

Klimawandel und nachhaltige Landnutzung im Berggebiet

Robert Huber¹, Peter Bebi², Simon Briner³, Harald Bugmann⁴, Alexandre Buttler^{5,6,10}, Adrienne Grêt-Regamey⁷, Christian Hirschi⁸, Roland Scholz⁹, Willi Zimmermann⁸ und Andreas Rigling¹

¹Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 8903 Birmensdorf

²WSL- Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 7260 Davos

³Agri-food and Agri-Environmental Economics Group, IED, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

⁴Waldökologie, ITES, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

⁵Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering ENAC, Laboratory of ecological systems ECOS, Station 2, 1015 Lausanne

⁶Swiss Federal Research Institute WSL, Site Lausanne, Station 2, 1015 Lausanne

⁷Planung von Landschaften und Urbanen Systemen, IRL, ETH Campus Science City, 8093 Zürich

⁸Umweltpolitik und Umweltökonomie, IED, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

⁹Natural and Social Science Interface, IED, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

¹⁰Université de Franche-Comté – CNRS, UMR 6249 Chrono-environnement, 25030 Besançon cedex, France.

Auskünfte: Robert Huber, E-Mail: robert.huber@wsl.ch, Tel. +41 44 739 23 38



Region Visp: Eine der drei Fallbeispielregionen des MOUNTLAND-Projekts.

(Foto: Andreas Rigling, WSL)

Einleitung

Die Berglandwirtschaft im weiteren Sinn war in den letzten Jahren ein wichtiger Bestandteil vieler schweizerischer Forschungsprojekte, die verschiedene Forschungsdisziplinen zusammenbrachten. Dazu gehören beispielsweise das Polyprojekt Primalp (Gotsch *et al.* 2004), das Nationale Forschungsprogramm 48 «Landschaften und Lebensräume der Alpen» (Lehmann und

Messerli 2007), das Forschungsprogramm AgriMontana (Flury 2010) oder das laufende Verbundprojekt Alp-FUTUR (Lauber *et al.* 2008). Im Kontext dieser vielfältigen Forschung zeichnet sich das Forschungsprojekt MOUNTLAND¹ (Rigling *et al.* 2012) durch zwei zusätzliche Aspekte aus:

¹Ausführliche Beschreibung und sämtliche Publikationen des Projekts auf: www.cces.ethz.ch/projects/sulu/MOUNTLAND

- Eine explizite Berücksichtigung zukünftiger Klimaveränderungen auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen;
- Eine methodische Verknüpfung der verschiedenen Forschungsdisziplinen über Modelle und Fallstudien. Dies ermöglicht eine vergleichende Betrachtung von Mensch-Umwelt Beziehungen.

Der vorliegende Artikel stellt das Forschungsprojekt vor, fasst die (agrar-) politisch relevanten Resultate der ersten Projektphase (2008–2012) zusammen und liefert Hintergrundinformationen für die weiteren Artikel in dieser MOUNTLAND Schwerpunktnummer der Agrarforschung.

Von der Multifunktionalität zu Ökosystemleistungen

Die Multifunktionalität der Landwirtschaft ist in der Gesellschaft und der Schweizer Agrarpolitik fest verankert. In Bezug auf die Interaktion zwischen Umwelt und landwirtschaftlicher Produktion verweist die Verfassung insbesondere auf die Erhaltung der natürlichen Ressourcen und die Pflege der Kulturlandschaft als integralen Bestandteil einer multifunktionalen Landwirtschaft (BV Art. 104).

