

Heubläser als Alternative zum Heurechen: Einfluss auf die Vegetation nach vier Jahren

Nina Richner¹, Léonie Durocher¹, Hanspeter Rohrer² und Thomas Walter¹

¹Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH, 8046 Zürich, Schweiz

²Pro Natura Unterwalden, 6072 Sachseln, Schweiz

Auskünfte: Thomas Walter, E-Mail: thomas.walter@agroscope.admin.ch



Untersuchungsfläche nördlich von Stans (Kanton Nidwalden). (Foto: Hanspeter Rohrer, Pro Natura Unterwalden)

Einleitung

Trockenwiesen sind wertvolle Lebensräume, die mit ihren besonderen Bedingungen zahlreiche typische Arten beherbergen. In Europa sind Trockenwiesen besonders bedroht. Ihre Fläche ist in der Schweiz seit 1950 um 90 % zurückgegangen (Ballmer 2010; Dostalek und Frantik 2008). Als Reaktion auf diesen Rückgang hat der Bundesrat ein Inventar der Biotope erstellt, darunter auch eine Bestandaufnahme der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (Gubser *et al.* 2010). Dieses Inventar umfasst 23 648 Hektaren, was 1,48 % der Land- und Alpwirtschaftsfläche entspricht. Im Einver-

nehmen mit dem Bundesamt für Landwirtschaft sind Vollzugshilfen für bestimmte Unterhaltmassnahmen möglich. Schliesslich sieht die Öko-Qualitätsverordnung im Sinne von ökologischen Ausgleichszahlungen finanzielle Entschädigungen für Landwirtschaftsbetriebe vor, die Trockenwiesen und -weiden bewirtschaften (BLW 2001).

Wiesen reagieren sehr sensibel auf die Art ihrer Bewirtschaftung. Damit sie ihr ökologisches Potenzial entfalten können, muss die Störung durch alle Bearbeitungsschritte vom Mähen bis zur Ernte möglichst gering gehalten werden. Seit Kurzem setzen Betriebe Heubläser als Alternative zum traditionellen und zeitintensiven

Rechen ein. Bisher wurde jedoch noch in keiner Studie untersucht, welche Auswirkungen es auf die Pflanzen hat, wenn Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 180 km/h über die Vegetation strömt.

Mit einer 2010 gemeinsam von Pro Natura und Agroscope lancierten Studie über einen vorgesehenen Zeitraum von sechs Jahren soll diese Problematik untersucht werden. Diese Studie befasst sich insbesondere mit den Aspekten der Artenvielfalt und Artenzusammensetzung der Gefässpflanzen, aber auch mit Ziel- und Leitarten sowie Moosen (Walter *et al.* 2013). Da die Studie auf einer Hangfläche durchgeführt wird, lässt sich auch der Einfluss der Position am Hang auf die Ergebnisse untersuchen. Um die Interpretation zu vervollständigen, werden schliesslich auch bestimmte Zeigerwerte wie Nährstoffe und Reaktionszahl auf allfällige Korrelationen untersucht (Landolt 2010). Mit der Gesamtheit der Daten wird geprüft, ob die folgenden Hypothesen zutreffen:

Hypothese 1

- a. Die Artenvielfalt ist in den geblasenen und gerechten Parzellen ähnlich.
- b. Die Zusammensetzung der Pflanzenarten ist in den geblasenen und gerechten Parzellen ähnlich.
- c. Ziel- und Leitarten sind in den geblasenen und gerechten Parzellen in ähnlicher Anzahl vertreten.
- d. Die Deckung durch Moose ist in den geblasenen und gerechten Parzellen ähnlich.
- e. Die Zeigerwerte für Feuchtigkeit, Licht, Humus, Nährstoffe sowie Reaktionszahl des Bodens sind in den geblasenen und gerechten Parzellen ähnlich.

Hypothese 2

- a. Die Artenvielfalt ist entlang des Höhengradienten konstant.
- b. Die Zusammensetzung der Pflanzenarten ist entlang des Höhengradienten ähnlich.
- c. Ziel- und Leitarten sind entlang des Höhengradienten in ähnlicher Anzahl vertreten.
- d. Die Deckung durch Moose ist entlang des Höhengradienten konstant.
- e. Die Zeigerwerte sind entlang des Höhengradienten konstant.

