

## Beweidungsintensität und Ökosystemleistungen in subalpinen Weiden

Schneider, M.K.<sup>1</sup>, Homburger, H.<sup>1,2</sup>, Scherer-Lorenzen, M.<sup>2</sup> & Lüscher, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften, Reckenholzstrasse 191,  
8046 Zürich, Schweiz; manuel.schneider@agroscope.admin.ch

<sup>2</sup> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Biologie/Geobotanik  
Schänzlestrasse 1, 79104 Freiburg, Deutschland

### Einleitung und Problemstellung

Grosse Gebiete der Alpen werden nur extensiv während der Sommermonate durch Weidetiere genutzt. In der Schweiz machen die sogenannten Sömmerungsweiden ungefähr ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche aus (LAUBER *et al.*, 2013). Ein Grossteil davon liegt in der subalpinen Zone. Die traditionelle Beweidung dieser subalpinen Weiden hat einmalige Ökosysteme geschaffen, welche der Gesellschaft hochwertige Nahrungsmittel, Biodiversität, Erholung und Kulturwerte - sogenannte Ökosystemleistungen - bieten. Während die Futterproduktion einen direkten Wert für die Weidetiere hat, bestimmt die Biodiversität zahlreiche Ökosystemfunktionen (DIAZ *et al.*, 2007). Zudem spielen Bodenfunktionen wie die Speicherung von Kohlenstoff (C) eine wichtige Rolle für Klima und Bodenfruchtbarkeit (MCSHERRY und RITCHIE, 2013).

Die Ökosystemleistungen subalpiner Weide hängen sowohl von den Standortbedingungen wie auch von der Beweidungsintensität ab. Die Beweidungsintensität wird von den Bewirtschaftern durch Besatzstärke und –dauer sowie durch die Art der Weidetiere beeinflusst. Der anhaltende Strukturwandel in der Berglandwirtschaft führt in vielen Regionen zu weniger Arbeitskräften, Rationalisierungsdruck und Anpassungen der traditionellen Bewirtschaftung (FLURY *et al.*, 2013). Entscheidungsträgern und Alpbewirtschaftern stellt sich deshalb die Frage, wie die Weideführung zukünftigen Herausforderungen angepasst werden muss, um die Bereitstellung von Ökosystemleistungen zu sichern. Um die Beziehungen zwischen der Beweidungsintensität und Ökosystemleistungen besser zu verstehen, müssen beide unabhängig von den Umweltbedingungen quantifiziert werden.

In unserer Studie untersuchten wir deshalb, (1) wie die Beweidungsintensität in heterogenem Gebirgsgelände quantifiziert werden kann, (2) welchen Einfluss Umwelt- und Bewirtschaftungsfaktoren auf die Beweidungsintensität haben und (3) wie Ökosystemleistungen durch die Beweidungsintensität beeinflusst werden.



Abb. 1: Milchkuh mit GPS-Empfänger auf einer Alpweide im Unterengadin (links) und Weideausschlusskorb zur Bestimmung der Futterproduktion (rechts). Bilder: S. Hilfiker (links), H. Homburger (rechts).

## Material und Methoden

Auf sechs Sömmerungsbetrieben in den Schweizer Alpen wurde die Beweidungsintensität mittels zeitlich hochaufgelöstem GPS-Tracking während der gesamten Weidedauer gemessen (HOMBURGER *et al.*, 2015). Die sechs Alpen lagen je hälftig in den zwei Regionen Obwalden und Unter-Engadin. Alle wurden mit Milchkühen bestossen, eine pro Region zusätzlich auch mit Mutterkühen. Im Sommer 2011 wurden drei bis vier Kühe pro Alp mit tragbaren GPS-Geräten ausgerüstet und ihre Positionen im 20 Sekunden Takt aufgezeichnet (Abb. 1). Zusätzlich wurden die Tiere mehrere Stunden beobachtet und ihre Aktivitäten protokolliert. Mit diesen Beobachtungen wurden verschiedene Algorithmen basierend auf Geschwindigkeit und Winkel zu den jeweils 15 vorausgehenden und nachfolgenden Positionen kalibriert, um alle gemessenen Positionen in die Aktivitäten Fressen, Gehen und Ruhen einzuteilen (HOMBURGER *et al.*, 2014). Wie die aus den Positionen ermittelten Aktivitätsmuster der Weidetiere von Umwelt- und Bewirtschaftungsfaktoren abhängen, wurde mit linearen Regressionsmodellen mit räumlichen Autokorrelations-Termen untersucht (HOMBURGER *et al.*, 2015).