In der Wissenschaft sind die ökologischen Aspekte einer multifunktionalen Landwirtschaft jedoch von einer neuen Begrifflichkeit überholt worden. Seit dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) wird in diesem Zusammenhang vermehrt von Ökosystemleistungen gesprochen. Mit diesem Begriff werden die zusätzlichen Leistungen der Landwirtschaft, welche auf der Interaktion der Landwirtschaft mit der Umwelt beruhen, nicht nur als Externalität oder öffentliches Gut betrachtet, sondern als ein wechselseitiges, integrales System, in welchem natürliche und sozioökonomische Faktoren die Bereitstellung von Gütern und Leistungen beeinflussen. Diese wiederum stellen die Basis für das menschliche Wohlbefinden sicher (Plieninger *et al.* 2010). Der Begriff der Multifunktionalität der Landwirtschaft, wie er in der Schweizer Agrarpolitik verwendet wird, kann dadurch um folgende Aspekte erweitert werden:

- **Ergänzende Leistungen.** Ökosystemleistungen werden in Versorgungsleistungen (Nahrungsmittel, sauberes Wasser etc.), Regulierungsleistungen (Klimaregulierung, Wasserabfluss etc.) und kulturelle Leistungen (Ästhetik, Erholung etc.) klassifiziert, welche wiederum von den Basisleistungen (Nährstoffkreislauf, Bodenbildung etc.) und der Biodiversität getragen werden (MEA 2005; Plieninger *et al.* 2010). Dieses Konzept komplettiert dadurch auf eine systematische Weise die in der Verfassung festgehaltenen multifunktionalen Leistungen, welche im Zusammenhang mit der landwirtschaftliche Nutzung der natürlichen Ressourcen stehen.

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt MOUNTLAND untersucht die Auswirkungen von zukünftigen Klima- und Landnutzungsänderungen auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen in Berggebieten aus einer integrativen Perspektive. Das Projekt verbindet naturwissenschaftliche Experimente mit ökologischen Simulationsmodellen und einem agrarökonomischen Landnutzungsmodell sowie einer Analyse (agrar-)politischer Rahmenbedingungen und Entscheidungsprozesse. Das konzeptionelle Vorgehen erlaubt es, Rückkopplungseffekte in der Beziehung zwischen ökologischen Prozessen und menschlichen Entscheidungsprozessen in drei verschiedenen Fallstudiengebieten des Schweizer Berggebiets zu erforschen.



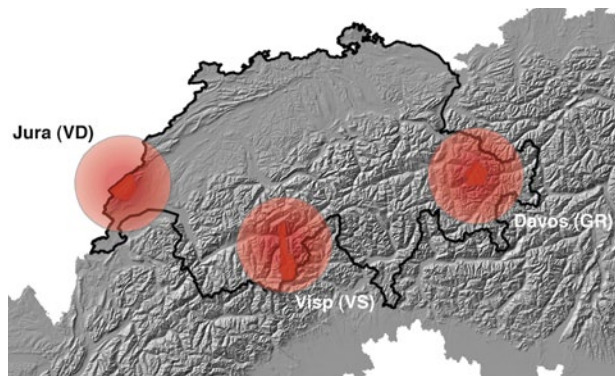


Abb. 1 | Fallbeispielregionen im Forschungsprojekt MOUNTLAND
 Rot: Kerngebiet; hellrot: regionale Einflüsse. (Karte: A. Psomoas, WSL)

- **Leistungen anderer Ökosysteme.** Die Leistungen der Landwirtschaft müssen in einem erweiterten Kontext analysiert werden, da andere Ökosysteme ebenfalls spezifische Leistungen erbringen. Die Austauschbeziehungen zwischen Produktionsleistung und anderer Leistungen verschiedener Ökosysteme sollen systematisch und wenn immer möglich quantitativ erfasst werden. Daraus abgeleitet ergibt sich auch die Forderung an die Politik, vermehrt intersektorale Fragen und Ansätze zu prüfen. Im Vordergrund steht dabei die explizite Abstimmung von Angebot und Nachfrage von Ökosystemleistungen (Grêt-Regamey *et al.* 2012).
- **Rückkoppelungseffekte Mensch-Umwelt.** Die Systemperspektive beinhaltet explizit Rückkoppelungseffekte in der Interaktion zwischen Mensch und Umwelt. Zum Beispiel führen durch den Klimawandel zu erwartende Veränderungen der ökologischen Prozesse zu einer Änderung der Landnutzungsentscheide der Landwirte. Allfällige agrarpolitische Massnahmen beeinflussen dieses Entscheidungsverhalten ebenfalls, wodurch wiederum auf die ursprünglichen ökologische Prozesse eingewirkt wird.

