

**Phil.Alp 2018**  
**1. und 2. März in Fribourg**

**Alp.relève 2018**  
**Les 1 et 2 mars à Fribourg**

**Zusammenfassungen der Referate**

**Résumés des exposés**

# Bergwälder und Baumwurzeln / Forêts de montagne et leur racines

Markus Staudinger

## **Im Dickicht grasen: Verbisschäden an der Grünerle durch Weidetiere beobachtet am Boden und aus der Luft**

Agroscope, Zürich

Masterarbeit; Leitung: Manuel Schneider, Agroscope, Zürich

Der generelle Strukturwandel in der Landwirtschaft und sinkende Produkterlöse führen zu einer verminderten Bewirtschaftung von aufwändig zu nutzenden Flächen in den Berggebieten. Diese sogenannten Grenzertragslagen erbringen jedoch wichtige Ökosystemdienstleistungen und haben einen entscheidenden Einfluss auf die Artenvielfalt. Durch den Rückzug der Landwirtschaft aus den Alp- und Sömmerungsgebieten kommt es ja nach Standort zu einer relativ rasch einsetzenden Verbuschung und Wiederbewaldung. Insbesondere die Ausbreitung der Grünerle (*Alnus viridis*) oder auch Alpenerle genannt, kann hier seit Jahren verstärkt beobachtet werden (vgl. Huber & Frehner 2012, S. 19). Diese Ausbreitung bringt wesentliche Veränderungen in der Funktionalität der alpinen Ökosysteme mit sich. Durch die Grünerle werden große Mengen an Stickstoff in die ursprünglich nährstoffarmen Graslandschaften eingebracht. Außerdem zeigen Quellen und Bäche in dem Einzugsgebiet von *Alnus viridis* im Frühjahr und Herbst deutlich erhöhte Nitratwerte (vgl. Bühlmann et al. 2016, S. 968). Die großflächige Ausbreitung der Grünerle führt also nicht nur lokal zu einer Umwandlung jahrhundertealter nährstoffarmer Graslandschaften in nährstoffgesättigtes Buschland, sondern kann auch regional, je nach Jahreszeit und Niederschlagsmenge, einen negativen Einfluss auf das Umland haben. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass der Biodiversitätswert solcher Flächen abnimmt.

Ausgehend von der Feststellung, dass innerhalb der Grenzertragsflächen primär die extensiv bewirtschafteten Flächen in Steil- und Steilstlagen von der Nutzungsaufgabe und Wiederbewaldung betroffen sind, braucht es neue Strategien zur Offenhaltung dieser Gebiete. Minimalnutzungsverfahren wie beispielsweise eine extensive Beweidung mit speziellen Robustrassen können hier einen entscheidenden Beitrag leisten (vgl. Bollmann 2014, S. 22). Aus diesem Grund wurde als Teil eines Beweidungsversuchs von Agroscope und der ETH Zürich im Projekt EG4BM (Extensive Grazing on subalpine pastures: integrating Biodiversity and the production of Meat with special quality) im Sommer 2016 im Kanton Graubünden in der Gemeinde La Punt Chamuesch am Albulapass, in der Masterarbeit von Markus Staudinger anhand von Feld- und Fernerkundungsdaten gezielt der Schaden an der Rinde der Grünerle durch den Verbiss unterschiedlicher Weidetiere untersucht.

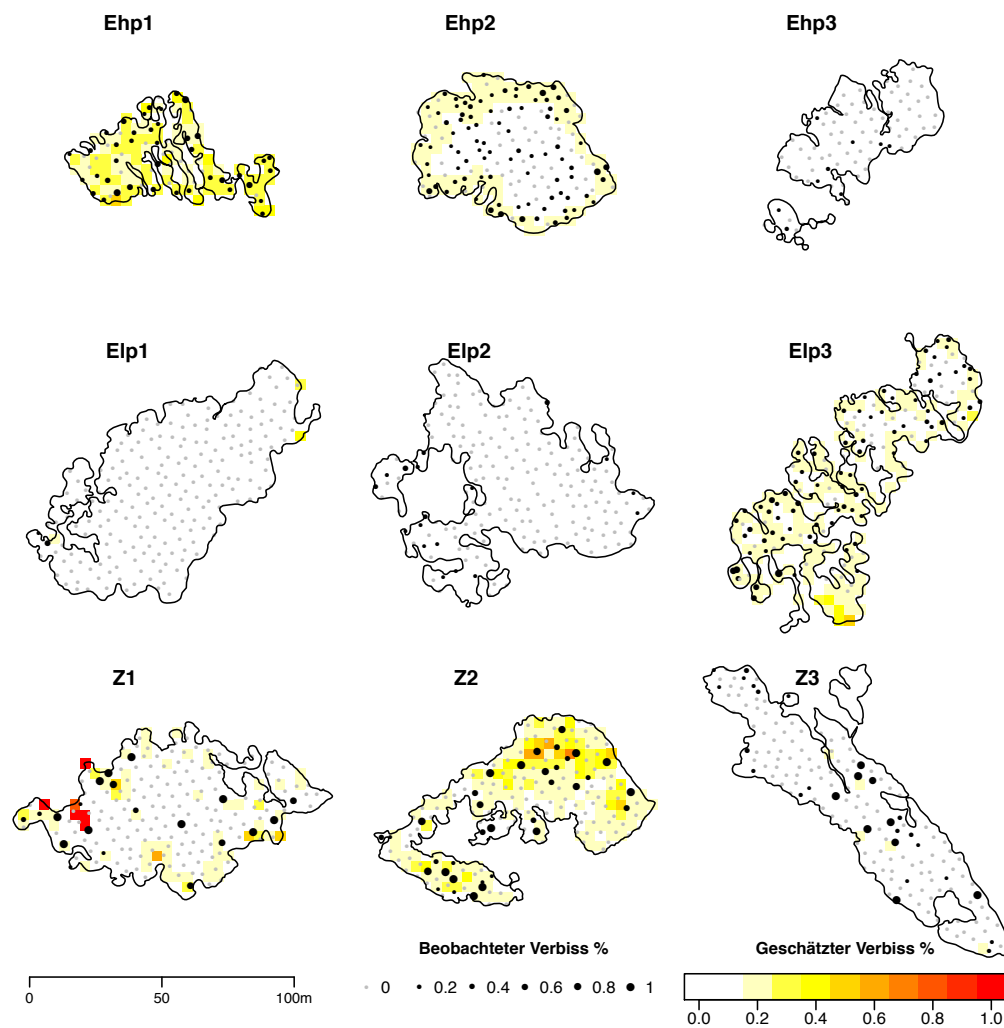
Die Schadwirkung an der Grünerle wurde in Abhängigkeit vom Weidedruck mit je zwei Kleingruppen Dexter-Rindern von je acht Tieren und Engadinerschafen mit je zehn Tieren in Rotation und mit einer Wiederholung untersucht. Zusätzlich wurden von 14 Ziegen beweidete und nicht beweidete Flächen als Versuchskontrolle verwendet. Für den Beweidungsversuch ergab dies fünf Gruppen mit insgesamt 50 Tieren auf 15 Teilflächen. Die Untersuchung der Verbisschäden erfolgte über eine reduzierte Vollerhebung im Feld. Reduziert meint in diesem Zusammenhang, dass nur die Punkte, an denen Verbiss zu finden war, aufgenommen wurden. Alle restlichen für die Vollerhebung nötigen Punkte wurden im Nachhinein aus dem aufgezeichneten Suchpfad identifiziert. Zudem wurden Fernerkundungsdaten in Form hochauflösender Luftbilder mit Hilfe einer Drohne an unterschiedlichen Zeitpunkten während der Versuchsdauer erfasst. Anhand von Aufnahmen im RGB- und NIR-Farbraum wurden Oberflächenmodelle und Orthophotos erzeugt und daraus Informationen bezüglich der Struktur und des Zustands der Weideflächen abgeleitet.

Der Beweidungsversuch hat gezeigt, dass die Engadiner Schafe und Ziegen, unabhängig vom Weidedruck oder der Weidedauer, generell die Grünerle durch Verbiss schädigten. Abgesehen von einer Engadinerherde, war die Schadwirkung jedoch nicht konsistent genug ausgeprägt. Als Folge davon konnte für Weidetiere kein signifikanter Einfluss auf den Verbiss der Grünerle nachgewiesen werden. Aufgrund vorhandener Studien und Berichte wurde erwartet, dass eine Beweidung verbuschter Grünerlenflächen mit Engadinerschafen immer zu Verbiss an der Rinde führen wird. Diese Annahme konnte in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht bestätigt werden.

---

Da der Verbiss aber weder vom Weidedruck noch von der Weidedauer beeinflusst war, gehen wir davon aus, dass es eine gezielte Präferenz für die Erlenrinde geben muss. Aus welchem Grund die Schafe die Rinde der Grünerle verbeißen, ist jedoch nach wie vor ungeklärt. In Bezug auf die Stellung der Verbisschäden zeigte sich, dass Büsche im Randbereich tendenziell häufiger verbissen wurden, als Büsche in geschlossenem Bestand. Mit Hilfe der Oberflächenmodelle und Orthophotos wurden die zusätzlichen Einflussgrößen, Buschhöhe, Distanz zum Rand der Buschfläche und der NDVI abgeleitet. Anhand der Luftbilder konnte die Datengrundlage für die Untersuchung der Verbisschäden, also deutlich erweitert werden. Obwohl für diese Variablen nur in Teilflächen ein signifikanter Einfluss auf den Verbiss nachgewiesen werden konnte, wurde vor allem die Erweiterung um die Einflussgrößen Buschhöhe und Distanz zum Rand der Buschfläche als sehr wertvoll angesehen. Dadurch konnten zum Beispiel tendenziell Verhaltensmuster der Tiere sichtbar gemacht, oder auch die gemessene Schadwirkung in Kombination mit R-INLA (Abbildung 1), visuell nachgebildet werden. Der NDVI dagegen lieferte keine zusätzlichen Erkenntnisse. Interessant ist auch die Beobachtung, dass die Ziegen, trotz eines flächendeckenden Grünerlenbestands, vorwiegend Vogelbeerbäume (*Sorbus aucuparia*) schädigten. Da es sich bei *Sorbus aucuparia* um eine wertvolle Vorwald- und Pionierbaumart handelt welche Hänge stabilisiert und die Etablierung von Hochwald erst ermöglicht (vgl. Schütt 2014, S. 489), ist diese Eigenschaft als eher kritisch zu betrachten.

Das Ziel der Masterarbeit war den Verbiss an der Grünerle durch Weidetiere zu erfassen. Dies ist auf unterschiedliche Art und Weise gelungen. Aufgrund sehr umfangreicher Felderhebungen, konnten mehrere hundert Einzelverbisspunkte in den Erlenbeständen auf der Alp nachgewiesen werden. Obwohl die Beweidung mit Engadinerschafen zur Eindämmung verbuschter Grünerlenflächen als vielversprechend bewertet wird, muss weiter überprüft werden inwieweit die untersuchten Weidetiere die fortschreitende Verbuschung durch Grünerlen in Sömmerungsgebieten stoppen können. Die Integration von Fernerkundungsdaten in Form von Luftbildern aus Drohnenflügen, hatte in jedem Fall eine positive Wirkung auf die Datengrundlage. Für die Untersuchung der weiteren Entwicklung der Erlenbestände auf der Alp konnte die Masterarbeit als Grundlage einen entscheidenden Beitrag leisten. Soweit bekannt ist, wurden Verbisschäden an der Grünerle durch Weidetiere bisher noch nie so detailliert und ausführlich untersucht. Mit Hinblick auf die zunehmende Ausbreitung der Grünerle im subalpinen Raum, vor allem nach der Aufgabe von Sömmerungsweiden, können die gewonnenen Daten und Beobachtungen in jedem Fall dazu dienen, das Verständnis für diese Problematik zu erweitern.



**Abbildung 1:** Anhand der Kombination aus Feld- und Fernerkundungsdaten konnte mit Hilfe von R-INLA untersucht werden, inwieweit die räumliche Struktur (Buschhöhe, Abstand zum Rand und Verbisspunkt) der Erlenbestände einen Einfluss auf den Verbiss durch die Weidetiere, Engadinerschafe mit hohem und niedrigem Weidedruck (Ehp und Elp - Engadiner high pressure, bzw. low pressure) und Ziegen ausübt. In der Abbildung ist der beobachtete und geschätzte Verbiss der Engadinerschafe und Ziegen an den Erlenbeständen zu sehen.

### Literatur

- Bühlmann, T., Körner, C. & Hiltbrunner, E., (2016). Shrub Expansion of *Alnus-viridis* Drives Former Montane Grassland into Nitrogen Saturation. *Ecosystems*, 19 (6), 968–985.
- Bollmann, R., Schneider, M. & Flury, C., (2014). Minimalnutzungsverfahren zur Offenhaltung der Kulturlandschaft. *Agroscope Science*, (Nr. 7), S.1-54.
- Huber, B. & Frehner, M. (2012). *Grünerle - Forschungsprojekt*. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesamt für Umwelt BAFU). Bern.
- Schütt, P., Schuck, H.J. & Stimm, B. (2014). *Lexikon der Baum- und -Straucharten : Das Standardwerk der Forstbotanik* (3. Auflage.). Nikol-Verlag, Hamburg.

Andrea De Boni

## **Wurzelsystem-Analyse des Götterbaumes (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) und dessen Wurzelverstärkung**

HAFL, BFH, Zollikofen

Masterarbeit; Leitung: Massimiliano Schwarz, HAFL, BFH, Zollikofen

Der Götterbaum ((Mill.) Swingle) ist ein sehr aggressiver und invasiver Neophyt, der sich besonders auf der Alpensüdseite und in Mesolcina gut entwickelt und einheimische Waldökosysteme bedroht. Nach einer Waldstörung (Waldbrand oder Sturm) kann sich der Götterbaum schnell regenerieren und verdrängt einheimische Baumarten. Aufgrund der Komplexität, diesen Baum zu bekämpfen (fast jeder Eingriff führt zu einer positiven Reaktion des Baumes mit einer massiven Produktion von Wurzeltrieben), sollte ein Weg gesucht werden, mit ihm zusammenzuleben und ihn zu nutzen. Eine Möglichkeit ist, den Götterbaum als Alternative zu einheimischen Arten (z. B. *Castanea sativa*) zum Schutz gegen Naturgefahren (Erdrutsche, Steinschläge) einzusetzen. Das Hauptziel dieser Studie besteht darin, die Wurzelverstärkung von *Ailanthus altissima* zu quantifizieren um dessen Beitrag zur Minderung von oberflächlichen Erdrutschungen zu beurteilen.

Diese Studie untersucht die Wurzelarchitektur von *Ailanthus altissima*. Analysiert werden Bäume verschiedener Entwicklungsstufen, die sich in vier verschiedenen Untersuchungsstandorten im Süden der Schweiz befinden (Tessin und Mesolcina). Zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Wurzelverteilung werden drei Methoden angewandt. Die erste Methode ist die Ermittlung der Wurzelverteilung anhand von Bodenprofilen, wobei pro Baum drei Bodenprofile im Abstand von 1.5, 2.5 und 3.5 m zur Stammmitte ausgehoben werden. Alle sichtbaren Wurzeln innerhalb der Bodenprofile werden gezählt und aufgrund deren Durchmesser und Tiefe in der Erde unterteilt. Die zweite Methode basiert auf einer vollständigen Ausgrabung des Wurzelsystems eines Kandidaten und die dritte Methode ist die Untersuchung eines Grabenprofils innerhalb von einem Verjüngungsbestand. Beim Bodenprofil innerhalb des Verjüngungsbestandes werden die Wurzeln aller Bäume erfasst. Um zu ermitteln, ob *Ailanthus altissima* bezüglich Gewährleistung der Hangstabilität eine wertvolle Alternative zu einheimischen Baumarten ist, wird die laterale und basale Wurzelverstärkung mittels Wurzelbündelmodell Weibull berechnet.

*Ailanthus altissima* hat im Vergleich zu einheimischen Baumarten, wie zum Beispiel Edelkastanie, ein schwächer entwickeltes Wurzelsystem. Die meisten Wurzeln beschränken sich auf die oberen Bodenschichten (bis zu 45-60 cm) und befinden sich in der Nähe des Stammes (Bodenprofil 1.5 m). Die Ausdehnung des Wurzelsystems kann als inhomogen beschrieben werden und die Entwicklungsstufe des Baumes beeinflusst die horizontale Verteilung der Wurzeln. Bäume mit einem größeren BHD haben weniger feine Wurzeln mit einem Durchmesser bis 3.4 mm als Bäume mit einem kleineren BHD. Andererseits haben Bäume mit einem größeren Stammdurchmesser oft mehr dickere Wurzeln als Bäume mit einem kleineren Stammdurchmesser, welche die Bäume im Boden verankern. Wahrscheinlich wird die Wurzelarchitektur des Götterbaumes auch von dessen Standort beeinflusst. Gute Bedingungen scheinen die Ausbreitung des Wurzelsystems in Breite und Tiefe zu fördern.

Die laterale Wurzelverstärkung von *Ailanthus altissima* ist grösser als dessen basale Wurzelverstärkung. Die laterale Wurzelverstärkung sinkt bei einem zunehmenden Abstand zum Stamm und ist bei Bäumen mit kleinerem BDH tiefer. Wie beim Wurzelsystem, scheint der Standort auch die Wurzelverstärkung zu beeinflussen.

Die laterale Wurzelverstärkung des Götterbaumes ist, verglichen mit der lateralen Wurzelverstärkung eines durchschnittlichen Waldbestandes im Tessin (15 kN/m), sehr tief. In einem hypothetischen, reinen *Ailanthus Altissima* Bestand mit Entwicklungsstufe 'Baumholz II' und einer Baumdichte von 200 Bäumen/ha entspricht die laterale Wurzelverstärkung ungefähr 0.8 kN/m. Da die meisten Wurzeln die Scherfläche nicht erreichen, hat die basale Wurzelverstärkung beim Schutz gegen oberflächliche Rutschungen keinen grossen Einfluss. Die meisten *Ailanthus altissi-*

ma Bäume haben nur eine einzige ausgeprägte Pfahlwurzel, welche tief in den Boden dringt. Aufgrund dieser Pfahlwurzeln könnte ein hypothetischer, reiner Götterbaumbestand mit einer fortgeschrittenen Entwicklungsstufe und einer hohen Baumdichte (600 Bäume/ha) einen grossen Beitrag zur Hangstabilisierung leisten (besser als einheimische Baumarten). Da es im Tessin jedoch keine reine *Ailanthus altissima* Bestände gibt, sondern die Bäume nur sporadisch innerhalb einheimischen Beständen verteilt sind, kann folgender Schluss gezogen werden: Zum Schutz gegen oberflächliche Rutschungen ist *Ailanthus altissima*, in all dessen Entwicklungsstufen, keine gute Alternative zu einheimischen Baumarten.



**Abbildung 1:** Wurzelsystem eines *Ailanthus altissima* Baumes mit einem BHD von 23.2 cm und einem Alter von 40 Jahren. Ausgegraben wurde der Baum im Untersuchungsstandort von Avegno. Die rote Linie zeigt die ursprüngliche Oberfläche des Bodens. Sichtbar ist auch die typische Zwiebelform des Stammes, der in einer ausgeprägten Pfahlwurzel endet. Der Rest des Wurzelsystems ist nicht gut entwickelt (keine feine- und nur wenige grobe Wurzeln).

Emanuele Dazio

## **L'effet sur le renfort radical de différents types de gestions à taillis dans le châtaigner. (The impact of different silvicultural management types of chestnut coppicing on root reinforcement)**

WSL, Cadenazzo

Masterarbeit; Leitung: Dr. Marco Conedera, WSL, Cadenazzo

Le rôle très important jouée par la forêt contre le détachement d'éboulements superficiels a été étudié et démontré, ainsi que le rôle important joués par les racines. Une grande partie des forêts au Tessin (et généralement au sud des alpes) est représentée par des forêts à taillis de châtaigner. Ces types de forêts était fréquent jusqu'à la seconde guerre et était gérés dans des tournes d'environ 30 années. A cause de la diminution d'intérêt économique, la grande majorité de ces forêts a été abandonné, par conséquence les souches deviennent instables et tombes. Les objectifs préfixés pour le présent travail sont l'investigation de la distribution des racines et le renforcement offert contre les éboulements de terrain de surface dans le cas de différents types de gestions de la forêt à taillis et l'utilisation de ces données pour permettre aux spécialistes de perfectionner la gestion de ces types de forêt.

