. In Bezug auf die Gletscherlandschaften der Alpen stehen die Erholungs-Ökosystemdienstleistungen<sup>23</sup> und die kulturellen Ökosystemdienstleistungen<sup>24</sup> im Vordergrund. Bei künstlichen Eingriffen in die Landschaft, zum Beispiel bei der Anlegung von Stauseen unterhalb von abschmelzenden Gletscher, ist die Akzeptanz der Bevölkerung bei der Planung zu berücksichtigen<sup>19</sup>.

From hiking through farmland to farming in a leisure landscape: Changing social perceptions of the European landscape<sup>30</sup>

Die gesellschaftliche Nachfrage nach Landschaften steigt. Ein Bedürfnistrend weg von dem funktionellen Bild von Natur und Landschaft hin zu mehr Wildnis ist erkennbar. Das Landschaftsbild der Menschen ist sehr variabel und geprägt von der Funktion und der sozialen Praxis, in der die Begegnung mit der Landschaft stattfindet. Das Landschaftskonzept ist für den Menschen einfacher verständlich als die abstrakten Begriffe "Natur" und "Biodiversität".

Integrated impacts of climate change on glacier tourism<sup>15</sup>

Der rapide Rückzug der Gletscher im Zuge des Klimawandels wird wirtschaftliche Einbussen im Sektor des Gletscher-Tourismus zur Folge haben. Die Ästhetik respektive die Attraktivität der Landschaft leidet unter dem Gletscherrückzug. Gewisse Gletscher-Landschaften werden total verschwinden, was für den Tourismus in den betroffenen Regionen gravierende Konsequenzen haben wird. Daher ist es für Gletschertourismusebenen wichtig, die Folgen des Gletscherrückzugs frühzeitig zu erkennen und sich den neuen Gegebenheiten anzupassen.

Assessment and valuation of recreational ecosystem services of landscapes<sup>23</sup>

Erholungs-Ökosystemdienstleistungen (recreational ecosystem services, RES) leisten einen grossen Beitrag zum Wohlbefinden von Menschen und Gesellschaft. Weiter können RES in einer Zeit der fortschreitenden Urbanisierung zur Wiederverbindung von Menschen und Natur beitragen. Die Landschaft als Teil der RES spielt dabei eine zentrale Rolle, wobei Einflüsse von Landschaft und Biodiversität nicht immer eindeutig unterschieden werden können.

Geoheritage, geotourism and the cultural landscape: Enhancing the visitor experience and promoting geoconservation<sup>24</sup>

Mit der Einführung von kulturellen Ökosystemdienstleistungen wird ein holistischer Ansatz zum Schutz, Planung und Management von kulturell wertvollen Landschaften geschaffen. Der sogenannte Geotourismus als Teil der kulturellen Ökosystemdienstleistung bezeichnet eine weite Spannbreite von Besucherinteressen, vom spezialisierten Geotourist bis zum konventionellen Besucher. Der Schutz des geologischen Erbes ist abhängig vom Bewusstsein, dem Verständnis und der Unterstützung durch die Öffentlichkeit. Starke geologische Geschichten bereichern das Besuchererlebnis und die damit verbundenen Emotionen. Es werden ökonomische, kulturelle, soziale und relationale Vorteile sowohl für den Besucher als auch den Gastgeber einer geohistorisch wertvollen Region geschaffen.

Social acceptance of a multi-purpose reservoir in a recently deglaciated landscape in the Swiss Alps<sup>19</sup>

Der Neubau von Dämmen in Gebieten, aus denen sich Gletscher erst kürzlich zurückgezogen haben, unterstützt den Übergang zur Verwendung erneuerbarer Energieressourcen. Allerdings werden dafür natürliche Systeme in hydroelektrische Landschaften umgewandelt, was Konflikte verursacht. In den Schweizer Alpen haben drei Faktoren entscheidend zur Akzeptanz des ersten Neubaus eines Dams beigetragen: 1) die Energiestrategie 2050 wurde durch einen Volksentscheid angenommen, 2) ein partizipativer Prozess, in dem Kompensationen vereinbart wurden und 3) der Umstand, dass die betroffene Fläche bisher keinen Schutzstatus genossen hat.