Diese ergänzenden Aspekte der Ökosystemleistungen sind deshalb zentral, weil spezialisiertes und sektorspezifisches Wissen allein nicht genügt, um den klimatischen und sozioökonomischen Herausforderungen der Zukunft zu begegnen (Heal und Small 2002). Interdisziplinäre Erkenntnisse sind eine wichtige Ergänzung zur disziplinären Forschung und eine Voraussetzung für robuste Empfehlungen bezüglich zukünftigen Management- oder Politikmassnahmen im Bereich der Ökosystemleistungen (Carpenter *et al.* 2009). Dies ist insbesondere im Berggebiet der Fall, wo sich die kumulierten Effekte des Klimawandels und der wirtschaftlichen Entwicklung akzentuieren werden (Huber *et al.*

2005). Vor diesem Hintergrund untersucht das Forschungsprojekt MOUNTLAND die folgenden Ökosystemleistungen der Land- und Waldwirtschaft im Berggebiet:

- **Versorgungsleistungen:** Produktion von Nahrungsmitteln und Holz;
- **Regulierungsleistungen:** Klimaregulation basierend auf Kohlenstoffbilanzierungen, Schutz vor Naturgefahren;
- **Kulturelle Leistungen:** Ästhetische Werte basierend auf Landschaftsdiversität.
- **Basisleistungen:** Nitratemissionen der landwirtschaftlichen Produktion.

Schliesslich repräsentieren Indikatoren zur Entwicklung der Biodiversität (auf Arten- und Landschaftsebene) eine weitere grundlegende Leistung der Ökosysteme, welche in MOUNTLAND untersucht wird.

Von Davos, ins Wallis und den Jura

Die Forschung von MOUNTLAND konzentriert sich in drei verschiedenen Fallbeispielregionen innerhalb des Berggebiets. Die Regionen Jura, Visp und Davos (siehe Abb. 1) unterscheiden sich explizit in ihrer Sensitivität gegenüber dem Klimawandel und ihren sozio-ökonomischen Charakteristiken. Das Wytweiden-Ökosystem im ozeanisch geprägten Klima des Kantons Waadt (Jura) reagiert empfindlich auf landwirtschaftliche Nutzungsänderungen. Das im Kanton Wallis gelegene, zentralalpine Ökosystem in der Region Visp ist besonders anfällig auf Trockenheit. Das Ökosystem in der Region um das touristisch geprägte Davos schliesslich reagiert sensitiv auf Temperaturänderungen.

Von den disziplinären Forschungsfragen zur Synthese

Der konzeptionelle Ansatz in MOUNTLAND beruht auf der Idee, dass die Verbindung zwischen den disziplinären Teilprojekten von Beginn an sichergestellt wird und nicht eine Kaskade einzelner, nachträglich zu vernetzender Teilprojekte entsteht. Die Zusammenarbeit basiert dabei auf vier Pfeilern:

1. Eine **einheitliche Forschungsfrage**, welcher sämtliche Teilprojekte untergeordnet sind. Dadurch wird eine Verzettlung der Forschungsaktivitäten verhindert. Die grundlegenden Forschungsfragen des Projekts lauteten:
 - Wie wirkt sich die Klimaveränderung auf ausgewählte Ökosystemprozesse aus und welche räumlichen Interaktionen beeinflussen die verschiedenen Ökosystemleistungen?