Die vier Ökosystemleistungen Futterproduktion, Futterqualität, Artenvielfalt und C-Speicherung im Boden wurden an je elf Standorten pro Alp erhoben. Die Probeflächen wurden stratifiziert nach Geländeneigung und Entfernung zum Stallgebäude ausgewählt, zwei Variablen, die schon vor der Untersuchung verfügbar waren und von denen bekannt ist, dass sie die Beweidungsintensität beeinflussen (KAMPMANN *et al.*, 2008; PETER *et al.*, 2009). Die Biomasseproduktion wurde mit Weidausschlusskörben mit 1 m<sup>2</sup> Grundfläche erhoben, zweimal während der Vegetationsperiode (Abb. 1). Die Futterqualität wurde anhand der verdaulichen organischen Substanz gemäss TILEY und TERRY (1963) quantifiziert. Die pflanzliche Artenvielfalt wurde auf einer Fläche von 5x5 m<sup>2</sup> erhoben. Auf derselben Fläche wurde der Gehalt an organischem C im Boden anhand von 16 Einstichen für die C-Konzentration und vier Proben für die Lagerungsdichte bestimmt. Die Zusammenhänge zwischen Ökosystemleistungen, Umweltvariablen und Beweidungsintensität wurden durch die Partitionierung der Variation aus linearen Regressionen quantifiziert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen zeigten, dass die Hauptaktivitäten weidender Milchkühe allein aus Positionsdaten recht gut abgeschätzt werden können (HOMBURGER *et al.*, 2014). So konnten unter Verwendung des Random Forest-Algorithmus mit balancierten Daten 77% der Positionen in unabhängigen Sequenzen korrekt den drei Aktivitäten Fressen, Gehen und Ruhen zugewiesen werden (Abb. 2). Mit bezüglich der Aktivitäten unbalancierten Kalibrierungsdaten konnte gar eine noch leicht höhere durchschnittliche Zuordnungsgenauigkeit erreicht werden, allerdings war diese nur für die häufigste Aktivität Fressen höher, für die Aktivitäten Gehen und Ruhen aber bedeutend niedriger. Der Einbezug von Bewegungsmassen über mehrere Zeitschritte (15 Positionen vor und zurück) trug wesentlich zum Zuordnungserfolg bei, vor allem zur Unterscheidung von Ruhen und Fressen. Letzteres ist durch ein stetiges leichtes Fortbewegen mit kurzen Unterbrüchen charakterisiert.