Material und Methoden

Untersuchungsfläche

Bei der Untersuchungsfläche handelt es sich um eine extensiv bewirtschaftete Wiese von 14922 m² Fläche, die nördlich von Stans (NW) in einer Höhe von 830 m ü. M. liegt. Sie ist südexponiert und weist ein Gefälle von 60 bis 85 % auf. Bis und mit 2007 erfolgte die Heuernte mit

Zusammenfassung

Im Berggebiet ist die Heuernte für die Landwirtschaftsbetriebe eine arbeitsintensive Zeit. Um diese Aufgabe einfacher und schneller zu erledigen, werden deshalb zunehmend Heubläser anstelle von Rechen eingesetzt. Zur Zeit prüfen die Naturschutzorganisation Pro Natura und die Forschungsanstalt für Land- und Ernährungswirtschaft Agroscope die möglichen Auswirkungen des Heubläasers auf die Pflanzenvielfalt von Trockenwiesen – ein Lebensraum, der ohnehin stark gefährdet ist. In dieser Studie wurden jährlich Vegetationsaufnahmen auf einer Wiese durchgeführt, auf der sich Parzellen mit einer der beiden Bewirtschaftungsmethoden abwechselten. Die Analyse der 2013 gesammelten Daten ergab keinen Einfluss des Heublasens auf Artenvielfalt, Artenzusammensetzung, Ziel- und Leitarten und Deckung der Moose. Dagegen hat die Position am Hang einen Einfluss auf die Artenzahl. Bei allen Parzellen wurden im unteren Bereich des Hangs mehr Arten gezählt. Die Deckung der Moose ist bei geblasenen Parzellen im oberen Bereich grösser, bei gerechten Parzellen im unteren Bereich.