Tab. 1 | Teilprojekte und beteiligte Forschungsgruppen in MOUNTLAND

Forschungsbereich	Fallstudien-region	Inhalt	Institution
Ökologie	Jura	Experimente zur Wirkung der Erwärmung auf Vegetation und Bodenprozesse. Modellierung der Vegetationsentwicklung in der Wytweiden Landschaft.	Laboratoire des systèmes écologiques ECOS, EPFL-WSL, Lausanne
	Visp	Experimente zur Etablierung, Wachstum und Mortalität von Baumarten unter Trockenheit (Abb. 2).	Walddynamik, WSL, Birmensdorf
		Dynamische Simulation von Waldmanagement und Klimaeffekten in Waldmodellen.	Waldökologie, ITES, ETH Zürich
	Davos	Experimente und Analysen zur Etablierung von Bäumen and der Waldgrenze und zur Schutzfunktion des Gebirgswaldes an der Waldgrenze.	Gebirgsökosysteme, WSL-SLF, Davos/ Waldböden und Biogeochemie WSL, Birmensdorf
Modellierung von Wald-Lawineninteraktionen.		Landschaftsdynamik, WSL, Birmensdorf	
Sozio-ökonomie	Alle Regionen	Entwicklung von Szenarien a) im Kontext aller Fallstudienregionen und b) in Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren (in Visp).	Natural and social science interface, ETH Zürich
		Landnutzungsmodellierung: ökonomische Quantifizierung von Austauschbeziehungen zwischen der Primärproduktion und der Bereitstellung von Ökosystemleistungen.	Agri-food and Agri-Environmental Economics Group, ETH Zürich
	Davos	Räumlich explizite Optimierung von Ökosystemleistungen mithilfe von Bayesian Netzwerken.	Planung von Landschaft und Urbanen Systemen, IRL, ETH Zürich
Politik	Alle Regionen	Beschreibung des institutionellen und programmatischen Aufbau von bestehenden Landnutzungspolitiken; Identifikation und Analyse der zentralen Akteure und deren Verbindungen mit Hilfe von Netzwerkanalysen; Entwicklung von Politikenszenarien und Indikatoren zur Verbindung von Politikanalyse und Modellierung.	Umweltpolitik und Umweltökonomie, IED, ETH Zürich

Bemerkung: ausgewählte Resultate aus den eingefärbten Themenfelder sind Teil der vorliegenden Schwerpunktnummer MOUNTLAND.

- Wie wirken sich klimatisch, sozio-ökonomisch und politisch bedingte Landnutzungsänderungen in der Wald- und Landwirtschaft auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen aus?
- Welche sektoralen und Sektor übergreifenden Politikmassnahmen wirken in welcher Weise auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen? Was wären Handlungs- und Politikoptionen, welche eine nachhaltige Landnutzung unter der Berücksichtigung von Klima- und Landnutzungsänderungen sicherstellen?

2. **Übergeordnete Szenarien**, die für alle Fallbeispielregionen gelten und welche klimatische und sozioökonomische Entwicklungen miteinander verbinden. Diese ermöglichen eine Diskussion der komplementären Erkenntnisse aus den verschiedenen Fallbeispielregionen.

3. Eine explizite **Verbindung der Modelle** aus den ökologischen und ökonomischen Teilbereichen des Projekts. Mit anderen Worten, die Resultate der jeweiligen Simulationen konnten als Input für das andere Modell genutzt werden. Dadurch wird es möglich, Austauschbeziehungen (trade-offs) zwischen den verschiedenen Ökosystemleistungen sowie Rückkoppelungseffekte zwischen Mensch und Umwelt bzw. zwischen Angebot und Nachfrage zu evaluieren.

4. Die Berücksichtigung und **Integration verschiedener (lokaler) Akteure** wie beispielsweise Förster, Landwirte, oder Verantwortliche aus der Verwaltung in den einzelnen Teilprojekten (Transdisziplinarität) schliesslich erlaubt es, die Forschungsergebnisse in der «realen» Welt zu verankern.