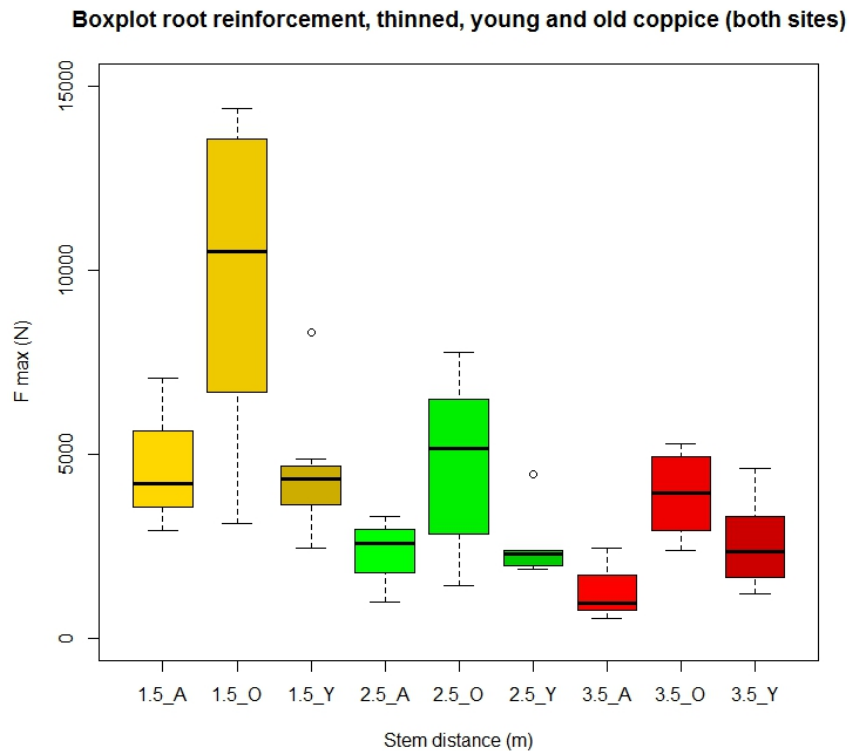
Les zones d'étude sont situées à Gerra Gambarogno et Bedano (Tessin, Suisse). Dans chaque zone d'étude, des différents types de gestion à taillis du châtaigner a été choisi : des parcelles à taillis jeune et géré caractérisée per différents traitement d'éclairci (pas de traitements vs éclairci à arbre) et différents provenances (semencier et de souche), en plus de ça des parcelles avec une forêt a taillis vieillis (âgées de plus de 70 ans) ont été étudiés. La méthode d'étude consiste dans l'excavation de profils (1m x 1 m env.) dans le sol à différentes distances de l'arbre (1.5, 2.5 et 3.5 m), la mensuration et l'enregistrement de toutes les racines visibles dans le profil. Dans une deuxième phase la résistance des racines du châtaigner a été testé et mesuré grâce à une machine spéciale ; les tests de « extraction » (*pullout*) ont été exécutés en champ, en cherchant de tester différents diamètres. Les données obtenues ont été utilisé dans le RBMw (Root Bundle Model, Schwarz et al., 2013) qui permet de calculer le renfort des profils testés.

Les résultats ont souligné la stratégie du châtaigner quand il est soumis à la coupe de taillis: la régénération des racines. Cette découverte a des importantes conséquences pour la stabilité des pentes, si le coupe de taillis prend place sur des pentes enclines à des éboulements superficielles. Les résultats ont aussi souligné une importante différence entre les taillis en tourne (jeune) et les vieillis hors de tourne ; pour arbre les vieil taillis de châtaigner offrent un renfort radicaux plus haut et de conséquence aussi une meilleur protection contre les éboulement de surface. Pas de différences importantes en termes de distribution radicale et conséquent renfort du sol ont pu être découvert entre les jeunes arbres (comme montré en fig. 1). Chaque intervention dans la phase juvénile semble ne pas influencer la distribution des racines et par conséquence le renfort offert. Les buts des interventions devraient viser à la stabilité du peuplement. Si possible, une stratégie silvicultural à long terme devrait viser à la conversion de peuplements de taillis de pure châtaigner vers une futaie mixte.

Avec les changements climatiques possibles dans les prochaines années, c'est aussi imaginable une augmentation d'événements extrêmes de précipitation qui pourront être la cause de déchainement d'éboulement de surface : une gestion efficiente de la forêt de protection va gagner toujours plus d'importance. Pour cette raison, des travaux de recherche similaires auront une grande importance en futur.

**Mots clés:** renfort radicaux, taillis de châtaigner, éboulement de surface, gestion à taillis





**Figure 1**

Boxplots du renfort calculé pour les différentes situations de gestions analysés, aux distances mesurées. A représente l'option A (éclaircie à arbre), O représente le taillis vieilli et Y le taillis jeune (option C, taillis en tourne pas traité). Dans l'option A trois arbres ont été recherchés, à Gerra Gambarogno ; les vieillis (O) et les jeunes taillis (C) dans les deux zones d'étude et résumés en ce cas six arbres par situation. Trois arbres individuels origine de semencier ne sont pas montrés dans le graphique.

#### Literature

Schwarz, M., Giadrossich, F., Cohen, D. (2013). Modeling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4367-4377.

# Berglandwirtschaft / Agriculture en montagne

Ariane Jedelhauser

## **Korporationen und Alpwirtschaft im Wandel – eine Fallstudie aus Sarnen, OW**

Universität Bern, CDE, Bern

Masterarbeit; Leitung: Prof. Dr. Stephan Rist und Dr. Karina Liechti, Universität Bern, CDE

### **Ausgangslage und Zielsetzung**

In der Wissenschaft ist die Debatte um die Commons von grosser Aktualität. Verschiedene Arbeiten befassen sich mit der Art, wie Ressourcen in sozio-ökologischen Systemen genutzt werden (Folke et al., 2005; Baur und Binder, 2013; Landolt und Haller, 2015). Es ist bekannt, dass Alpweiden in der Schweiz bereits im Mittelalter als kommunale Ressourcen verwaltet wurden. Bis heute sind 80 % der Sömmerungsgebiete der Schweiz im Eigentum von öffentlich-rechtlichen Körperschaften (Baur und Binder, 2013). Das Überleben dieser Institutionen über mehrere Epochen zeugt von einem grossen Nutzen und Wert dieser Organisationsformen sowie von deren Anpassungsfähigkeit an sich wandelnde Rahmenbedingungen. In Untersuchungen der Regionen Urserental, Grindelwald, Wallis und Graubünden konnte die Robustheit der kommunalen Bewirtschaftung von Alpweiden in der Schweiz wissenschaftlich gezeigt werden (Schaffner, 2007; Baur und Binder, 2013; Volken et al., 2002; Landolt und Haller, 2015). In Obwalden werden die Anfänge der genossenschaftlichen Bewirtschaftung der Alpweiden auf das 5. bis 7. Jahrhundert geschätzt (Omlin, 1913). Auf dem Gemeindegebiet von Sarnen haben sich seither vier Korporationen entwickelt: Kägiswil, Ramersberg, Schwendi und Freiteil.

Obschon die Bewirtschaftung der Alpen in Obwalden bereits Thema verschiedener wissenschaftlicher Arbeiten war (Omlin, 1913; Dietl und Lienert, 1972; Müller, 2011; Lauber et al., 2013), gibt es bisher keine Forschung über den institutionellen Wandel in den vier Korporationen von Sarnen und die Veränderungen in der Bewirtschaftung der Korporationsalpen. Im Rahmen dieser Masterarbeit soll dies nun untersucht werden.

Als theoretisches Bezugssystem dient das Social-ecological system Modell von Michael D. McGinnis und Elinor Ostrom (2014). Dieses Framework erlaubt eine strukturierte Analyse von Veränderungen in einem sozio-ökologischen System (Baur und Binder, 2013: 12).

Das methodische Vorgehen der Arbeit besteht aus Literaturanalyse, der Analyse statistischer Daten von Bund und Kanton sowie – als wichtigste Datenquelle – der Durchführung qualitativer Interviews mit der Kantonsverwaltung, mit Vertretern der vier Korporationen und mit Landwirtschaft betreibenden Korporationsbürgern. Die Datengrundlage ist zurzeit (25. Oktober) vorhanden, muss aber noch vertieft analysiert werden (siehe „Stand der Arbeit“).

### **Erste Ergebnisse**

In der kleinstrukturierten Landwirtschaft Obwaldens ist die Alpwirtschaft bis heute von grosser Bedeutung. Die Bewirtschaftung der Weiden in den höheren Lagen ermöglicht Bauern eine wichtige Existenerweiterung zum Heimbetrieb (Abächerli et al., 2004). Zu einem grossen Anteil sind die Alpen in Obwalden im Besitz von öffentlich-rechtlichen Körperschaften. Diese Institutionen regeln die Nutzung und die Vergabe der Nutzungsrechte für die Bewirtschaftung von Alpen, Allmenden und Wald (Omlin, 1913: 6; Fanger, 1956: 5ff).

In den letzten Jahrzehnten haben die Korporationen von Sarnen Veränderungen in Bezug auf ihre Organisationsstruktur, die soziale Zusammensetzung der Bürgerschaft und auf die Besitzverhältnisse sowie die ökonomische Ausrichtung erlebt. Das Korporationsgut hat sich diversifiziert. Einige Korporationen zählen heute auch Strassen, Immobilien, Hotels, Restaurants und Wärmeverbände zu ihrem Eigentum. Die Erträge aus der Alpwirtschaft sind seit einiger Zeit rückläufig. Da die Alpwirtschaft zudem infrastruktur- und personalintensiv ist, übersteigen die Kosten für den Erhalt der Alpen die Einnahmen aus der Alpwirtschaft. Dennoch ist für den Fall der vier Sarner Korporationen festzustellen, dass an der Alpwirtschaft festgehalten wird: in den letzten Jahren wurden mit Neubauten und Sanierungen von Alpgebäuden grosse Investitionen im Alpgebiet getätigt. Diese Investitionen gelingen dank der Quersubventionierung über den

Besitz von Immobilien und Bauland. Wirtschaftlich gesehen kann die Alpwirtschaft in den Korporationen also als ein Sink bezeichnet werden. Die Motivation der Korporationen die Alpwirtschaft zu unterstützen ist aber auch nicht primär von ökonomischen Interessen gesteuert. Als Gründe für die aktive Weiterführung der Alpwirtschaft geben die Akteure ihren Auftrag der Landschaftspflege, sowie ihre ideelle und emotionale Verbundenheit mit der Alpwirtschaft an. Zurzeit ist die Verknüpfung zwischen Korporation und Alpwirtschaft durch die persönliche Verbundenheit der aktuellen Korporationsmitglieder gewährleistet. Es stellt sich aber die Frage nach der Zukunft der Alpwirtschaft in den Korporationen. Wie wird sich die Verbindung zwischen Alpwirtschaft und Korporationen entwickeln, wenn der landwirtschaftliche Bezug der Bürgerschaft abnimmt?

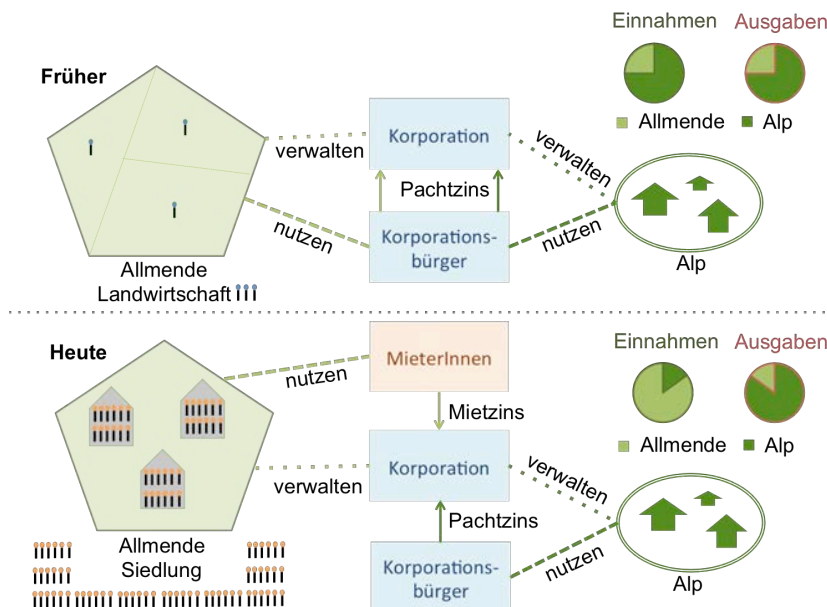
**Vorläufiges Fazit**

Für einen Teil der Sarner Korporationen kann eine Transformation der Bedeutung der Commons festgestellt werden. Das ursprüngliche Korporationsgut, bestehend aus Alpen, Allmenden, und Wald, und dessen Nutzung wurde in den letzten Jahrzehnten umgestaltet. Beispielsweise wurde Allmendland in Bauland umgezont und mit Mehrfamilienhäusern bebaut. Während die Allmende früher Korporationsbürgern und –bürgerinnen zur landwirtschaftlichen Nutzung zustand, vermietet die Korporation dort heute Wohnungen zu fairen Mietpreisen. Die Mieter und Mieterinnen sind nicht zwingend Nutzungsberechtigte Bürger und Bürgerinnen der Korporation. Die Zahl der Nutzer der Allmendfläche hat sich in der Folge vergrößert. Die Korporation hat somit einen Teil ihres Korporationseigentums öffentlich zugänglich gemacht und bietet eine soziale Dienstleistung an. Mit den Einnahmen aus den Mietzinsen kann die Korporation die Aufwände in der Alpwirtschaft decken und so deren Weiterbestand garantieren (siehe Abbildung). In wirtschaftlicher und ideeller Sicht haben die Korporationsgüter in den letzten Jahrzehnten somit einen wesentlichen Bedeutungswandel erfahren.

**Stand der Arbeit**

Die Datensammlung für die Masterarbeit ist abgeschlossen und die Ergebnisse werden gegenwärtig analysiert. Die Arbeit wird voraussichtlich bis Ende Februar fertiggestellt sein.

Die Masterarbeit ist an das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Regulierung von kollektiven Ressourcen im Wandel: Bürgergemeinden, Bourgeoisies und Patriziati in der Schweiz“ (SCALES) geknüpft ([http://www.anthro.unibe.ch/forschung/scales/index\\_ger.html](http://www.anthro.unibe.ch/forschung/scales/index_ger.html)). Im Rahmen dieses Projekts untersuchen Forschende aus Geschichtswissenschaften, Sozialanthropologie, Agrarwissenschaften, Politikwissenschaften und Humangeographie Kontinuitäten und Wandel in der Regulierung von Allmend-Ressourcen wie Weiden und Wälder.



**Abbildung:** Transformation von Bedeutung und Nutzung des Korporationsgutes (eigene Darstellung).

## Quellen

- Abächerli, B., Amgarten, M., Ettlin, N. 2004: Alpwirtschaft in Obwalden, Heute und Morgen, Expertenbericht. URL: <http://www.ow.ch/dl.php/de/20060113171756/> Alpwirtschaft+in+Obwalden+Heute+und+Morgen.pdf [aufgerufen am 27. September 2016].
- Baur, I. and Binder, C. R., 2013. Adapting to Socioeconomic Developments by Changing Rules in the Governance of Common Property Pastures in the Swiss Alps. *Ecology and Society* 18(4):60.
- Dietl, W., Lienert, L. 1972. Alpwirtschaft und Landschaftspflege im Gebiet Glaubenbüelen Obwalden. Sarnen, Oberforstamt Obwalden.
- Fanger, J. 1956. Die Alpwirtschaft Obwaldens in Vergangenheit und Gegenwart. Bern, Paul Haupt Verlag.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., Norberg, J. 2005. Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. *Annual Review of Environment and Resources* 30: 441-473.
- Landolt, G., Haller, T. 2015. Alpine Common Property Institutions under Change: Conditions for Successful and Unsuccessful Collective Action by Alpine Farmers in the Canton of Grisons, Switzerland. *Human Organization* 74 (1): 100-111.
- Lauber, S. et al. (Hrsg.). 2013. Zukunft der Schweizer Alpwirtschaft. Fakten, Analysen und Denkanstösse aus dem Forschungsprogramm AlpFutur. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL; Zürich-Reckenholz, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- McGinnis, M. D. and Ostrom, E. 2014. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society* 19(2): 30.
- Müller, P. 2011. Zeitliche und räumliche Veränderungen der Landnutzung dreier Alpen in Obwalden seit 1880. Masterarbeit am Departement Umweltwissenschaften an der eidg. technischen Hochschule ETH, Zürich. URL: [http://www.alpfutur.ch/src/2011\\_alppast\\_masterarbeit\\_mueller\\_red.pdf](http://www.alpfutur.ch/src/2011_alppast_masterarbeit_mueller_red.pdf) [aufgerufen am 21.03.17]
- Omlin, H. 1913. „Die Allmend-Korporationen der Gemeinde Sarnen (Obwalden)“. Der Geschichtsfreund: Mitteilungen des Historischen Vereins Zentralschweiz, 68.
- Schaffner, M. 2007. Die Korporation Ursern zwischen Beharren und Fortschritt. Vorläufige Bilanz eines Archiv- und Forschungsprojekts. *Geschichte der Alpen* 12: 101-114.
- SCALES. 2017. Institut für Sozialanthropologie, Universität Bern: [http://www.anthro.unibe.ch/forschung/scales/index\\_ger.html](http://www.anthro.unibe.ch/forschung/scales/index_ger.html) [aufgerufen am 31.3.2017]
- Volken, T., Kissling-Näf, I., Zimmermann, W. 2002. Die Nutzung von Alpweiden im Wandel. Fallstudie Brieschern.. ETH Zürich, Schweiz. URL: [http://www.pepe.ethz.ch/publications/archive/weitere\\_publicationen/2002/fallstudie\\_brieschern\\_2002.pdf](http://www.pepe.ethz.ch/publications/archive/weitere_publicationen/2002/fallstudie_brieschern_2002.pdf) [aufgerufen am 14. März 2017].

Rahel Wunderli

## **Berglandwirtschaft im Strukturwandel – Bauern/Bäuerinnen in Ursern (UR) und politische Institutionen während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts**

Universität Basel, Dep. Geschichte, Basel

Dissertation; Leitung: Prof.em. Dr. Martin Schaffner, Dep. Geschichte, Universität Basel

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat die Landwirtschaft in den Berggebieten einen rasanten und tiefgreifenden Wandel erlebt. Dieser Prozess, der nach wie vor anhält, betrifft nicht nur die einzelnen Betriebe und die Bevölkerung in den Alpentälern, sondern ist von gesamtgesellschaftlicher Relevanz. Einerseits wirkt er auf den Zustand einer beachtlichen Fläche des Schweizerischen Kulturlandes und beeinflusst somit Gebiete, die als „Freizeit- und Erholungsräume“ von überregionalem Interesse sind. Andererseits verändert er das Bild des „Bergbauern“ – einer Figur, die für das nationale Selbstverständnis lange Zeit von hoher Bedeutung war und auch heute in den politischen Auseinandersetzungen um die Zukunft der Landwirtschaft oder der Bergregionen eine Rolle spielt.

Die vorliegende, zeitgeschichtlich konzipierte Dissertation verfolgt die Absicht, die als „Strukturwandel“ bezeichneten landwirtschaftlichen Veränderungen in ihrer Vielschichtigkeit und Komplexität zu analysieren und die involvierten Akteure sowohl in ihren spezifischen Profilen als auch in ihren Interaktionen zu beschreiben. Untersuchungsort ist das Hochtal Ursern im Kanton Uri.

Anhand von Agrarstatistiken und Oral History Interviews zeichnet die Autorin die Entwicklung im Tal seit der Jahrhundertmitte nach. Dank den Erzählungen der befragten Bauern und Bäuerinnen (sowohl aktive als auch ehemalige BetriebsinhaberInnen) rücken neben statistisch erfassten Komponenten wie der Anzahl Landwirtschaftsbetriebe, der Anzahl Arbeitskräfte oder der Grösse der bewirtschafteten Flächen auch schriftlich kaum dokumentierte Bereiche wie der Arbeitsalltag, die Beziehungen innerhalb der bäuerlichen Familien oder die Beziehung zwischen Mensch und Tier in den Fokus der Untersuchung. Das Aufeinander-Beziehen von statistischen Informationen und mündlichen Aussagen ermöglicht es, die Wahrnehmung des Wandels durch die betroffenen Akteure relativ präzise zu fassen.

Beim Nachzeichnen der Veränderungen in Ursern zeigen sich sowohl allgemeine Trends in der Berglandwirtschaft als auch spezifisch lokale Bedingungen. Zu letzteren gehört insbesondere die kollektive Verwaltung sämtlicher Alpweiden im Tal. Die Korporation Ursern, Eigentümerin dieser Flächen, wird in einem weiteren Teil der Dissertation denn auch eingehend als agrarpolitische Akteurin untersucht – neben dem Kanton Uri und dem Schweizerischen Bundesstaat. Die institutionengeschichtliche Darstellung richtet den Blick auf den „Strukturwandel“ als politischen Prozess, auf Steuerungsmassnahmen und auf Ohnmacht angesichts unkontrollierbarer Eigendynamiken. Das stark kantonal geprägte landwirtschaftliche Bildungswesen erhält eine separate Betrachtung. Wie bei den bäuerlichen Akteuren stehen auch bei der Untersuchung der agrarpolitischen Institutionen auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene ihre Wahrnehmung des Wandels sowie ihr Ausloten von und Agieren in jeweils spezifischen Handlungsspielräumen im Fokus.

Die Arbeit ist im Rahmen langjähriger historischer Forschungen im Urserntal unter der Leitung von Prof. em. Dr. Martin Schaffner entstanden und am Departement Geschichte der Universität Basel eingereicht worden. Publiziert wurde sie 2016 im Verlag Gisler Medien, Altdorf.



**Abbildung:** Aspekte von Berglandwirtschaft damals und heute: Kollektiver Wildheutransport in Realp um 1960 und Emden auf Hospentaler Privatflächen im Sommer 2016.

Nora Rieder und Yasemin Kurtogullari

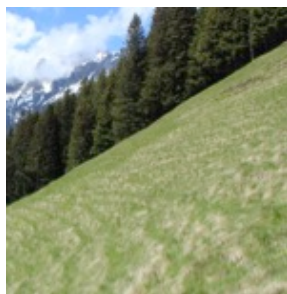
## Wie können Bewirtschaftungsvorgaben im Hinblick auf eine Bewahrung der Artenvielfalt der Borstgrasrasen optimiert werden?

