

## ESS – EARTH SYSTEM SCIENCES: DIE GEFÖRDERTEN PROJEKTE DES CALLS 2013

Das ESS – Earth System Sciences-Förderprogramm des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW), durchgeführt von der ÖAW, hat die Erforschung des Systems Erde zum Ziel. Derzeit laufen 21 Projekte aus dem Call 2013. Hier finden Sie Kurzfassungen und Kontakte:

### ABSTRACTS (IN ENGLISH AND GERMAN)

#### 1. Climate extremes and land-use change: effects on ecosystem processes and services

*Principal Investigator: Michael Bahn (Universität Innsbruck) [Michael.Bahn@uibk.ac.at](mailto:Michael.Bahn@uibk.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Extreme climatic events, in particular droughts and heatwaves, have significant impacts on ecosystem carbon and water cycles and a range of related ecosystem services. It is expected that in the coming decades the return intervals and severities of extreme droughts will increase substantially and may result in the passing of thresholds of ecosystem functioning, potentially causing legacy effects, which are so far poorly understood. Observational evidence suggests that different land cover types (forest, grassland) are differently influenced by extreme drought, but there is a lack of knowledge whether and how future, increasingly severe climate extremes will affect their concurrent and lagged responses, as well as land-use decisions determining future shifts in land cover.

In the proposed project we aim to understand how extreme summer drought affects carbon and water dynamics of mountain ecosystems under different land uses, and to analyse implications for ecosystem service provisioning. Overall, we hypothesize that land-use change alters the effects of extreme summer drought on ecosystem processes and the related services, grassland responding more rapidly and strongly but being more resilient to extreme drought than forest. To address the aims and hypotheses, we will 1) test experimentally how (a) a managed, (b) an abandoned mountain grassland and (c) an adjacent subalpine forest respond to a progressive extreme drought and will analyse threshold responses of carbon and water dynamics and their implications for ecosystem services (timber and fodder production, carbon sequestration, water provisioning); 2) quantify carryover effects of the extreme event on ecosystem processes and services; 3) project and attribute future carbon and water cycle responses to extreme drought and related socio-economic changes, based on a process-based dynamic general vegetation model; 4) analyse the interrelation between land-use changes and the occurrence and severity of past and future extreme events and to identify their individual and combined effects on the provisioning of ecosystem services; and 5) identify management options that allow increasing the resilience of the socio-ecological system to climate extremes.

The proposed study will be located at the LTSER (long term socio-ecological research) site Stubai Valley and will complement the existing managed and abandoned grassland sites by a new station at a forest. It will build on and integrate results from previous and ongoing national and European projects and will thereby provide a profound baseline for understanding drought responses and legacy effects on biogeochemical processes in mountain ecosystems and the consequences for landuse decisions and ecosystem service provisioning.

Klimaextreme, insbesondere Dürreereignisse und Hitzewellen, haben einen signifikanten Einfluss auf ökosystemare Stoffkreisläufe und damit verbundene Ökosystemleistungen. Es wird erwartet, dass in den kommenden Jahrzehnten die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von extremer Dürre und deren Intensität beträchtlich zunehmen wird. Dies kann zu einem Überschreiten von kritischen Schwellenwerten führen, bei denen Ökosystemfunktionen eingeschränkt werden und Folgeeffekte auftreten können, die bislang nur unzureichend verstanden werden. Beobachtungen vergangener Dürreereignisse deuten darauf hin, dass unterschiedliche Ökosystemtypen (Wald, Grünland) unterschiedlich reagieren. Es ist jedoch nicht klar, ob und inwieweit sich deutlich extremere Dürren, die bislang noch nicht untersucht werden konnten, aber deren künftiges Auftreten wahrscheinlicher wird, auf diese Ökosysteme auswirken und inwieweit sie Landnutzungsänderungen zur Folge haben, die den Anteil von Wald und Grünland verschieben. Das beantragte Projekt hat zum Ziel, die Auswirkung extremer Dürre auf die Kohlenstoff- und Wasserdynamik verschiedener Landnutzungstypen im Gebirge vergleichend zu untersuchen und deren Konsequenzen für Ökosystemleistungen zu analysieren. Dabei wird die Hypothese getestet, dass der Landnutzungswandel die Auswirkungen extremer Dürre auf Ökosystemprozesse und -leistungen verändert, und dass es dabei in Grünland zu rascheren und stärkeren unmittelbaren Einbußen der Produktivität kommt, während es sich von

der Dürre rascher erholt als der Wald. Das Projekt wird extreme Dürre durch einen experimentellen Ausschluss des Niederschlags in einem bewirtschafteten und einem aufgelassenen subalpinen Grasland und einem benachbarten Fichten-Lärchenwald simulieren und die Auswirkungen auf die Produktivität, und den Kohlenstoff- und wasserhaushalt sowie damit zusammenhängende Ökosystemleistungen (Holz- und Futterproduktion, Kohlenstoffsequestrierung, Wasserversorgung) quantifizieren. Weiters werden 1) Folgeeffekte des Extremereignisses auf Ökosystemprozesse und –leistungen quantifiziert; 2) anhand eines prozessbasierten Ökosystemmodells, das mittels der gemessenen Daten parametrisiert und validiert wird, eine Attribuierungsanalyse der künftigen Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe in Bezug auf Klimaextreme und damit zusammenhängender Landnutzungsänderungen durchgeführt; 3) der Zusammenhang zwischen Landnutzungsänderungen und dem Auftreten und der Intensität vergangener und möglicher künftiger klimatischer Extremereignisse und deren Konsequenzen für Ökosystemleistungen analysiert; und 4) Bewirtschaftungsoptionen identifiziert, die es erlauben, die Resilienz des sozio-ökologischen Systems in Bezug auf klimatische Extremereignisse zu erhöhen.

Die beantragte Studie wird am sozio-ökologischen Langzeitforschungsstandort (LTSER site) Stubaital durchgeführt und wird die vorhandene Messausstattung auf den Graslandsystemen um eine neue Station im Wald erweitern. Sie wird auf vorangegangenen nationalen und europäischen Projekten aufbauen und durch diese Synergien eine fundierte Grundlage für das Verständnis von Dürrereaktionen von Stoffkreisläufen in Gebirgsökosystemen und die Konsequenzen für Landnutzungsentscheidungen und die Bereitstellung von Ökosystemleistungen liefern.

## **2. Hydrological scenarios in the Austrian Alps for the next century using a statistical weather generator and enhanced process understanding for modelling of seasonal snow and glacier melt for improved water resources management (HydroGeM3)**

*Principal Investigator: Ulrich Strasser und Mathias Rotach (Universität Innsbruck)*

*Project duration: 3 Years*

*Project part "HydroGeM3-Geo" (Project manager Ulrich Strasser; [ulrich.strasser@uibk.ac.at](mailto:ulrich.strasser@uibk.ac.at))*

Water resources stored as snow and glacier ice in high mountain regions and their seasonal release as melt water are expected to undergo a significant change in the coming decades due to climate change; e.g., today, snow melt contributes approx. 40% to the total runoff in Switzerland, but this portion is expected to decrease to 20% by around 2050. These changes can be regarded as almost hard facts. The change of the amount of melt water in Alpine streams will be of spatially and temporally differentiated nature, and will have wide implications on the following socio-economic sectors directly depending on water availability: (i) agriculture, (ii) tourism, (iii) hydropower generation, and (iv) drinking water supply. The spatio-temporal shift of the melt water contribution to streamflow is not fully quantified yet, particularly on a regional scale which is relevant for society. Measures to compensate for the seasonal loss of melt water will largely grow in significance, particularly in dryer Alpine regions. Loss in melt water will also significantly increase the year-to-year variability of seasonal runoff with crucial implications for water management.

The overall aim of this project part is to provide an improved quantitative basis to support the development of sustainable strategies for Alpine mountain societies to cope with modified snow- and icemelt regimes in a changing climate, and thus with a modified availability and variability of water resources. This aim will be achieved by means of application of two sophisticated hydrological models with process formulations for snow- and icemelt, and complementary socio-economic analyses of water demand in the various societal sectors.

Two representative Alpine catchments of different land use characteristics and climates are considered for comparison: the Lütschine catchment (369 km<sup>2</sup>) in Switzerland and the Ötztaler Ache catchment (517 km<sup>2</sup>) in Austria. For both catchments, indicator trace elements for the three runoff components (i) snowmelt, (ii) ice melt, and (iii) rain will be identified using tracer hydrological methods to enable the quantification of the composition of streamflow. The empirical results of the field investigations help to improve the snow- und ice modules of two selected hydrological models, each of which is already in use in one of the two catchments. The application of the two models in both catchments is foreseen as bi-model framework in order to test their mutual transferability, and to benefit from the existing local modelling expertise. The project approach includes a regional glacier evolution model to quantify the expected retreating glacier areas. Observed meteorological

time series as well as the newest generation of future climate change scenarios will be prepared to force the hydrological models. A quantile mapping approach will be used for bias correction and terrain adjustment. For both catchments a socio-economic analysis of water demand will be carried out for the relevant societal sectors, comprising quantitative and qualitative methods, e.g. questionnaires for selected representative stakeholders from the societal sectors agriculture/irrigation, tourism, hydropower generation and drinking water. The methods also include cost-benefit analysis, as well as risk, vulnerability and governance analysis. By elaborating differences between the simulated evolution of water availability (e.g. water from snow and ice melt as well as rainfall as simulated on the basis of the climate change scenarios) and the anticipated future societal water demand, it will be possible to identify the socio-economic sectors that are most vulnerable to potential spatio-temporal shifts of melt water. This comprehensive assessment of the interactions between humans and the Alpine hydrological system is undertaken to support sustainable decision making in the respective catchments. Besides that, the project will also provide a general framework for similar cases in Alpine water resources management. The project provides quantitative underpinning for current thinking of *Socio-hydrology* as a new science of *people and water*.

---

Die in der saisonalen Schneedecke und in Gletschern gebundenen Wasserressourcen im Hochgebirge und ihre saisonale Schmelze werden durch den Klimawandel in den kommenden Dekaden stark zurückgehen. Während z.B. heute etwa 40% des Abflusses in der Schweiz durch die Schneeschmelze bedingt sind, wird dieser Anteil bis 2050 auf 20% zurückgehen. Veränderte Schmelzwasseranteile im Gerinne werden weitreichende Folgen für v.a. folgende sozio-ökonomische Sektoren nach sich ziehen: (i) Landwirtschaft, (ii) Tourismus, (iii) Wasserkraft und (iv) Trinkwasserversorgung. Die zeitliche und räumliche Veränderung des Schmelzwasseranteils im Abfluss ist für die gesellschaftsrelevanten Skalen aber noch nicht vollumfänglich quantifiziert. Maßnahmen zur Kompensation solcher saisonalen Veränderungen des Abflussregimes unter Berücksichtigung verschiedenster Nutzungsansprüche werden daher zunehmend bedeutender, insbesondere für die relativ trockenen Zentralalpenregionen. Eine große Herausforderung für wasserwirtschaftliche Planungen stellt darüber hinaus die erwartete interannuelle Zunahme der Variabilität des Abflusses dar.

Das Ziel des Projektes ist die Bereitstellung einer verbesserten quantitativen Grundlage für die Entwicklung von Strategien zum nachhaltigen Umgang mit durch den Klimawandel veränderten Regimes von Eis- und Schneeschmelze und damit veränderter Verfügbarkeit und Variabilität der Wasserressourcen. Im Projekt werden zwei state-of-the-art hydrologische Modelle mit verbesserten Prozessbeschreibungen für Eis- und Schneeschmelze angewendet, und durch spezifische Feldarbeit und Laboranalyse von natürlichen Tracern zur Separation der Abflusskomponenten Eis, Schnee und Regen hinsichtlich ihrer internen Schmelzroutinen verbessert. Die Simulationen werden durch sozioökonomische Analysen des Wasserbedarfs in den verschiedenen Gesellschaftsbereichen begleitet. Für die Untersuchungen sind zwei hinsichtlich Landnutzung und Klima unterschiedliche, aber repräsentative Einzugsgebiete vorgesehen: Die Lütshine (369 km<sup>2</sup>) in der Schweiz und die Ötztaler Ache (517 km<sup>2</sup>) in Österreich. In beiden Einzugsgebieten werden die Beiträge von (i) Eis- und (ii) Schneeschmelze sowie (iii) Regenwasser am Gesamtabfluss mit Hilfe tracer-hydrologischer Methoden ermittelt. Für die hydrologische Modellierung werden zwei Modelle eingesetzt, welche jeweils in einem der beiden Einzugsgebiete schon angewendet werden. Dieser Modellvergleichansatz ermöglicht einen Test der Übertragbarkeit der Modelle, und von den jeweiligen Erfahrungen im Einsatz der Modelle zu profitieren. Das Projekt berücksichtigt die sich verändernden Gletscherflächen mit Hilfe eines regionalen Gletscherentwicklungsmodells. Beobachtete meteorologische Zeitreihen sowie die neueste Generation von Klimaszenarien werden für beide hydrologische Modelle aufbereitet. Die räumliche Verfeinerung sowie Biaskorrektur der Klimamodelldaten wird mit Hilfe von quantile mapping vorgenommen. Für beide Einzugsgebiete wird daneben eine detaillierte Analyse des Wasserbedarfs betroffener Gesellschaftsbereiche durchgeführt. Diese erfolgt mit quantitativen und qualitativen Methoden, z.B. mit Fragebögen für ausgewählte Stakeholder aus den Bereichen Landwirtschaft/Bewässerung, Tourismus, Wasserkraft und Trinkwasserversorgung. Durch Gegenüberstellung von modellierter Wasserverfügbarkeit (z.B. in Klimawandelszenarien modellierte Anteile von Wasser aus Schnee- und Eisschmelze und Niederschlag) mit vorhergesehenem Wasserbedarf wird eine Identifikation derjenigen Gesellschaftsbereiche und Zeiträume erarbeitet, in denen es zu Vulnerabilitäten gegenüber Veränderungen der Schmelzwasseranteile kommen kann. Im Projekt wird eine umfassende Analyse der sozio-ökonomischen und hydrologischen Subsysteme alpiner Einzugsgebiete durchgeführt, um dort nachhaltige Entscheidungsprozesse des Wasserressourcenmanagements zu unterstützen. Das Projekt stellt eine übertragbare Methodik zur Verfügung und leistet einen quantitativen Beitrag zum aktuellen Diskurs zur *Sozio-Hydrologie* als neuer Wissenschaft von *people and water*.

This project part aims at providing high-resolution atmospheric and snow-hydrological data as input to socio-economic decisions related to snow (hydro power, ski tourism) in the Tyrolean alps for specific time horizons (target years) of the 21st century. Recognising the high temporal and spatial resolution required in snow-hydrological applications (order of magnitude: 100m), along with presently available resolution of regional climate modelling (order of magnitude: 10km), *statistical downscaling* of the most recent regional climate scenarios from the EURO-CORDEX multi-model data set will be applied. For the statistical downscaling a weather generator (M&Rfri) will be used.

This weather generator (WG) is a ‘single-site’ generator and presently has an option for high resolution (one hour) in time. One of the key tasks of this project apart from the WG’s training and parameter optimization for the region under consideration is its *extension to become a ‘multi-site WG’*, i.e., enable the generation of spatially coherent weather situations within a certain region, as they are required in hydrological applications. Target-resolution of ‘the multi-site WG’ is 5x5km<sup>2</sup>, or (sub-) catchment-scale. Benefits of choosing a parametric or non-parametric (re-sampling) approach to generate the spatially coherent multi-site (gridded) synthetic weather data from the WG will be explored within the project. To model the snow and ice accumulation or ablation from the synthetic weather data the snow-hydrological model AMUNDSEN will be employed. AMUNDSEN is a physically based hydro-climatological model, which uses meteorological station data and a meteorological pre-processor (to generate spatially distributed information at the local scale) as input.

This ‘regionalization’ capability will be enhanced within this project by adding characteristics of temperature inversions, allowing for cloud-humidity relations and improving the topographydependent characteristics of wind speed. Also AMUNDSEN will have to be coupled to ‘ensemble type’ synthetic weather information of unlimited length as provided by the WG. Training (‘calibration’) of the WG for the region under consideration will be based on available station data, partially from the PI’s own institution, partially from the Austrian meteorological office (ZAMG). The combined model chain will be validated at each of its steps (only weather data; derived weather data, snowhydrological output) using long time series from, among others, the HISTALP data set of ZAMG and one the world’s longest glacier mass balance data sets from Hintereisferner (maintained by the PI’s institute, IMG1), for present-climate conditions. Scenario applications will finally be generated based on statistical analysis of regional climate model output (CORDEX) for the time horizons 2030, 2050, 2075, 2100 using a Bayesian multi-model combination algorithm.

---

In diesem Projekt werden hoch-aufgelöste atmosphärische und schneehydrologische Daten generiert, die dann als Inputinformation für sozio-ökonomische Entscheidungen im Zusammenhang mit Schnee (Wasserkraft, Skitourismus) herangezogen werden können. Das Projektgebiet umfasst die Tiroler Alpen, während die der Zeithorizont das 21. Jahrhundert (das heißt: festgelegte ‚Zieljahre‘ in diesem Jahrhundert) umfasst. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung wie sie für die schnee-hydrologische Modellierung nötig ist (Größenordnung: 100m), und der gegenwärtig verfügbaren Information aus regionalen Klimamodellen (Größenordnung: 10km), wird ein statistisches Downscaling der neuesten verfügbaren regionalen

Klimadaten (EURO-CORDEX) durchgeführt. Also Downscaling-Methode wird ein Wettergenerator (M&Rfri) verwendet. Dieser ist ein ‚single site‘ Wettergenerator (WG), der aber eine Option für hohe zeitliche Auflösung (1h) besitzt. Entsprechend wird es– neben Training und Parameteroptimierung für das Anwendungsgebiet – eine der zentralen Aufgaben innerhalb von HYDROGEN sein, diesen WG auf ‚multi-site‘ Anwendungen zu erweitern. Das bedeutet konkret, dass synthetische ‚Wetterabläufe‘ generiert werden, die auch innerhalb des Zielgebiets (Tiroler Alpen) räumlich kohärent sind, wie es für hydrologische Anwendungen nötig ist. Die angestrebte Auflösung dieses ‚multi-site WG‘ ist 5x5km<sup>2</sup>, oder die Skala eines (Teil-) Einzugsgebietes. Es werden die Vor- und Nachteile von parametrischen oder nicht-parametrischen (‚Resampling‘) Ansätzen zur Erzeugung der räumlich kohärenten multi-site (gegitterten) Information untersucht. Für die Modellierung der Schnee- (Eis-) Akkumulation/Ablation aufgrund der synthetischen Wetterdaten wird das schneehydrologische Modell AMUNDSEN herangezogen. Dieses ist ein physikalisches hydro-klimatologisches Modell das normalerweise meteorologische Stationsdaten und einen ‚meteorologischen Vorprozessor‘ zur Feinverteilung dieser Information auf die lokale Skala als Input benutzt. Diese Regionalisierungs-Funktion des Modells wird als Teil von des Projekts verfeinert, indem Information über Temperatur- Inversionen, Feuchte-Wolken-Beziehungen und geländespezifische Windinformationen zusätzlich eingebaut werden. Darüber hinaus muss AMUNDSEN natürlich an die synthetische Wetterinformation (die dann einen ‚Ensemble Charakter‘ hat) wie sie vom WG bereitgestellt wird gekoppelt werden. Das Training (d.h. die Eichung) des WG in der Zielregion wird anhand von Stationsdaten, die am Institut des PI vorhanden sind sowie mit Stationsdaten der Zentralanstalt für

Meteorologie und Geophysik (ZAMG), dem österreichischen Wetterdienst, vorgenommen. Die kombinierte Modellkette wird für jeden Schritt separat (nur WG Daten, abgeleitete meteorologische Daten, Schneehydrologische Informationen) anhand von langen Messreihen validiert. Diese sind unter anderem der HISTALP Datensatz der ZAMG, sowie eine der längsten Gletschermessreihen der Welt am Hintereisferner, die vom Institut des PI betrieben wird. Die Szenario-Anwendungen für die Zieljahre 2030, 2050, 2075, 2100 werden dann aufgrund von statistischer Analyse der CORDEX Resultate generiert, wobei ein Bayes'sches statistisches Modell verwendet wird.