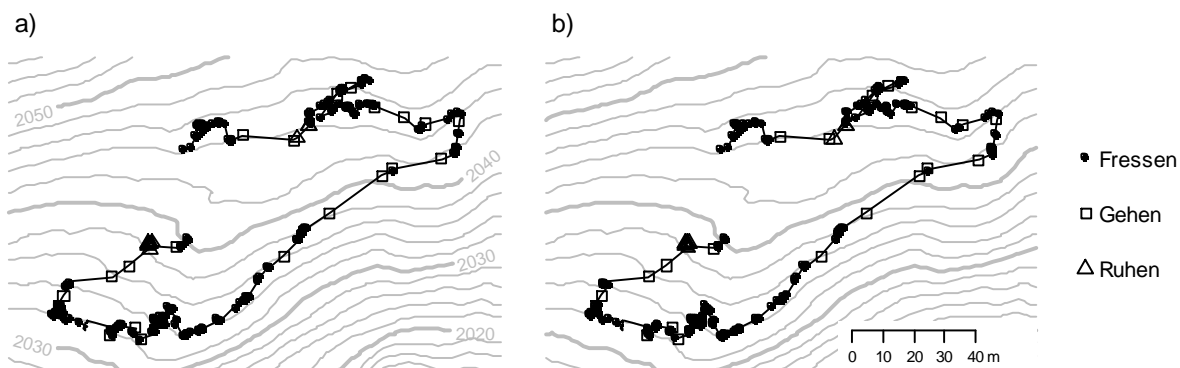


Abb. 2: Positionen einer Milchkuh auf einer subalpinen Weide im 20 Sekunden Takt: a) im Feld beobachtete Aktivitäten und b) mittels Random Forest aus balancierten unabhängigen Daten vorhergesagte Aktivitäten. Angepasst aus HOMBURGER *et al.* (2014).

Die räumliche Verteilung der Aktivitäten von Kühen auf subalpinen Weiden ändert sich weit kleiner als aufgrund der Koppelpgrenzen zu erwarten wäre (HOMBURGER *et al.*, 2015). Die Verteilungen aller drei unterschiedenen Aktivitäten werden vor allem von Topographie und Vegetation bestimmt. Die Intensität der Aktivität Fressen reagierte auf der überwiegenden Mehrheit der untersuchten Sömmerungsbetriebe negativ auf Geländeneigung und verminderte Futterverfügbarkeit, aber positiv auf das Vorhandensein nährstoffreicher Vegetation (Abb. 3). Sonneneinstrahlung und die Entfernungen zu Stall und Wasserstellen hatten nur vereinzelt einen Einfluss auf die Beweidungsintensität. Die Besatzrate der Weideschläge beeinflusste die Beweidungsintensität in drei Betrieben, am stärksten in demjenigen, in welchem eine Portionenweide mit insgesamt 27 Weidekoppeln praktiziert wird. In Betrieben mit - wie im Alpengebiet allgemein üblich - wenigen, grossen Weideschlägen war kein Effekt der Weideführung sichtbar.

Es erwies sich als bedeutsam, die räumliche Autokorrelation in der Auswertung zu berücksichtigen. Zahlreiche Effekte, speziell von räumlich korrelierten Faktoren wie der Distanz, wurden ohne Raumbezug unterschiedlich bewertet als bei dessen Berücksichtigung (Abb. 3).