Universität Bern, Institut für Ökologie und Evolution, Bern

Masterarbeit; Leitung: Dr. Jean-Yves Humbert, Universität Bern, Institut für Ökologie und Evolution



**Abb. 1:** Purpur-Enzian (*Gentiana purpurea*), eine Borstgrasrasen-Indikatorart



**Abb. 2: 1.** Degradationstrend: Zunahme vom Borstgras (*Nardus stricta*)



**Abb. 3: 2.** Degradationstrend: Zunahme von Fettwiesen-arten



**Abb. 4:** Heuschreckendichte und -artenzahl wurden in allen Borstgrasrasen erfasst

Artenreiche Borstgrasrasen wachsen auf sehr saurem Boden in den Alpen und im Jura. Sie beherbergen besondere Pflanzenarten wie Purpur-Enzian (*Gentiana purpurea*, Abb. 1) und Schwarzes Männertreu (*Nigritella nigra*). Die schönsten und grössten Borstgrasrasen im Kanton Bern sind seit 2001 unter Schutz gestellt und werden gemäss Bewirtschaftungsverträgen extensiv bewirtschaftet. Im Jahr 2014 wurde bei einer Erhebung aller Trockenwiesen und -weiden des Kantons Bern trotz des bestehenden Schutzes eine starke Degradierung der Borstgrasrasen festgestellt. Zum einen sind die artenreichen Borstgrasrasen durch eine zunehmende Dominanz des namensgebenden Borstgrases (*Nardus stricta*, Abb. 2) und zum anderen durch eine Zunahme von Fettwiesenarten bedroht (Abb. 3). Beide Degradierungstrends führen zu einem Verlust der Artenvielfalt. Im Fall einer zunehmenden Dominanz des Borstgrases kommt es nebst dem Rückgang der Artenvielfalt zu einer agronomischen Wertverminderung, da das Borstgras einen tiefen Futterwert hat und wegen seinen zähen Blättern vom Vieh nur spärlich gefressen wird.

Im Sommer 2016 haben wir 20 artenreiche und 28 degradierte Borstgrasrasen im Berner Oberland untersucht. Wir haben Vegetationsaufnahmen, Bodenanalysen sowie Bewirtschaftungsinterviews mit den Bauern und Bäuerinnen durchgeführt. Um die Auswirkung der Borstgrasrasen-Degradation auf höhere trophische Ebenen zu untersuchen, haben wir deren Einfluss auf die Artenvielfalt und Dichte der Heuschrecken untersucht (Abb. 4). Heuschrecken sind wegen der Intensivierung der Landwirtschaft und dem damit verbundenen Lebensraumverlust eine stark bedrohte Artengruppe in der Schweiz. Dies ist ebenfalls für Tiere höherer trophische Ebenen wie Vögel und Reptilien problematisch, für welche Heuschrecken eine wichtige Nahrungsquelle bilden.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass weit mehr Weiden (beweidet) als Wiesen (gemäht) degradiert sind. Extensives Mähen ohne Beweidung, wie es bereits durch die kantonalen Regelungen verordnet wird, eignet sich ausgezeichnet, um artenreiche Borstgrasrasen mit hoher Qualität zu erhalten. Weiden hingegen sind trotz der bestehenden Schutzmassnahmen oft degradiert.

Um die Qualität der Borstgrasrasen numerisch zu erfassen, haben wir die Anzahl Borstgrasrasen-Indikatorarten (dazu gehören z.B. die bereits erwähnten Arten *G. purpurea* und *N. nigra*, aber auch weitere typische Arten der Borstgrasrasen wie Arnika, *Arnica montana* und die Bärtige Glockenblume, *Campanula barbata*) pro Vegetationsaufnahme gezählt. Insgesamt haben wir festgestellt, dass hochgelegene Borstgrasrasen (ab 1600 m. ü. M) mehr solche Borstgrasrasen-Indikatoren aufweisen als tiefergelegene Borstgrasrasen und damit eine höhere Qualität aufwei-



sen. Dies hängt auch mit der Bewirtschaftung zusammen: Sömmerungsweiden, die nur einmal pro Jahr bestossen werden und oft in hohen Lagen zu finden sind, weisen mehr Borstgrasrasen-Indikatoren auf als Vor- und Herbstweiden (Abb. 5). Ausserdem sind die Böden der qualitativ hochwertigen Borstgrasrasen durch ein hohes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis charakterisiert. Dieses Verhältnis zeigt, dass die Böden ein tiefes Nährstoffangebot aufweisen und daher nicht attraktiv sind für die sehr konkurrenzstarken Fettwiesenarten.

Bei der Analyse der Degradationstrends haben wir festgestellt, dass mehr Sommerweiden von Borstgras dominiert waren als Weiden, die im Frühling und im Herbst beweidet wurden (Abb. 5). Dies könnte damit zusammenhängen, dass Sommerweiden im Schnitt länger beweidet werden als Vor- und Herbstweiden (Abb. 5). Durch das lange, aber wenig intensive Beweiden wird das Vieh nicht gezwungen, das zähe Borstgras zu fressen und das Borstgras kann sich dadurch ausbreiten. Ebenfalls hat der Zeitpunkt der ersten Beweidung einen Einfluss auf die Häufigkeit des Borstgrases. In unserer Studie wurden Vor- und Herbstweide durchschnittlich 12 Tage früher bestockt als Sommerweiden. Wird eine Weide früh bestockt, wenn das Borstgras weich und nährstoffreich ist, wird es stärker vom Vieh gefressen als bei einer Beweidung später im Jahr. Der zweite Degradationstrend der Zunahme von Fettwiesenarten ist hauptsächlich in Weiden ein Problem, die mehrmals pro Jahr beweidet werden (Abb. 5). Die Fettwiesenarten waren stark abhängig von einem tiefen Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis im Boden. Die Bewirtschaftenden haben gegenüber dem Kanton Bern angegeben, dass leichte Düngungsgaben in der Vergangenheit die Zunahme des Borstgrases verhindert haben. Sie schlagen vor, mit schwachem Düngen das Borstgras in einem gewünschten Ausmass zu halten. Durch die Zugabe von Düngemittel würde jedoch das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis sinken und dadurch die Fettwiesenarten fördern und die für Borstgrasrasen spezifische Flora verdrängen.

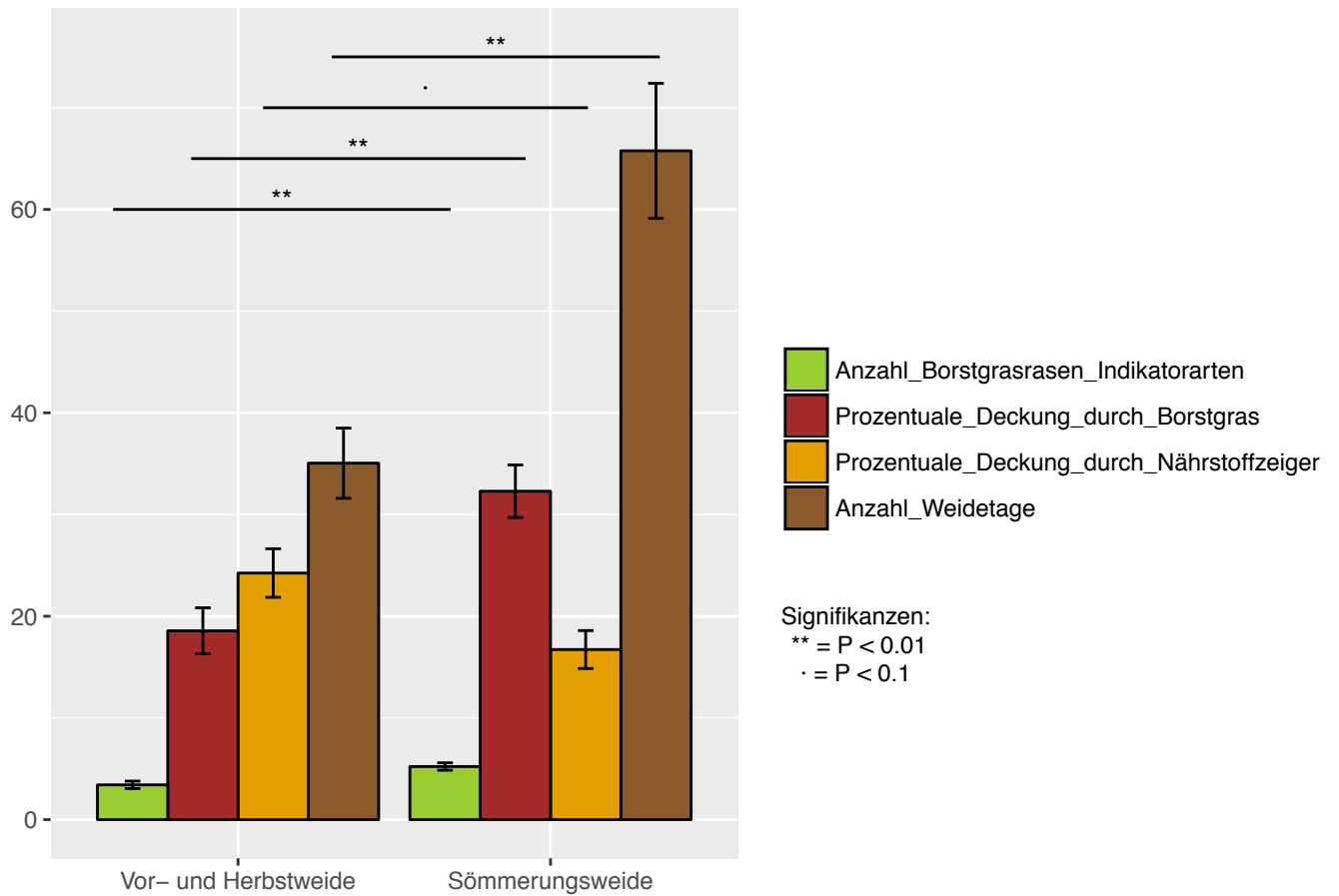
Des Weiteren haben wir festgestellt, dass Heuschrecken durch die Degradation von Borstgrasrasen beeinträchtigt sind. In Weiden, die von Borstgras dominiert sind, haben wir eine tiefe Heuschrecken-dichte gefunden und in Weiden mit hoher Deckung von Fettwiesenarten eine tiefe Heuschrecken-artenvielfalt. Diese Resultate zeigen die Wichtigkeit der Erhaltung und Wiederherstellung von Borstgrasrasen für Arten höherer trophische Stufen und bieten einen weiteren Grund zum Schutz dieses Lebensraums. Wir haben in Weiden eine höhere Heuschreckenvielfalt und -dichte als in Wiesen. Dies lässt sich hauptsächlich auf deren Vorliebe für hohe und strukturreiche Vegetation zurückführen, was nach der Mahd nicht mehr gegeben ist. Ausserdem führt die Mähmaschine oft zum direkten Tod der Heuschrecken. Um Schutz vor der Mähmaschine und eine förderliche Vegetation auch nach der Mahd zu gewährleisten, könnte jeweils nicht die ganze Wiese gleichzeitig gemäht werden. In einigen Wiesen am Niesen (in sogenannten „Eger-Mähdern“) wird seit Jahrzehnten jährlich nur die Hälfte der Wiese gemäht und im darauffolgenden Jahr die andere Seite. Dies ist sicherlich eine geeignete Mähmethode, um Heuschrecken und auf Heuschrecken angewiesene Tiere zu fördern.

Um diesen seltenen Graslandtyp weiterhin artenreich und einzigartig zu erhalten, schlagen wir folgende Bewirtschaftungsmöglichkeiten vor. Jährliches Mähen ohne Beweidung kann artenreiche Borstgrasrasen gut erhalten und sollte weiterhin praktiziert werden. In Weiden könnte ein Säuberungsschnitt im Herbst helfen, die Borstgrasrasen artenreich zu halten.

Eine starke Dominanz vom Borstgras in Weiden kann mit einer frühen Beweidung limitiert werden. Ausserdem könnten temporäre Zäune, welche Weiden in kleinere Bereiche unterteilen und nach vollständigem Abgrasen umgestellt werden, helfen, den Weidedruck auf das Borstgras zu erhöhen und somit dessen Häufigkeit zu reduzieren. Andere Forschungsgruppen empfehlen die Errichtung solcher Zäune auch zur Reduktion von Fettwiesenarten. Diese Zäune sollen helfen, den Mist und Weidedruck gleichmässig auf die ganze Fläche zu verteilen und vermindern so eine räumliche Anhäufung von Nährstoffen. Wichtig ist bei der Bewirtschaftung auf die Standortfaktoren zu achten und entsprechend dem vorliegenden Degradationsgrund zu bekämpfen: Wird die Weide sehr schwach beweidet (wie es bei Sömmerungsweiden oft der Fall ist), ist die Domi-

nanz vom Borstgras ein Problem. Wird die Weide jedoch stärker bestockt (oft Vor- und Herbstweiden), sollte zur Verhinderung der Fettwiesenartendominanz der Nährstoffeintrag reduziert werden.

Unsere Arbeit bietet eine wissenschaftliche Grundlage für den Schutz und Erhalt eines wichtigen und grossräumigen Lebensraums unserer Alpen und wir freuen uns, sie an der Phil. Alp-Tagung vorzustellen.



**Abb. 5:** Der Einfluss der Bewirtschaftungsform auf die Borstgrasrasen-Qualität (grün), die Borstgras- (rot) und Fettwiesenarten-deckung (orange) sowie die Anzahl Tage der Beweidung (braun).

# Landschaftswandel / Paysage en transition

Leandra Reitmeier-Naef

## **Vom Erz zum Metall - Prähistorische Kupfergewinnung im Oberhalbstein (GR)**

Universität Zürich, Institut für Archäologie, Zürich

Dissertation; Leitung: Prof. Dr. Ph. Della Casam, Institut für Archäologie, Universität Zürich

Bereits Ötzi, der Mann im Eis, trug vor über 5000 Jahren neben den üblichen Steingeräten auch ein Beil aus Kupfer bei sich. Bis sich dieser metallische Rohstoff, der sich nur mittels pyrotechnischer Verfahren gewinnen und verarbeiten lässt, als Werkstoff in Europa durchsetzte, vergingen aber noch mehrere Jahrhunderte. Erst im zweiten vorchristlichen Jahrtausend wird mit Zinn zu Bronze legiertes Kupfer zu einem allgegenwärtigen Material, das dieser Epoche – der Bronzezeit – auch ihren Namen gab.

Während Kupfer in einer frühen Phase an vielen Orten der Welt in Form von reichen Erzen oder Oxidationsprodukten (z.B. Malachit, Azurit, gediegenes Kupfer etc.) leicht zugänglich und auch einfach zu verarbeiten war, wurde die Rohstoffproduktion mit steigender Nachfrage komplexer. Ab der Mitte des 2. Jt. v.Chr. wurden vermehrt auch schwieriger zu verarbeitende, eisenhaltige sulfidische Kupfererze im grossen, beinahe industriellen Masse abgebaut und verarbeitet.

Die Spuren dieser intensiven primären Metallurgie lassen sich heute noch in zahlreichen Revieren, insbesondere in den Ostalpen (z.B. Mitterberg und Kitzbühel, Österreich) archäologisch nachweisen. Neben dem eigentlichen Abbau, der zu diesem Zeitpunkt bereits als hochstehender, ausgedehnter Untertagebau betrieben wurde, sind auch die zugehörigen Schmelzplätze in grosser Zahl überliefert. An diesen Fundstellen finden sich die Überreste von pyrotechnischen Installationen wie Röstbette und Schmelzöfen, in denen das Erz durch ein komplexes, mehrstufiges Verfahren zu Kupfer reduziert wurde. Ein weiteres charakteristisches Element dieser Plätze sind enorme Halden aus Verhüttungsschlacken – dem Abfallprodukt des Schmelzprozesses. Die Schlacken sind für die Montanarchäologie eine wichtige Quellengattung, da sie oftmals die einzigen aussagekräftigen Überreste der Metallgewinnung darstellen, während der produzierte Wertträger (Kupferstein, Schwarzkupfer) im archäologischen Befund in der Regel vollständig fehlt.

Im Gegensatz zum benachbarten Ostalpenraum, sind auf dem Gebiet der heutigen Schweiz bisher nur aus einer einzigen Region Überreste einer solchen Kupfergewinnung greifbar: In der Region Oberhalbstein, in Mittelbünden. Zwischen Stierva im Albulatal und der Julierpasshöhe finden sich mehrere Duzend Schmelzplätze sowie vereinzelt auch Spuren prähistorischen Erzbergbaus.

Erste Schlackenhalde wurden bereits in den 1930er Jahren bei Bauarbeiten entdeckt, bis weit in die zweite Hälfte des 20. Jh. jedoch fälschlicherweise als Überreste einer urgeschichtlichen Eisenproduktion angesprochen. Zu einer grossflächigen, systematischen Untersuchung dieses Phänomens kam es in den Folgejahren trotz diverser Initiativen seitens interessierter Forscher nicht.

Seit 2013 wird dieses Desiderat nun durch den Fachbereich Prähistorische Archäologie der Universität Zürich aufgearbeitet, seit 2015 im Rahmen eines trinationalen lead-agency Projektes in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck und dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum. In diesem Projekt wird auch die hier vorgestellte Dissertation verfasst, die sich unter den drei Schlagworten Raum, Prozess und Produktion zusammenfassen lässt:

### **Raum**

Zu Beginn der Untersuchungen lag bereits ein Verzeichnis der bisher bekannten, rund 40 montanarchäologischen Fundstellen im Raum Oberhalbstein vor. Auf dieser Grundlage erfolgten zwischen 2014 und 2017 ausgedehnte, mehrwöchige Geländesurveys mit dem Ziel, bereits bekannte Fundstellen neu zu dokumentieren (genaue Vermessung, einheitliche Beschreibung, Illustration). Im Zuge dieser Tätigkeit konnten ausserdem 30 neue Verhüttungsplätze entdeckt werden, sodass inzwischen 70 entsprechende Fundstellen bekannt sind. Die auf 1100-2000 m

gelegenen Schmelzplätze sowie die auf bis zu 2500 m Höhe gelegenen Bergwerke wurden in einem GIS-basierten Fundstelleninventar zusammengefasst, um eine räumliche Auswertung der erhobenen Daten zu gewährleisten (vgl. «Produktion»).

Besonders vielversprechende Fundstellen wurden ausserdem geomagnetisch prospektiert, um die oberflächlich meist nicht mehr sichtbaren Strukturen (Röstbette, Öfen, Schlackenhalde) genauer lokalisieren und charakterisieren zu können, ohne Bodeneingriffe vornehmen zu müssen. Diese Messungen wurden durch Bohrungen überprüft und bieten so eine wichtige Grundlage für künftige archäologische Feldarbeiten (v.a. gezielte Ausgrabungen).

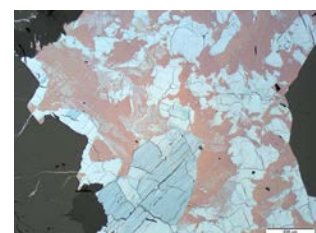
Neben der archäologischen Fundstellenprospektion spielte auch die Re-Evaluation der bekannten Vererzungen eine wichtige Rolle. Die exakte Zusammensetzung des lokal anstehenden Erzes war einerseits ausschlaggebend für die Prozessführung und beeinflusst gleichzeitig die Zusammensetzung des Fertigproduktes, des Kupfers. Mit Hilfe dieser lokalspezifischen «Signatur» können in einem späteren Schritt z.B. Fertigprodukte aus dem Mittelland auf ihre Herkunft überprüft oder die potentiellen Absatzgebiete des Oberhalbsteiner Kupfers evaluiert werden.

### Prozess

Trotz intensiver, jahrzehntelanger Forschung ist es bisher nicht gelungen, den urgeschichtlichen Verhüttungsprozess zur Gewinnung von Kupfer aus Chalkopyrit («Kupferkies»,  $\text{CuFeS}_2$ ) umfassend zu rekonstruieren und experimentell nachzuvollziehen. Dies hat möglicherweise damit zu tun, dass entsprechende Untersuchungen i.d.R. ausschliesslich auf naturwissenschaftlicher *oder* archäologischer Grundlage beruhen. In der hier zusammengefassten Arbeit wurde dieser Problematik mit Hilfe einer explizit interdisziplinären Herangehensweise begegnet, die sich aus der Verknüpfung archäologischer und mineralogischer Methoden zusammensetzt. Die entsprechende Argumentationskette besteht aus der typologischen Auswertung von über 16'000 Schlackenfragmenten sowie der geochemischen und mineralogischen Analyse an exemplarischen Schlacken- und Erzproben. Mit Hilfe ethnografischer und archäologischer Vergleiche wird auf dieser Grundlage eine integrative Prozessrekonstruktion vorgeschlagen.

### Produktion

Die Zusammenführung der Ergebnisse aus den beiden ersten Themenkreisen «Raum» und «Prozess», erweitert um die zeitliche Dimension, führt zu interessanten, teilweise überraschenden Ergebnissen. So zeigt sich etwa, dass die Kupfergewinnung in der tiefer gelegenen, nördlichen Talstufe rund um Savognin tendenziell etwas früher einsetzt und ein geochemisch anders zusammengesetztes Ausgangsmaterial verarbeitet wurde, als dies in der oberen, südlichen Talstufe rund um den Marmorerasee der Fall ist. Bemerkenswerterweise korrespondieren auch die Ergebnisse der typologischen Untersuchung am Schlackenmaterial mit diesem Trend: von insgesamt drei definierten Typen ist je einer deutlich häufiger in einem der beiden Talbereiche vertreten, während der dritte an allen Fundstellen nachgewiesen werden kann. Aus der Kombination räumlicher, zeitlicher, typologischer und geochemischer Daten kann so ein Modell der technologischen Entwicklung und Produktionsdynamik innerhalb der Untersuchungsregion erarbeitet werden. Besonders wichtig ist auch die davon ausgehende Vergrösserung des Betrachtungsrahmens: durch den Vergleich mit benachbarten Revieren in den Süd- und Ostalpen lassen sich nun die Dynamik eines grossräumigen, inneralpiner Technologietransfers sowie regionalspezifische Adaptionsprozesse nachvollziehen. Diese Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage zur Quantifizierung der Produktivität und somit zur Modellierung der wirtschaftlichen Bedeutung einzelner alpiner Bergbauregionen in unterschiedlichen Abschnitten der Urgeschichte.