Abb. 2 | Das Projektteam besichtigt das Regendachexperiment in Susten VS.
(Foto: Andreas Rigling, WSL)

Diese konzeptionelle Grundlage ermöglichte es, die einzelnen Forschungsbereiche (Tab. 1) erfolgreich miteinander zu verknüpfen und zusammenzufassen.

Von der Forschung zu den Politikoptionen

In Bezug auf die Politikoptionen (dritte Forschungsfrage) zeigen die Resultate, dass a) strategische Bewirtschaftungsentscheide und politische Instrumente möglichst flexibel ausgestaltet werden sollten um potenziellen abrupten Änderungen begegnen zu können, b) eine noch stärkere Regionalisierung von politischen Massnahmen, insbesondere in der Agrarpolitik, zu prüfen ist, um der räumlichen Heterogenität möglicher Auswirkungen gerecht zu werden, c) projektbezogene Massnahmen es ermöglichen, sektorübergreifende Ziele zu erreichen und betroffene Landnutzer (Landwirte und Förster) besser in die Entwicklungsprozesse mit einzubeziehen und d) raumplanerische Methoden und Instrumente auch im Bereich der Wald- und Landwirtschaft hilfreich sein können, um den Herausforderungen für die zukünftige Bereitstellung von Ökosystemleistungen im Berggebiet zu begegnen (Rigling *et al.* 2012).

Inhalte der Schwerpunktnummer

Spiegelberger *et al.* (2012) befassen sich mit dem Einfluss des Klimawandels auf die Vegetation in den Jura Wytweiden. Die Autoren präsentieren ausgewählte Resultate aus den Experimenten und Modellsimulatio-

nen im Jura. Ihre Analysen zeigen, dass das sehr empfindliche Wytweiden Ökosystem in Zukunft nur mit gezielten forst- und landwirtschaftlichen Massnahmen aufrechterhalten werden kann.

Huber *et al.* (2012) wenden das agentenbasierte Landnutzungsmodell ALUAM-AB auf die Fallbeispielregionen Visp und Jura an und untersuchen die Auswirkungen der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems (WDZ) auf die Landnutzungsintensität. Sie zeigen, dass die gleiche agrarpolitische Massnahme in Abhängigkeit der vorherrschenden Agrarstruktur unterschiedliche Auswirkungen auf die Landnutzungsintensität hat.

Hirschi und Huber (2012) präsentieren in ihrem Artikel das agrarpolitische Netzwerk der Schweiz basierend auf einer Rekonstruktion des politischen Prozesses zur Agrarpolitikreformetappe 2011 (AP 2011) sowie einer inhaltlichen Auswertung der Vernehmlassungen zu den Reformetappen AP 2011 und AP 14–17. Die Autoren zeigen, dass das landwirtschaftliche Politiknetzwerk Ökosystemleistungen der Landwirtschaft grundsätzlich stärken und besser abgelten möchte, dafür aber auch in Zukunft politische Kompromisse innerhalb der Landwirtschaftspolitik und gegebenenfalls mit weiteren Politikbereichen nötig sein werden. ■

Dank

Das Forschungsprojekt MOUNTLAND wurde durch die Finanzierung des Competence Center for Environment and Sustainability (CCES) des ETH Bereichs ermöglicht.

Riassunto**Cambiamento climatico e uso sostenibile del territorio in ambiente montano**

Il progetto di ricerca MOUNTLAND studia, con una prospettiva integrativa, gli effetti che il cambiamento climatico e l'uso del territorio hanno sulla capacità degli ecosistemi montani di fornire i loro servizi. Il progetto coniuga esperimenti in scienze naturali con simulazioni di modelli ecologici e un modello agro-economico di uso del territorio, come pure una analisi (agro-) politica delle condizioni quadro e dei processi decisionali. Il processo concettuale permette lo studio degli effetti reciproci nelle relazioni tra i processi ecologici e processi decisionali sull'esempio di tre casi studio nelle regioni montane.