### **3. Economic and Ethical Consequences of Natural Hazards in Alpine Valleys (EE-Con)**

*Principal Investigator: Oliver Sass (Universität Graz) [oliver.sass@uni-graz.at](mailto:oliver.sass@uni-graz.at)*

*Project duration: 3 Years*

Due to steep topographical reliefs, high population density and the economic importance of summer and winter tourism, the Alps and their population are particularly vulnerable to geomorphological and hydrological hazards. This problem might be amplified by rising temperatures and more pronounced precipitation events due to climate change. Natural disasters cause severe monetary damage which often leads to the difficult question whether it socially pays to protect settlements at high costs or whether alternatively settlement areas should better be abandoned. By investigations in two alpine valleys in Styria, the Johnsbachtal and the Kleinsölkthal, we will address the following questions: (1) Are natural hazards and associated damages in fact increasing, and is this attributed to increasing meteorological triggers, to anthropogenic factors or to a cyclicity in internal process dynamics? How will these factors evolve in the future? (2) What is the perception and knowledge of local people on natural hazards in "their" valleys, how is risk and risk prevention communicated? (3) What is the respective cost ratio between protection infrastructure, soft measures of adaptation and other options (e.g. reduction of settlement area)? How does this ratio evolve over time, what are the implications for intertemporal adaptation decisions? (4) If losses cannot be avoided, what legitimate claims to compensation do people have both as individuals and as members of groups? How far does societal responsibility reach and where does individual responsibility start, if parts of the settlement area had to be abandoned?

This complex of questions will be tackled in an interdisciplinary cooperation between geography, economics and normative theory (philosophy). The PhD students foreseen in this proposal will be integrated in the eligible parts of the FWF-funded interdisciplinary doctorate school "CC-Cope (Climate Change – Uncertainties, Thresholds and Coping Strategies)" which will serve as an excellent support and discussion platform.

In the first work package (physical and economic basis), the project will follow broadly the path of risk analysis and risk assessment, however focusing on the temporal dimension (past – present – future) and building on a strong base of preliminary results. The aims are to unravel the history of natural hazards in the areas, to analyse the economic values involved and the effects of different options for action, to develop natural hazard scenarios for the future (horizons 2050 and 2100) using published regional climate change scenarios, and to consider the economic consequences of action and in-action. The second work package (Human Dimension) deals with the processes of man-environment interaction (local knowledge, risk perception and risk communication). Information will be obtained via interviews, group interviews and stakeholder workshops and will be integrated into a human-ecological model according to Fischer-Kowalsky. Using the geographic and economic input generated, the information will be used to find proper weighing mechanisms answering the normative questions mentioned above. The questions of enduring the respective costs and of responsibility for protecting the respective entitlements will be investigated from a moral, a legal, and an economic viewpoint.

The third work package will merge the results and provide an integrative view, discuss options for adaptation measures and deal with dissemination of the results. Local residents and stakeholders are involved in a transdisciplinary approach from the start of the project, which will facilitate dissemination measures.

-----  
Aufgrund von steilem Relief, hoher Bevölkerungsdichte und der ökonomischen Bedeutung von Sommer- und Wintertourismus ist die Bevölkerung des Alpenraums besonders verwundbar gegenüber geomorphologischen und hydrologischen Naturgefahren. Dieses Problem könnte sich mit steigenden Temperaturen und ausgeprägteren Starkregenereignissen in der Zukunft verschärfen. Hohe monetäre Schäden führen oft zu der schwierigen Frage, ob es sich für die Gesellschaft auszahlt, Siedlungsraum mit hohem Aufwand zu schützen, oder ob Ortschaften besser abgesiedelt werden sollten. In zwei alpinen Talräumen der Steiermark (Johnsbachtal und Kleinsölkthal) sollen folgende damit verbundene Fragen einer Antwort nähergebracht werden: (1) Nehmen

die Anzahl von Naturgefahren und die damit verbundenen Schäden tatsächlich zu, und ist eine mögliche Zunahme auf häufigere meteorologische Trigger, auf anthropogene Faktoren oder auf eine zyklische interne Prozessdynamik zurückzuführen? Wie werden sich diese Faktoren in der Zukunft entwickeln? (2) Welche Wahrnehmung und welches lokale Wissen haben die betroffenen Einwohner über Naturgefahren, wie werden Risiko und Risikoversorge kommuniziert? (3) Wie ist das Kostenverhältnis zwischen Schutzbauten, "sanften" Anpassungsstrategien und anderen Optionen, wie z.B. Aufgabe von Siedlungsraum? Wie entwickelt sich dieses Verhältnis über die Zeit, und was sind die Implikationen für Entscheidungen zur Anpassung? (4) Welche legitimierte Ansprüche auf Kompensation haben die betroffenen Personen im Falle von Verlusten, sei es als Individuen oder als Mitglieder von Gruppen? Wie weit geht die gesellschaftliche Verantwortung und wo beginnt die individuelle Verantwortung, wenn Teile des Siedlungsraums aufgegeben werden sollten?

Diese Fragenkomplexe werden im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Geographen, Ökonomen und Philosophen bearbeitet. Die vorgesehenen Doktorand/innen werden in das FWF-geförderte interdisziplinäre Doktoratskolleg "CC-Cope (Climate Change – Uncertainties, Thresholds and Coping Strategies)" integriert, was eine exzellente Unterstützung und Diskussionsplattform ermöglicht.

Im ersten Abschnitt (geographische und ökonomische Grundlagen) wird das Projekt den Leitlinien der Risikoanalyse und Risikobewertung folgen, wobei auf die zeitliche Entwicklung (Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft) fokussiert wird. Dabei kann auf umfangreiche Voruntersuchungen und Kooperationen zurückgegriffen werden. Das Ziel ist es, die Naturgefahrensituation in beiden Tälern aufzuarbeiten, die betroffenen ökonomischen Werte und die Auswirkung verschiedener Handlungsoptionen zu analysieren und Szenarien für die Zukunft aufzuzeigen (2050 und 2100), wobei publizierte regionale Klimawandelszenarien zur Anwendung kommen. Der zweite Abschnitt (menschliche Dimension) beschäftigt sich mit den jeweiligen Mensch-Umwelt-Beziehungen wie z.B. lokales Wissen, Risikowahrnehmung und Risikokommunikation. Die wichtigsten Untersuchungsmethoden sind Einzel- und Gruppeninterviews sowie Workshops mit Entscheidungsträgern; die Ergebnisse werden in ein Humanökologisches Modell nach Fischer-Kowalski integriert. Auf der Basis des Inputs aus Geographie und Ökonomie werden geeignete Gewichtungsfaktoren für die Berücksichtigung der genannten normativen Fragestellungen entwickelt. Die Frage des Aufbüdens der jeweiligen Kosten und der Verantwortung für den Schutz der jeweiligen Ansprüche wird aus einer moralischen, rechtlichen und ökonomischen Sichtweise beleuchtet.

Im dritten Abschnitt werden die Teilergebnisse zu einer integrativen Sichtweise zusammengeführt und die möglichen Anpassungsstrategien diskutiert. Die Verbreitung der erzielten Ergebnisse wird dadurch erleichtert, dass Anwohner und Entscheidungsträger von Anfang an in einem transdisziplinären Ansatz mit eingebunden sind.

#### **4. Land use, climate change and biodiversity in Alpine landscapes: Assessing feedback and forging land-use strategies towards a viable future (LUBIO)**

*Principal Investigator: Veronika Gaube (Alpe Adria Universität Klagenfurt) [Veronika.Gaube@aau.at](mailto:Veronika.Gaube@aau.at)*

*Project duration: 3 Years*

Land-use and climate change are important, pervasive drivers of global environmental change and pose major threats to global biodiversity. Research to date has mostly focused either on land-use change or on climate change, but rarely on the interactions between both drivers, even though it is expected that systemic feedbacks between changes in climate and land use will have important effects on biodiversity. In particular, climate change will not only alter the pool of plant and animal species capable of thriving in a specific area, it will also force land owners to reconsider their land use decisions. Such changes in land-use practices may have major additional effects on local and regional species composition and abundance. In LUBIO, we will explore the anticipated systemic feedbacks between (1) climate change, (2) land owner's decisions on land use, (3) land-use change, and (4) changes in biodiversity patterns during the coming decades in a regional context which integrates a broad range of land use practices and intensity gradients.

To achieve this goal, an integrated socioecological model will be designed and implemented, consisting of three principal components: (1) an agent based model (ABM) that simulates decisions of important actors, (2) a spatially explicit GIS model that translates these decisions into changes in land cover and land use patterns, and (3) a species distribution model (SDM) that calculates changes in biodiversity patterns following from both changes in climate and the landuse decisions as simulated in the ABM. LUBIO uses a regional case study to explore the option space for future land use under climate change and to assess both the direct and indirect,

landuse mediated effects of a warming climate on plant diversity. The option space for future land management decisions depends on internal choices as well as on changes in the socioeconomic and climatic framework conditions. The case study area is situated in the LTSER region Eisenwurzen and encompasses 23 municipalities along the Enns river which represent a broad variety of land-use systems. The strength of ABMs is their ability to simulate aggregated outcomes resulting from decisions made by many individual actors. General applications of ABMs have proven their utility in analysing the dynamics of socioecological systems in which decisions of actors influence biophysical dynamics. For LUBIO, the most relevant agents are primarily land managers such as farms and forest owners that make land-use decisions dependent on framework conditions (e.g. agricultural prices and subsidies) as well as intrinsic preferences and societal norms that may change over time. The output of the ABM are modelled land-use changes on a municipality level resulting from land-use changes induced by landowners. This has to be translated in a spatially explicit land-cover map to provide input to the finer resolution of 100 meters for the SDMs. For this purpose, we will use spatial disaggregation techniques. Species distribution modelling is a statistical modelling technique that relates data on the incidence (or abundance) of species to a suite of, mostly abiotic, site conditions by means of a variety of different algorithms. In LUBIO, the SDMs need to be set up, implemented and parameterized to predict changes in the distribution and number of plant species that can potentially thrive within the study area under assumed changes of the regional climate and potentially associated changes in land use decisions. By comparing the simulation results from different scenarios, including sensitivity analysis to identify critical factors and processes, alternative possible futures of regional plant diversity will be identified. Model development of the ABM will be supported by a participatory process intended to collect regional and expert knowledge through a series of expert interviews, a series of transdisciplinary participatory modelling workshops, and a questionnaire-based survey targeted at regional farmers. In addition to the integrated socioecological model a catalogue of recommended policy and stakeholder actions will be developed in order to spread insights gained in the project region.

---

Landnutzungs- und Klimawandel sind wichtige Treiber weltweiter Umweltveränderung und stellen eine große Bedrohung für die globale Artenvielfalt dar. Die Forschung hat sich bisher meist auf nur eine der beiden Komponenten konzentriert und selten ihr Zusammenspiel untersucht, obwohl wichtige systemische Rückkoppelungen zwischen den Auswirkungen der Klima- und Landnutzungsveränderungen auf Biodiversität zu erwarten sind. Insbesondere wird durch den Klimawandel nicht nur die Zusammensetzung der Tier- und Pflanzenarten verändert, die sich in einem bestimmten Gebiet entwickeln, sondern es werden auch die Landbewirtschaftler dazu gezwungen, ihre Entscheidungen bezüglich Landnutzung zu überdenken. Dadurch ergeben sich zusätzliche Auswirkungen auf die lokale und regionale Artenzusammensetzung und -vielfalt. In LUBIO werden die erwarteten systemischen Rückkoppelungen zwischen 1) dem Klimawandel, 2) Landnutzungsentscheidungen der Grundeigentümer, 3) Veränderungen der Landnutzung und 4) Veränderungen von Biodiversitätsmustern in den kommenden Jahrzehnten in einem regionalen Kontext untersucht. Um dieses Ziel zu erreichen, soll ein integriertes sozialökologisches Modell entworfen und implementiert werden, das aus drei Hauptkomponenten besteht: 1) einem agentenbasierten Modell (ABM), das die Entscheidungen relevanter Akteure simuliert, 2) einem räumlich-expliciten GIS Modell, das diese Entscheidungen in Veränderungen der Landbedeckung und Landnutzungsmuster übersetzt, und 3) einem Artenverteilungsmodell (species distribution model – SDM), das die Veränderungen der Biodiversitätsmuster berechnet, die sich aus den Klimaveränderungen und Landnutzungsentscheidungen ergeben. LUBIO untersucht mittels einer regionalen Fallstudie die Optionen für zukünftige Landnutzung schätzt sowohl die direkten als auch indirekten, über Landnutzung vermittelten, Auswirkungen einer Klimaerwärmung auf die Pflanzenvielfalt ab. Die Optionen für zukünftige Landnutzungsentscheidungen hängen von internen Faktoren der LandwirtInnen und von Veränderungen der sozioökonomischen und klimatischen Rahmenbedingungen ab. Das Gebiet der Fallstudie liegt in der LTSER Region Eisenwurzen und umfasst 23 Gemeinden entlang der Enns, die eine große Vielfalt an Landnutzungssystemen einschließen. Die Stärke von ABMs liegt in der Möglichkeit, aggregierte Ergebnisse zu simulieren, die sich aus den Entscheidungen vieler einzelner Akteure ergeben. Es gibt eine Reihe von Anwendungen von ABMs zur Analyse der Dynamik sozialökologischer Systeme, bei denen Entscheidungen von Akteuren die biophysische Dynamik beeinflusst. In LUBIO sind die wichtigsten Akteure zunächst Landbesitzer wie landwirtschaftliche Betriebe oder Waldbesitzer, die aufgrund bestimmter Rahmenbedingungen (z.B. Preise für landwirtschaftliche Produkte oder Förderungen) als auch aufgrund von intrinsischen Präferenzen und gesellschaftlichen Normen Landnutzungsentscheidungen treffen. Das Ergebnis des ABM sind modellierte Landnutzungsveränderungen auf Ebene der Gemeinden, die sich aus den Landnutzungsentscheidungen durch die Landbesitzer ergeben. Diese Ergebnisse müssen für die

SDMs auf einer räumlich-expliziten Landnutzungskarte auf einer Auflösung von 100 m übersetzt werden. Zu diesem Zweck werden räumliche Disaggregationstechniken verwendet.

Artenverteilungsmodellierung (species distribution model – SDM) ist ein statistisches Verfahren, das Daten über das Vorkommen einer Art mittels verschiedener Algorithmen mit einer Gruppe von – meist abiotischen – Standortfaktoren in Verbindung bringt. Im Projekt LUBIO, müssen die SDMs so aufgesetzt und parametrisiert werden, dass sie die Veränderungen in der Verteilung und der Anzahl von Pflanzenarten vorhersagen können, die sich potenziell im Forschungsgebiet unter den angenommenen regionalen Klimaveränderungen und den damit verbundenen Veränderungen der Entscheidungen bezüglich Landnutzung entwickeln können. Durch den Vergleich der Simulationsergebnissen aus verschiedenen Szenarien einschließlich einer Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung der kritischen Faktoren und Prozesse, werden alternative mögliche Zukunftsszenarien für regionale Pflanzenvielfalt ermittelt werden. Die Entwicklung des ABM wird durch einen partizipativen Prozess unterstützt, um regionale Informationen und Expertenwissen zu sammeln. Dies wird mittels einer Serie von Experteninterviews und transdisziplinären partizipativen Modellierungsworkshops sowie einer Fragebogenuntersuchung der regionalen landwirtschaftlichen Betriebe geschehen. Zusätzlich zum integrierten sozialökologischen Modell soll auch ein Maßnahmenkatalog für Politik und andere Stakeholder erstellt werden, um die Ergebnisse des Projektes für die Region nutzbar zu machen.

## 5. Glacial Archaeology in Vorarlberg and Tyrol (GAAA)

*Principal Investigator: Harald Stadler (University of Innsbruck) [Harald.Stadler@uibk.ac.at](mailto:Harald.Stadler@uibk.ac.at)*

*Project duration: 2,5 Years*

In times of global warming, related landscape changes and glacial recession, more and more archaeological and natural finds emerge from alpine ice patches and glaciers. These remains, dating to varying periods of the last 10'000 years, are of enormous significance to archaeology. Especially prehistoric finds, such as those from the Similaun Glacier in 1991 ("Ötzi") and the more recent finds in the Bernese Alps (CH) from Schnidejoch and Lötschenpass clearly demonstrate the impetus of such ice-finds on research dynamics and on the increase of knowledge in alpine archaeology. Due to the excellent preservation conditions in the ice – especially of organic material – these finds are of unique importance for the archaeological science. In addition, the frozen archives of high alpine glaciers are of great interest to various related disciplines, such as archaeobiology (aDNA), archaeobotany, glaciology and climate science. Even though the scientific potential of ice-finds is well known and the melting of the alpine glaciers is rapidly proceeding, few attempts are being made to save endangered cultural heritage from the impact of climatic warming. To date, hardly any methodological procedures for glacial archaeology have been developed in Central Europe. The discovery and rescue of glacial finds is left to chance and is mostly owed to tourist's or hiker's attention – although appropriate predictive modelling, survey and monitoring strategies are known from North America and Scandinavia. The timeliness of this topic and the urgent need for a systematic glacial archaeology in Austria are underlined by the results of an international meeting concerning the topic in 2013, initiated and organised by the principal investigator together with the Austrian Federal Monuments Office.

The project GAAA shall attend to this research *desideratum* at the three main levels of theory/methodology, fieldwork and public archaeology. The primary objective is the detection of areas of high potential with respect to glacial-archaeological questions throughout the Austrian Alps, mainly in Vorarlberg and Tyrol. The aim is to compile a set of cultural and environmental criteria, which potentially influence the probability of the presence of archaeological remains and their preservation. The therefore required database is currently being compiled in the context of a course at the University of Innsbruck, Institute of Archaeologies. So far, the international know-how transfer has already begun.