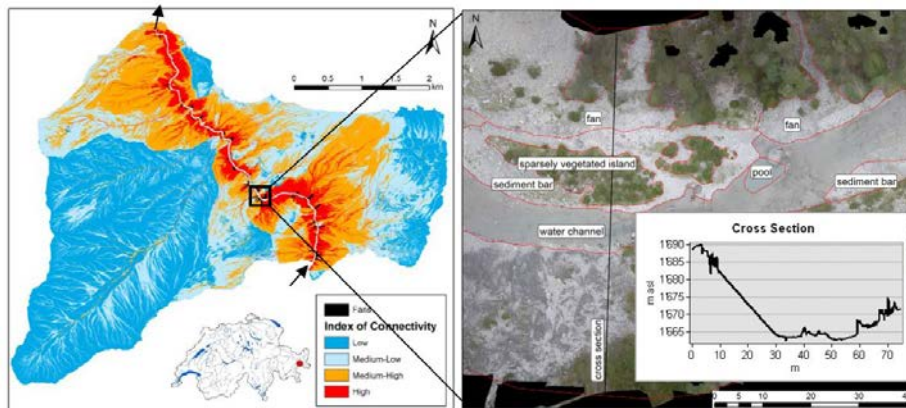
Salome Schläfli

## **Der Einfluss von Fließregulation auf die Morphodynamik von Flüssen am Beispiel des Spöl (Schweizerischer Nationalpark)**

Universität Bern, Institut für Geologie; Universität Genf, Institute for Environmental Science (ISE)

Masterarbeit; Leitung: Dr. Virginia Ruiz-Villanueva, Prof. Fritz Schlunegger, Prof. Markus Stoffel

Die natürliche Morphodynamik von Flüssen wurden für Jahrzehnte beeinflusst durch die Regulation von deren Fließregimen. Dieses Paradigma im Flussmanagement hat sich in den letzten Jahren verändert und in einigen Fällen wurden Regime-basierende Kriterien angewendet um die Integrität von Flüssen wieder zu entdecken und zu fördern. Ein herausragendes Beispiel ist der Spöl im Schweizerischen Nationalpark (SNP). Im Jahr 2000 wurde dort ein langzeitliches Fließregulationsprogramm gestartet (mit der Auslösung von 2-3 hohen Abflüssen pro Jahr). Eines der Hauptziele dieses Projekts ist es, die morphologische Heterogenität und somit auch die Habitatverteilung im Fluss zu verbessern. Nach 16 Jahren künstlicher Hochwasser zeigen viele Studien, dass der Fluss Teile seines ursprünglichen Bergbachcharakters zurückgewonnen hat. Die künstlichen Hochwasser scheinen Spuren der Regulation abzuschwächen. Doch die morphodynamischen Effekte sind noch nicht vollständig verstanden und es gibt aktuell keine detaillierte, morphologische Karte des Spöl. Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, diese Lücke zu schliessen und das Verständnis über den Einfluss von Fließregulation auf Flussmorphodynamik zu vertiefen. Die Forschungsfragen lauten: (1) Wie heterogen ist die aktuelle Morphologie des Spöl nach mehreren Jahren der Fließregulation? (2) Wie können Drohnen eingesetzt werden um fluviale Merkmale zu identifizieren, klassifizieren und kartieren und um geomorphologische Veränderungen zu überwachen? (3) Welche Reaktionen zeigt der Spöl in seiner Morphodynamik auf die Fließregulation? Um diese Fragen zu beantworten wurden Feld- und Laboruntersuchungen kombiniert. Die Feldarbeiten bestanden darin, Beobachtungen und Messungen vor Ort aufzunehmen und mit Drohnen Luftbilder zu erfassen, um damit ein hochaufgelöstes, digitales Oberflächenmodell und ein Orthofoto zu erstellen mit Hilfe von Agisoft Photoscan Pro. Die Herangehensweise beinhaltet die folgenden drei Schritte: (1) eine topografische Sediment-Konnektivitätsanalyse des Einzugsgebiets, (2) eine historische Analyse von Luftbildern von 1946 bis 2013 und (3) eine hochaufgelöste Charakterisierung und Kartierung der derzeitigen Morphologie. Die Drohnenflüge wurden im Sommer 2017 durchgeführt. Dazu wurde die vom SNP zur Verfügung gestellte AscTec Falcon 8 mit der RGB Kamera Sony Alpha NEX-7 bestückt. Die Sediment-Konnektivität wurde mit der Berechnung eines Konnektivitätsindex mit Hilfe des Programms SedInConnect 2.3 (Crema et al., 2015) analysiert. Die Werte des Konnektivitätsindex (IC) sind in vier Klassen unterteilt (Figure 2 links). Das Endresultat zeigt, dass die Hauptsedimentquellen, die Schuttfächer, gut mit dem Fluss verbunden sind und auch die einzigen Sedimentquellen darstellen. Einige Nebenbäche sind mittelstark verbunden, aber im grossen Ganzen beschränkt sich die gute Konnektivität auf die steilen Böschungen, die den Fluss begrenzen. Das Orthofoto zusammen mit dem Oberflächenmodell ermöglichen die Identifikation, Klassifikation und Kartierung der grundlegenden fluvialen Strukturen. Die geomorphologische Klassifikation basiert auf konsistenten und relevanten Richtlinien (Buffington & Montgomery, 2005; Demarchi et al., 2016; Grunell et al., 2014; Rinaldi et al., 2015; Wheaton et al., 2015). Figure 2 (rechts) zeigt einen Ausschnitt des erstellten Orthofotos mit den darauf kartierten geomorphologischen Einheiten und einem Profil durch das Oberflächenmodell. Der bewachsene (und deshalb erhöhte) Teil der Kiesbank ist auf dem Querschnitt deutlich zu erkennen. Die Messungen auf dem Orthofoto wurden durch Feldmessungen überprüft und weisen eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern auf.



**Figure 2** – Links: Sedimentquellen (Schuttfächer) und Konnektivitätsindex-Klassen für den Spöl im SNP, Schweiz; Rechts: Flussabschnitt mit geomorphologischen Einheiten und einem Querschnitt.

Das bessere Verständnis der räumlichen Verteilung von fluvialen Geländeformen oder geomorphologischen Einheiten wird über die fluvialen Prozesse im Fluss (z. B. Erosion und Sedimentation) aufklären und wird helfen, Flusshabitate zu definieren und analysieren. So werden die erwarteten Resultate ein wichtiges Werkzeug sein für den SNP und für das Fließregulationsprogramm im Speziellen. Weiterführend werden die Resultate Kenntnisse über den Einsatz von Drohnen zur Überwachung von fluvialen Prozessen erweitern und so ein Gewinn für Forschere Kreise im generellen sein. Ergebnisse werden auch biologischem und ökologischem Monitoring des Spöl und anderen Fluss-Restaurationsprogrammen beigesteuert (z. B. zur Charakterisierung von Habitaten). Voraussichtlich wird das Projekt im Sommer 2018 abgeschlossen.

### Verdankungen

Das Projekt ist zu Teilen durch die Swiss academies of arts and science ICAS unterstützt, wir danken Thomas Scheurer für seine Unterstützung. Wir danken dem Schweizerischen Nationalpark mit Ruedi Haller, Samuel Wiesmann, Christian Rossi, wie auch dem HYDRA Büro für Gewässerökologie Mürle und Ortlepp mit Johannes Ortlepp, Marjorie Perroud (Universität Genf), und Gabriela Schär für deren Unterstützung und Mithilfe bei den Feldarbeiten. (Projektetails: [http://4dweb.proclim.ch/4dcgi/parkforschung/de/Detail\\_Project?ch-6000](http://4dweb.proclim.ch/4dcgi/parkforschung/de/Detail_Project?ch-6000))

### Referenzen

- Buffington, J. M., & Montgomery, D. R. (2005). Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In *Treatise on Geomorphology* (Vol. 9, pp. 171–204). <https://doi.org/10.1002/0470868333.ch7>
- Crema, S., Schenato, L., Goldin, B., Marchi, L., & Cavalli, M. (2015). Toward the development of a stand-alone application for the assessment of sediment connectivity. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*, 34, 58–61. <https://doi.org/10.33.01/ROL.2015.37>
- Demarchi, L., Bizzi, S., & Piégay, H. (2016). Hierarchical object-based mapping of riverscape units and in-stream mesohabitats using lidar and VHR imagery. *Remote Sensing*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/rs8020097>
- A.M. Gurnell, M. Bussetini, B. Camenen, M. González Del Tánago, R.C. Grabowski, D. Hendriks, A. Henshaw, A. Latapie, M. Rinaldi and N. Surian (2014) A hierarchical multi-scale framework and indicators of hydromorphological processes and forms. Deliverable 2.1, Part 1, of REFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), a Collaborative project (large-scale integrating project) funded by the European Commission within the 7th Framework Programme under Grant Agreement 282656.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussetini, M. (2015). A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management. *Geomorphology*, 251(November), 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.010>.
- Wheaton, J. M., Fryirs, K. A., Brierley, G., Bangen, S. G., Bouwes, N., & O'Brien, G. (2015). Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. *Geomorphology*, 248 (August 2016), 273–295. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.010>.
- Produit Timothée, Ingensand Jens

Timothée Produit

## **Visualisation et analyse du changement paysager grâce à des photographies historiques géolocalisées par les citoyens**

University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Territorial Engineering Institute, Yverdon-les-Bains

Projet de recherche; Responsable: Prof. Jens Ingensand, HEIG-VD, Yverdon-les-Bains

Les zones de montagne sont métamorphosées par les activités humaines, le changement est soit directe (construction d'infrastructure), soit indirecte (réchauffement climatique). Pour comprendre ces transformations dans la durée, il est nécessaire d'avoir des outils pour le monitoring et l'analyse du changement. Les changements paysagers sont très lents à l'échelle humaine. Il faut donc aussi des outils simples et efficaces pour les démontrer au grand public afin d'illustrer l'impact du changement climatique et des politiques d'aménagement du territoire par exemple.

Actuellement, deux sources de donnée télédéteectées sont utilisées pour le monitoring du changement paysager dans le milieu alpin: 1) les images satellites dont la limitation est qu'elles ne remontent qu'à 1972 avec une résolution spatiale très grossière, 2) les campagnes de photogrammétrie (dès 1915 en Suisse), ces images peuvent être utilisées pour générer des modèles 3D et des orthophotos.

D'autre part, les photographies du paysage représentent le paysage dès le milieu du 19ème siècle. Contrairement aux images photogrammétriques qui sont essentiellement des vues verticales, les photographies classiques ont un point de vue oblique qui est proche de notre point de vue naturel. Généralement, ces photographies ne peuvent pas être utilisées dans des logiciels de photogrammétrie standard. Plusieurs logiciels "maison" ont été développés par des chercheurs suisses pour calculer la position d'une photographie et en extraire de l'information géographique. Ces logiciels permettent aux scientifiques d'extraire des indicateurs du changement paysager comme par exemple l'étendue d'une catastrophe naturelle ou l'évolution d'une région.

Pour communiquer le changement au grand public, la visualisation du changement est suffisante et même parfois plus explicite que des statistiques sur des indicateurs. Dans ce domaine, *swiss-topo* a développé une application web qui permet de visualiser le changement au travers de l'évolution des cartes topographiques. *Google Earth* fait de même avec des images satellites, mais la navigation dans le passé reste limitée par la qualité des images satellites. Plusieurs auteurs préfèrent utiliser des photographies pour démontrer le changement car elles sont plus proches de notre vue habituelle. Ils utilisent la rephotographie, qui consiste en prendre une photographie actuelle au plus proche d'une photographie ancienne. Ces deux images peuvent être superposées et comparées facilement. Cette méthode est utilisée dans de nombreux ouvrages et sites web.

Pendant, les collections de photographies restent une source d'information sous-valorisée car elles ne sont pas toujours digitalisées, elles sont disséminées dans de nombreuses archives et n'ont pas de géolocalisation précise. Ainsi elles sont difficilement accessible pour les chercheurs et le public. Le but de notre plate-forme est de 1) regrouper les collections d'images sur une seule plate-forme, 2) de calculer la position, l'orientation et les métadonnées exacte des photographies, 3) de fournir un globe virtuel pour démontrer le changement paysager au travers de photographies.





**Figure 3:** Carte postale insérée dans le globe virtuel. Source: Fond Perrochet, ACM-EPFL

**Regrouper des collections:** Notre plate-forme regroupe des collections privées et publiques de photographie du paysage suisse. Ces images sont indexées dans un moteur de recherche géographique efficace. Ainsi, nous facilitons l'accès aux photographies pour les professionnels et le grand public.

**Geolocalisation:** snapshot utilise les connaissances géographiques de volontaires pour trouver la position et l'orientation exacte des photos. Pour atteindre ce but, nous avons développé une application web 3D qui permet aux volontaires de cliquer sur des points communs du globe virtuel et de la photographie. Ces points permettent à notre algorithme de calculer les paramètres exactes de la prise de vue. Ces paramètres permettent également de calculer les lieux visibles dans l'image. Cette information peut être livrée aux archivistes pour enrichir leurs métadonnées.

**Globe virtuel:** Grâce à leur localisation et orientation, les photographies sont insérées dans un globe virtuel (Figure 1). Les visiteurs peuvent ainsi naviguer dans le temps et dans l'espace pour comparer le paysage virtuel actuel avec le paysage historique.

Le prototype a été testé avec plusieurs collections de photographies représentant le paysage suisse. En effet, le paysage alpin a plusieurs avantages dans ce contexte. D'abord, une ligne d'horizon marquée de pics facilite le géoréférencement. Ensuite, les zones alpines présentent des changements drastiques comme l'extension des stations d'hiver et le recul des glaciers. Notre communauté de volontaires a fourni un géoréférencement précis de plus de 1500 photographies actuellement sur la plate-forme. Ceci nous permet de remarquer que dans les régions touristiques comme la région du Cervin, les photographies représentent une télédétection continue avec une haute résolution spatiale dès le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. Cette conclusion est très prometteuse pour les professionnels et les chercheurs qui ont besoin de ces données pour étudier le passé. Elle nous permet aussi d'envisager de futures extensions pour notre plate-forme comme la génération des vidéos qui représentent l'évolution d'un paysage dans le temps.

Dans le futur, nous aimerions aussi définir les besoins des scientifiques et des professionnels pour l'extraction de données géographiques des photographies. Des outils pourraient être développés pour améliorer le géoréférencement calculé par les volontaires puis d'extraire des images des données 2D ou 3D précises. Finalement, des méthodes d'intelligence artificielle pourraient aussi être mises en œuvre pour automatiquement détecter et classifier les changements.

Denise Binggeli

## Erfolgreiche Wiederbewirtschaftung von verlassenen Terrassenlandschaften in den Tessiner Alpen

Universität Basel, Departement Umweltwissenschaften, Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz, Basel

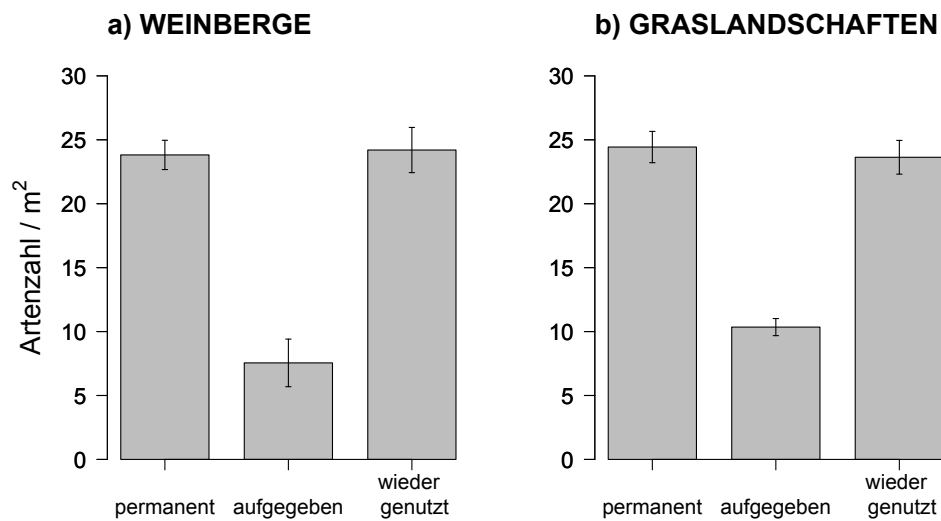
Masterarbeit; Betreuung: Dr. Hans-Peter Rusterholz und Prof. Dr. Bruno Baur

**Einleitung:** Terrassierte Weinberge, Äcker, Wiesen und Weiden sind Zeugen traditioneller Bewirtschaftungsformen (Neff, 2005; Rodewald, 2011). Sie prägen das Landschaftsbild auf eine unverkennbare Weise und sind kulturhistorisch von grosser Bedeutung. Durch ihre hohe Strukturvielfalt bieten terrassierte Flächen Lebensraum für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten, was sie auch aus Sicht des Naturschutzes sehr wertvoll machen (Höchtel et al., 2013). Bedingt durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft und der damit einhergehenden Aufgabe der Nutzung, dehnt sich die Waldfläche vorwiegend im Nordtessin seit rund 25 Jahren stark aus (Bollmann et al., 2014). Die Wiederaufnahme traditioneller Bewirtschaftungsformen kann die fortschreitende Wiederbewaldung stoppen und die Landschaftsvielfalt erhöhen. Dadurch wird auch die Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten gefördert (Maurer et al., 2006; Walter et al., 2010).

**Vorgehen:** In mehreren Tessiner Gemeinden wurde durch die Initiative lokaler Organisationen (APAV, ProLinescio) aufgegebenen und daher überwachsene (bewaldete), terrassierte Flächen aufgewertet und die traditionelle Bewirtschaftung wieder eingeführt. Wir untersuchten den potentiellen Erfolg dieser Wiederbewirtschaftung auf die Pflanzenvielfalt von terrassierten Weinbergen und Graslandschaften. In jedem Gebiet wurden jeweils drei Bewirtschaftungsformen berücksichtigt: Permanent genutzte (seit > 100 Jahren), aufgegebenen (seit rund 50 Jahren) und wieder bewirtschafteten (seit 10 – 15 Jahren) Flächen. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob sich die wieder bewirtschafteten Flächen von den permanent genutzten Flächen in der Artenzahl, Artenvielfalt und Artenzusammensetzung von Gefässpflanzen unterscheiden. Die Vegetationsaufnahmen wurden im Frühsommer und Herbst 2016 durchgeführt.

**Resultate:** In den untersuchten Weinberg- und Graslandflächen kam mit total 197 verschiedenen Pflanzenarten eine erstaunlich hohe Artenvielfalt vor. In den wieder bewirtschafteten Flächen wurde mit gesamthaft rund 85 Pflanzenarten die gleiche Anzahl Arten aufgenommen wie in den permanent genutzten Weinbergen resp. Graslandschaften. In den aufgegebenen Flächen kamen hingegen total nur rund 56 Pflanzenarten vor.

Im Detail zeigen die Ergebnisse der Studie, dass aufgegebenen (wiederbewaldeten) Flächen eine deutlich reduzierte Artenvielfalt an Pflanzen aufweisen (Durchschnitt Weinberge: 8 Arten pro m<sup>2</sup>, Graslandschaften: 10 Arten pro m<sup>2</sup>). Die wieder bewirtschafteten Flächen hingegen weisen nach wenigen Jahren mit rund 24 Arten pro m<sup>2</sup> wieder die gleiche Artenvielfalt auf wie die permanent traditionell bewirtschafteten Flächen (Abb. 1). Zudem kamen gefährdete Arten der Roten Liste ausschliesslich in den Offenland-Flächen (permanent und wieder genutzt) vor, während gebietsfremde Pflanzen der Schwarzen Liste oder der Beobachtungsliste vorwiegend in den aufgegebenen Flächen zu finden waren (Bornand et al., 2016; Buholzer et al., 2014). Als gefährdet oder verletzlich kategorisierte Arten kamen im Untersuchungsgebiet *Lilium bulbiferum*, *Orchis ustulata* und *Cruciata pedemontana* vor. Vorgefundene Arten der Schwarzen Liste oder der Beobachtungsliste waren u.a. *Trachycarpus fortunei*, *Robinia pseudoaccacia*, *Ailanthus altissima*, *Phytolacca americana* und *Lonicera japonica*.



**Abb. 1** Mittlere Anzahl Pflanzenarten pro m<sup>2</sup> a) im Unterwuchs von Weinbergen und b) in Wiesen und Weiden von Graslandschaften. Mittelwerte und Standardfehler.

**Diskussion & Schlussfolgerung:** Zwischen den permanent und den wieder bewirtschafteten Flächen konnten wir keinen Unterschied in der Vielfalt an Gefäßpflanzen feststellen. Dies zeigt, dass sich die charakteristische Vegetation dieses Lebensraumes innerhalb von zehn bis fünfzehn Jahren erfolgreich wieder etablieren konnte. Dies ist jedoch nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Zum einen müssen die Zielarten in der näheren Umgebung vorkommen oder in der Samenbank im Boden noch vorhanden sein. Die Vernetzung verschiedener Lebensräume, beispielsweise durch die Verbreitung der Samen über Weidetiere, hat einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg bei Aufwertungen von aufgegebenen Flächen (Fischer et al., 1996). Zudem spielt auch die Dauer der Nutzungsaufgabe eine wichtige Rolle, ob sich die vorherige Pflanzenvielfalt wieder ansiedeln kann. Je länger die Flächen brach liegen, desto eher werden die charakteristischen Offenland-Arten von Schatten-toleranten, krautigen Pflanzen oder Gehölzpflanzen verdrängt (Bakker & Berendse, 1999).

Mit dieser Studie konnten wir aufzeigen, dass mit der Wiederbewirtschaftung von aufgegebenen Flächen die zunehmende Ausdehnung des Waldes aufgehalten wird, womit eine Abnahme der Pflanzenvielfalt verhindert werden kann. Zusätzlich kann dadurch nicht nur die Landschaftsvielfalt, sondern auch die frühere Vegetation von Weinbergen und Graslandschaften erfolgreich wiederhergestellt werden. Davon profitieren nicht nur die Pflanzen, sondern auch viele weitere Artengruppen wie Insekten, Reptilien, Vögel, etc. (Abb. 2). Dank der traditionellen, extensiven Bewirtschaftung kommt im untersuchten Gebiet eine derart hohe Artenvielfalt vor. Die Förderung dieser extensiv bewirtschafteten Rebbergen, Wiesen und Weiden verhindert den Verlust von wertvollen arten- und strukturreichen Lebensräumen.