## Literatur

1. Hock, R. 4.5 Hydrologische Veränderungen in vergletscherten Einzugsgebieten. 213–217 (2013).
2. Rastner, P., Joerg, P. C., Huss, M. & Zemp, M. Historical analysis and visualization of the retreat of Findelengletscher, Switzerland, 1859–2010. *Glob. Planet. Change* **145**, 67–77 (2016).
3. Bavay, M., Lehning, M., Jonas, T. & Löwe, H. Simulations of future snow cover and discharge in Alpine headwater catchments. *Hydrological Processes* vol. 23 95–108 (2009).
4. Köplin, N., Schädler, B., Viviroli, D. & Weingartner, R. Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. *Hydrol. Process.* **28**, 2567–2578 (2014).
5. Fuhrer, J., Smith, P. & Gobiet, A. Implications of climate change scenarios for agriculture in alpine regions - A case study in the Swiss Rhone catchment. *Sci. Total Environ.* **493**, 1232–1241 (2014).
6. Finger, D., Heinrich, G., Gobiet, A. & Bauder, A. Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production during the 21st century. *Water Resour. Res.* **48**, 2521 (2012).
7. Carey, M. *et al.* Impacts of Glacier Recession and Declining Meltwater on Mountain Societies. *Ann. Am. Assoc. Geogr.* **107**, 350–359 (2017).
8. Ravel, L. *et al.* Access routes to high mountain huts facing climate-induced environmental changes and adaptive strategies in the Western Alps since the 1990s. *Nor. Geogr. Tidsskr. = Nor. J. Geogr.* **73**, 215–228 (2019).
9. Fiebig, M., Muhar, A. & Ritter, F. Impacts of Global Warming on Mountaineering: A Classification of Phenomena Affecting the Alpine Trail Network. *Mt. Res. Dev.* **32**, 4–15 (2012).
10. Mourey, J., Ravel, L., Picco, P., Gauchon, C. & Salim, E. Mountain guides facing the effects of climate change. What perceptions and adaptation strategies at the foot of Mont Blanc? *Rev. géographie alpine.* **107**, (2019).
11. Dabrowska, K., Haider, W. & Pröbstl-Haider, U. Risk perception and preferences of mountain tourists in light of glacial retreat and permafrost degradation in the Austrian Alps. *J. outdoor Recreat. Tour.* **13**, 66–78 (2016).
12. Perrin-Malterre, C., Ravel, L., Mourey, J. & Perrin-Malterre, C. Strategies used by French Alpine guides to adapt to the effects of climate change. *J. outdoor Recreat. Tour.* **29**, 100278 (2020).
13. Fischer, A., Olefs, M. & Abermann, J. Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate. *Ann. Glaciol.* **52**, 89–96 (2011).
14. Gonseth, C. Impact of snow variability on the Swiss winter tourism sector: Implications in an era of climate change. *Clim. Change* **119**, 307–320 (2013).
15. WANG, S. J. & ZHOU, L. Y. Integrated impacts of climate change on glacier tourism. *Adv. Clim. Chang. Res.* **10**, 71–79 (2019).
16. Welty, E. *et al.* Worldwide version-controlled database of glacier thickness observations. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 1–27 (2020) doi:10.5194/essd-2020-87.
17. Clarvis, M. H. *et al.* Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhone basin. *Environ. Sci. Policy* **43**, 56–67 (2014).

18. Schneider, F. *et al.* Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. *J. Environ. Plan. Manag.* **58**, 1577–1600 (2015).
19. Kellner, E. Social acceptance of a multi-purpose reservoir in a recently deglaciated landscape in the Swiss Alps. *Sustain.* **11**, (2019).
20. Rasul, G., Pasakhala, B., Mishra, A. & Pant, S. Adaptation to mountain cryosphere change: issues and challenges. *Clim. Dev.* **12**, 297–309 (2020).
21. Orlove, B. Glacier Retreat: Reviewing the limits of human adaptation to climate. *Environ. Sci. Policy Sustain. Dev.* **51**, 22–34 (2009).
22. Senese, A. *et al.* The non-woven geotextiles as strategies for mitigating the impacts of climate change on glaciers. *Cold Reg. Sci. Technol.* **173**, (2020).
23. Hermes, J. *et al.* Assessment and valuation of recreational ecosystem services of landscapes. *Ecosyst. Serv.* **31**, 289–295 (2018).
24. Gordon, J. E. Geoheritage, geotourism and the cultural landscape: Enhancing the visitor experience and promoting geoconservation. *Geosciences (Switzerland)* vol. 8 (2018).
25. Fleischer, F., Otto, J. C., Junker, R. R. & Hölbling, D. Evolution of debris cover on glaciers of the Eastern Alps, Austria, between 1996 and 2015. *Earth Surf. Process. Landforms* 1–21 (2021) doi:10.1002/esp.5065.
26. Stefaniak, A. M. *et al.* Mass balance and surface evolution of the debris-covered Miage Glacier, 1990–2018. *Geomorphology* **373**, 107474 (2021).
27. Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A. & Funk, M. Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate. in *Hydrological Processes* vol. 22 3888–3902 (2008).
28. Pellicciotti, F., Bauder, A. & Parola, M. Effect of glaciers on streamflow trends in the Swiss Alps. *Water Resour. Res.* **46**, (2010).
29. Viviroli, D. *et al.* Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **15**, 471–504 (2011).
30. Buijs, A. E., Pedrolì, B. & Luginbühl, Y. From hiking through farmland to farming in a leisure landscape: Changing social perceptions of the European landscape. in *Landscape Ecology* vol. 21 375–389 (2006).