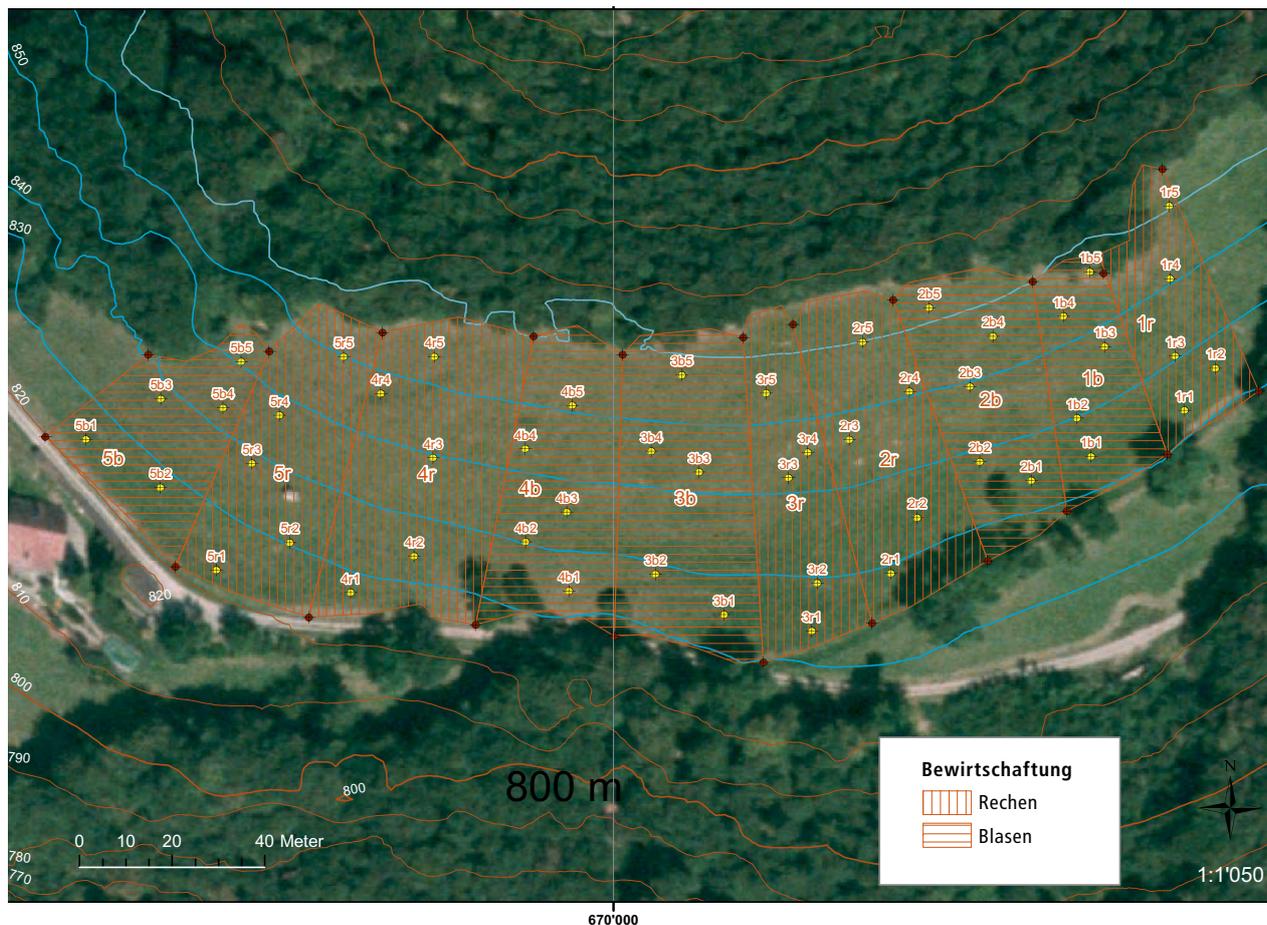


Abb. 1 | Die Untersuchungsfläche ist in zehn Parzellen eingeteilt. Die Bewirtschaftungsmethode einer Parzelle wurde gemäss der Legende gewählt. In jeder Parzelle wurden auf verschiedenen Positionen am Hang fünf Punkte mit einer Fläche von 1 m² festgelegt, bei denen die Vegetationsaufnahme erfolgte. (Luftbild: © swisstopo)

Rechen. In den folgenden beiden Jahren wurde das Heu mit Hilfe von Laubbläsern eingeholt. Nach einer Vegetationsaufnahme wurde die Fläche im Jahr 2010 in zehn Parzellen unterteilt, bei denen die Heuernte gemäss Abbildung 1 entweder mit einem Rechen oder mit einem Laubbläser erfolgte.

Die zehn Parzellen wurden in fünf Höhenklassen eingeteilt. Pro Höhenklasse und Parzelle wurde anschliessend zufällig ein Beobachtungspunkt festgelegt. Diese Punkte wurden mit magnetischen Marken gekennzeichnet, die sich mit dem Metalldetektor und über GPS lokalisieren lassen.

Datenerhebung

Die Vegetationsaufnahme erfolgte jeweils an jedem Beobachtungspunkt in einem Kreis mit einer Fläche von 1 m². Der Deckungsgrad der Pflanzenarten wurde nach der Methode von Braun-Blanquet geschätzt. Die mit der Bestimmung beauftragten Wissenschaftler teilten

die Fläche sowohl hinsichtlich der Parzellenart als auch der Position am Hang gleichmässig auf. Die aufgenommenen botanischen Daten wurden in die Software Vegedaz (Küchler 2012) übertragen. Mit dieser Software konnte der Durchschnitt der Zeigerwerte für Licht, Feuchtigkeit, Nährstoffe, Reaktionszahl und Humusanteil pro Beobachtungspunkt berechnet werden.

Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung erfolgte mit den im Jahr 2013 nach vier Jahren Bewirtschaftung aufgenommenen Daten. Eine detailliertere Auswertung, die den Einfluss der einzelnen Jahre auf das Ergebnis untersucht, ist für das Ende der Studie vorgesehen.

Die Auswertung wurde mit der Software R, Version 3.0.1 (R Core Team 2013), vorgenommen. Um den Einfluss der Bewirtschaftungsmethode und der Position am Hang auf die Artenvielfalt, die Anzahl Ziel- und Leitart-

Tab. 1 | Generalisiertes lineares Mischmodell

Pflanzenvielfalt im Jahr 2013 bei Berücksichtigung der Faktoren «Bewirtschaftungsmethode» und «Position am Hang» (Artenvielfalt ~ Bewirtschaftungsmethode + Position am Hang, Family = Poisson); Varianz = $1,2536 e^{-17}$; Standardabweichung = $3,5406 e^{-09}$

	Schätzwert	Standardfehler	Z-Wert	p
(Schnittpunkt)	3,50	0,076	46,42	< 0,001
Bewirtschaftungsmethode (Rechen)	0,097	0,102	-0,95	0,342
Position am Hang	0,007	0,003	-2,81	0,005
Methode Rechen: Position am Hang	0,004	0,003	1,32	0,187