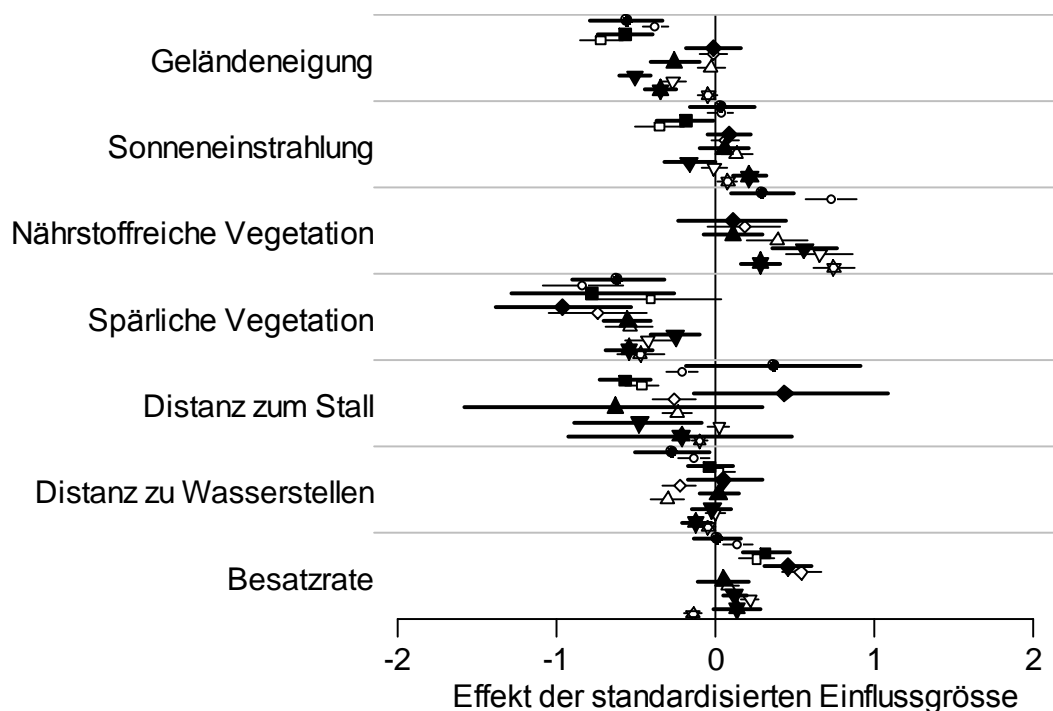


Abb. 3: Einfluss verschiedener Umwelt- und Bewirtschaftungsfaktoren auf die Intensität der Aktivität Fressen durch Milchkühe auf sechs Sömmerungsbetrieben in den Schweizer Alpen (unterschiedliche Symbole). Geschlossene Symbole zeigen die geschätzten Effekte aus einem linearen Regressionsmodell mit räumlicher Autokorrelation, offene aus einem Modell ohne räumliche Autokorrelation. Angepasst aus HOMBURGER *et al.* (2015).

Jede der vier untersuchten Ökosystemleistungen wurde von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. Die Futterproduktion wurde von Geländeneigung, Entfernung zum Stall und Boden-pH negativ beeinflusst, war aber positiv mit der Beweidungsintensität korreliert. Insgesamt wurde der grösste Teil der Variation in der Futterproduktion durch die Beweidungsintensität erklärt. Die Futterqualität nahm mit der Steilheit des Geländes ab, war jedoch ebenfalls positiv mit der Beweidungsintensität korreliert. Die erklärable Variation war bei der Futterqualität kleiner als bei der Produktivität. Die pflanzliche Artenvielfalt wurde von der Entfernung zum Stall positiv, jedoch von Beweidungsintensität und dem Phosphorgehalt im Boden negativ beeinflusst. Der Effekt des Boden-pH folgte einer Optimumkurve. Insgesamt war die Artenvielfalt stark von Umweltbedingungen beeinflusst. Der C-Gehalt im Boden wurde von der Neigung negativ und vom Boden-pH positiv beeinflusst, während kein Effekt der Beweidungsintensität auf Boden-C gefunden wurde.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Beweidungsintensität einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung der Ökosystemleistungen hat. Allerdings oft nicht allein, sondern in Wechselwirkung mit Umweltfaktoren. So bestätigen zum Beispiel MCSHERRY und RITCHIE (2013) in einem Literatur-

überblick, dass es keinen klaren Effekt der Beweidungsintensität auf die C-Speicherung im Boden gibt. Sie folgern, dass der Umweltkontext für die C-Sequestrierung unter Weide wichtig ist. Zahlreiche Autoren, zum Beispiel KAMPMANN *et al.* (2008) oder PETER *et al.* (2009) beschreiben eine starke Wirkung der Neigung auf die pflanzliche Artenvielfalt und mutmassen, dass diese mit einer verminderten Beweidungsintensität zusammenhängt. Diese Hypothese wird durch unsere Daten weitgehend bestätigt.

## Schlussfolgerungen

In unserer Studie konnten wir erfolgreich die kleinräumige Aktivität von Weidetieren auf Sömmerungsweiden quantifizieren. Die erhobenen GPS-Positionen konnten den drei Hauptaktivitäten Fressen, Gehen und Ruhen mit einer Genauigkeit von nahezu 80% zugewiesen werden. Dies erlaubte die Analyse von Einflussfaktoren auf die räumliche Verteilung dieser drei Aktivitäten sowie ihr Einfluss auf Ökosystemleistungen.