The development of a complex GIS-based predictive model in close cooperation with the Swiss project „kAltes Eis“ will provide a methodological means with which the to date compiled data can be summarized (weighted) and spatially modelled. The theoretical framework and its results will be tested in the field during the late summer of 2014 and the following two years, in order to verify and improve the developed model described above. In addition, an archaeological field survey and monitoring programme, which will monitor the most promising locations within the research area – also beyond the duration of this project – will be established. It is, in this context, of great significance for the understanding of the phenomena "ice find" to not only collect cultural historical, but also data of value to further scientific disciplines, such as those concerning formation processes of ice patches and small glaciers (by means of ground penetrating radar, temperature logging etc.).



Additionally, it is planned to set up a programme of public archaeology, which aims to increase the public's awareness of the varied scientific potential of ice patches and glaciers as well as the importance and correct handling of the often seemingly inconsequential objects found in and around the alpine ice. The precise way of communicating the projects goals, methods and results will depend on the quality and quantity of the finds as well as on their location of recovery. In any case, it should include both communication within the international scientific environment and with the general public. It will consist of contributions in relevant journals, as well as exhibitions and personal communication to alpinists, hikers, hunters, farmers and so on.

Upon completion of the project in autumn 2016 the international glacial archaeology symposium "Frozen Pasts" will be held in Innsbruck and Bozen, organised in cooperation with the University of Innsbruck and various further partners from the alpine regions. This offers an ideal opportunity to present the project results in front of a worldwide audience of experts. The deliverables of the project will be published in the series "Research on Glacial Archaeology" of the University of Innsbruck.

---

Als Folge der globalen Klimaerwärmung und dem damit einhergehenden Rückzug der Gletscher apert immer wieder archäologische und biologische Relikte aus dem alpinen Eis. Diese Objekte stammen aus unterschiedlichen Epochen der letzten 10'000 Jahre und sind für die Archäologie und ihre Nachbarfächer von größtem Interesse. Vor allem prähistorischen Eisfunden, wie sie 1991 am Similaun („Ötzi“) oder in den vergangenen Jahren im Berner Oberland (CH) am Schnidejoch und Lötschenpass geborgen wurden, kommt eine regelrechte wissenschaftliche Impulsfunktion zu. Derartige Funde liefern grundlegende Informationen über die bisher wenig bekannte frühe Nutzung hochalpiner Landschaften und sind zudem durch die hervorragenden Erhaltungsbedingungen im Eis – insbesondere für organische Materialien – von singulärer Bedeutung. So sind die in den Eisarchiven konservierten Informationsträger für verschiedene Disziplinen wie die Archäobiologie (aDNA), Archäobotanik, Glaziologie und Klimaforschung von großem Wert.

Obwohl dieses wissenschaftliche Potential im Eis erhaltener Objekte gut bekannt ist und gleichzeitig der Verlust alpiner Eisflächen rasant fortschreitet, werden bislang kaum Anstrengungen zur Erforschung und zum Schutz klimatisch bedrohter Kulturgüter unternommen. So fehlen für den zentraleuropäischen Alpenraum bis heute methodische Grundlagen für den Umgang mit Eisfunden, deren Entdeckung und Bergung weiterhin dem Zufall resp. der Aufmerksamkeit von Touristen und Wanderern überlassen bleibt – obwohl adäquate Survey- und Monitoring-Strategien aus Nordamerika und Skandinavien bekannt sind. Die Aktualität der Thematik sowie der dringende Bedarf nach einer systematischen Gletscherarchäologie in Österreich wird auch von den Resultaten eines Workshops zur Gletscherarchäologie unterstrichen, der 2013 vom Hauptantragsteller gemeinsam mit dem Österreichischen Bundesdenkmalamt durchgeführt wurde.

Das Projekt GAAA soll sich diesem Forschungsdesiderat auf den drei Ebenen Methodik/Theorie, Feldarbeit und Öffentlichkeitsarbeit annehmen. Als vordringlichstes Ziel gilt hierbei die systematische Detektion von Gebieten mit hohem gletscherarchäologischen Potential in Vorarlberg und Tirol. Zu diesem Zweck soll ein Katalog von natürlichen und kulturellen Faktoren, die die archäologische Funderwartung begünstigen, zusammengestellt werden. In enger Zusammenarbeit mit dem Schweizer Projekt „Altes Eis“ werden diese Einflussfaktoren in einem komplexen GIS-Modell – einem sog. Vorhersagemodell – miteinander verrechnet und räumlich modelliert. Die Datengrundlage für eine entsprechende Vorgehensweise wird gegenwärtig im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, zusammengestellt, sodass der internationale Wissenstransfer bereits initiiert ist. Ausgehend von dieser theoretisch erarbeiteten Fundpotential-Kartierung muss anschliessend eine systematische Überprüfung und Umsetzung der Modellierung im Gelände erfolgen. Erst durch den Vergleich der modellierten Verdachtsflächen mit dem eigentlichen Gelände kann die angewandte Methodik evaluiert und weiterentwickelt werden. Die als vielversprechend prognostizierten Fundverdachtsflächen müssen zudem regelmäßig begangen, nach Funden abgesucht und in ihrem naturräumlichen Kontext bestmöglich dokumentiert werden. Schließlich soll das Projekt nicht nur Einblicke in die frühe Kultur- und Klimageschichte der Alpen geben, sondern auch interdisziplinäre Daten sichern, etwa zu Transformationsprozessen alpiner Eisflecken und kleiner Gletscher (Temperaturmessungen, Georadar etc.). Nur auf diese Weise kann ein längerfristiges Monitoring besonders relevanter Gebiete gewährleistet werden. Neben der wissenschaftlichen Erforschung soll eine breitenwirksame Öffentlichkeitsarbeit das alpine Publikum über das vielseitige wissenschaftliche Potential von Gletschern und Eisflecken aufklären und über den korrekten Umgang mit Eisfunden informieren. Die Vermittlung und Kommunikation der laufenden Arbeiten und Resultate muss der Quantität und Qualität der geborgenen Funde angepasst werden, soll aber in jedem Fall auf internationaler wissenschaftlicher Ebene wie auch in der breiten Öffentlichkeit stattfinden. Neben der Publikation von Beiträgen in spezifischen Fachzeitschriften werden auch kleine Ausstellungsmodulare realisiert, sowie ein direkter Austausch

zwischen Alpinisten, Wanderern, Jägern, Bauern etc. hergestellt. Zum Projektabschluss wird im Herbst 2016 in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck und weiteren Partnern aus dem Alpenraum die internationale Tagungsreihe „Frozen Pasts“ in Innsbruck/Bozen durchgeführt. Dies bietet eine optimale Gelegenheit, die im Projekt erarbeiteten Resultate einem weltweiten Fachpublikum zu präsentieren. Die Ergebnisse des Forschungsprogramms sollen schliesslich in Form einer Monographie in der Reihe „Forschungen zur Gletscherarchäologie“ der Universität Innsbruck veröffentlicht werden.

## **6. Disentangling anthropogenic drivers of climate change impacts on alpine plant species: Alps vs. Mediterranean mountains (MEDIALPS)**

*Principal Investigator: Manuela Winkler (BOKU, IGF) [Manuela.Winkler@boku.ac.at](mailto:Manuela.Winkler@boku.ac.at)*

*Project Manager: Harald Pauli (BOKU, IGF) [Harald.Pauli@oeaw.ac.at](mailto:Harald.Pauli@oeaw.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Globally, ecosystems have been subjected to dramatic anthropogenic changes in the last decades, which include also semi-natural environments such as mountain regions. A promising approach to identify and quantify the consequences of these changes and their temporal development on biodiversity patterns is long-term monitoring. In this respect, the GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)) network provides a unique dataset on changes in occurrence and abundance of alpine plants based on standardized monitoring on mountain summits all over the world. Monitoring of European summits showed that changes in biodiversity patterns were indeed related to rising temperatures, but climate change impacts on local occurrence and abundance of alpine plant species differed significantly between the temperate and the Mediterranean biome. Rising species numbers in the Alps contrast with significant species declines on southern European mountains. The latter could be a result of different climate change effects such as higher temperatures and decreasing precipitation, probably in combination with direct anthropogenic influences such as land-use changes.

Long-term monitoring has so far focussed on changes in temperature and snow cover duration as the most important drivers of these changes, whereas a thorough investigation of other factors, belonging to various Earth subsystems, such as water relations, geomorphology, land-use changes and pollution, and their interactions is crucial but still missing: (1) Water potential/precipitation and solar radiation constitute additional key climatic factors for plant growth. (2) Geomorphology is an important determinant, predefining vegetation, especially in the alpine life zone, where changes in microtopography can lead to profound changes in both thermal conditions and plant composition at small spatial scales. (3) Deposition of nitrogen originating mostly from combustion processes can lead to over-fertilization of alpine soils and contributes to enhanced plant growth, and is thus considered to be an important confounding factor of temperature effects. (4) Land-use changes in the alpine life zone encompass increasing fragmentation and grazing pressure and constitute mostly anthropogenic factors with profound consequences on plant species composition.

To assess the relative effect of these factors on the observed changes in the biosphere and their mutual dependencies across Europe, an integrative approach combining excellence from various fields of global change research and local expert knowledge is crucial. We aim at identifying areas with a particular high risk of biodiversity losses as well as potential refugia allowing plant species to persist under predicted climate change. To this end, we will operate at two spatial scales in two contrasting biomes of Europe. The first level constitute local summits where temperature, water potential and nitrogen deposition are measured, and changes in vegetation and grazing pressure are recorded. On the regional level we will compare solar radiation and topography derived from satellite images, climate parameters and their projections into the future under different climate change scenarios, nitrogen deposition and major land-use changes in the two contrasting regions.

-----  
In den letzten Jahrzehnten waren Ökosysteme weltweit einem dramatischen anthropogenen Wandel ausgesetzt. Davon sind auch naturnahe Ökosysteme der Gebirgsregionen betroffen. Langzeitmonitoring ist eine effektive Methode um die Auswirkungen dieses Wandels auf Biodiversitätsmuster zu identifizieren und zu quantifizieren. Das GLORIA-Netzwerk liefert durch sein standardisiertes weltweites Monitoring auf Berggipfeln (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)) einen einzigartigen Datensatz, der Auskunft über Veränderungen in Vorkommen und Häufigkeit von alpinen Pflanzenarten gibt. Monitoringdaten von europäischen Berggipfeln zeigten, dass Änderungen von Biodiversitätsmustern in engem

Zusammenhang mit steigenden Temperaturen stehen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf lokale Verbreitungsmuster von Pflanzenarten unterscheiden sich jedoch signifikant zwischen temperaten und mediterranen Biomen. Steigende Artenzahlen in den Alpen kontrastieren mit rückläufigen Artenzahlen auf Gipfeln Südeuropas. Letzteres könnte ein Resultat aus höheren Temperaturen in Kombination mit weniger Niederschlag, möglicherweise auch mit anthropogenen Einflüssen wie Landnutzungsänderung, sein.

Langzeitmonitoring fokussierte bisher auf die wichtigsten Einflussfaktoren dieses Wandels: Änderungen der Temperatur und Schneedeckendauer. Eine genauere Untersuchung von anderen Faktoren aus unterschiedlichen Komponenten des "Systems Erde", wie Wasserhaushalt, Geomorphologie, Landnutzungsänderungen und Umweltverschmutzung und deren gegenseitiger Interaktionen sind entscheidend, fehlen aber bisher: (1) Wasserpotential / Niederschlag und Sonneneinstrahlung stellen klimatische Schlüsselfaktoren für Pflanzenwachstum dar. (2) Geomorphologie ist eine wichtige Determinante für Vegetationsmuster. Dies trifft besonders in der alpinen Lebenswelt zu, wo Mikrotopographie eine Schlüsselrolle im Temperaturregime und damit in der Vegetationszusammensetzung spielt. (3) Stickstoffdeposition, die vor allem durch Verbrennungsprozesse verursacht wird, kann zu Überdüngung von alpinen Böden führen und trägt zu erhöhtem Pflanzenwachstum bei, was Temperatureffekte auf alpine Pflanzen maskieren kann. (4) Landnutzungsänderungen in der alpinen Zone können zu einem Anstieg von Landschaftsfragmentierung und Weidedruck führen, ein anthropogener Faktorenkomplex, der einen markanten Einfluß auf die Zusammensetzung von Pflanzenarten haben kann.

Um den relativen Effekt dieser Faktoren auf die beobachteten Veränderungen in der Biosphäre und deren gegenseitiger Abhängigkeiten in Europa zu untersuchen, ist ein integrativer Ansatz, der verschiedene Disziplinen der Klimawandelforschung und Wissen von lokalen Experten zusammenführt, essentiell. Ziel dieses Projektes ist die Identifizierung von Biota und Lebensräumen mit besonders hohem Risiko für Biodiversitätsverluste sowie potentielle Refugien, in denen Pflanzen unter dem Einfluss des Klimawandels überleben können. Analysen werden auf zwei räumlichen Skalen in zwei kontrastierenden Biomen Europas durchgeführt: Auf lokaler Ebene werden auf Berggipfeln die Faktoren Temperatur, Wasserpotential und Stickstoffdeposition gemessen sowie Veränderungen der Vegetation und des Weidedrucks aufgenommen. Auf regionaler Skala werden Sonneneinstrahlung, Topographie (aus Satellitenbildern abgeleitet), Stickstoffdeposition und Klimaparameter sowie daraus errechnete Prognosen für verschiedene Klimawandelszenarien und bedeutende Landnutzungsänderungen erhoben.

## **7. Atmosphere - permafrost relationship in the Austrian Alps – atmospheric extreme events and their relevance for the mean state of the active layer (ATMOperm)**

*Principal Investigator: Wolfgang Schöner (University of Graz) [wolfgang.schoener@uni-graz.at](mailto:wolfgang.schoener@uni-graz.at)*

*Project duration: 3 Years*

Permafrost is a forming element of the high mountain landscape, subject to considerable degradation due to global climate change. In the Alps infrastructure facilities such as roads, routes or buildings are affected by the changes of permafrost, which often cause enormous reparation costs. Investigation on degradation of Alpine Permafrost in the last decade has increased, however, the understanding of the permafrost changes inducing its atmospheric forcing processes is still insufficient. In particular, the energy exchange with the atmosphere, in the interplay with processes in the soil (e.g. transfer of water and energy), is weakly recognized and understood. This is especially true for the influence of extreme atmospheric events such as a summer heat wave (about 2003), early-winter cold wave or events relating to the snow thickness. This scientific deficit is not only due to the complexity of permafrost processes, but also because of the relatively short period for establishment of alpine permafrost research (especially in Austria).

The geophysical method of geoelectric (Electrical Resistivity Tomography ERT) is an innovative approach for the delineation of thermal variations in the subsurface. ATMOperm (Atmosphere - permafrost relationship in the Austrian Alps - atmospheric extreme events and their relevance for the mean state of the active layer) has the goal of further exploring the application of the geoelectrics method to estimate thawing layer thickness for mountain permafrost and to optimize it for long- term monitoring. To achieve this goal, it is clearly necessary to further optimize the transformation of ERT data to thermal structures in the ground - a significant innovation of ATMOperm. The measurement of the thawing layer by the geoelectric method is complemented by measurements of the energy fluxes between the atmosphere and soil. This allows to investigate the effects of energy exchange between the atmosphere and the ground on the thickness and the thermal structure of the

thawing layer in an ideal way. The use of an energy and mass transfer model of the soil (Coupling Model) allows to simulate exchange processes between the atmosphere and the ground and so to understand the effect of atmospheric energy fluxes on the temperature distribution in the soil.

The ATMOperm monitoring will be developed for the Sonnblick (Austrian Central Alps). Considering that at Sonnblick an extensive permafrost monitoring already exists and that the atmospheric monitoring network is highly developed there, even more than at almost any other site in the Alps. Moreover, in addition to Sonnblick, we propose to test the developed data processing, inversion and modelling techniques for other sites. In particular we consider to work together with ongoing projects at Schilthorn (Bernese Alps, Switzerland) and Kitzsteinhorn (Austrian Central Alps). These sites offer on the one hand longer geoelectric measurement time series or even longer time series with parallel measurements of atmospheric energy fluxes and on the other hand, these sites offer different geological characteristics which permit to evaluate the robustness of our modelling tools. By the ATMOperm project not only the knowledge about the causes of changes in alpine permafrost is significantly improved in the light of global climate change, but also the foundation for a pioneering environmental monitoring is laid. The results from ATMOperm also make a significant contribution for better interpretation of the long-term temperature measurements of permafrost, as the influence of single extreme events on the long-term trend can be better understood and interpreted.

---

Permafrost ist ein prägendes Element der Hochgebirgslandschaft das einer deutlichen Veränderung durch den globalen Klimawandel unterliegt. In den Alpen sind insbesondere Infrastruktureinrichtungen wie Wege, Strassen oder Gebäude von den Veränderungen des Permafrostes etwa durch Stabilitätsverlust betroffen, deren Sanierung oft enorme Kosten verursachen. Das Verständnis der die Permafroständerungen hervorrufenden Prozesse ist jedoch noch ungenügend. Insbesondere ist der Energieaustausch mit der Atmosphäre, im Wechselspiel mit Prozessen im Boden, wenig erfasst und verstanden. Ganz besonders gilt dies für den Einfluss von atmosphärischen Extremereignissen wie etwa einer sommerlichen Hitzewelle (etwa 2003), einer frühwinterlicher Kältewelle oder Ereignisse die die Schneemächtigkeit am Boden betreffen. Dieses wissenschaftliche Defizit ist nicht nur in der Komplexität der Permafrostprozesse begründet, sondern auch in der erst recht kurzen Etablierung der alpinen Permafrostforschung (insbesondere in Österreich).

Die in der Geophysik entwickelte Methode der Geoelektrik (Electrical Resistivity Tomography ERT) ist ein hochinnovativer Ansatz zur Erfassung von (thermischen) Strukturen im Untergrund. ATMOperm (Atmosphäre - permafrost relationship in the Austrian Alps – atmospheric extreme events and their relevance for the mean state of the active layer) hat zum Ziel, die Methode der Geoelektrik für die Erkundung der Dicke der Auftauschicht (Active Layer Thickness) im Bereich des Gebirgspermafrostes weiterzuentwickeln und für ein langfristiges Monitoring zu optimieren. Für die Ableitung der thermischen Strukturen im Boden aus den Widerstandswerten der Geoelektrikmessungen sind jedoch bestehende Auswertemethoden zu optimieren – eine wesentliche Innovation die von ATMOperm angestrebt wird. Die Messung der Auftauschicht mittels Geoelektrik wird durch eine Messung der Energieflüsse zwischen Atmosphäre und Boden ergänzt. Dadurch können die Auswirkungen des Energieaustausches auf die Mächtigkeit und die thermische Struktur der Auftauschicht in idealer Weise untersucht werden. Die Verwendung eines Energie- und Massenaustauschmodells des Bodens (Coupling Model) ermöglicht es, die Austauschprozesse zwischen Atmosphäre und Boden zu simulieren und so die Wirkung der atmosphärischen Energieflüsse auf die Temperaturverteilung im Boden zu verstehen.