**Abb. 2** Dickkopffalter auf einer Blüte von *Dianthus carthusianorum* (Kartäuser-Nelke) in den Rebbergen von Lodano (links), *Verbascum nigrum* (Dunkle Königskerze) mit Schwebfliege in Giumaglio (mitte), Smaragdeidechse in Lodano (rechts).

**Referenzen:**

- Bakker, J.P., Berendse, F., 1999. Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities. *TREE* 14, 63–68.
- Bollmann, R., Schneider, M., Flury, C., 2014. Minimalnutzungsverfahren zur Offenhaltung der Kulturlandschaft. *Agroscope Sci.* 59. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/forschungsprogramme/forschungsprogramme-2008-2013/agrimontana/ergebnisse--berichte-und-publikationen.html>
- Bornand, C., Gygax, A., Juillerat, P., Jutzi M., Möhl, A., Rometsch, S., Sager, L., Santiago, H., Eggenberg, S., 2016. Rote Liste Gefäßpflanzen. Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern und Info Flora, Genf. *Umwelt-Vollzug* Nr. 1621: 178 S. [https://www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/roteliste\\_pflanzen\\_d\\_20160908.pdf](https://www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/roteliste_pflanzen_d_20160908.pdf)
- Buholzer, S., Nobis, M., Schönenberger, N., Rometsch, S., 2014. Liste der gebietsfremden invasiven Pflanzen der Schweiz. Info Flora <https://www.infoflora.ch/de/flora/neophyten/listen-und-infoblätter.html>
- Fischer, S.F., Poschod, P., Beinlich, B., 1996. Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands. *J. Appl. Ecol.* 33, 1206–1222. doi:10.2307/2404699
- Höchtel, F., Petit, C., Konold, W., 2013. Historische Terrassenweinberge: Elemente der Kulturlandschaft. In: Konold, W., Petit, C. (Red.) *Historische Terrassenweinberge. Baugeschichte, Wahrnehmung, Erhaltung.* Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. S. 13–23.
- Maurer, K., Weyand, A., Fischer, M., Stöcklin, J., 2006. Old cultural traditions, in addition to land use and topography, are shaping plant diversity of grasslands in the Alps. *Biol. Conserv.* 130, 438–446. doi:10.1016/j.biocon.2006.01.005
- Neff, C., 2005. Ein schützenswertes Kulturerbe. Terrassenlandschaften der Schweiz. *Die Alpen* 12, 50–52.
- Rodewald, R., 2011. Ihr schwebt über dem Abgrund. Die Walliser Terrassenlandschaften. Entstehung – Entwicklung – Wahrnehmung. Rotten Verlag AG, Visp. 206 S.
- Walter, T., Klaus, G., Altermatt, F., Ammann, P., Birrer, S., Boller, B., Capt, S., Eggenschwiler, L., Fischer, J., Gonseth, Y., Grünig, A., Homburger, H., Jacot, K., Kleijer, G., Köhler, C., Kohler, F., Kreis, H., Loser, E., Lüscher, A., Meyer, A., Murbach, F., Rechsteiner, C., Scheidegger, C., Schierscher, B., Schilperoord, P., Schmid, H., Schnyder, N., Senn-Irlet, B., Suter, D., Zbinden, N., Zumbach, S., 2010. Landwirtschaft. In: Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P., Walter, T. (Red.) *Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?* Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. S. 64–122.

# Entwicklungsimpulse / Stimulation du développement

Bernhard Stöckli

## **Zwischen Beständigkeit und Wandel. Analyse potenzieller Gefährdungsphänomene der Welterbe-Region Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch**

Geographisches Institut der Universität Bern, Abteilung für Integrative Geographie, Bern  
Masterarbeit; Leitung: Karina Liechti, CDE, Bern

### **Zusammenfassung**

Der Alpenraum zeichnet sich durch eine hohe Dynamik aus, die zum einen aus den laufenden Prozessen des Naturraumes hervorgeht und zum anderen durch die menschliche Nutzung bedingt ist. Sowohl natürliche Prozesse als auch anthropogene Einflüsse verändern den Raum kontinuierlich. In UNESCO Weltnaturerbebestätten soll die Dynamik – bei gleichzeitigem Erhalt der Werte des Raumes – bewusst zugelassen werden. Das Wissen, welche ablaufenden Prozesse zugelassen werden können und welche aufgrund ihres Gefährdungspotenzials eingedämmt werden müssen, ist für den langfristigen Erhalt von UNESCO Weltnaturerbebestätten unverzichtbar. Dafür sind grundlegende Kenntnisse über die Art und Wirkungsweisen der Gefährdungen sowie über deren Intensität und räumliche Manifestation erforderlich.

Die vorliegende Masterarbeit hat zum Ziel, potenzielle Gefährdungsphänomene der Welterbe-Region des *UNESCO-Welterbes Jungfrau-Aletsch* zu analysieren. Die potenziellen Gefährdungsphänomene sollen bestimmt und ihre Relevanz soll sowohl im Alpenraum als auch für die Welterbe-Region aufgezeigt werden. Damit die potenziellen Gefährdungsphänomene quantifiziert werden können, werden Indizes gebildet und diese durch die Aggregation von Indikatoren in verschiedenen Varianten berechnet. Mit der Berechnung der potenziellen Gefährdungsphänomene soll ersichtlich werden, wie stark diese in den jeweiligen Welterbe-Gemeinden ausgeprägt sind. Die Arbeit vergleicht und diskutiert die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsvarianten und visualisiert die berechneten Indizes mit Hilfe von Gefährdungskarten. Die Resultate der Masterarbeit dienen im Idealfall der interessierten Öffentlichkeit und politischen Verantwortungsträgern als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage.

Für die Bestimmung potenzieller Gefährdungsphänomene der Welterbe-Region und das Aufzeigen ihrer Relevanz dienen Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Entwicklungen und Herausforderungen im Alpenraum sowie zusätzliche Auswahlkriterien. Für die Bildung und Berechnung der Gefährdungsindizes werden Daten aus dem Welterbe-Monitoring und solche, die im Rahmen dieser Masterarbeit erhoben wurden, verwendet. Zur Berechnung der Indizes werden drei Varianten entwickelt und diskutiert. Die drei Berechnungsvarianten unterscheiden sich in den Skalenniveaus und in der Herleitung von Zielwerten, die für die Bestimmung der Indexwerte massgebend sind. Die Visualisierung der Indexwerte erfolgt durch eine im Rahmen dieser Masterarbeit entwickelte kartographische Darstellung, die die Ergebnisse sowohl der einzelnen Berechnungsvarianten wiedergibt, aber auch Vergleiche zwischen den drei Varianten ermöglicht.

Die inhaltliche Ausrichtung geht von potenziellen Gefährdungen für die Werte des Welterbes aus und tangiert die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung (Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft).

Die folgenden potenziellen Gefährdungsphänomene werden analysiert:

1. Abwanderung von Jugendlichen
2. Rückgang des sozialen Zusammenhalts
3. Rückgang der Biodiversität
4. Verschiebungen zwischen Kulturlandschaft und Wald
5. Infrastrukturintensive und/oder invasive Freizeitnutzungen

---

Die Resultate zu *Abwanderung von Jugendlichen* zeigen, dass in erster Linie die Berggemeinden (insbesondere die Gemeinden des Oberhasli und des Lötschentals) sowie die Gemeinden des Rhonetals betroffen sind, wobei bei Ersteren die periphere Lage und fehlende berufliche Perspektiven die Hauptursachen für die erhöhte Gefährdung sind, während bei Letzteren fehlende ÖV-Verbindungen und die kommunal wenigen Möglichkeiten auszugehen zu den hohen Indexwerten geführt haben.

Der Index zum *Rückgang des sozialen Zusammenhalts* zeigt eine hohe potenzielle Gefährdung in den touristischen und bevölkerungsreichen Gemeinden sowie den regionalen Zentren (z. B. Grindelwald, Meiringen und Naters) aufgrund der zahlreichen Zweitwohnungen und Nachbarschaftseffekten, die in der Arbeit diskutiert werden. Zudem zeigt sich, dass diejenigen Gemeinden, die von verstärkter Abwanderung von Jugendlichen betroffen sind, dennoch über einen hohen sozialen Zusammenhalt verfügen.

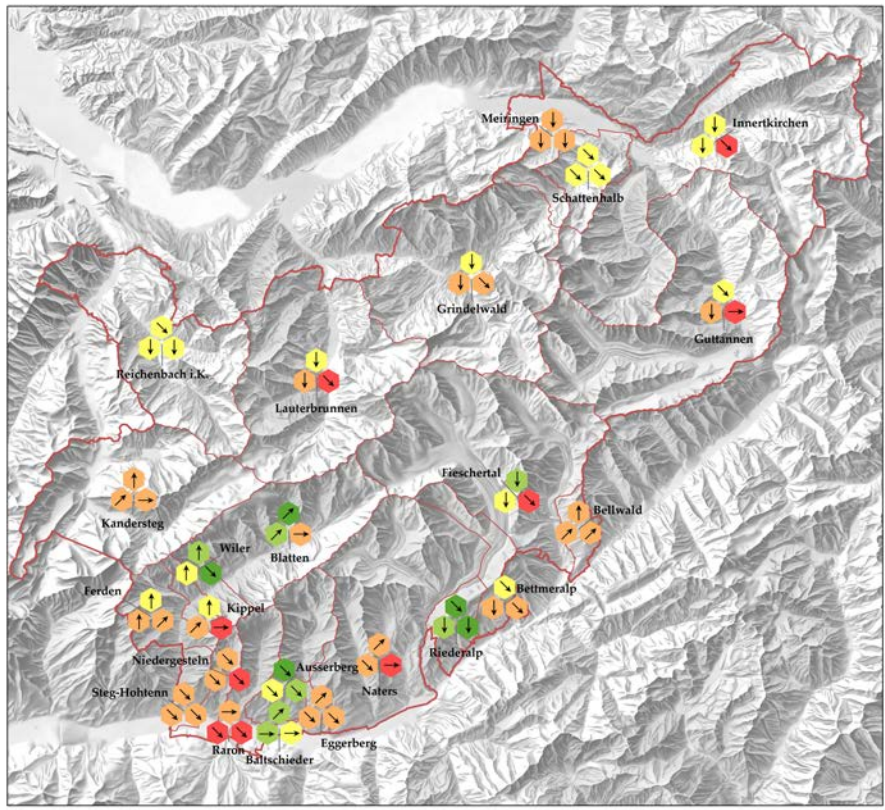
Die Ergebnisse zu *Rückgang der Biodiversität* zeigen, dass mit Ausnahme der Gemeinden Ausserberg, Riederalp, Wiler (Lötschen) und Blatten in den meisten Welterbe-Gemeinden eine erhöhte potenzielle Gefährdung vorliegt. Die durchschnittlichen Werte des Gefährdungsindex haben in den Jahren zwischen 2001/02 und 2014 jedoch abgenommen. Das bedeutet, dass in den Welterbe-Gemeinden heute eine niedrigere potenzielle Gefährdung vorliegt als beim ersten Erhebungszeitpunkt.

Die Indexwerte zu *Verschiebungen zwischen Kulturlandschaft und Wald* zeigen, dass die Wiederbewaldung vor allem in den peripheren, von Abwanderung betroffenen Kleingemeinden des Lötschentals sowie in den Gemeinden Riederalp und Bellwald stattfindet. Besonders ausgeprägt ist das Phänomen in höher gelegenen Gemeinden, wo die landwirtschaftliche Bewirtschaftung arbeitsintensiv und ertragsarm ist.

Die höchsten potenziellen Gefährdungen im Index *Infrastrukturintensive und/oder invasive Freizeitnutzungen* können in den touristisch intensiv genutzten Gemeinden der Welterbe-Region festgestellt werden. Während sich die infrastrukturintensiven Freizeitnutzungen fast ausschliesslich auf Gebiete ausserhalb des UNESCO-Perimeters beschränken, sind invasive Freizeitnutzungen auch innerhalb des Welterbe-Gebiets zu finden.

Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit liefern ein Bild einer Region, die vielfältigen Herausforderungen gegenübersteht. Potenzielle Gefährdungen liegen in unterschiedlichem Mass in allen Gemeinden vor und im Bestreben einer nachhaltigen Entwicklung der Welterbe-Region sind problematischen gesellschaftlichen Veränderungen sowie den verschiedenen Nutzungsansprüchen und ihren Wechselwirkungen mit der Umwelt fortwährend Beachtung zu schenken.

Mit der erstmaligen Aggregation von Indikatoren des Welterbe-Monitorings zu Gefährdungsindizes und der Entwicklung mehrerer Berechnungsvarianten regt diese Arbeit zu weiterführenden (methodischen) Diskussionen an, um auf Basis der Monitoringdaten weitere Analysen zum Erkennen und Quantifizieren problematischer Wandel zu entwickeln. Eine wissenschaftliche Begleitung dieses Erbes der Welt kann zu seinem Erhalt einen massgeblichen Beitrag leisten.



Karte 1

## Rückgang der Biodiversität

Indexwerte 2014 und Veränderung seit 2001/02

### Legende

Berechnungsvarianten



potenzielle Gefährdung

- sehr hoch (I = 1 - 0,8)
- hoch (I = 0,79 - 0,6)
- mittel (I = 0,59 - 0,4)
- niedrig (I = 0,39 - 0,2)
- sehr niedrig (I = 0,19 - 0)

Veränderung

- ↑ stark negativ
- ↙ negativ
- stabil
- ↘ positiv
- ↓ stark positiv

Welterbe-Region  
Gemeindegrenzen

Datengrundlagen:  
Berechnungen Gefährdungsindex und Veränderung:  
Beratung Stöckli (2016)  
Gemeindegrenzen: swissBOUNDARIES (2014)  
Bundesamt für Landestopografie swisstopo  
Kadast: PK200 (1960) und PK100 (1990)  
Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Kompilation und Kartographie:  
Beratung Stöckli (2016)

Kilometer  
0 2 4 6 8 10  
N



Lucie Darbellay

## **Prise en compte du géopatrimoine dans les stratégies de conservation de la nature dans l'arc alpin**

Université de Lausanne, Faculté des géosciences et de l'environnement, Lausanne

Thèse de Master; Responsable: Emmanuel Reynard, Faculté des géosciences et de l'environnement, Université de Lausanne

Les Alpes sont un laboratoire à ciel ouvert, tant pour la recherche que pour l'éducation. La chaîne de montagnes est également le théâtre d'une multitude de processus et de formes, tant géologiques que géomorphologiques, dont la valeur esthétique n'est plus à contester aujourd'hui.

Ce travail s'intéresse au géopatrimoine, soit les objets et sites témoins de l'histoire de la Terre, et plus particulièrement à la place qu'il prend dans les stratégies de conservation de la nature dans les Alpes. La recherche sur les géopatrimoines à l'échelle des pays alpins – soit la Suisse, la France, l'Italie, la Slovénie, l'Allemagne et l'Autriche – est rare. L'objectif général de cette étude est de réaliser un état des connaissances de la gestion de ces patrimoines. Il a été choisi de s'intéresser plus précisément au cas des grands espaces protégés : les parcs nationaux, les parcs naturels régionaux, ainsi que les sites inscrits sur la liste du Patrimoine mondial de l'UNESCO (Figure 1).

Pour atteindre cet objectif, des méthodes quantitatives (SIG, analyse statistique) et qualitatives (recherche bibliographique, enquêtes), ainsi que des études de cas sont utilisées (Figure 2). Par exemple, un chapitre analyse l'intégration du géopatrimoine dans des parcs nationaux, tant dans les raisons de leur création que du point de vue de leurs objectifs de gestion.

Les méthodes d'évaluation du géopatrimoine à l'échelle alpine sont recensées dans ce travail, qui s'intéresse également à l'arsenal juridique des pays en matière de géoconservation. Les éléments géologiques ne sont pas systématiquement intégrés dans les lois étatiques, malgré une prise de conscience quant à leur importance au XIX<sup>e</sup> siècle, notamment suite à différentes menaces anthropiques comme le pillage de sites fossilifères. Toutefois, un inventaire de ces sites de valeurs est mené dans chaque pays, démontrant un intérêt pour ces patrimoines. Dans la majorité des cas, ces inventaires ont pour objectif de sensibiliser le grand public et n'ont pas de force légale.

Cette volonté d'éduquer pour mieux protéger se retrouve à l'échelle des espaces protégés, dans lesquels le géotourisme s'est développé ces dernières années. Cette pratique a pour but de valoriser le géopatrimoine en transmettant un contenu scientifique compréhensible pour les non-scientifiques, par exemple à travers des musées, en aménageant des sites de panneaux explicatifs ou par des randonnées didactiques. Dans les Alpes, l'offre géotouristique se répartit de façon hétérogène, avec une concentration dans les territoires membres du Réseau global des Géoparcs et dans les parcs nationaux.

Malgré une redécouverte de l'importance du géopatrimoine il y a une vingtaine d'années, la conservation de la nature se concentre encore trop souvent sur les éléments biologiques, souvent jugés comme plus menacés. Les initiatives récentes de patrimonialisation des éléments géologiques montrent toutefois une évolution en faveur d'une appropriation de ce type de patrimoine. Les espaces protégés constituent notamment un maillage particulièrement favorable à la reconnaissance et la mise en avant des valeurs géoscientifiques.

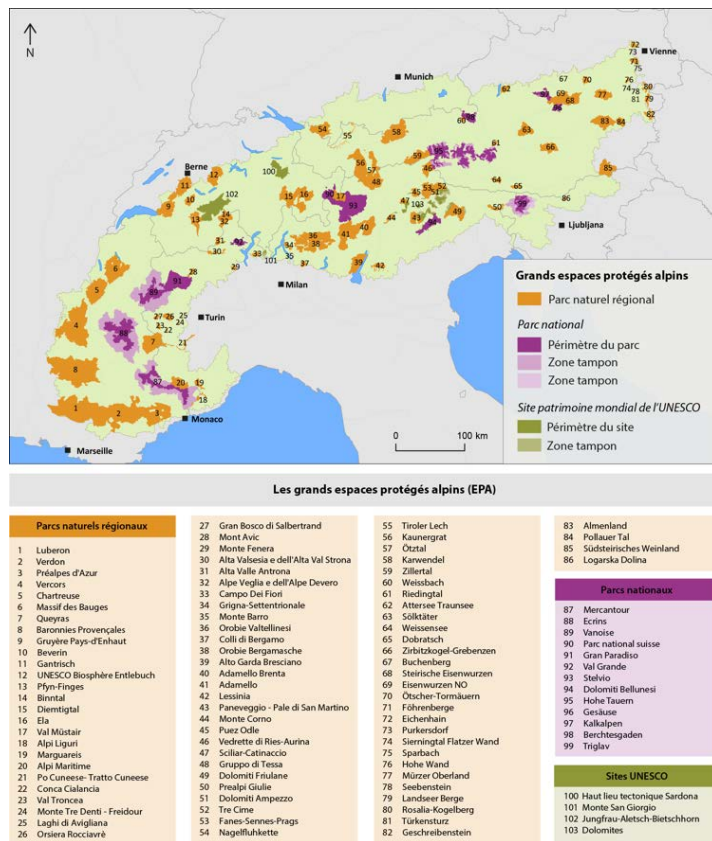


Figure 1: Répartition des grands espaces protégés dans les Alpes

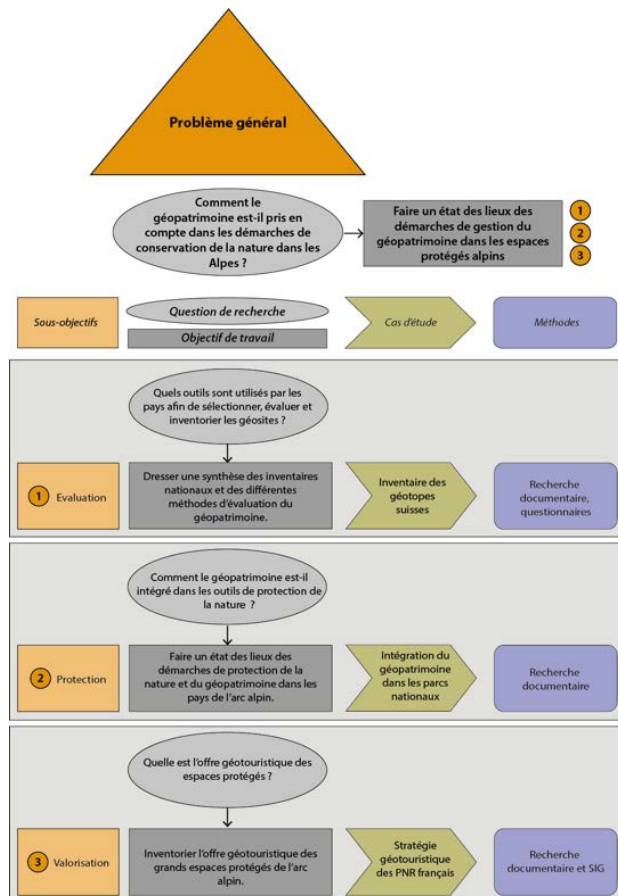


Figure 2: Structure du travail

Sonja Bürgi (und Katherine Schmid)

## Multi-Erwerbstätigkeit landwirtschaftlicher Haushalte im Schweizerischen Berggebiet (Riederalp und Bettmeralp)

Geographisches Institut der Universität Bern, Bern

Bachelorarbeit; Leitung: Dr. Thomas Kohler, Universität Bern, Geographisches Institut

Immer mehr Landwirtinnen und Landwirte in der Schweiz sind auf einen ausserlandwirtschaftlichen Nebenerwerb angewiesen, um ihren Lebensunterhalt und das Weiterbestehen ihres Betriebes zu sichern (Flury & Roesch 2012). Der Landwirtschaftliche Strukturwandel ist in den Bergregionen aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten besonders ausgeprägt (Bätzing 2015). Multi-Erwerbstätigkeit ist daher bei landwirtschaftlichen Haushalten im Berggebiet



weit verbreitet. „Die Neuausrichtung der Agrarpolitik, die Liberalisierung der Agrarmärkte sowie veränderte wirtschaftliche Rahmenbedingungen haben zu einer verminderten Attraktivität der Landwirtschaft im Vergleich mit anderen Berufen, zu vermehrten Betriebsaufgaben und zu einer Vergrößerung der verbleibenden Betriebe geführt“ (Soliva 2007, S.1). Diese Abnahme der Betriebszahlen verläuft dabei nirgends in der Schweiz so schnell wie im Kanton Wallis (Liechti & Achermann 2012).