Unsere Untersuchung demonstriert eindrücklich die Bedeutung der Beweidungsintensität für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen subalpiner Weiden. So war die C-Speicherung im Boden als einzige der untersuchten Ökosystemleistungen nicht von der Beweidungsintensität beeinflusst. Allerdings bedeutet das nur bedingt, dass die anderen Ökosystemleistungen, wie Futterproduktion, Futterqualität und Artenvielfalt vom Bewirtschafter einfach durch die Beweidungsintensität gesteuert werden können. Der grösste Teil der Variation in diesen Leistungen werden nämlich von der Beweidungsintensität in Kombination mit Umweltfaktoren erklärt. So variieren die Aktivitäten der Weidetiere auf subalpinen Weiden auch innerhalb einzelner Weidekoppeln kleinräumig und hängen vor allem von Topographie und Vegetation ab.

Dennoch gibt es für die Ökosystemleistungen Futterproduktion, Futterqualität und pflanzliche Artenvielfalt einen von der Umwelt unabhängigen Einfluss der Beweidungsintensität. Um diese Leistungen durch die Beweidungsintensität zu beeinflussen, bedarf es allerdings einer strikten Weideführung durch den Bewirtschafter, wie unsere GPS-Messungen zeigen. Weil die Beweidungsintensität entgegengesetzt auf pflanzliche Artenvielfalt und Futterproduktion wirken, können beide Leistungen zusammen nur schwer auf einer Fläche erbracht werden. Anpassungen am Weideregime bedürfen deshalb einer flächenspezifischen Abwägung der Bewirtschaftungsziele und einer abgestuften Bewirtschaftungsintensität.

## Literatur

- DIAZ, S., LAVOREL, S., DE BELLO, F., QUETIER, F., GRIGULIS, K. & ROBSON, M. (2007): Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 20684–20689.
- FLURY, C., HUBER, R. & TASSER, E. (2013): Future of Mountain Agriculture in the Alps. In: Mann, S. (ed.): *The Future of Mountain Agriculture. Springer Geography*, Springer Berlin Heidelberg: 105–126.
- HOMBURGER, H., SCHNEIDER, M.K., HILFIKER, S. & LÜSCHER, A. (2014): Inferring behavioral states of grazing livestock from high-frequency position data alone. *PLoS ONE* 9, e114522.
- HOMBURGER, H., LÜSCHER, A., SCHERER-LORENZEN, M. & SCHNEIDER, M.K. (2015): Patterns of livestock activity on heterogeneous subalpine pastures reveal distinct responses to spatial autocorrelation, environment and management. *Movement Ecology* in press.
- KAMPMANN, D., HERZOG, F., JEANNERET, P., KONOLD, W., PETER, M., WALTER, T., WILDI, O. & LÜSCHER, A. (2008): Mountain grassland biodiversity: Impact of site conditions versus management type. *Journal for Nature Conservation* 16, 12–25.
- LAUBER, S., HERZOG, F., SEIDL, I., BÖNI, R., BÜRGI, M., GMÜR, P., HOFER, G., MANN, S., RAAFLAUB, M., SCHICK, M., SCHNEIDER, M. & WUNDERLI, R. (2013): Zukunft der Schweizer Alpwirtschaft. Fakten, Analysen und Denkanstösse aus dem Forschungsprogramm AlpFUTUR. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- MCSHERRY, M.E. and RITCHIE, M.E. (2013): Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology* 19, 1347–1357.
- PETER, M., GIGON, A., EDWARDS, P. & LÜSCHER, A. (2009): Changes over three decades in the floristic composition of nutrient-poor grasslands in the Swiss Alps. *Biodiversity and Conservation* 18, 547–567.
- TILLEY, J.M.A. and TERRY, R.A. (1963): A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18, 104–111.