Das ATMOperm Monitoring wird für den Sonnblick (Österreichische Zentralalpen) entwickelt. Das hat vor allem den Hintergrund, dass für den Sonnblick bereits ein umfangreiches Permafrostmonitoring existiert und das atmosphärische Messnetz so hoch entwickelt ist wie kaum an einer anderen Stelle im Bereich der Alpen. Neben dem Sonnblick werden jedoch auch die Daten aus den schon existierenden Monitoringstellen Schilthorn (Berner Alpen, Schweiz) sowie Kitzsteinhorn (Österreichische Zentralalpen) mitverwendet, da dadurch einerseits längere geoelektrische Messzeitreihen für die Modellverbesserung zur Verfügung stehen (beziehungsweise auch längere Zeitreihen mit parallelen Messungen der atmosphärischen Energieflüsse). Andererseits kann dadurch der Einfluss unterschiedlicher geologischer Gegebenheiten untersucht werden. Durch das Projekt ATMOperm wird nicht nur das Wissen über die Ursachen der Veränderungen des alpinen Permafrostes im Zuge des Klimawandels deutlich verbessert, sondern auch der Grundstein für ein richtungsweisendes Umweltmonitoring gelegt. Die Ergebnisse aus ATMOperm werden auch einen wesentlichen Beitrag zur besseren Interpretation von Langzeit-Temperaturmessreihen des Permafrostes liefern, da dann der Einfluss von einzelnen Extremereignissen auf den Langzeitrend besser verstanden und interpretiert werden kann.

## 8. Influence of climate extremes on carbon dynamics across the boundaries of aquatic ecosystems (EXCARB)

*Principal Investigator: Tom Battin (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) [tom.battin@epfl.ch](mailto:tom.battin@epfl.ch)*

*Project Manager: Jakob Schelker (University of Vienna) [jakob.schelker@univie.ac.at](mailto:jakob.schelker@univie.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Hydrological extremes are predicted to increase as climate change progresses and we may therefore expect more frequent droughts and floods. The implications of such hydrological extremes on the carbon cycle in inland waters remain poorly understood. The broad objective of EXCARB is to study possible effects of past, present and future hydrological extremes on carbon fluxes at catchment scale and across the boundaries of terrestrial, stream and lake ecosystems. EXCARB will pave the way to construct a predictive model of inland water carbon cycling according to climate projections for the European Alps. Based on historical hydrology records over the last 100 years, EXCARB will identify past hydrological extremes in a pre-alpine catchment, capture signatures of such extremes in lake sediments and establish a present-day carbon balance for a stream-lake continuum in that catchment.

EXCARB will also relate these present-day carbon fluxes, including CO<sub>2</sub> outgassing, to precipitation and discharge. Finally, a process-based model will encapsulate this ensemble of past and present day information to help predict the effect of future climate projections on the carbon fluxes in prealpine aquatic ecosystems. EXCARB is an interdisciplinary project cutting across ecosystem boundaries that will provide essential knowledge that helps to better place streams and lakes as major players of the global carbon cycle.

-----  
Prognosen zeigen dass extreme hydrologische Ereignisse mit fortschreitender Klimaerwärmung zunehmen werden und Hochwasserereignisse und Trockenperioden häufiger werden. Ob und wie sich derartige Ereignisse auf den Kohlenstoffkreislauf in Seen und Bächen auswirken bleibt weitgehend unerforscht. Das Ziel von EXCARB ist es, mögliche Auswirkungen von vergangenen, rezenten und zukünftigen hydrologischen Extremereignissen auf den Kohlenstoffkreislauf in einem voralpinen Bach-See-System zu untersuchen. EXCARB wird somit den Weg bereiten, Modelle zu erstellen um die Auswirkungen von Klimaerwärmung auf den Kohlenstoffkreislauf in aquatischen Systemen vorherzusagen. EXCARB wird historische Daten untersuchen um hydrologische Extremereignisse über die letzten 100 Jahre in einem voralpinen Einzugsgebiet zu charakterisieren.

EXCARB wird auch Signaturen vergangener Extremereignisse aus Bohrkernen von Seesedimenten erfassen. Desweiteren werden die Kohlenstoffflüsse aus dem Einzugsgebiet in das Bach-See-System, inklusive den CO<sub>2</sub> Ausgasungsflüsse in die Atmosphäre, in Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss erfasst. Diese Informationen werden in einem Model zusammengeführt um die Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen auf die Kohlenstoffkreislauf in aquatischen Ökosystemen besser vorhersagen zu können. EXCARB wird maßgeblich zu einem verbesserten Verständnis der Rolle von aquatischen Ökosystemen im globalen Kohlestoffkreislauf beitragen.

## 9. Disturbance Impacts on Forest Carbon Dynamics in the Calcareous Alps (C-Alp)

*Principal Investigator: Douglas L. Godbold (BOKU) [douglas.godbold@boku.ac.at](mailto:douglas.godbold@boku.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Forest ecosystem function in the Calcareous Alps is under threat from intensifying natural disturbance regimes, raising serious questions over the future provision of key ecosystem services. It is likely that climate change will drive an increase in windthrow and bark beetle events in Central Europe, with forests of the Calcareous Alps representing potential hotspots of future disturbance occurrence. This represents an alarming issue due to Austria's dependence on the services from these ecosystems. Evaluating this risk is however currently limited by insufficient understanding of how disturbance impacts on forest carbon (C) cycling. Forest C dynamics regulate a number of important ecosystem services (e.g. atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration, drinking water provision), and their response to disturbance is an important determining factor of ecosystem resilience. Generalized paradigms of ecosystem disturbance are very limited in their ability to explain the changes and development in forest C stocks and fluxes after stand-replacing disturbance, with evidence indicating that these dynamics are strongly governed by ecosystem-specific factors. Unfortunately, empirical data on disturbance impacts on forest carbon cycling in the Calcareous Alps is severely lacking and fragmented. Considering the huge social, economic, and ecological importance of these ecosystems, we propose a project, "C-Alp", which will investigate C consequences of forest disturbance in the Calcareous Alps.

The project will employ a chronosequence approach, synthesizing data on carbon dynamics from test sites in different stages before- and after forest disturbance. The project will build upon existing empirical data from previous test sites and an LTER site (LTER Zöbelboden), by conducting new measurements and analyses at these and additional experimental sites. One of the planned test sites will be arranged as a manipulation site which will be artificially disturbed after the first project year. With stand replacing disturbances removing almost all the above-ground vegetation, the initial C dynamics after disturbance hinge on what goes on in the soil. To unravel the abiotic and biotic soil drivers of post-disturbance C cycling, the project will therefore draw upon the interdisciplinary skillset of the C-Alp collaborators, conducting soil microclimate- and ecosystem flux measurements (eddy covariance, soil chamber- and DOC leaching measurements) in conjunction with analyses of the soil microbial community (PLFAs and DNA sequencing) and decomposition processes (Enzymatic assays, standardized litter bags). Investigating sites and plots with and without deadwood left on site, the project will also reveal how post-disturbance management can influence ecosystem C loss. C-Alp will thus not only *describe*, but also *explain* how disturbance affects forest carbon cycling in the Calcareous Alps. Finally, in addition to delivering new insights into disturbance impacts on forest carbon cycling, the project shall also enhance national and international research cooperation.

By bringing together leading Austrian research institutions (University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), the Environment Agency Austria (UBA), and the Austrian Institute of Technology (AIT)), C-Alp will pave the way for further collaboration on future interdisciplinary research projects. Furthermore, the resulting ecosystem flux data and experimental infrastructure will strengthen Austria's contribution to the international LTER and FLUXNET programmes and provide a basis for long term monitoring of forest C dynamics and post-disturbance ecosystem recovery in the Calcareous Alps.

-----  
Bergwälder der Kalkalpen erfüllen eine Vielzahl an ökosystemaren Funktionen und Leistungen. Diese sind durch die Zunahme von großflächigen Waldstörungen jedoch maßgeblich gefährdet. Aufgrund klimatischer Veränderungen ist für den mitteleuropäischen Raum ein Anstieg von Windwurfereignissen und Borkenkäferbefall prognostiziert, welcher im Besonderen die Waldregionen der Kalkalpen zu potentiellen ‚Hot-spots‘ zukünftiger Waldstörung machen könnte. Eine genaue Evaluierung von Störungseinflüssen auf die ökosystemaren Funktionen dieser Wälder ist bis dato limitiert, da vor allem der Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf unzureichend untersucht worden ist. Die Kohlenstoffdynamik von Wäldern hat einen wesentlichen Einfluss auf grundlegende Leistungen von Wäldern (z.B.: CO<sub>2</sub> Sequestrierung, Holzproduktion, Trinkwasserversorgung). Im Zusammenhang mit der Resilienz dieser Ökosysteme stellen die Auswirkungen von Waldstörungen auf diese Dynamik demnach einen bestimmenden Faktor dar.

Im Projekt ‚C-Alp‘ soll untersucht werden, wie sich großflächige Störereignisse auf den Kohlenstoffkreislauf von Bergwäldern der österreichischen Kalkalpen auswirken. Mit Hilfe eines Zeitreihenansatzes wird die Kohlenstoffdynamik in verschiedenen Stadien gestörter und ungestörter Waldbestände untersucht. Neben der Verwendung verfügbarer Datensätze von Versuchsflächen vorangegangener Projekte und einer Langzeit-Monitoring Fläche (LTER Zöbelboden) werden neue Daten, an diesen sowie zusätzlichen Versuchsflächen, erhoben. Eine der neuen Versuchsflächen wird als Manipulationsfläche angelegt, wobei sie nach dem ersten Projektjahr künstlich gestört wird (Kahlschlag). Durch den vollständigen Verlust oberirdischer Biomasse unmittelbar nach einer großflächigen Waldstörung nimmt der Boden bzw. Bodenprozesse eine wesentliche Rolle im Kohlenstoffkreislauf dieser Ökosysteme ein. Ein besonderer Schwerpunkt des Projektes wird demnach auf der Bodenkohlenstoffdynamik bzw. auf der Untersuchung damit verbundener abiotischer und biotischer Steuermechanismen liegen. Dabei werden Kohlenstoffflussmessungen (Eddy Covarianz, Kammer- und Lysimetermessungen) und Analysen zur Bestimmung der bodenmikrobiellen Gesellschaften (PLFA Analysen, DNA Sequenzierungen) sowie zur Bestimmung der Streuverwitterung (Litterbag study) zum Einsatz kommen. Des Weiteren soll untersucht werden, wie sich der Rücklass von oberirdischer toter Biomasse auf die Bodenkohlenstoffprozesse auswirkt, um damit Rückschlüsse auf forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen zu ziehen. Durch das Projekt sollen die Auswirkungen von Waldstörungen auf den Kohlenstoffkreislauf von Wäldern der Kalkalpen demnach nicht nur beschrieben, sondern die damit verbundenen Prozesse auch erklärt werden. Durch die enge Zusammenarbeit führender österreichischer Forschungsinstitutionen (Universität für Bodenkultur Wien, Umweltbundesamt, Austrian Institute of Technology) werden nationale Wissenschaftskooperationen gestärkt und damit die Grundlage für zukünftige interdisziplinäre Projekte geschaffen. Die Kohlenstoffflussdaten (Eddy Covarianz) sollen des Weiteren die österreichische Beteiligung an den internationalen Programmen LTER und FLUXNET stärken. Dadurch soll die Basis für ein Langzeit Monitoring der Kohlenstoffflussdynamik in intakten und gestörten Bergwäldern der österreichischen Kalkalpen geschaffen werden.

## 10. Investigating the Potential of Low-Cost Remotely Piloted Aerial Systems for Monitoring the Alpine Snow Cover (RPAS4SNOW)

Principal Investigator: Marc S. Adams (BFW Innsbruck) [Marc.Adams@bfw.gv.at](mailto:Marc.Adams@bfw.gv.at)

Project duration: 1 Year

The spatial and temporal distribution of seasonal snow plays a major role in a number of interacting and interdependent economic, social and environmental components of the Earth System. With regard to the Alpine Space these include, but are not limited to: the hydrological cycle (e.g. water supply, generation of electrical power), natural hazard risk assessment and mitigation (e.g. documenting and studying trigger processes and dynamics of (extreme) avalanches, decision support in natural hazard management), flora and fauna, as well as tourism. Accurate spatially and temporally explicit snow depth distribution data therefore forms the basis of many practical and scientific applications in the Alpine Space. Current methods for estimating the highly heterogeneous snow depth distribution in mountainous areas are however mostly only valid on a regional scale (i.e. derived from punctual interpolation of weather station data), or require a trade-off between the data's availability, cost, spatial and temporal resolution (i.e. derived from classical space- or airborne platforms). Recent technological advances have given rise to the development of Remotely Piloted Aerial Systems (RPAS), which are able to bridge the gap between full-scale, manned aerial, and terrestrial, field-based observations. Their primary advantages include the possibility for flexible, cost-effective, on-demand mapping missions with multiple sensors at an unprecedented level of detail (ground resolution of several cm). The last decade has seen a rapid increase in the development and variety of scientific research and commercial applications of RPAS. However, there is a general lack of studies investigating the application of RPAS to snow depth mapping in Alpine environments, particularly with regard to its technical feasibility, merits, drawbacks and potential of employing different sensors and platforms.

The proposed pilot project "RPAS4SNOW - Investigating the Potential of Low-Cost Remotely Piloted Aerial Systems for Monitoring the Alpine Snow Cover" aims at evaluating the feasibility and accuracy of low-cost RPAS-based cryosphere remote sensing, with particular reference to its potential for acquiring snow depth maps with high spatial and temporal resolution. The project features an interdisciplinary team of researchers from Austria (BFW) and Switzerland (WSL & SLF).

The proposed methods and expected results include: i) employing different RPAS platforms and sensors during several field campaigns in two study sites, located in Switzerland and Austria, with particular attention on maximising the potential of low-cost cameras for cryosphere remote sensing (e.g. by testing adapted sensors and different changeable long-pass and band-pass filters); ii) calculating multitemporal, very high-resolution RPAS-generated Digital Elevation Models and Orthophotos using various state-of-the-art photogrammetry software packages (employing novel processing algorithms), especially with regard to their robustness against geometrical distortions of imagery resulting from low flight height and high variations of external camera orientation, representing RPAS-typical data analysis issues; validate the RPAS results against data collected using a variety of well-established remote sensing (i.e. terrestrial laser scanning, large frame aerial sensors), and in-situ measurement techniques, which will be employed at the same time as the RPAS-flights as part of two combined, large-scale field campaigns in each of the study areas; iii) critically evaluate the merits and drawbacks of deploying low-cost RPAS platforms and sensors for snow depth mapping in the Alpine Space against the backdrop of a detailed current state-of-the-art literature research and efficiently disseminate, communicate and discuss the project results in the form of a set of guidelines, highlighting the main lessons learned, as well as scientific publications. RPAS4SNOW strongly ties in with current and recently finalised research projects at the participating research facilities. It would stimulate and strengthen bilateral activities and could pave the way for a potential large-scale follow-up project.

---

The räumliche und zeitliche Verteilung von Schnee spielt eine wesentliche Rolle für eine Vielzahl ökonomischer, gesellschaftlicher und ökologischer Prozesse im System Erde. In Bezug auf die Alpen umfassen diese Prozesse unter anderem: den Wasserkreislauf (z.B. Wasserversorgung und Stromerzeugung aus Wasserkraft), Bewertung und Prävention des Naturgefahrenrisikos (z.B. Dokumentation und Analyse von (extremen) Naturgefahrenereignissen, Entscheidungsunterstützung), Flora und Fauna, sowie Tourismus. Räumlich und zeitlich hochgenaue Informationen über die Schneehöhenverteilung bilden daher die Basis einer Vielzahl praktischer und wissenschaftlicher Fragestellungen in den Alpen. Allerdings sind die derzeit üblichen Methoden zur Bestimmung der Schneehöhenverteilung meist nur für regionale Ansätze einsetzbar, da sie in der Regel aus der räumlichen Interpolation von punktuellen Wetterstationsdaten in Kombination mit grob aufgelösten

Satellitendaten generiert werden. Andere Ansätze (hochauflösende Satelliten- oder Luftbilddaten), erfordern Abstriche im Hinblick auf die Datenverfügbarkeit, –kosten, bzw. deren räumlicher und/oder zeitlicher Auflösung. Durch aktuelle technologische Fortschritte, ist die Entwicklungen von Remotely Piloted Aerial Systems (RPAS) möglich geworden, welche in der Lage sind, die Lücke zwischen bemannter Luftfahrt und terrestrischer Photographie zu schließen. Deren Vorteile liegen vor allem in ihrer hohen Flexibilität, positivem Kosten-Nutzen Verhältnis und der Fähigkeit zur Durchführung von Kartierungen mit verschiedenen Sensoren bei bisher unerreichter räumlicher Auflösung. Im letzten Jahrzehnt gab es eine rapide Zunahme in der Entwicklung und der wissenschaftlichen und kommerziellen Anwendung von RPAS. Trotzdem gibt es generell noch wenige wissenschaftliche Studien, welche den Einsatz von RPAS zur Ermittlung von Schneehöhen im Alpenin Gelände untersuchen, vor allem im Hinblick auf die technische Machbarkeit, Stärken und Schwächen, sowie dem Potential verschiedener low-cost RPAS- Modelle und –Sensoren.

Das Ziel des hier vorgestellten Pilotprojekts RPAS4SNOW - Untersuchung des Potentials von lowcost Remotely Piloted Aerial Systems für Schneehöhenmonitoring in den Alpen ist daher die Evaluierung der technischen Machbarkeit und Genauigkeit von low-cost RPAS-Fernerkundung, vor allem im Hinblick auf dessen Potential für räumlich und zeitlich hochaufgelöstes Schneehöhenmonitoring. Das Projekt wird von einem interdisziplinären Team von Wissenschaftlern aus Österreich und der Schweiz durchgeführt. Die geplanten Methoden und zu erwartenden Resultate umfassen: i) Einsatz verschiedener RPAS-Modelle und Sensoren in zwei Testgebieten (Österreich & Schweiz); in Zuge dessen sollen vor allem die Möglichkeiten von low-cost Kamerasystemen ausgelotet werden (z.B. durch den Einsatz speziell angepasster Bildsensoren und verschiedener Langpass- und Bandpassfilter); ii) Berechnung multitemporaler, sehr hochauflösender Digitaler Geländemodelle und Orthophotos mittels aktueller photogrammetrischer Software, die auf die RPAS-spezifischen Probleme in der Datenanalyse ausgerichtet sind (z.B. geometrische Bildverzerrungen aufgrund niedriger Flughöhe, hohe Variation der externen Kameraorientierung); Validierung der Genauigkeit der RPAS-Ergebnisse mittels Vergleich zu Messungen mit einem terrestrischen Laserscanner und einer flugzeuggestützten großformatigen Digitalkamera, sowie insitu Messungen im Zuge von mehreren umfangreichen Messkampagnen; iii) Evaluierung der Vor- und Nachteile des Einsatzes von low-cost RPAS Modellen und Sensoren für Schneehöhenmonitoring in den Alpen, anknüpfend an die aktuelle wissenschaftliche Literatur. Die Resultate aus dem Projekt sollen in Form von Empfehlungen, welche die wesentlichen Erkenntnisse aus RPAS4SNOW zusammenfassen und wissenschaftlichen Publikationen, effizient kommuniziert und diskutiert werden. RPAS4SNOW ist stark in aktuelle Projekte der beteiligten Forschungsinstitute eingebunden. Es würde die bilateralen Aktivitäten im Bereich der Gebirgsforschung weiter verstärken und möglicherweise die Basis für ein großangelegtes Nachfolgeprojekt bereiten können.