In dieser Forschungsarbeit wurde am Beispiel zweier Walliser Gemeinden im Aletschgebiet die Bedeutung der Multi-Erwerbstätigkeit für den Lebensunterhalt landwirtschaftlicher Haushalte analysiert. Dabei wurde insbesondere darauf eingegangen, welche Rolle die einzelnen Wirtschaftssektoren und -branchen als Einkommensquelle spielen, und welche Auswirkungen die Multi-Erwerbstätigkeit auf den Alltag der landwirtschaftlichen Haushalte hat. In einer Vollerhebung wurden 23 Haushalte zu ihrem Betrieb, der Zusammensetzung ihrer Erwerbstätigkeiten und der jeweiligen Bedeutung für das Haushaltseinkommen befragt. Weiter wurden drei qualitative Interviews durchgeführt, um anhand von Fallbeispielen die Hintergründe der Multi-Erwerbstätigkeit sowie die Motivation für das Aufrechterhalten der Berglandwirtschaft zu analysiert.

Die Ergebnisse bestätigen, dass die Landwirtschaft im Untersuchungsgebiet hauptsächlich im Nebenerwerb betrieben wird. Es existieren nur noch wenige Haupterwerbsbetriebe, wovon die meisten Vollerwerbsbetriebe sind. Bei den ausserlandwirtschaftlichen Einkommensquellen zeigte sich, dass der Tourismus sowie der restliche Dienstleistungssektor am wichtigsten sind. Das landwirtschaftliche Einkommen spielt für eine Mehrheit der multi-erwerbstätigen Haushalte nur eine untergeordnete Rolle. Die Analyse der Fallbeispiele verdeutlicht die Bedeutung persönlicher Werthaltungen für das Weiterbetreiben der Berglandwirtschaft im Nebenerwerb. Die familiäre Tradition der Landwirtschaft wie auch die Verbundenheit zur Natur und den Tieren werden von den Befragten als Hauptmotivation genannt. Die fehlende Nachfolge sowie der Landwirtschaftliche Strukturwandel stellen für sie zentrale Herausforderungen für die Zukunft der Berglandwirtschaft in der Region dar. In diesem Zusammenhang prognostizieren sie eine

Abnahme der Landschaftspflege und damit ein Verlust der Kulturlandschaft und deren Qualität. Diese Entwicklungen werden von den Befragten allerdings unterschiedlich bewertet.

**Referenzen:**

- Bätzing, W., 2015. Die Alpen: Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft. 4. Aufl., München: C.H.Beck.
- Flury, C. & Roesch, A., 2012. Wirtschaftliche Entwicklung der Berglandwirtschaft. Bericht Forschungsprogramm AgriMontana, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Liechti, K. & Achermann, S., 2012. Der Wandel in der Landwirtschaft prägt auch die Welterbe-Region, UNESCO Welterbe Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch. Verfügbar unter: <http://boris.unibe.ch/73660/1/Landw.pdf> [Aufgerufen: 14.02.2018].
- Soliva, R., 2007. Die Zukunft des Schweizer Berggebiets: Eine partizipative Nachhaltigkeitsprüfung von Landwirtschafts- und Landschaftsszenarios. GAIA, 16, 122-129.

# Klimawandel praktisch / Change- ment climatique en pratique

Melanie Graf

## **Zuordnung von lokalen klimatisch beeinflussten Veränderungen zum Klimawandel - Fallstudien in der Zentralschweiz**

Universität Zürich, Geographisches Institut

Masterarbeit; Leitung: PD Dr. Christian Huggel, Universität Zürich, Geographisches Institut

Die Schweiz ist anfällig für viele Einflüsse des Klimawandels, heute und in der Zukunft. Dies betrifft insbesondere Systeme in Bergregionen, welchen Klimawandel irreversible Schäden zufügen kann. Betroffen sind sowohl natürliche Ökosysteme wie auch die regionale Wirtschaft und Gesellschaft. Momentan beschäftigt sich die Wissenschaft vor allem mit der Prognose solcher Auswirkungen in der näheren und fernerer Zukunft, jedoch weniger mit der Erkennung (*Detection*) und Zuordnung (*Attribution*) von derzeit beobachtbaren Auswirkungen.

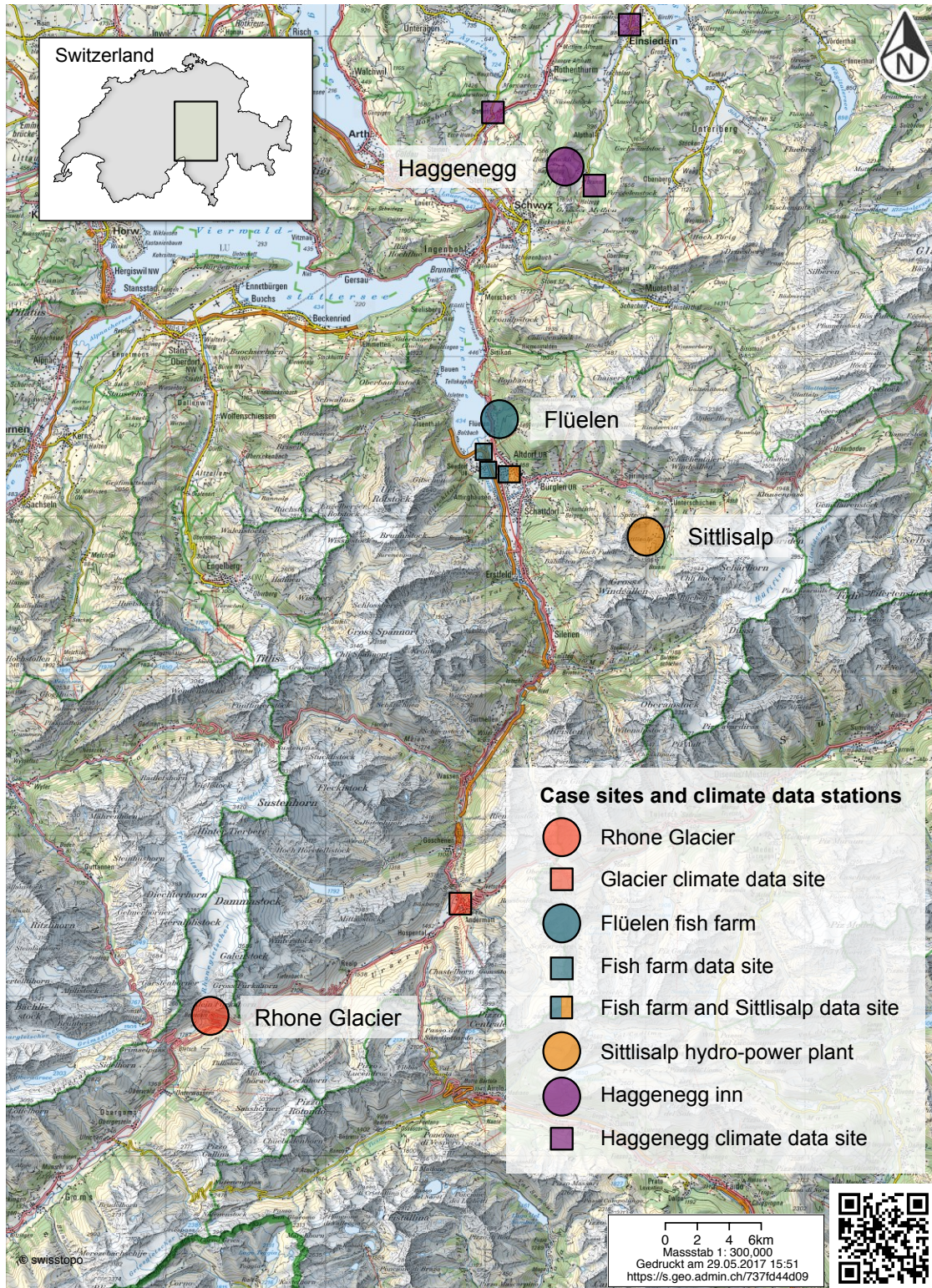
Attribution (angelehnt an das englische Fachwort) analysiert ob es eine kausale Verbindung zwischen einer beobachtbaren Veränderung in einem System und einer Klimaveränderung gibt und wie stark diese Veränderung durch Klimawandel verursacht wird. Die Attribution von kleinräumigen Veränderungen ist besonders anspruchsvoll und schwierig mit dem lokalen Klima in Verbindung zu bringen. Da auf der lokalen Ebene viele nicht-klimatische Einflüsse abgeschätzt werden müssen, wofür häufig die Daten fehlen, gibt es keine wissenschaftlich etablierten Methoden für die Attribution lokaler Veränderungen. Die tatsächlichen Auswirkungen von Klimaveränderungen machen sich jedoch immer lokal bemerkbar und betreffen oft Kleinbetriebe oder Haushalte. Passende Methoden, um solche lokalen Veränderungen dem Klimawandel zuzuordnen und dementsprechende langfristig wirksame Anpassungsansätze zu entwickeln, sind deshalb wichtig für die schweizerische und weltweite Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft.


In dieser Masterarbeit wird ein von Hansen et al. (2015) entwickeltes Rahmenkonzept für Attribution auf vier Fallstudien in der Zentralschweiz angewandt. Dieses Rahmenkonzept wurde für lokale bis regionale Klimaveränderungen konzipiert und wurde bislang nicht für solche sehr kleinräumigen Fälle verwendet. Einerseits untersucht diese Arbeit ob und mit welchen Anpassungen dieses Konzept auf lokale Fälle angewandt werden kann – welches Potenzial dieses Konzept für Praxisanwendungen hat und welche Schwachstellen es aufweist. Andererseits wird ein Fokus auf die vier Zentralschweizer Fälle gesetzt und untersucht, wie die Eigenschaften und das Umfeld dieser Fälle die Attribution vereinfacht oder behindert.

Die Fallstudien behandeln kleinräumige Beobachtungen in eher abgelegenen Regionen der Schweiz, welche durch das Klima beeinflusst werden können. Die Fallstudien beinhalten die Gletscherschmelze am Rhonegletscher in Verbindung mit wärmeren Lufttemperaturen; Grundwassererwärmung in einer Fischzucht am Urnersee über 30 Jahre, zusammenhängend mit steigenden Gewässer- und Lufttemperaturen sowie zwei Fälle von Trockenheitsperioden auf zwei Alpen.

Die Ergebnisse zeigen, dass dieses Attributions-Konzept auf lokale Veränderungen angepasst werden kann und die Attribution für gewisse Fälle durchführbar ist. Allerdings gibt es einige Faktoren, welche eine sorgfältige Attributions-Analyse erschweren oder unmöglich machen. Lokale Attribution ist momentan möglich wenn Auswirkungen einem langfristigen Trend eines Klimadurchschnittswerts, wie z.B. steigende Lufttemperatur, zugeordnet werden können. Mit den heutigen Beobachtungen und vorhandenen Methoden sind Attributionen von lokalen extremen Wetterereignissen sehr schwierig bis unmöglich, insbesondere da die dafür notwendigen Messdaten fehlen.

Dennoch widerlegen diese Ergebnisse die weit verbreitete Annahme, dass Attribution lokaler Veränderungen unmöglich ist und stützen den Vorschlag, Attribution zur Unterstützung von lokalen Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu nutzen.



 Schweizerische Eidgenossenschaft  
 Confédération suisse  
 Confederazione Svizzera  
 Confederaziun svizra  
 In collaboration with the cantons

www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von geolokalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden  
 Haftung: Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden. Copyright, Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. <http://www.disclaimer.admin.ch>

Blaise Monay, (Dr. P. Manso, J. Dujardin, Dr. M. Zappa, Prof. Dr. A. J. Schleiss)

## **Evaluation du potentiel d'augmentation du stockage saisonnier d'énergie en Suisse en vue des changements climatiques**

EPFL, Laboratoire de constructions hydrauliques, Lausanne

Thèse de Master; Responsable: Prof. Dr. Anton Schleiss, Dr. Pedro Manso, EPFL, Laboratoire de constructions hydrauliques, Lausanne

L'énergie d'origine hydraulique en Suisse représente plus de 60% de la production totale d'énergie pour un réseau hydrographique quasiment exploité à son maximum. La capacité des lacs d'accumulation ne représente que 42% de leur production totale annuelle, ce qui conduit les centrales à accumulation, à la fin du semestre d'été, à devoir turbiner les apports au fil de l'eau lorsque les retenues sont remplies quasiment à leur niveau maximal. Une partie de la production d'énergie ne peut, par conséquent, pas être concentrée sur le semestre d'hiver, ce qui conduit la Suisse à devoir importer massivement de l'électricité de ses pays voisins. De plus, avec l'introduction de nouvelles sources intermittentes de production d'énergie (i.e. solaire et éolien) sur le réseau électrique et l'abandon du nucléaire, la capacité de stockage à l'échelle Suisse doit être augmentée en vue de pallier la réduction de la production de l'énergie en ruban durant le semestre d'hiver. L'évaluation du potentiel d'augmentation du stockage saisonnier d'énergie en Suisse s'inscrit dans la continuité des objectifs fixés par le Conseil Fédéral dans le cadre de la Stratégie Energétique.

La capacité de stockage d'énergie des principaux aménagements d'accumulation de la rive gauche du Rhône, ainsi que le potentiel d'augmentation de cette capacité par la surélévation des retenues actuelles et les projets de nouvelles retenues sont évalués. Ces aménagements à accumulation présentent plus de 30% du volume utile total en Suisse. L'évaluation du potentiel d'augmentation du stockage saisonnier de la rive gauche du Rhône a montré qu'il est possible d'augmenter la capacité de stockage totale des aménagements de 1.1 TWh. Cette augmentation peut être réalisée principalement par les surélévations des barrages de la Grande Dixence (63%) et d'Emosson (20%) de 10% de leur hauteur actuelle.

Le volume utile optimal requis des réservoirs est évalué au moyen d'une méthode dynamique. La démarche prend en compte une gestion opérationnelle intra-annuelle, qui est celle actuellement pratiquée; celle-ci permet de considérer le rôle des aménagements à accumulation dans leur fonction de transfert saisonnier de la production d'énergie. D'autre part, l'originalité de la recherche réside dans la prise en compte simultanée d'une gestion opérationnelle inter-annuelle. Cette démarche s'inscrit en précurseur dans la gestion multifonctionnelle des réservoirs, qui pourront servir non seulement à un transfert saisonnier, mais également comme réserve d'eau et d'énergie, afin de répondre au mieux aux besoins de la société à l'avenir. Une gestion plus rigoureuse des ressources en eau est nécessaire, afin d'être en mesure de faire face aux changements climatiques et aux périodes de sécheresse qui en résultent. Il en ressort que pour un bon nombre d'aménagements, le volume utile est trop faible. Il y a donc un manque à gagner pour les aménagements qui ne peuvent pas transférer la totalité des apports sur le semestre d'hiver. Ces pertes vont s'accroître pour la période 2045-2074, période où les projections d'apports sont plus importantes en vue du retrait des glaciers.

Dans une dernière phase, l'étude se focalise sur les différentes variantes d'augmentation du stockage saisonnier dans l'aménagement de la Grande Dixence. L'objectif est d'analyser les différents sites potentiels pour l'augmentation de volume utile : la surélévation du barrage de la Grande Dixence et/ou la construction d'un nouveau barrage sur la Gornera.

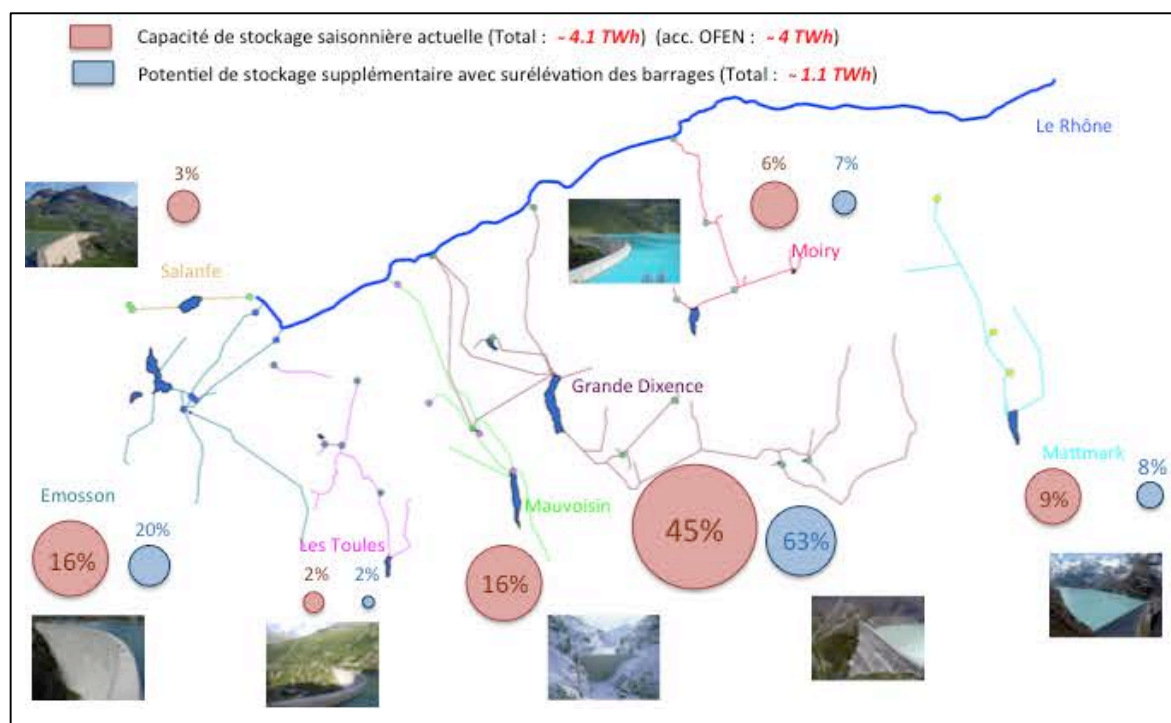
Cet aménagement est un pilier du stockage saisonnier en Suisse étant donné son volume utile de 390 hm<sup>3</sup> et le coefficient énergétique de la centrale de Bieudron de 4.8 kWh/m<sup>3</sup>. L'augmentation de volume utile est d'autant plus importante afin de valoriser la totalité des apports en eau du



semestre d'été. Différentes solutions d'augmentation du potentiel de stockage sont réalisables et pourraient augmenter la capacité de stockage saisonnière totale de 1700 GWh à 2850 GWh ; certaines variantes nécessiteraient des apports supplémentaires au sein de l'aménagement afin de pouvoir remplir la totalité du volume utile disponible.

L'augmentation de la capacité de stockage des aménagements est primordiale afin de mieux valoriser les apports de la fin du semestre d'été, en particulier pour la période 2045-2075, en permettant également une plus grande flexibilité dans la gestion opérationnelle. Ce gain de flexibilité permettra aux aménagements de parer aux mieux aux variations des apports qui seront provoquées par les changements climatiques au cours du 21ème siècle.

Aussi, avec l'abandon de l'énergie nucléaire et le développement de plus en plus important des énergies renouvelables la capacité des lacs d'accumulation doit être augmentée. Cette augmentation est d'un enjeu national pour la sécurité d'approvisionnement énergétique du pays durant le semestre d'hiver. Les centrales à accumulation restent la seule source d'énergie flexible en Suisse et la seule qui permet de stocker de l'énergie à grande échelle. Augmenter le volume utile des réservoirs contribuera à augmenter cette sécurité d'approvisionnement du réseau électrique Suisse et favorisera le développement des énergies renouvelables sur le long terme.