Tab. 2 | Generalisiertes lineares Mischmodell

Anzahl Ziel- und Leitarten im Jahr 2013 bei Berücksichtigung der Faktoren «Bewirtschaftungsmethode» und «Position am Hang» (Anzahl Ziel- und Leitarten ~ Bewirtschaftungsmethode + Position am Hang, Family = Poisson); Varianz = $2,127 e^{-16}$; Standardabweichung = $1,4584 e^{-08}$

	Schätzwert	Standardfehler	Z-Wert	p
(Schnittpunkt)	1,792	0,124	14,393	< 0,001
Methode Rechen	0,00	0,114	-0,002	0,999
Position am Hang	0,001	0,003	0,208	0,835

Tab. 3 | Generalisiertes lineares Mischmodell

Deckung der Moose im Jahr 2013 bei Berücksichtigung der Faktoren «Bewirtschaftungsmethode» und «Position am Hang» (Deckung der Moose ~ Bewirtschaftungsmethode + Position am Hang, Family=Poission); Varianz= $0,27072$; Standardabweichung = $0,52031$

	Schätzwert	Standardfehler	Z-Wert	p
(Schnittpunkt)	1,878	0,268	7,015	< 0,001
Methode Rechen	0,264	0,175	1,507	0,132
Position am Hang	0,01	0,004	4,350	< 0,001
Methode Rechen: Position am Hang	-0,012	0,005	-2,543	0,011

Tab. 4 | Gesamtzahl der Arten an fünf nach der Position am Hang festgelegten Punkten nach Bewirtschaftungsmethode. Position am Hang: 1 am tiefsten gelegener Punkt, 5 am höchsten gelegener Punkt

Bewirtschaftungsmethode	Bläser					Rechen				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Position am Hang										
Anzahl Arten	63	59	46	53	46	64	61	53	57	53

ten sowie die Deckung der Moose zu klären, wurde ein generalisiertes lineares Mischmodell verwendet. Die Artenzusammensetzungen wurden mit einer Hauptkomponentenanalyse untersucht. Die Zeigerwerte der verschiedenen Parzellen wurden mit dem Wilcoxon-Test verglichen. Mit linearen Regressionen konnte der Einfluss des Gefälles nachgewiesen werden und mit deskriptiver Statistik liess sich die Entwicklung bestimmter Daten über die vier Jahre darstellen.

Resultate

Einfluss der Bewirtschaftungsmethode

Mit Ausnahme des Jahres 2012 zählten die Experten in den gerechten Parzellen stets mehr Arten als in den

geblasenen Flächen. Dieser Unterschied bewegte sich in der Grössenordnung von einer oder zwei Arten. Das verwendete Modell ergab, dass die Verwendung des Heubläfers bis 2013 keinen signifikanten Einfluss auf die Vegetation hatte (Tab. 1). In Abbildung 2 widerspiegelt die Nähe der Punkte die Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung. Die Artenzusammensetzung der gerechten Parzellen deckte sich weitgehend mit derjenigen der geblasenen Parzellen. Die Methode des Heubläfers veränderte also die Vegetation hinsichtlich dieses Aspekts nicht. Gemäss den Ergebnissen, die in den Tabellen 2, 3 und 4 aufgeführt sind, hatte die Bewirtschaftungsmethode weder einen Einfluss auf die Ziel- und Leitarten noch auf die Deckung der Moose oder die Zeigerwerte nach Landolt (2010).