## **11. Hidden permafrost-related threats in the Alps: an encompassing view from the past and present of high-altitude lakes, Ötztaler Alps, Italy**

*Principal Investigator: Boris Ilyashuk (University of Innsbruck) [Boris.Ilyashuk@uibk.ac.at](mailto:Boris.Ilyashuk@uibk.ac.at)*

*Project duration: 1 Year*

Despite the fact that rock glaciers are one of the most common geomorphological expressions of mountain permafrost, the impacts of their solute discharge on freshwater ecosystems still remain largely obscure. Special emphasis is now placed on problems associated with the interactions between climate change, the thawing permafrost, enhanced solute release, and ecosystem health.

Our recent investigations of water bodies in an alpine watershed with sulphide-bearing lithology demonstrated that a moderately active rock glacier may represent a potent source of acid rock drainage that produces acidic, metal-rich solutes. This results in enormous concentrations of metals in water, sediment, and biota of a lake downstream. The main objective of this one-year pilot study is to explore the effects of solute outflow from a highly active rock glacier on a high-alpine lake within a crystalline-rock watershed in the Ötztaler Alps, South Tyrol, Italy. Concentrations of various metals will be assayed in environment (water and sediment) and biota (chironomids, oligochaetes, beetles, mosses) of the lake shallow- and deep-water habitats. Changes in the ecotoxicological state of the lake affected by solute discharge from a highly active rock glacier will be reconstructed over the last 2000 years by means of chironomid analysis of the sediment record obtained from the lake. Analysis of changes in the frequency of chironomid mentum deformities from this record will be used to define and compare periods of unfavourable ecotoxicological status of the lake over the past two millennia. Special attention will be paid to comparison of the ecotoxicological consequences associated with solute fluxes



to high-alpine lakes from rock glaciers of different activity, the moderate active rock glacier (our previous studies) vs. from the highly active rock glacier (present study), in the catchments having similar soil conditions and underlying geology. Under continued, if not accelerated, global warming, results of this study are essential to our understanding not only of the past but also of the future permafrost-related threats in alpine ecosystems.

---

Obwohl Blockgletscher die häufigste geomorphologische Form des Permafrostes im Gebirge darstellen, ist immer noch weitgehend unbekannt, wie sich deren Schmelzwässer auf die Süßgewässer auswirken. So fokussiert die Erforschung des Permafrostes derzeit auf Probleme, die mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehen, wie dem Abtauen, der verstärkten Freisetzung gelöster Substanzen und dem ökologischen Zustand von permafrostbeeinflussten Ökosystemen. Unsere neuesten Untersuchungen von Gewässern, die in einem alpinen Einzugsgebiet mit hohem Schwefelanteil im Gestein gelegen sind, haben ergeben, dass sogar ein wenig aktiver Blockgletscher eine wesentliche Säurequelle mit stark metallhaltigem Abfluss darstellen kann. Das hat hohe Metallkonzentrationen im Wasser, im Sediment und in den Lebewesen in flussabwärts gelegenen Seen zu Folge. In der hier eingereichten einjährigen Pilotstudie wird der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Auswirkung der Schmelzwässer eines hochaktiven Blockgletschers auf einen Hochgebirgssee mit kristallinem Einzugsgebiet in den Ötztaler Alpen (Südtirol, Italien) gelegt. Die Konzentration verschiedener Metalle wird in der Umwelt (Wasser und Sedimente) und in den Lebewesen (Chironomiden, Oligochaeten, Käfer, Moose) sowohl aus dem seichten als auch dem tiefen Wasserbereich eines Sees erhoben werden. Die Änderungen im ökotoxikologischen Zustand des Sees, die durch die Schmelzwässer des Blockgletschers verursacht werden, werden mit Hilfe von Chironomidenresten, die im Sediment dieses Sees erhalten sind, über die letzten 2000 Jahre rekonstruiert werden. Änderungen in der Häufigkeit der Verformungen im Kieferbereich der Chironomiden (Mentum) zwischen den einzelnen Sedimentschichten dienen als Hinweis auf Zeitabschnitten, in denen während der letzten 2000 Jahre ungünstige ökotoxikologische Zustände vorgelegen haben. Dabei wird der Vergleich der ökotoxikologischen Auswirkung der Schmelzwässer von unterschiedlich aktiven Blockgletschern im Vordergrund stehen; nämlich eines wenig aktiven Blockgletschers (vorangegangene Studie) mit einem sehr aktiven Blockgletscher (diese Studie), deren Einzugsgebieten vergleichbare Eigenschaften und geologischer Zusammensetzungen aufweisen. Bei fortlaufender oder sogar verstärkter globaler Erwärmung sind die Ergebnisse dieser Untersuchung unentbehrlich für die Abschätzung – einerseits vergangener – aber vor allem zukünftiger Gefahren, die mit dem Abschmelzen von Permafrost in Zusammenhang stehen.

## **12. Alpine glacier oscillations and climate during the early late glacial (ALG)**

*Principal Investigator: Hanns Kerschner (University of Innsbruck) [Hanns.Kerschner@uibk.ac.at](mailto:Hanns.Kerschner@uibk.ac.at)*

*Project duration: 1 Year*

This project will deal with the interrelationship between climate and glaciers during the early Alpine late Glacial time period (~19-14.7 ka). Following the Last Glacial Maximum (Termination 1) a number of successive glacier re-advances took place in response to short climatic downturns (~101-102 a). These advances formed a sequence of moraines in various Alpine valleys. Of these the Gschnitz stadial is considered to be the oldest major late Glacial advance from which distinct and widespread geomorphological evidence can still be found. Apart from the Gschnitz type locality itself, hitherto no systematic studies on the Gschnitz stadial in and around Tyrol have been conducted. In order to expand our knowledge on the climate conditions of this dynamic time period, our main focus will be placed on a specific system of prominent, well-preserved moraines in the northern Zillertal Alps that can be presumably allocated to the Gschnitz stadial. They are found in a climatically strategic location in an interjacent position between the main central Alpine chain and the northern Alpine fringe.

We will perform an exhaustive investigation of the associated field sites comprising detailed geomorphological mapping, GIS-based reconstruction of glacier topographies as well as the calculation of equilibrium line altitudes (ELAs) and their respective lowering. As past glacier extents can be considered direct indicators of past climate conditions, the parameters derived from these glaciers enable us to gain insight into paleoclimatic conditions, especially by applying physical and empirical models e.g. the heat and mass balance equation, precipitation-temperature models and positive degree-day models. Our main focus will be placed on early late Glacial palaeoprecipitation patterns in the Alpine region, for which currently only sparse information is available. Furthermore, the designated moraine features will be subject to terrestrial surface exposure dating with the in-situ cosmogenic nuclide  $^{10}\text{Be}$ . In this context, stable boulders, unambiguously of glacial origin, on or within the

constraints of the respective moraines will be sampled. Subsequently, sample preparation and corresponding AMS (accelerator mass spectrometry) measurements will be carried out in collaboration with the Laboratory of Ion Beam Physics at ETH Zurich, Switzerland.

In an additional step a systematic screening shall take place in order to identify further early late Glacial moraines in Tyrol and adjacent regions. The main emphasis will be placed on possible Gschnitz stadial moraines. These localities can be identified well on the basis of orthoimages and ALS (airborne laser scanning) data. Well-preserved and strategically located sites will be subsequently visited and their datability ascertained. Their corresponding glacier topographies will be reconstructed and initial attempts of correlating glacier stadials on the basis of ELA depressions will be made.

The knowledge gained in the course of this project will help fill a still existing void in the knowledge of the late Glacial and serve to better understand complex atmosphere-cryosphere interactions in the Alpine region. Moreover, the project proposed at hand is intended to additionally form a solid basis for a further possible more extensive follow up project on early late Glacial glacier advances and climate oscillations in the eastern Alpine region.

-----

In diesem Projekt werden die Auswirkungen des Klimas auf Gletscher im Zeitraum des frühen Spätglazials im Alpenraum (~19-14,7 ka) untersucht. Im Anschluss an die letzte Hochvereisung (Würm Maximum) folgten mehrere kurze Klimaverschlechterungen (~10<sub>1</sub>-10<sub>2</sub> a), die eine Reihe nacheinander folgender Gletschervorstöße verursachten. Diese Wiedervorstöße bildeten eine Serie von Moränen, die heute noch in vielen Alpentälern zu finden sind. Dabei stellt das Gschnitz Stadium den ältesten Gletschervorstoß des Spätglazials, von dem noch heute ausgeprägte geomorphologische Nachweise zu finden sind, dar. Abgesehen von Studien an der Typlokalität selber fehlen bis heute systematische Untersuchungen an anderen Lokalitäten des Gschnitzstadiums in und um Tirol. Um unsere Kenntnisse der Klimabedingungen in diesem Zeitraum auszubauen richten wir unser Hauptaugenmerk auf ein bestimmtes System ausgeprägter, gut erhaltener Moränen in den nördlichen Zillertaler Alpen, die aller Wahrscheinlichkeit nach dem Gschnitzstadium zugeordnet werden können. Diese befinden sich klimatisch gesehen in einer strategischen Position zwischen dem Zentralalpenkamm und den nördlichen Randalpen. In dieser Arbeit werden wir umfassende Untersuchungen der entsprechenden Moränen durchführen, die sich aus den folgenden Methoden zusammensetzen: ausführliche geomorphologische Kartierungen, GIS-gestützte Rekonstruktionen von Gletschertopographien, sowie die Berechnung der zugehörigen Gleichgewichtslinien und Schneegrenzdepressionen. Da vergangene Gletscherausdehnungen direkte Indikatoren vergangener Klimabedingungen darstellen, ermöglichen die daraus abgeleiteten Parameter einen Einblick in paläoklimatische Bedingungen, v.a. durch die Anwendung physikalischer und empirischer Modelle. Solche Ansätze sind z.B. die Energie- und Massenbilanzgleichung, Niederschlag-Temperatur Modelle und positive Grad-Tag Modelle. Unser Ziel ist es, mehr über Paläoniederschlagsmuster des frühen Spätglazials im Alpenraum herauszufinden, für die derzeit nur spärliche Informationen vorhanden sind. Darüber hinaus werden die Alter der Moränen mit Hilfe der Oberflächenexpositionsdatierung mit dem kosmogenen Nuklid <sup>10</sup>Be bestimmt. Dafür werden stabile Blöcke, die zweifelslos glazialen Ursprungs sind, auf oder innerhalb der ehemaligen Gletscherumrahmung beprobt. Anschließend finden die Probenaufbereitung und die AMS (Beschleuniger-Massenspektrometrie) Messungen in Zusammenarbeit mit dem Labor für Ionenstrahlphysik an der ETH Zürich, Schweiz statt.

Ein zusätzlicher Aspekt des Projektes umfasst die systematische Sichtung und Identifizierung weiterer Moränen des frühen Spätglazials im Raum Tirol und angrenzenden Gebieten. Dabei werden wir uns auf mögliche Moränen des Gschnitz Stadiums fokussieren. Diese Lokalitäten können identifiziert werden anhand der Auswertung von Orthofotos und luftgestützten Laserscanningdaten. Gut erhaltene geomorphologische Formen an strategischen Stellen sollen daraufhin einer Geländeuntersuchung unterzogen werden, um ihre Eignung für eine Datierung zu bestimmen. Die entsprechenden Gletscheroberflächen werden rekonstruiert und erste Zuordnungen zu Gletscherstadien auf der Basis von Gleichgewichtslinien und ihrer jeweiligen Schneegrenzdepressionen durchgeführt.

Neue Erkenntnisse, die im Laufe dieses Projektes erlangt werden, sollen eine noch existierende Wissenslücke im Spätglazial füllen und zu einem besseren Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen der Atmosphäre und Kryosphäre dienen. Darüber hinaus ist das Projekt gedacht als solide Grundlage für ein mögliches, weiteres umfassenderes Nachfolgeprojekt, das sich mit Klimaoszillationen und Gletschervorstöße im frühen Spätglazial im Ostalpinen Raum beschäftigen soll.

### 13. The influence of biomass and its change on landslide activity (BioSLIDE)

*Principal Investigator: Thomas Glade (University of Vienna) [thomas.glade@univie.ac.at](mailto:thomas.glade@univie.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Landslides are widespread in many hilly and mountainous areas of the world and play a key role in the evolution of the landscape. Every year these potentially damaging phenomena cause large economic losses worldwide and represent a major threat to residents, private properties and infrastructure. The causes of landslides are manifold as multiple interdependent and interacting natural and anthropogenic factors influence their occurrence.

Several studies demonstrate that human induced land cover changes, such as deforestation or afforestation, are known to have a large influence on slope stability. In contrast to hydrometeorological, geological and topographical factors, forest development can be managed directly by humans and covers vast areas. Therefore we suggest that in order to draw up appropriate avoidance strategies, it is crucial to investigate and evaluate the interdependent hydro-geomorphic processes that define stability under forested and non-forested conditions at regional scale. For this purpose, newly developed highly sophisticated physically based modelling methods exist to simulate the impact of changing environmental conditions on slope stability. However, the applicability and reliability of such modelling results is usually hampered by the availability of crucial spatial input data of required quantity and highest quality. This project strives to counter this much discussed weaknesses of physically based models and the consequent results.

The objective of the research is to evaluate and quantify the effects of biomass and biomass changes on landslide activity. The particular focus is on deriving highly accurate information on forest stands and their changes from high resolution Airborne Laser Scanning (ALS) data and implementing this information into a dynamic, spatially distributed hydro-mechanical slope stability model at regional scale (~15km<sup>2</sup>). Therefore, the main aims of this project are to (i) assess biomass and biomass related parameters from ALS data, (ii) simulate the effects of biomass and climatic changes on slope stability (including scenarios) and (iii) verify the significance, uncertainties and benefits of this novel approach.

The study area of this research is located in the federal state of Vorarlberg, where landsliding represents a prevalent geomorphic phenomenon and high resolution ALS data for different time periods exist. The required highly accurate topographical and forest related information will be directly computed on the basis of geocoded 3D ALS point cloud data from the years 2004, 2011 and 2015. Using statistical and semi-empirical approaches, multiple parameters (e.g. biomass, stem volume, vertical layer structure, understory) will be derived. The envisaged in-situ assessment of vegetation related information (e.g. root distribution) will be conducted in order to enable an empirical linkage between ALS derived information and additional geomechanical and hydrological parameters (e.g. tree allometry). The calibration of the models as well as the validation of the derived forest metrics will be conducted and refined by means of forest inventory data and terrestrial laser scanning (TLS). Spatiotemporal changes of biomass will be deduced directly from variations of the different observation times.

The effect of biomass and its change as well as the influence of climatic variations on slope stability will be simulated using a highly sophisticated physically based hydro-mechanical model. This model (Starwars/Probstab) has proven to be capable to integrate the influence of vegetation related geomechanical (e.g. root cohesion, bulk unit weight) and hydrological (e.g. interception, evapotranspiration) effects in order to simulate the probability of slope instabilities. In order to effectively calibrate and validate the model, novel quantitative validation techniques (e.g. by means of a multi-temporal landslide inventory) will be applied. An in-depth qualitative comparison of the modelled results with the observed changes in the respective catchments completes the assessment of the geomorphic plausibility of the results.

Through this pioneering procedure an up to now unreached explanatory power of the spatial and temporal variability of future landslide activity for different environmental scenarios is expected. The innovative combination of vegetational parameters derived from ALS data with a spatially distributed physically based hydro-mechanical slope stability model is expected to allow a better understanding of numerous environmental interdependencies. Furthermore, the proposed interdisciplinary approach is expected to generate synergies between different scientific fields, which will lead to a profound insight into geomorphic processes and an improved spatio-temporal predictability of the effects of human activity (e.g. forest management) and environmental changes on landslide activity.

-----  
Weltweit wird das Landschaftsbild in Gebirgsräumen durch Rutschungsprozesse geprägt und fortlaufend umgestaltet. Diese potentiell schadenbringenden Ereignisse verursachen jährlich große wirtschaftliche Schäden

und gefährden Anwohner, deren Eigentum sowie die kritische Infrastruktur. Die Ursachen für Rutschungen sind vielfältig, da deren Auftreten von einer Vielzahl interagierender natürlicher und anthropogener Faktoren beeinflusst wird.

Viele Studien belegen, dass anthropogen herbeigeführte Landbedeckungsveränderungen (z.B. Entwaldungen) einen großen Einfluss auf die Stabilität eines Hanges haben. Die Entwicklung eines Waldes kann jedoch im Gegensatz zu hydro-meteorologischen, geologischen und topographischen Faktoren direkt vom Menschen beeinflusst werden. Daher ist es im Sinne der Entwicklung von adäquaten Vermeidungsstrategien unerlässlich, das Verständnis der geomorphologischen Prozessdynamik in bewaldeten und nicht bewaldeten Gebieten zu untersuchen. Die vielfältigen Auswirkungen von sich verändernden Umweltbedingungen auf die Hangstabilität können durch aktuelle physikalisch basierte Modellierungsansätze simuliert werden. Die Zuverlässigkeit und Anwendbarkeit der daraus generierten Modellergebnisse wird in der Praxis jedoch stark von der Verfügbarkeit flächendeckender, quantitativ ausreichender und qualitativ hochwertiger Eingangsdaten vorbestimmt. Dieses Projekt setzt sich das Ziel, diesem häufig diskutierten Nachteil von physikalisch basierten Modellierungsansätzen entgegenzuwirken.

Das Hauptziel besteht hierbei in der Evaluierung und Quantifizierung der Auswirkungen von Biomasse und Biomasseveränderungen auf die Rutschungsaktivität. Der Schwerpunkt dieses Projektes liegt auf der Ableitung von räumlich hochaufgelösten Informationen zu Waldbeständen und deren Veränderungen aus flugzeuggestützten Laserscanning (ALS) Daten und deren Implementierung in ein hydro-mechanisches Hangstabilitätsmodell im regionalen Maßstabsbereich (~15km<sup>2</sup>). Wesentliche Ziele bestehen daher in (i) der Ableitung von vegetationsbezogenen Parameter aus ALS Daten, (ii) der Simulation der Auswirkungen von Biomasse- und Klimaveränderungen auf die Hangstabilität und in (iii) der Überprüfung der Aussagekraft, der Unsicherheiten und des Mehrwertes dieses innovativen Ansatzes.