**Figure 4** - Evaluation de la capacité de stockage saisonnière et potentiel d'augmentation (surélévation de 10% de la hauteur actuelle des retenues) des principaux aménagements d'accumulation de la rive gauche du Rhône

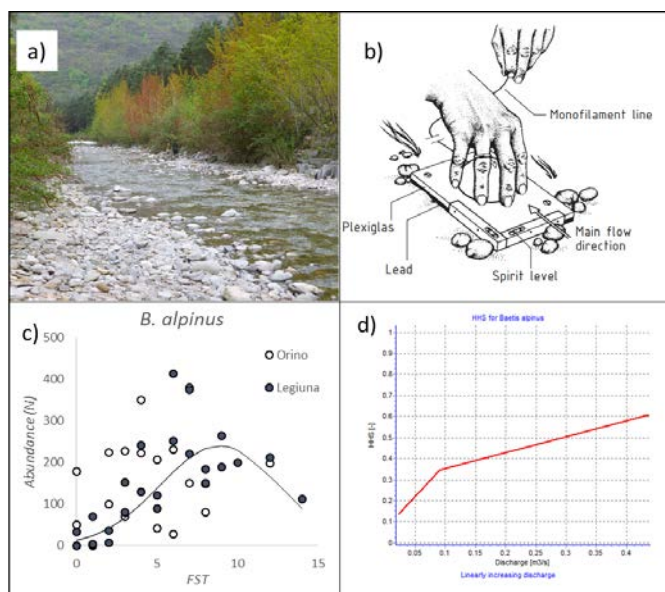
Gabriele Consoli, (Christopher T. Robinson, Fabio Lepori und Andreas Bruder)

## Quantitative Vorhersagen der Auswirkungen von Wasserentnahmen auf Makroinvertebraten und Ökosystemfunktionen in alpinen Bächen

SUPSI, Institute of Earth Sciences, Canobbio

Masterarbeit; Leitung: Dr. Andreas Bruder, SUPSI, Institute of Earth Sciences, Canobbio

Die globale Zunahme des Energiebedarfs und die Szenarien des Klimawandels haben die Bedeutung von erneuerbaren Energiequellen in den letzten Jahrzehnten stark erhöht. Von diesen spielt die Stromproduktion durch Wasserkraft eine entscheidende Rolle. Die Wasserkraft stellt zurzeit ungefähr 55% der Schweizer Stromproduktion bereit, mit der Folge, dass ca. 80% der alpinen Fließgewässer durch Staudämme und Wasserentnahmen gefasst und/oder reguliert sind (Truffer *et al.*, 2001). Die Bedeutung der Wasserkraft für die Schweizer Stromproduktion wird in den nächsten Jahrzehnten wahrscheinlich nochmals deutlich zunehmen aufgrund der kürzlich angenommenen Energiestrategie 2050. Wasserkraftnutzung bietet entscheidende Vorteile gegenüber anderen Stromquellen, sie verursacht aber auch bedeutende negative Auswirkungen auf die Struktur und Funktion von Ökosystemen (Dynesius & Nilsson, 1994). Eine Verbesserung der Stromproduktionseffizienz aber auch konkrete Massnahmen in den belasteten Gewässern sind notwendig, um die negativen Auswirkungen auf die Ökosysteme zu reduzieren. Makroinvertebraten spielen Schlüsselrollen in Ökosystemen der Fließgewässer und der Ufervegetation. Daher wird in der Schweiz und im Ausland der Zustand dieser Organismengruppe häufig als Indikator zur Beurteilung des Zustandes von Gewässerökosystemen verwendet. Makroinvertebraten sind empfindlich gegenüber Veränderungen des Abflussregimes – einer der häufigsten Folgen der Wasserkraftnutzung – vor allem aufgrund von Veränderungen der Habitatseigenschaften und Ressourcenverfügbarkeit (Dewson *et al.*, 2007). Ein detailliertes Verständnis der komplexen ökologischen Beziehungen zwischen Gewässerorganismen, deren Habitat und Ressourcen ist notwendig, um den Zustand von Fließgewässern zu beurteilen, effektive Massnahmen vorzuschlagen, und die Mechanismen der Auswirkungen von veränderten Abflussregimen zu verstehen. Funktionelle und strukturelle Indikatoren können zur Beschreibung dieser Beziehungen verwendet werden. Funktionelle Indikatoren können Erkenntnisse bieten, die über die taxonomischen Informationen, wie sie strukturelle Indikatoren bieten, hinausgehen. Sie beruhen



**Abbildung 5.** a) Untersuchungsstandort an der Legiuna; b) Methodik der FST-Halbkugeln; c) Präferenzkurve von *Baetis alpinus* (eine Eintagsfliege); d) Hydraulische Habitatseignung (HHS) für *B. alpinus*.

zwar auch auf Kenntnissen der vorkommenden Organismen, beinhalten jedoch auch Informationen über übergreifende ökologische Konzepte, inklusive Beziehungen zu Ressourcen und Energieflüssen (Wallace & Webster, 1996). Solche Ökosystemfunktionen spiegeln sich zum Beispiel wieder in der Verteilung von funktionellen Eigenschaften der Organismen in Makroinvertebratengemeinschaften (z. B. Eigenschaften welche die Form der Nahrungsaufnahme einer Art beschreiben). Für diese Studie haben wir Habitatmodelle entwickelt mit dem Ziel, Veränderungen von Makroinvertebratengemeinschaften aufgrund unterschiedlicher Abflussbedingungen sowie deren Auswirkungen auf Habitatseigenschaften (z. B. auf Scherkräfte) vorherzusagen. Wir haben diese Modelle dann während dem Frühling in zwei alpinen Bächen im Kanton Tessin angewendet,

der Legiuna und dem Orino (Fig. 1a). Für die Messung der Scherkräfte haben wir FST-Halbkugeln verwendet (Fig. 1b) (Statzner & Muller, 1989), welche eine quantitative Schätzung der Scherkräfte erlauben, sowie deren Verrechnung mit erfassten Abundanzen der Makroinvertebratenarten zur Berechnung ihrer Präferenz für diese Habitatseigenschaften (Fig. 1c). Resultate dieser Habitatmodellierung beinhalten folgende Indizes: die hydraulische Habitatseignung (hydraulic habitat suitability, HHS) (Fig.1d) und die nach Eignung gewichtete zur Verfügung stehende Habitatsfläche (weighted usable area, WUA). Wir haben diese Indizes für die jeweiligen Indikatoren (Arthäufigkeit, Verteilung der Biomasse der funktionellen Gruppen der Makroinvertebratengemeinschaft – Zerkleinerer, Sammler, Filtrierer, Prädatoren – sowie der Biomasse der verschiedenen Ressourcen) und Abflusseigenschaften berechnet. Ausserdem testeten wir quantitative Beziehungen zwischen den funktionellen Makroinvertebratengruppen und ihren jeweiligen Ressourcen (z. B. fein- und grobkörniges organisches Material) unter verschiedenen Abflusseigenschaften.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen widerspiegelten die verwendeten Indikatoren der Makroinvertebratengemeinschaft Muster, die durch die Scherkräfte erklärt werden konnten. Die gemessenen Präferenzen legen den Schluss nahe, dass die meisten vorhandenen Makroinvertebratenarten höhere Abflussbedingungen bevorzugen würden als jene, die während unserer Studie vorherrschten. Diese Schlussfolgerung bedeutet, dass höhere Restwassermengen und weniger Wasserentnahme die Habitatseignung und -verfügbarkeit für die Makroinvertebratengemeinschaften in beiden Bächen deutlich erhöhen würden. Bezüglich der Ressourcen deutet unsere Studie darauf hin, dass sich grobkörniges organisches Material in Bereichen mit höheren Scherkräften ansammelt. Für die Verteilung von feinkörnigem organischem Material konnte hingegen keine Beziehung mit den Scherkräften nachgewiesen werden. Diese Resultate sollten durch weitere Studien (insb. über die Beziehungen zwischen Habitateigenschaften und Ressourcenverfügbarkeit, inkl. Biomasse der Aufwuchsalgen) erhärtet werden. Unsere Studie bestätigt auch, dass die Erfassung der funktionellen Gruppen der Makroinvertebratengemeinschaft und ihrer Ressourcen wichtige integrative Erkenntnisse bieten kann, auch über Arten, die in strukturellen Indikatoren untergehen würden. Sie bietet daher ein geeignetes Beispiel über die Vorteile der Integration von strukturellen und funktionellen Indikatoren für ein kompletteres Bild der Auswirkungen von anthropogenen Umweltveränderungen auf Bachökosysteme und deren Biodiversität. Solche Studien sind insbesondere von Bedeutung für die Beurteilung der Auswirkungen von veränderten Abflussregimen in alpinen Regionen, in denen viele Gewässer durch die Wasserkraftnutzung stark beeinflusst sind.

## References

- Z. Dewson, A. James, R. Death, *Journal of the North American Benthological Society*, 26, 3, 401-405 (2007), doi:10.1899/06-110.1.
- M. Dynesius, C. Nilsson, *Science*, 266, 5186, 753-762 (1994), doi:10.1126/science.266.5186.753.
- B. Statzner, R. Muller, *Freshwater Biology*, 21, 3, 445-459 (1989), doi:10.1111/j.1365-2427.1989.tb01377.x.
- B. Truffer et al., *Mountain Research and Development*. 21, 19-24 (2001). doi: 10.1659/0276-4741(2001)021[0019:gefahp]2.0.co;2
- J. Wallace, J. Webster, *Annual Review of Entomology*, 41(1), 115-139 (1996) , doi:10.1146/annurev.en.41.010196.000555.

# Klimawandel ökologisch / Change- ment climatique en écologie

Maik Rehnus

## Management von "Todgeweihten" - Schneehasen in Zeiten des Wandels

WSL Birmensdorf

Dissertation; Leitung: Dr. Kurt Bollmann, WSL Birmensdorf

Landnutzungsänderungen und Klimawandel führen zum Verlust von Biodiversität. Aufgrund ihrer Anpassung an die Umweltbedingungen im Gebirge und den eingeschränkten Wandermöglichkeiten zwischen isolierten Populationen sind alpine Arten von solchen Veränderungen besonders betroffen. Meine Dissertation untersucht (1) die Auswirkungen von Wintersportaktivitäten auf die Physiologie und das Verhalten des Schneehasen (*Lepus timidus*), (2) die saisonale Lebensraumnutzung der Hasen und (3) die Folgen von steigenden Temperaturen und ausbleibenden Niederschlägen auf das Vorkommen und die Vernetzung des Schneehasen in den Schweizer Alpen. Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist, Grundlagen für erste Managementempfehlungen für diese Art abzuleiten und zur Verfügung zu stellen.

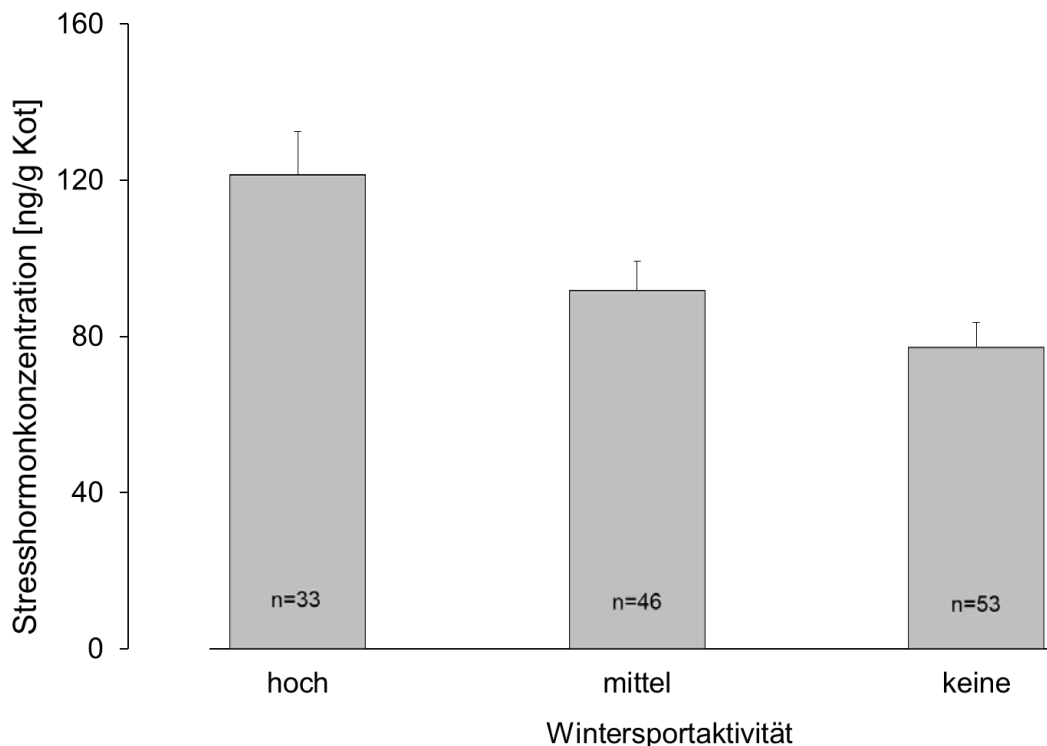
Im ersten Kapitel bestimme ich die Stresshormonkonzentration in der Schneehasenlosung mit einer nicht-invasiven Methode in Gebieten mit keiner, mittlerer und hoher Wintersportaktivität. Im Gebiet mit hohem Störungsdruck erreichte die Stresshormonausschüttung der Schneehasen die höchsten Werte verglichen mit Gebieten mit wenig oder keiner Wintersportaktivität. In einem ergänzenden Gehegeversuch mit simulierten Störungen untersuche ich die Auswirkungen von Stressereignissen auf die Stresshormonausschüttung, das Verhalten und die Nahrungsaufnahme des Schneehasen. Die Stressereignisse reduzierten die Ruhephasen und das Pflegeverhalten der Tiere. Der Energiebedarf der Hasen stieg, da die simulierten Störungen zu vermehrter Flucht führten, die Stresshormonkonzentration anstieg und die Phasen für die Stoffwechsellagerung und der Energieaufnahmen vom Kot unterbrochen wurden. Schneehasen verändern somit ihre Physiologie und ihr Verhalten, um Störungen in Gebieten mit Wintersportaktivitäten zu bewältigen. Das führt zu einem erhöhten Energiebedarf verglichen mit Gebieten ohne Wintersportaktivitäten. In freier Wildbahn kann der Energieverlust im Winter wegen den beschränkt vorhandenen und energiearmen Nahrungsquellen nur schwer kompensiert werden, was sich negativ auf den Fortpflanzungserfolg der Häsinnen auswirken kann.

Im zweiten Teil untersuche ich die Lebensraumnutzung des Schneehasen um wichtige und limitierende Umweltressourcen im Jahresverlauf zu identifizieren. Hierfür wurde die relative Bedeutung von kleinräumigen Habitatstrukturen und deren Zusammensetzung anhand der räumlichen Verteilung der Losung in verschiedenen Gebieten der Schweizer Alpen analysiert. Der Schneehase bevorzugte heterogene und strukturreiche Lebensräume und Dickungen bestehend aus Legföhren oder Waldbestände mit guten Deckungsmöglichkeiten. Die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen war über das ganze Jahr betrachtet bedeutender als während der Fortpflanzungsperiode, wenn Nahrung ausreichend zur Verfügung steht und die Deckung wichtiger für die Junghasen ist. Ein heterogener Lebensraum bietet dem Schneehasen ein optimales Angebot an Deckung und Nahrung, welche ihm erlauben auf die wechselnden Umweltbedingungen im Gebirge zu reagieren.

Im dritten Kapitel untersuche ich den Einfluss der Klimaveränderung auf die Verbreitung des Hasen in den Schweizer Alpen bis 2100 anhand von 1046 Nachweisen von Schneehasen. Hierfür modelliere ich die aktuelle und zukünftige Verbreitung und die Vernetzung geeigneter Lebensräume für Schneehasen mittels Topographie, Landnutzung und Klima unter verschiedenen Szenarien. Die Fläche des geeigneten Lebensraumes reduziert sich bis 2100 im Mittel um etwa ein Drittel, hauptsächlich aufgrund der steigenden Temperaturen in der Fortpflanzungsperiode. Die Konnektivität der Schneehasenpopulationen sinkt bis zum Jahr 2100 deutlich. Der ermittelte Lebensraumverlust führt zu einer erhöhten Anzahl von flächenmässig kleineren Gebieten mit geeignetem Lebensraum für den Hasen. Daraus resultieren längere Distanzen zwischen diesen Gebieten gegenüber der heutigen Situation. Die Vorhersagen unterscheiden sich stark zwischen den untersuchten biogeografischen Regionen. Der Lebensraumverlust ist am südlichen und

nördlichen Rand der Verbreitung in den Schweizer Alpen hoch und kombiniert mit steigenden Distanzen zwischen den geeigneten Gebieten. In den Zentralalpen hingegen ist der Lebensraumverlust geringer als in den Randlagen, aber die Anzahl kleinerer Gebiete steigt deutlich. Der Lebensraumverlust und die steigende Fragmentierung der Habitate schränken die zukünftigen Möglichkeiten für eine erfolgreiche Ausbreitung unter dem Klimawandel ein.

Meine Dissertation liefert erste Empfehlungen für das Management von Schneehasen in den Alpen. Um Störungsereignisse durch Wintersportaktivitäten zu reduzieren, sollten Wildruhezonen als wichtige Rückzugsgebiete für die Tiere geschaffen werden. Zusätzlich sollten an der Waldgrenze heterogene Habitate mit einem Mosaik an vielfältigen Habitatstrukturen und Deckungsmöglichkeiten erhalten bleiben, damit die saisonal wechselnden Bedingungen an Nahrung und Deckung ganzjährig auf kleinem Raum abgedeckt werden können. Die Modellierung der zukünftigen Schneehasenlebensräume identifiziert wichtige Gebiete für den Verbleib von Lebensräumen und für die Konnektivität zwischen den Subpopulationen. Diese Lebensräume sollen besonders für Massnahmen zur Lebensraumverbesserung sowie das Management der Wintersportaktivitäten berücksichtigt werden.



**Abbildung:** Stresshormonkonzentrationen (Mittelwert  $\pm$  SE;  $n = 132$ ) bei Schneehasen in Gebieten mit unterschiedlich intensiver touristischer Nutzung. Ein Mittelwertvergleich zeigt signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ) in den Stresshormonkonzentrationen zwischen den Gebieten mit der höchsten touristischen Frequenz gegenüber den Gebieten mit mittlerer Frequenz und ohne Touristen (Rehnus *et al.* 2014).

#### Literatur

Rehnus M., Wehrle M., Palme R. (2014) Mountain hares *Lepus timidus* and tourism activities: Stress events and reactions. *Journal of Applied Ecology* 51: 6-12.

Jonathan von Oppen

## **Teesatz mit Aussicht: Was verwesende Blätter über die Zukunft alpiner Ökosysteme erzählen**

WSL, Davos

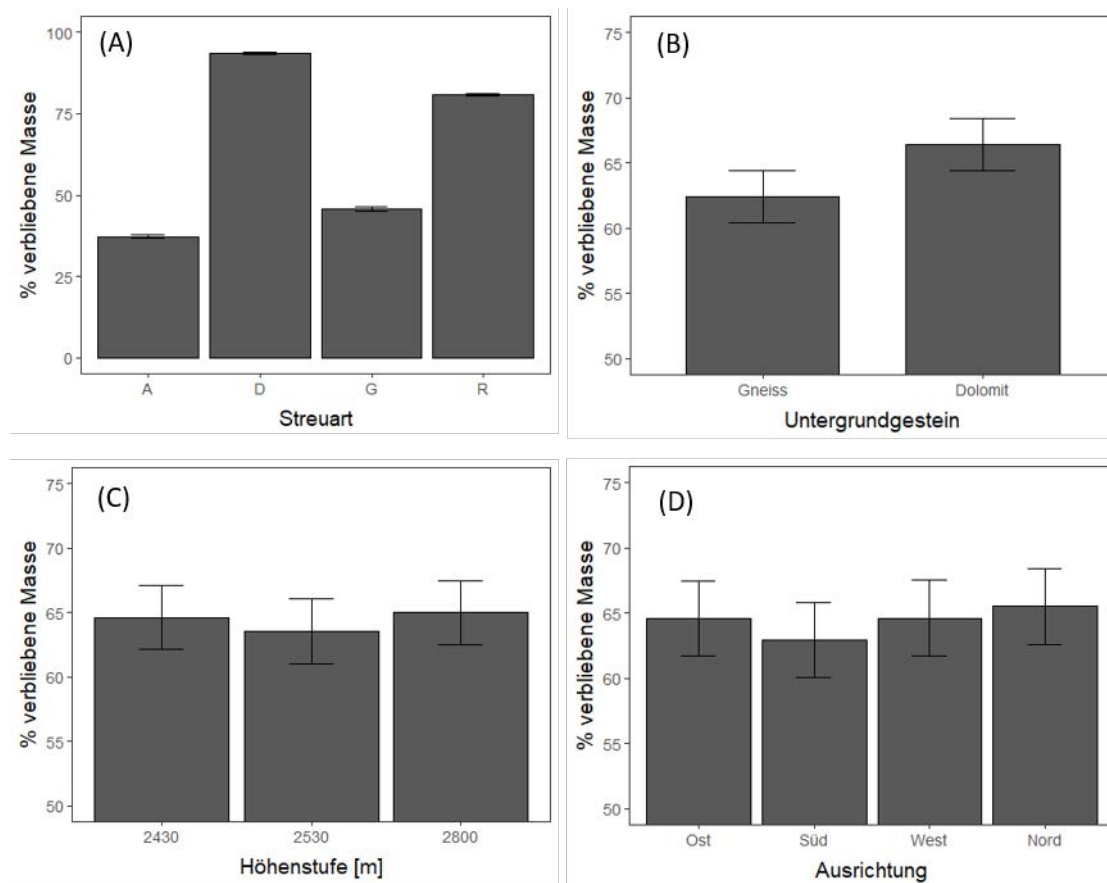
Masterarbeit; Dr. Sonja Wipf, WSL, Davos

Natürliche Zersetzungsprozesse nehmen entscheidend Einfluss auf den Umsatz von Kohlenstoff und Nährstoffen in terrestrischen Ökosystemen. Durch Verknüpfungen zu oberirdisch und bodenlebenden Organismen steuern sie wesentliche Funktionen der Ökosysteme. Besonders in kühlen Ökozonen mit geringer Produktivität – wie etwa den Alpen – hängen die biotischen und abiotischen Bodenbedingungen stark von lokal unterschiedlichen Faktoren ab, wie etwa Topographie, Untergrundgestein oder Vegetation. Gleichzeitig verursacht die rasche Klimaerwärmung gegenwärtig enorme Veränderungen im Alpenraum: so verschieben zahlreiche Arten ihre Verbreitungsräume, und auch eine Beschleunigung biogeochemischer Prozesse durch erhöhte mikrobielle Aktivität wird vielfach beobachtet. Die Kombination dieser Faktoren wird sich also mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf den Abbau von Blattstreu auswirken. Im Rahmen dieses Projektes sollte daher (i) der Abbauprozess unter den vielfältigen alpinen Bedingungen quantifiziert werden, (ii) durch Verwendung des „Tea Bag“-Protokolls (Keuskamp et al. 2013, MEE) ein Beitrag zu umfangreichen Datenbanken über Abbauprozesse in kalten Ökozonen geleistet werden, und (iii) die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen bezüglich Zersetzung und ihres Einflusses auf alpine Pflanzengemeinschaften unterstützt werden.