Summary**Climate change and sustainable land-use in mountain regions**

The research project MOUNTLAND addresses the impacts of climate- and land-use changes on the provision of ecosystem services in mountain regions. The project applies an integrative approach by combining field experiments, ecological modeling, land-use modeling and the analysis societal and political decision making processes. The conceptual approach taken allows for the consideration of feedback effects in human-nature interactions in three different mountain regions in Switzerland.

Key words: climate change, land-use change, inter- and transdisciplinary research, mountain regions.

Literatur

- Buttler A., Gavazov K., Peringer A., Siehoff S., Mariotte P., Wettstein J.-B., Chételat J., Huber R., Gillet F. & Spiegelberger T., 2012. Erhaltung der Wytweiden im Jura: Klimatische und agrarpolitische Herausforderungen. *Agrarforschung Schweiz* 3 (7–8), 346–353.
- Carpenter S.R., Mooney H.A., Agard J., Capistrano D., DeFries R.S., Diaz S., Dietz T., Duraiappah A.K., Oteng-Yeboah A., Pereira H.M., Perrings C., Reid W.V., Sarukhan J., Scholes R.J. & Whyte A., 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (5), 1305–1312.
- Flury C., 2010. Agroscope Forschungsprogramm AgriMontana: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Gotsch N., Flury C., Kreuzer M., Rieder P., Heinimann H.R., Mayer A.C. & Wettstein H.-R., 2004. Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum – Zukunft im Wandel. Synthesebericht des Polyprojektes «PRIMALP – Nachhaltige Primärproduktion am Beispiel des Alpenraums». Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel. S.
- Grêt-Regamey A., Brunner S.H. & Kienast F., 2012. Mountain Ecosystems Services: Who Cares? *Mountain Research and Development* 32 (S1), 23–34.
- Heal G.M. & Small A.A., 2002. Agriculture and Ecosystem Services. In: Handbook of Agricultural Economics: Agriculture and its external linkages (Ed. B. L. Gardner und G. C. Rausser). Elsevier Science, Amsterdam, 1341–1369.
- Hirschi C. & Huber R., 2012. Ökologisierung der Landwirtschaft im agrarpolitischen Prozess. *Agrarforschung Schweiz* 3 (7–8), 360–365.
- Huber R., Iten A. & Briner S., 2012. Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems: Auswirkungen auf die Landnutzung im Berggebiet. *Agrarforschung Schweiz* 3 (7–8), 354–359.
- Huber U., Bugmann H. & Reasoner M., 2005. Global Change and Mountain Regions: An overview of current knowledge, *Advances in Global Change Research*. Springer-Verlag, Dordrecht, The Netherlands. 650 S.
- Lauber S., Seidl I., Böni R. & Herzog F., 2008. Sömmerungsgebiet vor vielfältigen Herausforderungen. *Agrarforschung* 15 (11–12), 548–553.
- Lehmann B. & Messerli P., 2007. The Swiss National Research Programme «Landscapes and habitats of the Alpine Arc». *Journal of alpine research* 4, 19–28.
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C. S.
- Plieninger T., Bieling C., Gerdes H., Ohnesorge B., Schaich H., Schleyer C., Kathrin T. & Wolff F., 2010. Ökosystemleistungen in Kulturlandschaften. *Natur und Landschaft* 85 (5), 187–192.
- Rigling A., Huber R., Bebi P., Brand F., Briner S., Buttler A., Elkin C., Gillet F., Grêt-Regamey A., Hirschi C., Lischke H., Scholz R.W., Seidl R., Spiegelberger T., Walz A., Zimmermann W. & Bugmann H., 2012. Sustainable land use in mountain regions under global change: Synthesis across scales and disciplines. *Ecology and Society* (in review).