Das rutschungsanfällige Untersuchungsgebiet befindet sich im Bundesland Vorarlberg, in welchem hochaufgelöste ALS Daten für verschiedene Zeiträume verfügbar sind. Die erforderlichen topographischen und waldrelevanten Informationen werden hierbei direkt auf Basis geokodierter 3D ALS Punktwolkendaten aus den Jahren 2004, 2011 und 2015 berechnet. Aus diesen Daten können durch Anwendung aktueller Ansätze eine Vielzahl von relevanten vegetationsbezogenen Parametern (z.B. Biomasse, Stammvolumen, vertikaler Strukturaufbau, Unterwuchs) abgeleitet werden. Um diese hochaufgelösten Informationen empirisch mit weiteren geomechanischen (z.B. Wurzelkohesion) und hydrologischen (z.B. Blattflächenindex, Evapotranspiration) Parametern in Beziehung zu setzen (z.B. Baumallometrie), werden zusätzlich diverse in-situ Bewertungen durchgeführt. Eine adäquate Kalibrierung und Validierung der erzeugten Modelle wird mit Hilfe von Waldinventardaten und terrestrischem Laser Scanning (TLS) Daten gewährleistet. Raumzeitliche Veränderungen der vegetationsbezogenen Parameter ergeben sich hierbei direkt aus den Variationen der verschiedenen ALS Befliegungszeiträume. Die Auswirkungen von Biomasse- und Klimaveränderungen auf die Hangstabilität werden anhand eines hochentwickelten physikalisch basierten hydro-mechanischen Modelles simuliert. Dieses Modell (Starwars/Probstab) ist nachweislich in der Lage bodenmechanische (z.B. Wurzelkohesion, Auflast) und hydrologische (z.B. Interzeption, Evapotranspiration) Einflüsse auf die Wahrscheinlichkeit von Hanginstabilitäten zu simulieren. Eine effektive Kalibrierung und Validierung dieser Modelle wird durch aktuelle quantitative Validierungstechniken mit Hilfe eines multi-temporalen Rutschungsinventares erreicht. Ein Vergleich der modellierten Ergebnisse mit den beobachteten Veränderungen komplettiert die geomorphologische Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse.

Durch das vorgestellte innovative Vorgehen wird eine bisher unerreichte Aussagekraft bezüglich der raumzeitlichen Variabilität von Rutschungsaktivitäten für diverse Umweltszenarien erwartet. Die Kombination von vegetationsbezogenen ALS Parametern mit einem hydro-mechanischen Hangstabilitätsmodell soll zu einem besseren Verständnis der komplexen Wirkungszusammenhänge beitragen und interdisziplinäre Synergien schaffen. Der dadurch geschaffene tiefgreifende Einblick in die geomorphologische Prozessdynamik soll zu einer verbesserten raumzeitlichen Vorhersagbarkeit der Auswirkungen anthropogener Aktivitäten (z.B. Waldmanagement) und Umweltveränderungen auf die Hangstabilität beitragen.

#### 14. Alpine Permafrost Thaw Events During The Holocene (Past Permafrost)

*Principal Investigator: Marc Luetscher (University of Innsbruck) [marc.luetscher@uibk.ac.at](mailto:marc.luetscher@uibk.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Whilst there is mounting evidence for multiple glacier retreats during the Holocene, records of past permafrost distribution are extremely scarce. Achieving a robust reconstruction of mountain permafrost evolution through time is nonetheless fundamental to assess the long-term response of alpine environments to changing climate conditions and thus to delineate potential hazards associated with instable debris slopes and rock walls. Unfortunately, potential archives of past permafrost are rare, not the least because of erosion processes affecting surface sediments. Identifying original proxies for mountain permafrost would open a new area of research with broad implications not only for palaeoenvironmental studies but more generally by contributing to a better understanding of the alpine landscape dynamics.

Cryogenic cave carbonates (CCCcoarse) recently emerged as one of the most promising archive for past water circulation in frozen karst systems. For the first time, accurately dated samples from the western Alps identified permafrost thaw events during the Medieval Warm Period but several major questions still need to be resolved to apply this novel approach at a wider scale:

1) *Which boundary conditions control water infiltration in frozen karst systems?*

2) *What drives the observed variations in CCCcoarse morphologies?*

3) *To which extent does bacterial activity contribute to the precipitation of CCCcoarse?*

4) *Is it possible to quantify the thermal conditions under which CCCcoarse forms?*

5) *Can CCCcoarse be used in a systematic way to reconstruct alpine thaw events during the Holocene (and possibly beyond)?*

Addressing these issues is possible only by adopting a systemic approach integrating surface climatological, hydrological, geochemical, glaciological and microbiological information. Detailed field observations, including monitoring of cave air and rock temperatures from the Lapi di Bou reference site will provide the empirical data required for a comprehensive understanding of the modern deposition environment. For the very first time we will attempt to sample actively forming CCCcoarse from subglacial water ponds in remote cave systems. Chemical and microbiological analyses combined with cave monitoring data will provide essential information to characterize the environment of deposition of these peculiar speleothems.

Laboratory work will include a detailed morphological characterization of CCCcoarse using optical and electron microscopy to determine the crystal fabrics. XRD and micro-RAMAN spectroscopy will be used to identify the mineralogy. The oxygen and carbon isotope composition will serve as a diagnostic criterion for the cryogenic origin of CCCcoarse. Age determination of CCCcoarse samples will be performed using U/Th multi-collector ICPMS. In parallel, water samples collected in the cave will be analysed for major, minor and trace elements using ICP-OES as well as for stable isotopes. Particular attention will be dedicated to bacterial DNA, as complex metabolic processes may be responsible for both carbonate dissolution and precipitation in aphotic, possibly oxygen-deficient, cold environments. These processes are important to understand how the demise of permafrost may impact the carbon cycle in high altitude (and likely high latitude) carbonate aquifers.

Relying on a comprehensive geomorphological analysis of high-alpine cave systems we strive to expand the spatial and temporal database of available CCCcoarse. Three main karst areas in Austria, Switzerland and France have been preselected for their potential CCCcoarse deposits and systematic field work is planned during the summer seasons. Eventually, we seek to provide the very first chronology of permafrost melt phases in the Alps in response to regional climate events.

Während sich heute holozäne Gletscherschwankungen in den Alpen anhand zahlreicher Messdaten verlässlich rekonstruieren lassen, existieren nach wie vor kaum Informationen über die Verbreitung des alpinen Permafrosts in diesem Zeitraum. Eine Rekonstruktion der Permafrostentwicklung ist jedoch von grundlegender Bedeutung für die Einschätzung der langfristigen Reaktion von alpinen Landschaften auf veränderte Klimabedingungen in der Zukunft und die damit verbundenen Gefahren wie z.B. Bodenerosion, Muren, Hangrutschungen, Bergstürze etc. Da potenzielle Sedimentarchive für Paläo-Permafrost in den Alpen rar sind, ist die Suche nach neuen Permafrost Proxies umso wichtiger und bietet zudem die Möglichkeit, ein völlig neues Forschungsgebiete zu eröffnen, das nicht nur für Umwelt- und Klimastudien von Bedeutung ist, sondern auch für ein besseres Verständnis der alpinen Landschaftsdynamik überhaupt.

Kryogene Höhlenkarbonate (CCCcoarse) werden zunehmend als eines der vielversprechendsten Archive für Tauperioden in gefrorenen Karstsystemen angesehen. So konnten etwa vor kurzem mit Hilfe genau datierter Proben aus den Westalpen erstmals Permafroständerungen während der mittelalterlichen Warmzeit

identifiziert werden. Um dieses neue Archiv nun auf einen größeren Maßstab anwenden zu können, ist die Beantwortung folgender grundlegender Fragen essentiell:

- 1) *Unter welchen Bedingungen infiltriert Wasser in ein gefrorenes Karstsystem?*
- 2) *Was ist die Ursache für die morphologischen Unterschiede von CCC<sub>coarse</sub> Kristallen?*
- 3) *In welchem Umfang ist mikrobielle Aktivität an der Bildung von CCC<sub>coarse</sub> beteiligt?*
- 4) *Ist es möglich, die thermischen Bedingungen, unter denen sich CCC<sub>coarse</sub> bildet, zu quantifizieren?*
- 5) *Kann CCC<sub>coarse</sub> für die Rekonstruktion von alpinen Permafrostschwankungen verwendet werden?*

-----

Diese Fragen können nur durch einen systemischen Ansatz beantwortet werden, der das Außenklima, die Karsthydrologie, die Geochemie und die Mikrobiologie integrativ betrachtet. Umfassende Geländearbeit einschließlich eines langfristigen Monitoring der Fels- und Höhlenlufttemperatur im Lapi di Bou Referenzsystem werden jene empirischen Daten liefern, um die Bedingungen für die Bildung von CCC<sub>coarse</sub> zu verstehen. Wir werden zum ersten Mal versuchen, aktiv sich bildende CCC<sub>coarse</sub> in subglazialen Wasserpfützen entlegener Höhlensysteme zu beproben. Chemische und mikrobiologische Analysen, kombiniert mit Monitoringdaten, werden dabei wertvolle Information liefern, um das Milieu dieser Karbonatbildung besser zu verstehen.

Geplante Laborarbeiten umfassen eine morphologische Charakterisierung von CCC<sub>coarse</sub> mittels Licht- und Elektronenmikroskopie, um die Kristallgefüge zu bestimmen. XRD und Mikro-Raman Spektroskopie werden zur mineralogischen Analyse verwendet. Die Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenzusammensetzung fungieren als Diagnosekriterium für den kryogenen Ursprung von CCC<sub>coarse</sub>. Altersbestimmungen der CCC<sub>coarse</sub> Proben werden mittels U/Th Multikollector-ICPMS durchgeführt. Parallel dazu werden Wasserproben mittels ICP-OES sowie auch auf stabile Isotope analysiert. Besondere Aufmerksamkeit soll mikrobiellen Gemeinschaften gewidmet werden, weil komplexe Stoffwechselprozesse für Karbonat-Auflösung und -Ausfällung in diesem licht- und sauerstoffarmen, kalten Milieu möglicherweise verantwortlich sind. Eine Kenntnis dieser Prozesse ist wichtig, um zu verstehen, wie sich das Auftauen von Permafrost auf den Kohlenstoffkreislauf in Karbonat-Grundwasserleitern auswirkt.

Aufbauend auf einer umfassenden geomorphologischen Analyse ausgewählter hochalpiner Höhlensysteme wird versucht werden, die wenigen derzeit bekannten Vorkommen von CCC<sub>coarse</sub> in den Alpen räumlich und zeitlich zu erweitern. Drei Karstgebiete in Österreich, in der Schweiz und in Frankreich wurden wegen ihres potenziellen CCC<sub>coarse</sub> - Vorkommens ausgewählt. Ziel des Projektes ist es, eine erste umfassende Chronologie von Permafrost-Auftauphasen zu erarbeiten; diese Daten sind auch im Zusammenhang mit der zukünftigen Veränderung des alpinen Permafrosts in einem sich erwärmenden Klima von großer Relevanz.

#### **15. Long-term landslide monitoring for understanding of underlying dynamic processes as basis for an end-user focused early warning (LAMOND)**

*Principal Investigator: Robert Supper (GBA Wien) [Robert.Supper@geologie.ac.at](mailto:Robert.Supper@geologie.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

In order to increase safety standards in landslide-prone areas, monitoring and early warning systems are necessary and have to be complemented with the preparation and updating of emergency plans, awareness raising campaigns, risk education activities, construction of protection works and risk mitigation projects. The evaluation of actual hazards and the warning of people before a catastrophic event require a good knowledge about structure, dynamics, triggers, history and possible magnitude of such high-risk landslides. This knowledge can only be obtained via interpretation of complex data sets coming from investigations by different complementary techniques, acquired within long-term continuous monitoring experiments. Traditional observation parameters for investigation of landslides, like displacement, water level and pore pressure provide only local point information and are therefore insufficient for the understanding of such complex processes and the determination of early warning thresholds.

Since 2007, the Geological Survey of Austria built up a multi-parametric European landslide monitoring network, which is mainly based on geoelectric and displacement monitoring, combining point-information with 2-dimensional monitoring. For an effective warning system, it is relevant to take into account not only the technical/scientific but also other psychological/social/regulatory/-economic and institutional aspects which influence warning response. Most research on early warning systems does not integrate these aspects. Research is often highly focused on particular aspects of forecasting, warning response or monitoring systems.

To bridge the gaps and meet the challenges identified above, this project aims firstly at improving the observation, understanding and prediction of subsurface processes, which lead to the triggering of landslides. The methodology is based on an innovative, multi-parameter monitoring technology and the long-term observation of triggering events in different geological settings. This is combined with the application of a software code for coupled modelling of multi-physics processes (hydrological, geotechnical and geophysical). Secondly, the project focuses on the handling of the social consequences of warning by developing new processes and methods for stakeholder involvement in the design of a warning system including issues related to stakeholders risk perceptions, warning communication and decision making and on developing recommendations for an end-user focused Early Warning system. This project is intended to be the continuation of a long-term research program, which started in the year 2002, when the Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology awarded a grant to develop the hard and software components of the geoelectrical monitoring instrumentation (GEOMON4D). In the frame of the EC FP7-project SafeLand (starting in 2009), the recently developed monitoring device was installed at several sites as part of an international landslide monitoring network. Finally, a funding was provided by FWF (Project TEMPEL, TRP 175-N21), in the frame of the Translational Brainpower Program, to develop advanced 4D-inversion codes for geoelectric monitoring data (patents pending). All these research results constitute the base for the interpretation work applied for within this proposal. The further development of this research area and the long-term operation of the GEOMON network are assumed to have a high potential for investigating coupled subsurface processes and, if successful, will have a significant impact on the predictability of triggering processes.

The results of the research on landslide monitoring and warning will be presented and used in the development of new processes and methods for stakeholder involvement in the design of a warning system. Grounding on methodologies for facilitating stakeholder involvement in contentious risk areas, the team will develop a process for an end-user focused Early Warning system. The process will build on successful participatory processes for mitigating landslide risk carried out by the members of the research team and grounded on mental models and cultural theory approaches.

-----  
Um die Sicherheitsstandards in Hangrutschungsgefährdeten Gebieten zu erhöhen, sind entsprechende Monitoring- und Frühwarnsysteme notwendig. Die Ergebnisse solcher Überwachungssysteme fließen sowohl in die Erstellung von Notfallplänen und Sanierungsmaßnahmen als auch in Kampagnen zur Bildung eines Risikobewusstseins der betroffenen Bevölkerung und der verantwortlichen Entscheidungsträger mit ein. Die Bewertung der tatsächlichen Gefahr und die rechtzeitige Frühwarnung bedingen fundierte Kenntnisse über Struktur, Dynamik, Auslösemechanismen, wie auch Geschichte und zu erwartenden Ausmaße der entsprechenden Hangrutschung. Erlangt werden diese Kenntnisse durch die langfristige kombinierte Anwendung verschiedenster Messmethoden. Die üblicherweise erfassten Parameter wie Verschiebung, Porenwasserdruck und Grundwasserspiegel geben nur lokal begrenzte Information und sind demzufolge nicht ausreichend, um die komplexe Gesamtstruktur der jeweiligen Hangrutschung wiederzugeben. Seit 2007 befasst sich die Geologische Bundesanstalt von Österreich mit dem Aufbau eines Monitoringsystems auf ausgewählten Hangrutschungen in Europa, wobei neben den bewährten geoelektrischen Messungen eine Vielzahl anderer Methoden zum Einsatz kommen, um zusätzliche Parameter zu erfassen. Für die Etablierung eines effektiven Frühwarnsystems aber sind neben den technisch-wissenschaftlichen Erkenntnissen auch psychologische, soziologische, wirtschaftliche und behördliche Aspekte ebenso relevant, welche jedoch in den meisten Projekten, die sich mit solchen Frühwarnsystemen befassen, keine oder wenig Beachtung finden.

Um die erwähnten Wissenslücken zu füllen, werden folgende zwei Hauptziele dieses Projektes formuliert: Erstens soll ein verbessertes Verständnis jener geologischer Prozesse im Untergrund erreicht werden, die zur Auslösung einer Hangrutschung führen. Hierzu werden langfristige Messserien in verschiedenen geologischen Umgebungen zur Erfassung der relevanten Parameter durchgeführt, die in der Folge in eine numerische Modellsimulation einfließen werden. Zweitens werden die soziologischen Auswirkungen von Frühwarnmeldungen betrachtet und lokale Entscheidungsträger in die Entwicklung von optimierten Frühwarnsystemen eingebunden. Hierbei sollen auch Risikobewusstseinsbildung, Kommunikations- und Entscheidungsstrategien abgebildet werden.

Dieses Projekt stellt die Fortsetzung eines Langzeit-Forschungsprogrammes dar, welches im Jahr 2002 mit der Finanzierung der Entwicklung von Hard- und Softwarekomponenten eines geoelektrischen Monitoringgerätes (GEOMON4D) durch das BMVIT begann. Im Rahmen des EC FP7-Projekts SafeLand (Beginn 2009) wurde das neu entwickelte Monitoring- System an verschiedensten Standorten als Teil eines internationalen Hangrutschungs-Monitoring-Netzwerkes installiert. Schlussendlich konnte im Rahmen des Translational Brainpower Programms des FWF (Project TEMPEL, TRP 175-N21) ein neuer 4D-Inversionsalgorithmus für geoelektrische

Monitoringdaten (Angemeldetes Patent) entwickelt werden. All diese Forschungsergebnisse bilden die Basis für jene Fragestellungen, die in diesem Antrag behandelt werden sollen. Die zukünftige Entwicklung dieses Forschungsbereiches und die langfristige Weiterführung des GEOMON Netzwerkes haben ein hohes Potential für die Untersuchung gekoppelter Untergrundprozesse und werden (sofern erfolgreich) einen bedeutenden Einfluss auf die Vorhersagbarkeit von Auslöse-Prozessen haben. Die Ergebnisse der Forschung im Bereich von Hangrutschungs-Monitoring und Frühwarnung sollen in weiterer Folge zur Entwicklung neuer Prozesse und Methoden zur Einbeziehung von Entscheidungsträgern in das Design eines Frühwarnsystems verwendet werden. Basierend auf Methoden zur Einbeziehung von Entscheidungsträgern in umstrittenen Risikobereichen, wird das Team einen Ablauf für ein Enduser-fokussiertes Frühwarnsystem entwickeln. Der von dem Forschungsteam gewählte Ablauf zur Einbindung der Bevölkerung basiert auf psychologischen Modellen und kulturtheoretischen Ansätzen.

#### **16. Identification of sediment-related disaster based on seismic and acoustic signals MM-Identification)**

*Principal Investigator: Andreas Schimmel (BOKU) [andreas.schimmel@boku.ac.at](mailto:andreas.schimmel@boku.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Sediment-related hazards like landslides, debris flows, and debris floods are an increasing threat to people and property due to the fast socio-economic development of mountain areas and the climatic change. Governmental agencies try to protect settlements and traffic routes by active measures (e.g. retention dams, etc.) and/or passive measures (e.g. land use planning, evacuations, closing of roads and railways in case of acute danger). These measures, and in particular passive approaches, require reliable data/information from monitoring and early warning systems. Knowledge of the occurrence/frequency of alpine mass movements and information of its type and magnitude can assist regional or local authorities who attempt to actively reduce the risk of such hazards.