Auf sechs alpinen Gipfeln im Engadin wurden Nylon-Teebeutel vergraben, die jeweils eine von vier unterschiedlichen Arten von Streu enthielten (Grüner Tee, Rooibostee, vor Ort gesammelte Blätter von *Anthyllis vulneraria* subsp. *alpina* oder von *Dryas octopetala*). Die Gipfel lagen in drei unterschiedlichen Höhenstufen (ca. 2430 m, 2530 m, bzw. 2800 m), jeweils auf Gneiss- oder Dolomituntergrund, und die Untersuchungsflächen wurden auf jedem Gipfel nach den vier Haupthimmelsrichtungen ausgerichtet. Somit wurden mit der Höhe und der Ausrichtung zwei Temperaturgradienten geschaffen. Zusätzlich wurden kleinere Versuchsbehälter (Mesokosmen) an zwei Standorten auf unterschiedlichen Höhenstufen deponiert. Die Gefäße enthielten jeweils einen einzelnen Beutel sowie Boden, der mit einer Suspension von Gipfelboden geimpft worden war, um sowohl Temperatureffekte als auch standortspezifische Effekte der Mikroorganismen zu untersuchen.

An allen Standorten wurde von der stickstoffreicheren Streu (Grüntee und *Anthyllis*) mehr Biomasse abgebaut als von den Substraten mit relativ höherem Kohlenstoffgehalt (Rooibos und *Dryas*; Abb. 1). Dabei übertrafen die Unterschiede zwischen diesen Gruppen deutlich die Differenzen innerhalb, was die Repräsentativität der Teesorten als Modelle für lokale Streu stützt. Im Feldversuch verlief die Zersetzung zudem auf Gneiss rascher als auf Dolomit (Abb. 1), wobei mit dem Untergrundgestein auch die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften stark schwankte. Allerdings hatten entgegen der ursprünglichen Annahme die beobachteten Temperaturunterschiede zwischen den Standorten keinen nennenswerten Einfluss auf die Zersetzungs-dynamik (Abb. 1). Der Abbau in den Mesokosmen verlief am wärmeren, tiefer gelegenen Standort stärker. Allerdings waren keine Unterschiede in der Zersetzung zwischen den verschiedenen Bodenbehandlungen erkennbar, was jedoch auch in anoxischen Inkubationsbedingungen begründet sein könnte.

Für den Fall einer fortgesetzten Klimaerwärmung haben Forscher starke Veränderungen der alpinen Vegetation hin zu Arten mit schwerer abbaubarer Streu vorhergesagt. Vor diesem Hintergrund deuten der einerseits hohe Einfluss der verschiedenen Streutypen und die im Gegensatz dazu geringen Auswirkungen der Temperatur auf die Zersetzung auf eine gewisse Resilienz, wenn nicht sogar eine Verlangsamung alpiner Abbauprozesse hin. Zudem liefern die Ergebnisse ein anschauliches Beispiel dafür, wie weitreichend Pflanzen unterirdische Prozesse beeinflussen können. Weitere wertvolle Erkenntnisse könnten durch Langzeitstudien gewonnen werden, etwa bezüglich der quantitativen Bedeutung von Abbauvorgängen im Winter oder physikalischen Zersetzungsprozessen.



**Abb. 1:** Verbleibende Masse der Blattstreu (A) je Streuart (A: Anthyllis, D: Dryas, G: Grüner Tee, R: Rooibos), (B) nach Untergrundgestein, (C) auf verschiedenen Höhenstufen (ungefähre Angaben), sowie (D) an Standorten mit unterschiedlicher Ausrichtung. Angegeben sind jeweils Mittelwerte  $\pm$  1 Standardfehler.



Sarah Burli

## Température et durée de croissance aux limites des pelouses alpines

Université Lausanne, Insitut des dynamiques de la surface terrestre

Thèse de Master ; Responsable : Dr. Pascal Vittoz, Université Lausanne, Insitut des dynamiques de la surface terrestre

### Introduction

Au cours des dernières décennies, plusieurs études ont porté sur la caractérisation des conditions écologiques à la limite supérieure de la forêt. Körner et Paulsen (2004) ont réalisé la plus large étude en mesurant la température du sol sous les arbres à travers le monde. Ils ont constaté que les arbres peuvent exister lorsque la saison de croissance dépasse 92 jours avec une température moyenne du sol (10 cm de profondeur) durant cette période de 6,4 à 7,7 °C dans les forêts boréales et tempérées. Par contre, la température du sol sous les dernières pelouses plus ou moins continues en haute altitude, à l'écotone alpin-nival, n'a jamais été étudiée.

La photosynthèse étant encore possible en dessous de 6-7 °C (Körner 2003), la limite des arbres n'est pas liée à une assimilation insuffisante du carbone. Cependant, des études physiologiques (Alvarez-Uria & Körner 2007) ont confirmé qu'une température du sol inférieure à 4-5 °C empêche la croissance des racines en inhibant le transport de la H<sup>+</sup>-ATPase de la membrane plasmique (Ryypö et al 1998, Iivonen et al., 1999). La morphologie des arbres, avec leur large canopée ombrageant le sol est responsable des basses températures du sol, comparativement aux pelouses qui peuvent se développer à des altitudes plus élevées que les arbres (Körner 2003; Scherrer & Körner 2011). Par conséquent, si un processus physiologique au niveau des racines limite la croissance des plantes dans les sols froids, un seuil de température similaire devrait être observé pour toutes les espèces végétales, les herbes comme les arbres.

La longueur de la période sans neige est un autre facteur limitant aux altitudes alpines et nivales. Considérant le taux d'assimilation du CO<sub>2</sub> des espèces alpines, le coût de la production des feuilles et de la respiration racinaire, Körner (2003) a estimé qu'une cinquantaine de jours sans neige sont nécessaires à la croissance d'une plante vasculaire.

Par la présente étude, nous avons caractérisé la température minimale du sol et la durée de la saison de croissance permettant le développement des pelouses alpines en Europe à l'écotone alpin-nival. Sur la base des études précédentes, nous faisons l'hypothèse que (1) la durée minimale de croissance permettant le développement des pelouses alpines se situe entre la limite physiologique des espèces tolérantes au froid (50 jours) et la durée de la saison de croissance à la limite altitudinale supérieure des arbres. De plus, on s'attend à ce que (2) la température moyenne du sol pendant la saison de croissance à l'écotone alpin-nival, appelée ci-après « limite des pelouses », soit, comme pour la limite des arbres, de l'ordre de 6 à 7 °C.

### Méthode

Ce projet est basé sur les inventaires GLORIA (*Global Observation Research Initiative in Alpine environments*) pour 71 sommets répartis dans 18 régions européennes. Sur chaque sommet, une parcelle de 3 x 3 m a été établie à 5 m en-dessous du sommet de la montagne selon les quatre points cardinaux. Les espèces végétales ont été inventoriées dans chaque parcelle et leur couverture respective estimée visuellement (Fig. 1). La température du sol des parcelles a été enregistrée toutes les heures pendant plusieurs années grâce à un sonde enfouie à une profondeur de 10 cm. Pour chaque parcelle, la température moyenne pluriannuelle du sol et la durée moyenne pluriannuelle de la saison de croissance ont été calculées. Nous avons défini qu'un jour fait partie de la saison de croissance lorsqu'il se situe entre mars et septembre et que la température moyenne journalière du sol est supérieure ou égale à 2 °C. Nous avons également défini la pelouse comme une zone recouverte de plantes sur au moins 50% de sa superficie. Afin d'évaluer si les formes de croissance des plantes ont des seuils de température différents, les espèces ont été assignées soit aux plantes à fleurs non-graminées, soit aux graminées (y compris cypéracées et joncacées) ou aux chaméphytes ligneuses (par ex. myrtilles, rhododendrons).

Le couvert végétal de chaque parcelle a été évalué en fonction des moyennes pluriannuelles de température et de durée de croissance correspondante. Le 95<sup>ème</sup> percentile de la couverture végétale, calculé sur des intervalles de température et sur la longueur de la saison de croissance, a été retenu comme représentant la valeur maximale possible pour la couverture végétale dans ces conditions. Parce que la couverture végétale en fonction des paramètres de la saison de croissance devrait montrer deux asymptotes, une inférieure pour une couverture végétale de 0% (absence de plantes) dans des conditions très froides et une supérieure à 100%, une sigmoïde a été ajustée aux valeurs des 95<sup>ème</sup> percentiles en utilisant la méthode des moindres carrés non linéaires (Bates & Watts 1988, Bates & Chambers 1992).

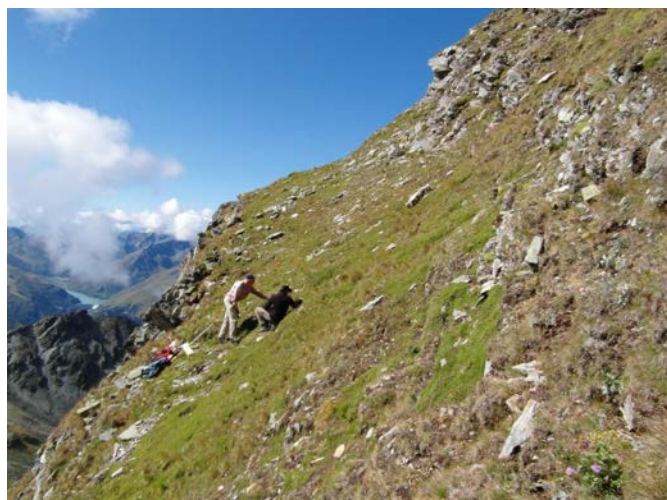
### Résultats et discussion

En Europe, la fin des pelouses continues a lieu lorsque la saison de croissance est inférieure à 77 jours ou lorsque la température moyenne du sol au cours de cette période est inférieure à 5,7 °C (Fig. 2). Cette valeur de température du sol semble être une limite commune pour l'ensemble du règne végétal, car elle est proche de la plus faible température du sol trouvée pour les arbres (Körner & Paulsen 2004). Le seuil de la saison de croissance des pelouses se situe entre la longueur minimale estimée pour les plantes vasculaires (~ 50 jours, Körner 2003) et la longueur observée pour la limite altitudinale supérieure des forêts en Europe (92 jours, le plus souvent autour de 135 jours, Körner & Paulsen 2004).

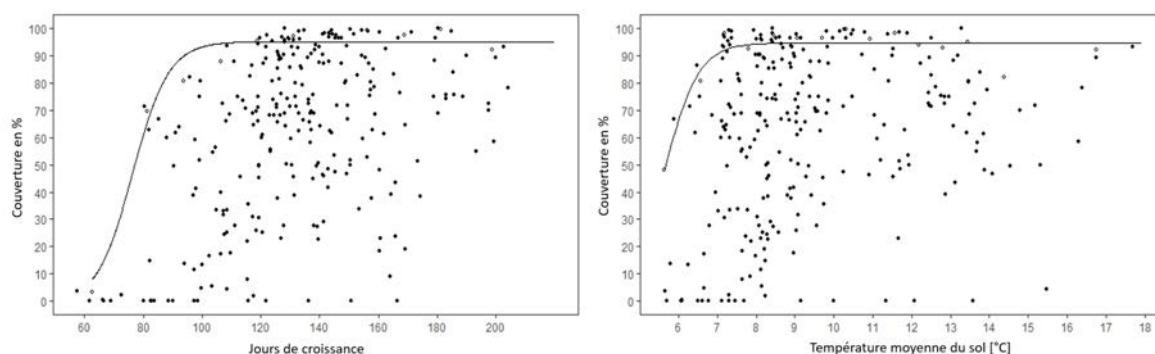
La température moyenne du sol et la longueur de la saison de croissance sont des paramètres complémentaires et indépendants pour caractériser la limite des pelouses. Au niveau européen, les plantes alpines sont plus souvent limitées par la durée que par la température du sol durant la saison de croissance. En effet, notre ensemble de données contenait plus de sites situés à gauche de la courbe sigmoïde (couverture proche de 0%) sur le graphe pour la longueur de la saison de croissance que pour la température moyenne du sol (Fig. 2). En outre, nos recherches ont montré que les plantes à fleurs non-graminées peuvent supporter des saisons de croissance plus courtes et plus froides que les graminées et les chamaephytes ligneuses, et donc contrôlent l'élévation de la limite des pelouses en Europe à l'écotone alpin-nival. La faible différence des températures limites trouvée entre pelouses et arbres n'explique pas à elle-seule les 700 m qui séparent ces deux limites (Aeschmann & Burdet 2005). Cette différence d'altitude est plutôt liée à l'ombre que font les arbres sur leurs propres racines, réduisant ainsi la température du sol, contrairement aux petites plantes alpines, qui profitent pleinement du rayonnement solaire pour chauffer le sol.

### Conclusion

Dans l'ensemble, cette étude permet de mieux comprendre les limitations que les plantes alpines subissent à l'écotone alpin-nival. Nous avons montré que le seuil de croissance d'une pelouse avec une couverture de 50% se situe à une température moyenne du sol légèrement plus froide et pour une saison de croissance plus courte que la limite altitudinale supérieure des arbres. La valeur de la température du sol que nous avons trouvée (5,7 °C) est en fait proche de la limite physiologique de la croissance des plantes proposée par Alvarez-Uria & Körner (2007). Il est estimé que près de 650 taxons végétaux (Körner, 2003) poussent aux altitudes alpines et nivales. En raison du réchauffement climatique, la zone située entre la limite supérieure des forêts et le point culminant des sommets en Europe devrait diminuer à l'avenir et mettre ainsi en péril la survie des plantes des pelouses adaptées aux hautes altitudes. Cet article, en donnant un aperçu des facteurs déterminant l'écotone des pelouses alpines, peut aider à prédire avec plus de précision l'avenir des espèces végétales herbacées et à modéliser leur évolution sous différents scénarios de réchauffement climatique.



**Figure 1** : Inventaires botaniques à 2900 m dans les Alpes valaisannes, proche de la limite supérieure des pelouses. Photo de Mathias Vust.



**Figure 2** : Couverture végétale vasculaire (%) en fonction de A) la durée moyenne de saison de croissance et de B) la température moyenne du sol durant la saison de croissance. La courbe a été obtenue en ajustant une sigmoïde aux 95<sup>ème</sup> percentiles (indiqués par les cercles blancs) de la couverture végétale en fonction de la longueur ou de la température du sol de la saison de croissance. Les points noirs correspondent aux valeurs observées pour des parcelles individuelles sur les sommets européens du projet GLORIA.

## Références

- Aeschimann, D. & H. M. Burdet (2005). Flore de la Suisse et des territoires limitrophes. Le nouveau Binz. Haupt, Bern, 603 p.
- Alvarez-Uria, P. & Körner, C. (2007). Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. *Functional Ecology*, 21, 211-218.
- Bates, D. M. & Watts, D. G. (1988). *Nonlinear regression analysis and its applications*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Bates, D. M. & Chambers, J. M. (1992). Nonlinear models. In J. M. Chambers & T. J. Hastie (Eds.), *Statistical Models in S*. Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks/Cole.
- Iivonen S, Rikal R, Ryyppö A, Vapaavuori E (1999) Responses of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings grown in different nutrient regimes to changing root zone temperature in spring. *Tree Physiology*, 19, 951-958.
- Körner, C. (2003). *Alpine plant life* (2nd ed.). Berlin: Springer.
- Körner, C. & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31, 713-732.
- Ryyppö, A., Iivonen, S., Rikala, R., Sutinen, M. L. & Vapaavuori, E. (1998). Responses of Scots pine seedlings to low root zone temperature in spring. *Physiologia Plantarum*, 102, 503-512.
- Scherrer D, Körner C (2011) Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against warming. *Journal of Biogeography*, 38, 406-416.

Magali Matteodo

## **Réponse de la végétation subalpine-alpine suisse changements climatiques récents et conséquences sur la dynamique de la matière organique du sol**

Université Lausanne, Insitut des Dynamiques de la Surface Terrestre

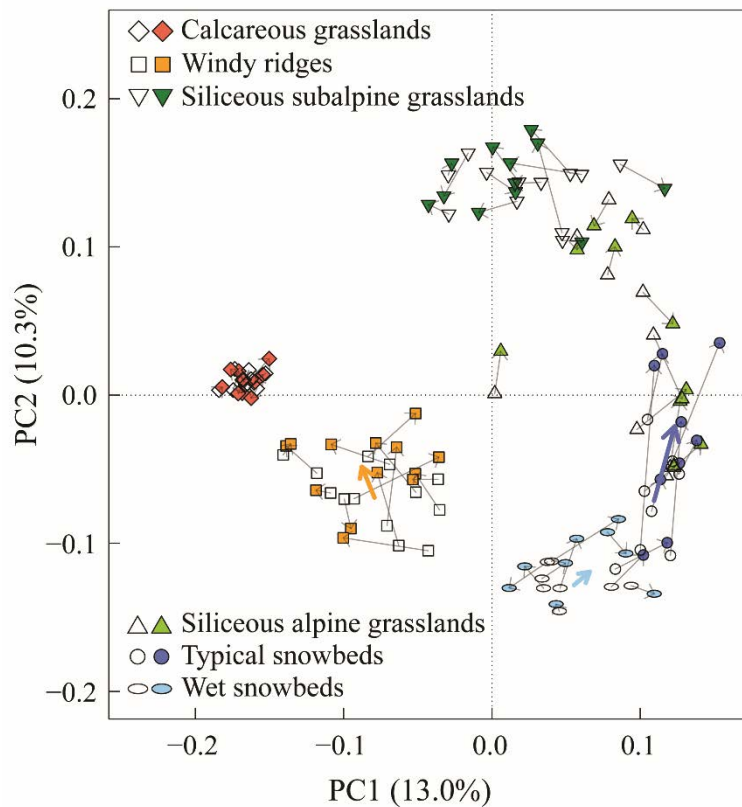
Dissertation; Responsable: Dr. Pascal Vittoz, Université Lausanne, Insitut des Dynamiques de la Surface Terrestre

L'impact du réchauffement climatique sur la flore des sommets alpins est bien connu, mais celui sur la végétation proche de la limite de la forêt l'est beaucoup moins. De plus, à ces altitudes, les études décrivant les sols, ainsi que les facteurs contrôlant leur distribution et la dynamique de la matière organique (MO) qu'ils contiennent, sont très peu nombreuses. Ces sols représentent des réservoirs importants de MO, surtout dans leur partie sommitale avec l'humus, réelle interface entre le minéral et le vivant (plantes, organismes du sol). Les caractéristiques de cette interface permettent de définir ce que l'on appelle les formes d'humus. Le futur de cette MO sous l'effet des changements climatiques reste très incertain. Pour mieux le comprendre, il est nécessaire d'identifier les facteurs écosystémiques (végétation, climat, topographie, matériel parental du sol, etc.) qui régissent la dynamique de la MO du sol. Le but de cette recherche était d'étudier (i) la réaction des principaux types de végétation subalpins-alpins aux changements climatiques récents, (ii) les sols et les formes d'humus auxquels ces types sont associés, et (iii) les facteurs écosystémiques qui contrôlent la distribution des formes d'humus et la stabilité de la MO dans l'environnement alpin.

Trois sites d'étude ont été sélectionnés dans les Alpes suisses. Huit types de végétation distribués entre 1700 et 2700 m d'altitude, et couvrant un gradient d'acidité et d'humidité du sol, ont été retenus. Des inventaires floristiques récents (2013-2014) ont été comparés avec des inventaires historiques (1964-1990), les sols et les formes d'humus correspondants ont été décrits, et la stabilité de la MO a été étudiée thermiquement.

Les différents types de végétation ont montré des réactions contrastées face aux changements climatiques récents. La composition et le recouvrement spécifique des pelouses calcaires et acides sont restés très stables. En revanche, les communautés végétales dépendantes d'un long enneigement (combes à neige) ont changé. Plusieurs espèces, arrivant des pelouses avoisinantes, ont colonisé ces milieux, probablement en raison des fontes des neiges progressivement plus précoces et des saisons de croissance plus longues.

Une grande diversité de sols et de formes d'humus caractérise les huit types de végétation. Cependant, la distribution des formes d'humus est surtout contrôlée par le matériel parental du sol, le climat, et la topographie. La végétation ne jouerait qu'un rôle mineur. Les facteurs écosystémiques qui contrôlent la dynamique de la MO sont apparus comme très variables d'un horizon à l'autre (l'horizon étant la couche de sol présentant des caractéristiques propres). La végétation influencerait la stabilité thermique de la MO dans la litière mais pas dans les autres horizons. En profondeur, dans les horizons avant tout minéraux, le taux d'approvisionnement en matériel organique frais et les caractéristiques physico-chimiques du sol contrôlèrent la stabilité de la MO. Cette étude confirme donc que les facteurs affectant le destin de la MO du sol sont nombreux, spécifiques à la fois au type sol et à la profondeur considérés, et hautement interconnectés. L'évolution de la végétation induite par les changements climatiques récents va probablement avoir un impact limité sur la dynamique de la MO des sols de haute montagne.



**Figure : Evolution de six types de végétation subalpine-alpine depuis la période 1964-1990 à 2013-2014.** Analyse en composantes principales (ACP) basée sur la composition et le recouvrement spécifique de chaque inventaire. Le premier axe (PC1) représente 13% de la variance et le deuxième (PC2) le 10.3%. Couples d'inventaires historiques (symboles vides) et récents (symboles pleins) sont connectés avec des flèches noires. Les flèches en gras colorées représentent un shift significatif du centroïde du type de végétation. Les combes à neige typiques (Typical snowbeds) montrent une nette tendance à ressembler aux pelouses acides alpines (Siliceous alpine grasslands) avoisinantes. Les combes à neige plus humides (Wet snowbeds) montrent aussi un assèchement et tendent vers les combes à neige typiques. Les crêtes ventées (Windy ridges) tendent vers les pelouses calcaires (Calcareous grasslands). Ces dernières sont très stables. Les pelouses acides subalpines et alpines ne montrent pas de changement unidirectionnel, ce qui traduit une certaine stabilité.