This project aims to create a reliable approach for identifying and quantifying mass movement processes in respect to their process-type, and –magnitude. There have already been several approaches to identify mass movement processes with infrasound and seismic signals, but this project aims to develop a method which uses a combination of both technologies and plans to define a common set of identification rules for event-type and magnitude identification. The correlation of infrasound and seismic signals, should improve the ability of the system to identify the event in respect to magnitude and type. These improvements are possible because advantage can be taken of both technologies and the disadvantages can be minimized. (e.g. seismic: lower disturbances due to wind and weather but strong dependency on the geology of the site and high attenuation with increasing distance between mass movement and sensor; infrasound: little attenuation in the air at local distances, but high background noise induced by wind).

The cooperation with the Department of Soil and Water Conservation at the National Chung Hsing University at Taiwan will offer the advantage to combine novel analyses techniques for seismic signals (Hilbert-Huang transform (HHT)), with consolidated knowledge in infrasound technology from the Institute of Mountain Risk Engineering at the University of Natural Resources and Life Sciences and will provide a basis for the development of a new identification algorithm for sediment-related disasters. Further, a warning system for alpine mass movements based on a combination of infrasound and seismic sensors is in development at the Institute of Mountain Risk Engineering, which will offer a great starting basis for the proposed measurement system. Also the cooperation with the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research will provide for this project a optimally equipped test site (Illgraben) with frequent debris flows and debris floods to generate a good database for the development of the identification rules. The developed process identification system will then be tested on several test sites in Austria, Switzerland and Italy.

-----  
Naturgefahren wie Muren oder Hangrutschungen werden, durch die rasche sozio-ökonomische Entwicklung alpiner Gebiete sowie den Klimawandel, zunehmend zu einer Gefahr für Menschen und Sachwerte. Regierungsstellen versuchen Siedlungen und Verkehrswege durch aktive Maßnahmen (z.B. Rückhaltesperren, etc.) und/oder passive Maßnahmen (z.B. Raumplanung, Evakuierungen, Schließen von Straßen und Eisenbahnen im Falle einer akuten Gefahr) zu schützen. Diese Maßnahmen, insbesondere passive Ansätze erfordern zuverlässige Daten und Informationen aus Monitoring- und Frühwarnsystemen. Kenntnisse über das Vorkommen und die Häufigkeit der alpine Massenbewegungen und Informationen ihrer Art und Größe können regionale oder lokale Behörden unterstützen das Risiko eines solchen Gefahren zu reduzieren. Dieses Projekt



hat zum Ziel, eine zuverlässige Methode zur Identifizierung und Quantifizierung von Massenbewegungs-Prozessen in Bezug auf ihren Prozesstyp und -größe zu schaffen. Es existieren bereits verschiedene Ansätze zur Identifikation dieser Prozesse mit Infraschall- und seismischen Signalen, dieses Projekt zielt jedoch darauf ab, ein Verfahren zu entwickeln, welches eine Kombination beider Technologien verwendet und versucht, allgemeine Identifikationsregeln für Ereignis-Typ und Größe zu definieren. Die Korrelation der Infraschall-Signale mit seismischen Signalen, sollte die Zuverlässigkeit des Systems verbessern. Diese Verbesserungen sind möglich, weil die Vorteile beider Technologien genutzt und die Nachteile minimiert werden können. (z. B. seismische: geringe Störungen durch Wind und Wetter, aber starke Abhängigkeit von der Geologie sowie hohe Dämpfung mit zunehmender Entfernung zwischen Massenbewegung und Sensor; Infraschall: geringe Dämpfung in der Luft bei lokalen Distanzen, aber hohe Störgeräusch durch Wind).

Die Zusammenarbeit mit der National Chung Hsing University in Taiwan bietet den Vorteil, neue Analysetechniken für seismische Signale (Hilbert-Huang-Transformation (HHT)) mit fundiertem Wissen in Infraschall-Technologie vom Institut für Alpine Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur zu kombinieren, um eine optimale Signalverarbeitung zu gewähren. Außerdem ist am Institut für Alpine Naturgefahren ein Warnsystem für alpine Massenbewegungen basierend auf einer Kombination von Infraschall und seismischen Sensoren in Entwicklung, welches die optimale Ausgangsbasis für das geplante Meßsystem bietet. Weiters bietet die Zusammenarbeit mit der Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft ein für dieses Projekt optimal ausgestattetes Testgelände (Illgraben) mit häufigen Murgängen und murartigen Prozessen, um eine gute Datenbasis für die Entwicklung eines Identifizierungs-Regelwerks zu generieren. Das entwickelte Identifikations-System soll dann auf verschiedensten Testgebieten in Österreich, der Schweiz und Italien getestet werden.

## **17. Seismic Rockfall Monitoring in the Hohe Tauern region (SeisRockHT)**

*Principal Investigator: Wolfgang Lenhardt (ZAMG) [wolfgang.lenhardt@zamg.ac.at](mailto:wolfgang.lenhardt@zamg.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

SeisRockHT builds on an project team with established experts in the fields of seismic monitoring, geotechnical engineering, permafrost, meteorology and climatology. SeisRockHT aims at the quantitative observation and understanding of high alpine seismicity and rockfall events. Due to the rare character of rockfall events a continuous and long-term observation strategy is needed. The longterm perspective is assured through the project partner of Austrian seismic service who will include SeisRockHT networks when the project is completed. The different scaling of the two investigation sites opens a bedrock permafrost related focus on the one hand and a larger "classic Alpine northface" focus on the other. SeisRockHT will develop a suite of optimum methods for characterization, detection and localization of the seismic events recorded at the two sites. Beside analysis of discrete seismic events, ambient seismic noise analysis promise a closer insight into rockfall precursory seismic characteristics. Based on the high quality complementary data delivered by the two already established long-term monitoring sites, potential rockfall triggers will be evaluated and suggested. The overall research objective is to better understand the seismicity of high alpine sites and rockfall events in respect to meteorology, geology and climate change induced permafrost degradation on a long-term perspective. The seismic networks are designed to operate all-year round and record continuous seismic data. Based on the established knowledge and the two investigation sites, SeisRockHT hypotheses are:

- Seismicity of high alpine sites shows a temporal variability on different scales (seasonal, diurnal, ..)
- There is a relation between rockfall parameters (fall height, runout distance, potential energy and volume) and the rockfall seismic magnitudes, duration and energy.
- The initiation phase of a rockfall event is accompanied by enhanced precursory seismicity.
- There is a correlation between seismic activity and the geological setting.
- There is a correlation between seismic activity and the variable meteorological parameters.
- Classic rockfall events will occur during decreasing temperatures.
- Permafrost-related rockfall events will occur during periods of high summer temperatures.

Following tasks need to be completed to answer SeisRockHT hypotheses and to meet project aims:

- Installation of two long-term seismic monitoring sites in the Austrian Alps.
- Evaluation of temporal and spatial ambient seismic noise characteristics

- Optimization of techniques for characterization, detection and localization of seismic events for both investigation sites
- Compilation of a catalogue of characteristic seismic events registered at the two sites
- Determination of seismic characteristics preceding a rockfall event
- Evaluate correlation between seismic data and rockfall parameters
- Evaluate correlation between seismic- and complementary data
- Suggest potential trigger mechanisms for rockfalls at the two sites
- Characterization of rockfalls induced by bedrock permafrost degradation
- Hand-over two established seismic networks to be included in Austrian seismic network

Furthermore, unique annual time-lapse seismic tomography surveys for the monitoring of the active layer and most notably of deeper permafrost features at the crest of Sonnblick will be continued in the SeisRockHT project.

-----

SeisRockHT baut auf einem Projektteam mit etablierten Experten aus den Bereichen Seismisches Monitoring, Geotechnik, Permafrost, Meteorologie und Klimatologie auf. SeisRockHT verfolgt dabei das Ziel hochalpine seismische Aktivität und Steinschlagereignisse quantitativ zu beobachten und zu verstehen. Wegen des seltenen Auftretens von Steinschlagereignissen wird eine langfristige Beobachtungsstrategie verfolgt. Diese wird mit Hilfe des Projektpartners ds Österr. Seismischen Service gesichert. Die SeisRockHT Netzwerke werden nach dem Ende der Projektzeit in das österr. seismische Netz aufgenommen. Die unterschiedlichen Skalen der zwei Untersuchungsgebiete ermöglichen einerseits einen Fokus auf Felspermafrost und andererseits einen breiteren Fokus auf eine klassische alpine Nordwand. SeisRockHT wird eine Sammlung an optimalen Methoden zur Charakterisierung, Detektierung und Lokalisierung von seismischen Ereignissen der zwei Gebiete liefern. Neben der Analyse von diskreten Einzelereignissen versprochenen Analysen des seismischen Noises einen tieferen Einblick in die seismische Aktivität vor einem Steinschlag. Aufgrund der hochqualitativen Komplementärdaten, die durch die zwei etablierten Langzeitbeobachtungsgebiete zur Verfügung gestellt werden, werden potentielle Auslösemechanismen vorgeschlagen. Die zusammenfassende Forschungsvorgabe ist ein besseres Verständnis für die Seismizität von hochalpinen Gebieten und Steinschlagereignissen zu entwickeln, und die Rolle der Meteorologie, Geologie sowie die aufgrund des Klimawandels fortschreitende Permafrost-Degradation darin. Die seismischen Netzwerke sind auf einen ganzjährigen Betrieb und eine kontinuierliche Datenerfassung ausgelegt. Basierend auf dem momentanen Wissensstand und den zwei Untersuchungsgebieten sind die SeisRockHT Hypothesen:

- Seismizität von hochalpinen Gebieten zeigen eine zeitliche Variabilität auf verschiedenen Skalen (saisonal, täglich,...)
- Es existiert eine Beziehung zwischen den Steinschlag-Parametern (Fallhöhe, Auslaufdistanz, potentielle Energie und Volumen) und der seismischen Magnitude, Dauer und Energie.
- Die Steinschlag-Initiationsphase wird begleitet von einer erhöhten seismischen Aktivität.
- Es existiert eine Beziehung zwischen der seismischen Aktivität und dem geologischen Zustand.
- Es existiert eine Beziehung zwischen der seismischen Aktivität und den variablen meteorologischen Parametern.
- Klassische Steinschlagereignisse finden während sinkenden Temperaturen statt.
- Permafrost-bezogene Steinschlagereignisse finden während sommerlichen Hitzephasen statt.

Folgende Punkte sind abzuarbeiten um mit den SeisRockHT Datensatz die formulierten Hypothesen zu beantworten sowie die vorgegebenen Projektziele zu erreichen:

- Installation von zwei langfristigen seismischen Beobachtungsnetzwerken
- Zeitliche und räumliche Noiseanalyse der Seismikdaten.
- Optimierung von Methoden zur Charakterisierung, Detektierung und Lokalisierung der seismischen Ereignisse.
- Erstellung eines Katalogs der registrierten unterschiedlichen seismischen Ereignisse
- Korrelation der seismischen Daten mit den Steinschlag-Parametern

- Korrelation mit den Komplementärdaten (Meteorologie, Geologie,...)
- Potentielle Auslösemechanismen für Steinschläge
- Charakterisierung von Permafrost-bezogene Steinschlagereignisse
- Übergabe von zwei bewährten seismischen Netzwerken in das österr. seismische Netz.

Darüber hinaus werden die in den Alpen einzigartigen jährlichen seismischen Tomographiemessungen zur Beobachtung der zeitlichen Änderung der aktiven Schicht sowie vor allem den tiefer gelegenen zeitlichen Änderungen im Permafrost des Sonnblickgipfels im Rahmen von SeisRockHT fortgeführt.

## **18. Quantifying the destructive reach of snow avalanches beyond the dense flow regime (bDFA - beyond dense flow avalanches)**

*Principal Investigator: Rudolf Sailer (University of Innsbruck) [rudolf.sailer@uibk.ac.at](mailto:rudolf.sailer@uibk.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

A long standing problem in avalanche science is to quantify the destructive potential of the air-blast that arises from snow avalanche motion. This problem is especially difficult to solve because the airblast extends beyond the reach of the dense flowing core. For the last 20 years, avalanche dynamics research has concentrated on understanding the motion of the dense flow regime. Newly developed numerical models for dense flow avalanches (DFA) have become essential tools for hazard mitigation.

They are applied extensively in Austria and Switzerland to delineate hazard maps and design avalanche defence structures. However, the problem of the avalanche air-blast remains. The main goal of this project is to test, extend and apply existing dense/powder avalanche dynamics models to predict the destructive force of avalanches beyond the dense flow regime (bDFA). This has large socio-economic impact as it relates directly to hazard zoning and the design of mitigation measures.

The proposal combines research groups from Austria and Switzerland who have identical questions regarding the problem of avalanches beyond the dense flow regime. At the disposition of the research groups are (1) well documented case studies in Austria and Switzerland, (2) two full-scale avalanche test sites that will be instrumented with air-blast pressure sensors outside the range of the flowing core and (3) two advanced numerical simulation tools for powder snow avalanches, SAMOS and RAMMS. By comparing these modelling approaches on different case studies with results from full scale tests, we propose to address the question if avalanche engineers can use existing models or whether new models are required to describe the granular fluid transition within snow avalanches.

Each research partner has specific experience in either snow avalanche modelling, practical analysis of numerical model results or the analysis of socio-economic impact of natural hazards. In particular the Austrian Avalanche and Torrent Control (WLV) will guarantee the realisation of a transdisciplinary approach in by combining scientific knowledge with practical application. In a last project step a three level assessment of the importance and perception of bDFA as well as their socio-economic impacts will be performed within the frame of the proposed project. This three level assessment comprises i) the review and assessment of the computational simulation results, ii) the analysis and assessment of the full-scale test site experiments and investigation of real avalanche damages and iii) the analysis of the expert interviews. Based on this three level assessment and the analysis of the socio-economic impacts a comprehensive recommendation concerning the improvement of existing simulation models with respect to possible bDFA processes are the final result of the project.

-----

Die numerische Modellierung der Schadenswirkung von Staublawinen ist ein bislang ungelöstes Problem in der Lawinenforschung, insbesondere weil die Druckwirkung solcher Lawinen weit über die beobachtbaren Fließwirkungsbereiche hinaus reichen. Demgegenüber haben die in den letzten Jahren entwickelten numerischen Modelle zur Berechnung von Fließlawinen (dense flow avalanches – DFA) in der modernen Gefahrenzonenplanung und Maßnahmenplanung bereits einen bedeutenden Stellenwert eingenommen und tragen damit zu einer deutlichen Reduktion des Gefahrenpotenzials in betroffenen Gebieten der Alpen bei. Im Hinblick auf eine detaillierte numerische Modellierung der Staubwirkung sowie die Einbeziehung der entsprechenden Ergebnisse in die Maßnahmenplanung und Gefahrenzonierung besteht nach wie vor ein intensiver Forschungsbedarf. Das Hauptziel des vorliegenden Forschungsantrages ist demnach die Evaluierung von existierenden dynamischen Fließ-/Staublawinenmodellen. Das Hauptaugenmerk dabei liegt in der

Berechnung der destruktiven Kräfte von Lawinen, die den Bereich der Wirkung von Fließlawinen maßgeblich überschreiten (avalanches beyond the dense flow regime – bDFA). Durch eine verbesserte und vor allem von Experten akzeptierte Berechnung der Staublawinenwirkung sind sozio-ökonomische relevante Auswirkungen auf die Erstellung von Gefahrenzonen und Maßnahmenplanungen zu erwarten. Im Projekt sind Forschungsteams aus Österreich und der Schweiz vereint, die mit denselben Problemen der Staublawinenberechnung konfrontiert sind und daraus gemeinsam Strategien zur Lösung dieser Probleme erarbeitet haben. Dem Projektkonsortium stehen zur Erfüllung der Projektziele (1) gut dokumentierte Fallstudien aus Österreich und der Schweiz, (2) zwei gut ausgestattete Versuchsgebiete, die mit speziellen Drucksensoren zur Erfassung von Staubdruckwellen erweitert werden, und (3) zwei numerische Simulationstools (SamosAT und RAMMS) zur Verfügung. Auf Basis des Vergleichs der Modellergebnisse der erwähnten Fallstudien mit den Mess- und Modellergebnissen aus den Versuchsgebieten wird im Projekt der Frage nachgegangen, inwieweit aus Sicht der Praxis die bereits existierenden Modelle zufriedenstellende Ergebnisse liefern oder ob aus Sicht der Praktiker neue Modellansätze zur Beschreibung der Fließ-Staublawineninteraktion zu implementieren sind. Die zur Sicherstellung eines reibungslosen Projektablaufs spezifischen Expertisen der beteiligten Projektpartner reichen von der Modellentwicklung über die operative Anwendung sowie Analyse der Modellergebnisse bis hin zur Analyse sozio-ökonomischer Auswirkungen von Naturgefahrenereignissen. Insbesondere die Mitwirkung des Projektpartners WLV (Forsttechnischer Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung) garantiert die Verwertung der Projektergebnisse im Sinne eines transdisziplinären Wissenstransfers, der in direkter Art und Weise der Bevölkerung in betroffenen Regionen der Alpen zugute kommt. Ein dreiphasiges Bewertungsverfahren zur Wahrnehmung und praktischen Anwendbarkeit neuer Modellansätze wird in einem letzten Projektschritt umgesetzt. Dieses Bewertungsverfahren beinhaltet i) die Analyse und Bewertung der Simulationsergebnisse, ii) die Analyse und Bewertung der Messergebnisse der Feldexperimente in den Untersuchungsgebieten und iii) die Analyse von Experteninterviews. Sowohl das dreiphasige Bewertungsverfahren als auch die darauf aufbauende Analyse der sozioökonomischen Auswirkungen sollen schlussendlich in eine Empfehlung für die Weiterentwicklung neuer numerischen Modellansätze zur Simulation von Staublawinendrücken und darüber hinaus in Empfehlungen für deren Berücksichtigung in Baunormen führen.

## **19. Formation and future evolution of glacier lakes in Austria (FUTURELAKES)**

*Principal Investigator: Jan-Christoph Otto (University of Salzburg) [jan-christoph.otto@sbg.ac.at](mailto:jan-christoph.otto@sbg.ac.at)*

*Project duration: 3 Years*

Glacier retreat is one of the most visible consequences of temperature rise in the 20th and 21st century in the European Alps. Models suggest that a mean temperatures rise by 3°C leads to a decrease to less than 20% of today's glacier area in Austria within the next century. Glacier retreat can result in the formation of glacial lakes, as already observed at various glaciers in Austria and in other mountain areas in the world. A preliminary study simulated a total of 165 potential subglacial depressions underneath today's glaciers in Austria representing a total potential lake volume of 236 Mio m<sup>3</sup> emerging after the melting of glaciers.

Glacial lakes can constitute an important environmental and socio-economic impact on high mountain systems including water resource management, sediment delivery, natural hazards, energy production and tourism. Their development will significantly modify the landscape configuration and visual appearance of high mountain areas. Environmental impacts of glacier lakes encompass retention and buffering of water and sediment. Sediment storage in lakes has significant consequences on downstream river sediment budgets and the sediment flux to the oceans and it conditions the lifetime of these lakes. On the other hand, glacier lakes represent sedimentary archives that contain important information on past process rates, glacier activity, vegetation and climate conditions. An important consequence of new lake formation in the context of climate change and glacier retreat is the increase of natural hazard potential from high alpine zones. These include either direct hazards exerted by the, mainly represented by outburst floods due to dam breaching, other hazards evolve in the direct surrounding of the lake, also leading to catastrophic water release.

These processes include ice falls, rock falls and rock avalanches, caused by glacier retreat, permafrost melt or rock wall destabilization, and debris flows generated from melting moraine deposits. From a socio-economic perspective, glacier lakes can be useful for hydropower generation, providing naturally produced, high elevation storage space for water and potential energy. Finally, also touristic aspects of lake formation can be identified, providing attractive new destinations in mountain, probably able to compensate for the esthetic loss of glaciers

in the landscape perception. Thus, this important information about significant future change of the high alpine landscape in Austria and its uncertain and unknown consequences is missing. We propose to apply an interdisciplinary approach to close this research gap.

The project will target three objectives: (i) detect potential overdeepenings underneath Austrian glaciers and relate them to lake formation (ii) cross-validate different methods to simulate overdeepenings of glacier beds; and (iii) analyze geomorphological conditions of lake formation and lake evolution. In order to reach these aims researchers from 6 institutions working in the field of glaciology, geomorphology and hydrology from both Austria and Switzerland will collaborate. The team strives to deliver a data base of potential lake locations and characteristics as well as new insight into lake formation and lake evolution. These outcomes provide valuable base knowledge for natural hazard and risk assessment, hydrological management and socio-economic impact analysis and support response and adaptation strategies to future landscape change following the ongoing glacier melt.

-----

Gletscherschwund ist eine der sichtbarsten Folgen des Temperaturanstiegs im 20. und 21. Jahrhundert in den europäischen Alpen. Modelle legen nahe, dass ein Anstieg der Durchschnittstemperaturen um 3 ° C zu einer Verringerung der Gletscherfläche auf weniger als 20 % der heutigen Gletschergebiete in Österreich innerhalb des nächsten Jahrhunderts führen wird. Als Folge des Gletscherschwunds können Gletscherseen gebildet werden, wie sie bereits bei verschiedenen Gletschern in Österreich und in anderen Bergregionen in der Welt beobachtet werden.

Eine erste, vorläufige Studie simuliert insgesamt 165 potenzielle subglaziale Vertiefungen unterhalb der heutigen Gletscher in Österreich mit einem potentiellen Gesamtvolumen von 236 Mio m<sup>3</sup>. Gletscherseen können wichtige ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen auf die Hochgebirgssysteme haben. Dazu zählen Auswirkungen auf das Wasserressourcen-Management, die Sedimentlieferung in Flüssen, Naturgefahren, die Energieproduktion und den Tourismus. Ihre Entwicklung wird die Landschaftszusammensetzung und Optik der Hochgebirgsregionen deutlich verändern. Umweltauswirkungen von Gletscherseen umfassen die Speicherung und Pufferung von Wasser und Sediment. Sedimentspeicherung in Seen hat erhebliche Auswirkungen auf den nachgelagerten Flusssedimenthaushalt und die Sedimentanlieferung in den Ozeanen. Außerdem wird die Existenzdauer der Seen beeinflusst. Auf der anderen Seite stellen Gletscherseen wichtige Sedimentarchive dar, die Informationen über vergangene Prozessraten, Gletschertätigkeit sowie Vegetations- und Klimabedingungen enthalten. Eine weitere Konsequenz der Seentstehung im Kontext von Klimawandel und Gletscherschwund ist die Zunahme von Naturgefahrenpotential in hochalpinen Zonen. Dazu gehören entweder Gefährdungen, die direkt von See ausgehen, hauptsächlich durch Seeausbrüche nach Dammbbruch. Es entwickeln sich aber auch andere Gefahren in der direkten Umgebung des Sees, die wiederum in Folge auch zu katastrophalen Entwässerungen führen können. Diese Prozesse umfassen Eis- und Felsstürze, Steinlawinen, und Murgänge, die Folge des Gletscherschwunds und der Permafrostschmelze sein können. Aus sozioökonomischer Sicht können Gletscherseen nützlich für die Wasserkrafterzeugung sein. Hierbei stellen sie natürliche, hochgelegene Speicher für Wasser dar und bieten ein hohes Energiepotenzial für die Stromerzeugung. Schließlich können auch touristische Aspekte der Seebildung identifiziert werden, wenn neue, attraktive Reiseziele in den Bergen entstehen, die die Möglichkeit bieten, den ästhetischen Verlust durch das Abschmelzen der Gletscher in der Landschaftswahrnehmung zu kompensieren. Da diese wichtige Informationen über wesentliche zukünftige Veränderungen der hochalpinen Landschaft und ihrer unsicheren und unbekanntem Folgen in Österreich fehlt, schlagen wir einen interdisziplinären Ansatz vor mit dem Ziel diese Forschungslücke zu schließen.

Das Projekt ist an drei Ziele ausgerichtet: (i) Erkennen von potentielle Übertiefungen unter österreichischen Gletscher und Verknüpfung mit möglicher Seebildung (ii) Cross-Validierung verschiedener Methoden, um übertiefte Gletscherbette zu simulieren; und (iii) analysieren geomorphologischer Bedingungen der Entstehung und Entwicklung von Seen. Um diese Ziele zu

erreichen werden Forscher aus sechs Institutionen in Österreich und der Schweiz, die im Bereich der Glaziologie, Geomorphologie und Hydrologie tätig sind, zusammenarbeiten. Das Team strebt an, eine Datenbank von potenziellen Seestandorten und deren Eigenschaften zu liefern und neue

Erkenntnisse über die Entstehung und Entwicklung von Gletscherseen zu generieren. Diese Ergebnisse liefern wertvolles Grundwissen für Naturgefahren- und Risikobewertung, hydrologisches Management und sozio-ökonomischen Wirkungsanalysen und unterstützen notwendige Reaktions- und Anpassungsstrategien auf den zukünftigen Landschaftswandel durch das andauernde Abschmelzen der Gletscher.

## 20. Alpine landscapes under global change: Impacts of land-use change on ecosystem services and human health and well-being (Healthy Alps)

Principal Investigator: Thomas Frank (BOKU) [thomas.frank@boku.ac.at](mailto:thomas.frank@boku.ac.at)

Project duration: 3 Years

Changes in agricultural practices and policies, low farm income and depopulation of rural areas have resulted in the abandonment of traditionally managed mountainous landscapes globally and across the Alps. Such historic landscapes, e.g. alpine pastures, however, harbour a high biodiversity, attract tourists and may even positively influence human health. Today's western societies are faced with a growing incidence of poor health because of mental stress and sedentary lifestyles. Natural landscapes are increasingly seen as restorative settings, compensating for negative psycho-physiological effects on humans. The extent of these positive effects, however, may depend on the landscape quality. However, so far restorative research has neglected the role of such mountainous landscapes for human health. In addition, possible linkages between cultural ecosystem services such as human health and well-being, biodiversity, and regulating ecosystem services (pollinator activity, soil decomposition rate, greenhouse gas emission) have never been investigated for such landscapes. Therefore, the ecosystem services of these landscapes cannot be fully considered in political decision making, and in the design of agro-environmental, public health and nature conservation policies and measures. If cultural landscapes of biosphere reserves are specifically effective in providing restorative effects, then such benefits can be used for regional development by exploiting the natural-cultural capital for new health-related commercial offers in a sustainable way, thereby preserving such valuable historic landscapes.

"Healthy Alps" investigates whether and to what extent

- 1) regulating ecosystem services, biodiversity, human health and well-being are connected
- 2) land-use intensities and land-use abandonment of cultural landscapes have an impact on human health and well-being and that these differently managed landscapes are perceived as restorative by humans
- 3) soundscapes are useful tools for measuring linkages between biodiversity and human health

Answering these questions is urgently needed because biosphere reserves aim in being a role model for such nature-based health-related offers. Unfortunately, information on such effects is missing while at the same time these traditional landscapes are disappearing. Demonstrating health effects resulting from a stay in biosphere reserves' landscapes will raise public awareness about the valuable natural-cultural capital of the area, which can assist in supporting the biosphere reserve idea. Findings may also support the role of a biosphere reserve for the well-being of its local residents and visitors.

To answer these research questions an interdisciplinary team consisting of Austrian and Swiss experts from zoology, ecology, environmental psychology, recreation and landscape planning, and environmental engineering will investigate these relationships between biodiversity, regulating ecosystem services, and human health and well-being in LTSER sites and biosphere reserves across the alpine range (Austria and Switzerland). Within each study region, three alpine pastures with different levels of land-use intensity (intensive, recently abandoned, long-time abandoned) will be selected.

A rather unique method-mix approach relying on methods from different disciplines such as ecology, environmental psychology and recreation research will be applied. One main methodological approach will be the assessment of soundscapes, a new and innovative tool in measuring biodiversity and recreational quality. We will use grasshoppers' soundscapes as measures for biodiversity. Additional measures for ecosystem services will be pollinator activity, per study site. Soil decomposition rate using the newly developed tea bag index, and soil greenhouse gas (GHG) emissions. Landscape composition surrounding each study site will be assessed.

A dependent sample of probands will be used for the measurement of short-term, psycho-physiological health-related effects by visiting the sites in a standardised manner. The within subjects variables are (1) results of cognitive tests, (2) emotional well-being and perceived restorativeness and noise, and (3) physiological measures before and after each site visit. High-level noise-monitoring-devices will measure the soundscapes

Veränderungen in der Agrarpolitik und der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, ein ständiger Rückgang der ländlichen Bevölkerung und ein geringes bäuerliches Einkommen führten zu einem Verschwinden traditioneller Kulturlandschaften in Berggebieten weltweit und entlang der Alpen. Doch gerade historische Landschaften, wie beispielsweise Bergweiden (Almen), beherbergen eine hohe Biodiversität, wirken anziehend auf Touristen und könnten die menschliche Gesundheit positiv beeinflussen.

Stress, Bewegungsarmut und ein Leben im Überfluss tragen zu einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes unserer westlichen Gesellschaft bei. Naturnahe Landschaften werden aber zunehmend als Erholungsräume betrachtet, die dem Menschen einen Ausgleich für psycho-physiologische Ermüdungserscheinungen bieten können. Das Ausmaß der positiven Wirkung hängt vermutlich mit der Qualität des Landschaftsraumes zusammen. Seitens der Erholungs-/Restorationsforschung wurde aber die Rolle von Berglandschaften bisher vernachlässigt. Somit wurden auch mögliche Verbindungen zwischen kulturellen Ökosystemleistungen, wie Gesundheit und Wohlbefinden, und der Biodiversität und regulierenden Ökosystemleistungen (Bestäuberaktivität, Dekompositionsrate im Boden und Treibhausgas-Emissionen) bisher noch nicht untersucht. Deshalb ist in der politischen Entscheidungsfindung und in der Entwicklung von Strategien und Maßnahmen im öffentlichen Gesundheitswesen und im Naturschutz eine vollständige Berücksichtigung aller von landwirtschaftlichen Flächen erbrachten Ökosystemleistungen überhaupt nicht möglich. Falls in Bergregionen gelegene Kulturlandschaften eines Biosphärenparks aber besondere Erholungswirkung zeigen, könnte dies einer Stärkung des ländlichen Raumes dienen, indem das vorhandene natürliche und kulturelle Kapital für gesundheitsbezogene Angebote verwendet wird. Auf diesem Weg wäre auch ein nachhaltiger Beitrag zur Regionalökonomie und zum Erhalt jener wertvollen und historisch gewachsenen Landschaften geleistet.

“Healthy Alps” erforscht, ob und in welchem Ausmaß (1) Biodiversität und regulierende Ökosystemleistungen mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen verbunden sind, (2) die Intensität und das Verschwinden der Landnutzung von Kulturlandschaften einen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen aufweisen und ob diese unterschiedlich bewirtschafteten Landschaften von Menschen als erholsam empfunden werden und (3) “Soundscapes” eine nützliche Methode zur Messung von Verknüpfungen zwischen Biodiversität und menschlicher Gesundheit darstellen.

Antworten auf diese Fragen erscheinen dringend notwendig, da Biosphärenparks sowohl eine Vorbildfunktion für naturbasierte, gesundheitsbezogene Angebote einnehmen könnten bzw. möchten, als auch das Verschwinden traditioneller Kulturlandschaften unaufhörlich voranschreitet. Ein Nachweis von Gesundheitseffekten, die aus einem Aufenthalt in Biosphärenpark-Landschaften resultieren, würde das öffentliche Interesse für das natürliche und kulturelle Kapital dieser Region wecken und die Verbreitung der Biosphärenpark-Idee vorantreiben. Um diese Forschungsfragen beantworten zu können wird eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe, bestehend aus schweizerischen und österreichischen Experten und Expertinnen der Zoologie, Ökologie, Medizin, Umweltpsychologie und der Erholungs- und Landschaftsplanung, Erhebungen in Biosphärenparks und einer LTSER-Region entlang der Alpen (Österreich und Schweiz) durchführen. Innerhalb eines Untersuchungsgebietes werden drei Bergweiden unterschiedlicher Landnutzung (intensiv, kürzlich aufgegeben, länger aufgegeben) gewählt. Die verwendeten, disziplinenübergreifenden Methoden werden untereinander abgestimmt und an die Forschungsziele angepasst. Eine wesentliche Methode stellt „Soundscapes“ dar, ein innovatives Instrument zur Messung der Biodiversität (in dieser Studie anhand von Heuschrecken) und der Erholungsqualität. Zusätzlich werden Ökosystemleistungen in Form von Bestäuberaktivität, Dekompositionsrate (Teebeutel-Index) und Treibhausgas-Emissionen des Bodens gemessen. Weiters wird die Ausgestaltung der Landschaft im Umfeld der Untersuchungsflächen gemessen. Um kurzzeitige, psychophysiologische und gesundheitsbezogene Effekte der Probanden zu messen, werden mittels standardisierter Besuchsabläufe in den Studiengebieten abhängige Stichproben gesammelt. Variablen sind (1) Ergebnisse kognitiver Tests, (2) emotionales Wohlbefinden, empfundene Erholungswirkung und Lärm, (3) physiologische Messungen (z.B. Blutdruck) vor und nach jedem Aufenthalt. Hoch empfindliche Lärmmessgeräte werden die Geräuschkulisse eines jeden Studienortes aufzeichnen.

## **21. Toward handling un-sharpness in prognostic scenarios: advanced learning from the past (Prognostic Uncertainty)**

*Principal Investigator: Matthias Jonas (IIASA) [jonas@iiasa.ac.at](mailto:jonas@iiasa.ac.at)*

*Project duration: 1 Year*

Our proposal addresses research theme 4.3: *Predictability and handling of Change*. It centers on uncertainty and learning, not on error and perfect projections.

Prognostic uncertainty is at heart of many disciplines, Earth systems sciences being a prominent one. Our proposal focuses on global greenhouse gas (GHG) emissions and concentrations, and mean global temperature, not precluding the option of branching off into sub-global (e.g. Alpine) scales.

Uncertainty and learning are studied under diagnostic conditions by means of available, observation-based data or estimates; and, thereafter, are tested under “controlled prognostic” conditions by means of part of the available data, which are held back and are used exclusively for checking our improved understanding of uncertainty and learning. We call this experimental procedure “retrospective learning”, which we explore by applying an advanced methodology (granular computing) and a (or more) standard methodologies to facilitate comparison. Retrospective learning does not aspire knowing the perfect forecast. Instead, retrospective learning accepts an increase in prognostic uncertainty with time in return for our ignorance of the perfect forecast. It is optimal balance that is sought between our ignorance of the perfect forecast and the increase in prognostic uncertainty.

The overall objective of the proposal is to advance our insights in retrospective learning on order to better handle (reduce?) uncertainty in prognostic scenarios; in particular, to provide a reference (standard), which is readily understandable and which prognostic modelers can use in order to inform experts as well as non-experts about the “predictive power”, and its limitation, of their models. To our knowledge, such reference is not applied at all.

Three questions motivate our proposal:

- 1) Given the one reality – the past – a system has experienced, can we develop an understanding of uncertainty, which proves reliable in the future, i.e., under prognostic conditions, irrespective of how the system unfolds dynamically?
- 2) How far into the future will our understanding of uncertainty prove reliable?
- 3) What are the practical consequences: Can we apply our improved understanding of uncertainty in ESS (Earth system sciences) models that project future change and even contribute to handling (reducing?) uncertainty in these models?

---

Unser Vorhaben greift Forschungsthema 4.3 auf: *Predictability and handling of Change*. Im Mittelpunkt stehen Unsicherheit und Lernen, nicht Fehler und perfekte Vorhersage.

Prognostische Unsicherheit ist in etlichen Disziplinen von Bedeutung, insbesondere in *Earth System Sciences*. Im Mittelpunkt unseres Vorhabens stehen globale Treibhausemissionen und –konzentrationen sowie die globale gemittelte Temperatur. Dies schließt subglobale Anwendungen (z.B. Alpenraum) nicht aus.

Unsicherheit und Lernen werden unter diagnostischen Bedingungen mit Hilfe von Messdaten oder abgeleiteten Schätzwerten untersucht; daraufhin unter „kontrollierten prognostischen“ Bedingungen mit jenem Teil-Datensatz, der ausschließlich dazu dient, unser verbessertes Verständnis von Unsicherheit und lernen zu validieren. Dieses experimentelle Vorgehen, „retrospektives Lernen“ (RL) genannt, wird unter Verwendung fortgeschrittener Methoden (*Granular Computing*) sowie, zwecks Vergleich, mit Hilfe von Standardmethoden erfasst. RL strebt nicht nach perfekter Vorhersage. Im Gegenteil, RL akzeptiert das Anwachsen prognostischer Unsicherheit mit der Zeit im Gegenzug für unser Unwissen um die perfekte Vorhersage. Das optimale Gleichgewicht zwischen beiden ist gesucht.

Das Anliegen unseres Vorhabens ist es, unser Wissen um RL zu vertiefen, um Unsicherheit in prognostischen Szenarien besser handhaben (reduzieren?) zu können, und um insbesondere einen Vergleichsstandard bereitzustellen, welcher unmittelbar verständlich ist und von prognostischen Modellierern verwendet werden kann, Außenstehende über die Vorhersagefähigkeit und Beschränktheit ihrer Modelle zu unterrichten. Ein solcher Vergleichsstandard wird u.W. nicht angewendet.

Drei Fragen motivieren unser Vorhaben:

- 1) Können wir – wissend, dass unser System nur eine Realität, die Vergangenheit – erfahren hat, ein Verständnis von Unsicherheit dahingehend entwickeln, welches auch für die Zukunft Gültigkeit besitzt; d.h. unter prognostischen Bedingungen und unabhängig davon, wie sich das System dynamisch tatsächlich entfaltet?
- 2) Wie weit in die Zukunft besitzt unser Verständnis von Unsicherheit Gültigkeit?
- 3) Was sind die praktischen Konsequenzen: Können wir unser verbessertes Verständnis von Unsicherheit in *Earth System Sciences*-Modellen zur Anwendung bringen und sogar zur Handhabung (Reduzierung?) von prognostischer Unsicherheit in diesen Modellen beitragen?