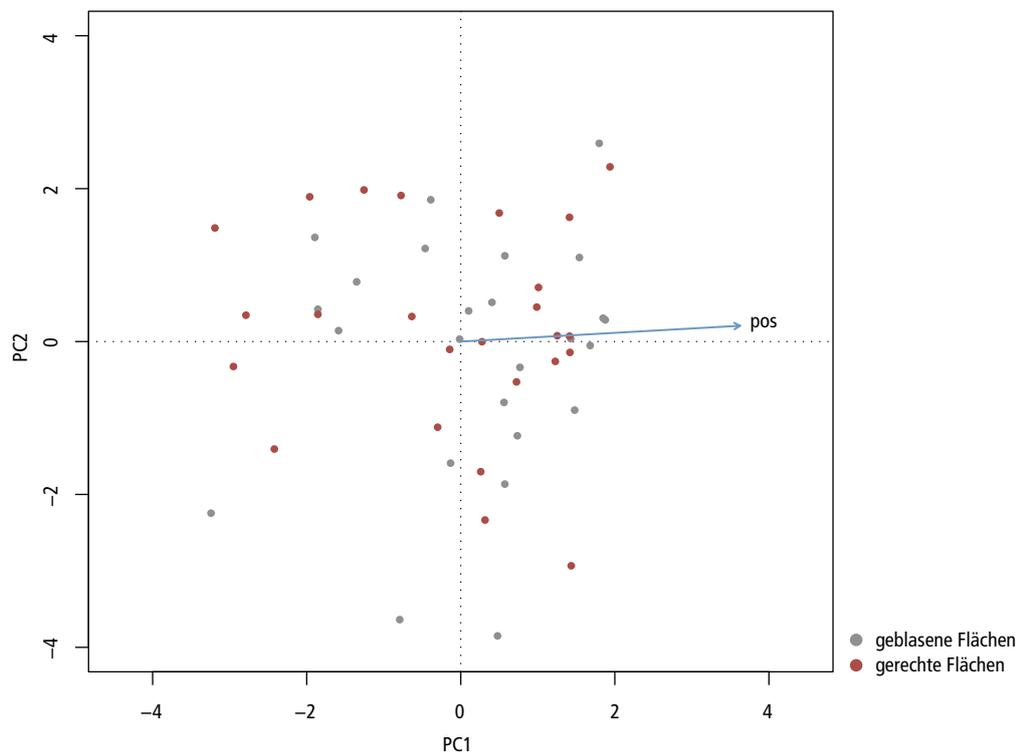


Abb. 2 | Hauptkomponentenanalyse der Artenzusammensetzung für die Gesamtheit der Aufnahmen. Je weiter oben am Hang sich die Aufnahmefläche (pos) befindet, desto weiter nach rechts kommt der entsprechende Punkt in der Grafik zu liegen. Die erste Achse (PC1) erklärt 10,2 % der Gesamtvarianz, die zweite Achse (PC2) 6,5 %.

Einfluss des Gefälles

Dasselbe Modell ergab dagegen, dass die Position am Hang einen Einfluss auf die Artenvielfalt im Jahr 2013 hatte (Tab. 1). Bei beiden Arten von Parzellen war die Artenzahl im unteren Bereich des Hangs grösser, bei den geblasenen Parzellen war dieser Trend jedoch ausgeprägter (Abb. 3). Die Position am Hang beeinflusste die Artenzusammensetzung signifikant ($p < 0,001$, Abb. 2). Die Zahl der Ziel- und Leitarten hing dagegen nicht von der Position am Hang ab. Die Deckung der Moose im Jahr 2013 betrug auf den gerechten Parzellen $8,7\% \pm 2,7\%$, auf den geblasenen Parzellen $10,7\% \pm 3,6\%$. Die Deckung der Moose veränderte sich entlang des Höhengradienten, der Trend war bei den beiden Parzellentypen jedoch gegenläufig: Bei den geblasenen Parzellen waren

im oberen Bereich des Hangs mehr Moose zu finden, während sie bei den gerechten Parzellen im unteren Bereich einen grösseren Flächenanteil einnahmen (Tab. 3). Sowohl bei den geblasenen als auch bei den gerechten Parzellen waren die grössten Unterschiede der Artenvielfalt zwischen den Positionen 1 und 5, d.h. zwischen der am höchsten und der am tiefsten gelegenen Position der Parzelle zu finden (Tab. 4 und 5). Die Artenzahl war im unteren Bereich der Parzelle am höchsten. Bezüglich der Reaktionszahl und der Nährstoffe waren die Unterschiede entlang des Höhengradienten zwar nicht signifikant (Tab. 6 und 7), es liess sich mit einem p-Wert von 0,086 aber immerhin ein interessanter Trend ausmachen: Die Nährstoffzahl nahm mit zunehmender Höhe in der Parzelle ab.

Tab. 5 | Wilcoxon-Test mit Vergleich der Zeigerwerte auf Parzellen, die mit dem Bläser (B) und dem Rechen (R) bewirtschaftet wurden

Bewirtschaftungsmethode	Licht		Temperatur		Reaktionszahl		Nährstoffe		Humus	
	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
Mittelwert	3,479	3,496	3,182	3,201	3,307	3,339	2,414	2,463	3,120	3,117
Standardabweichung	0,016	0,017	0,018	0,028	0,023	0,021	0,026	0,033	0,017	0,012
P-Wert	0,256		0,1643		0,089		0,256		0,431	

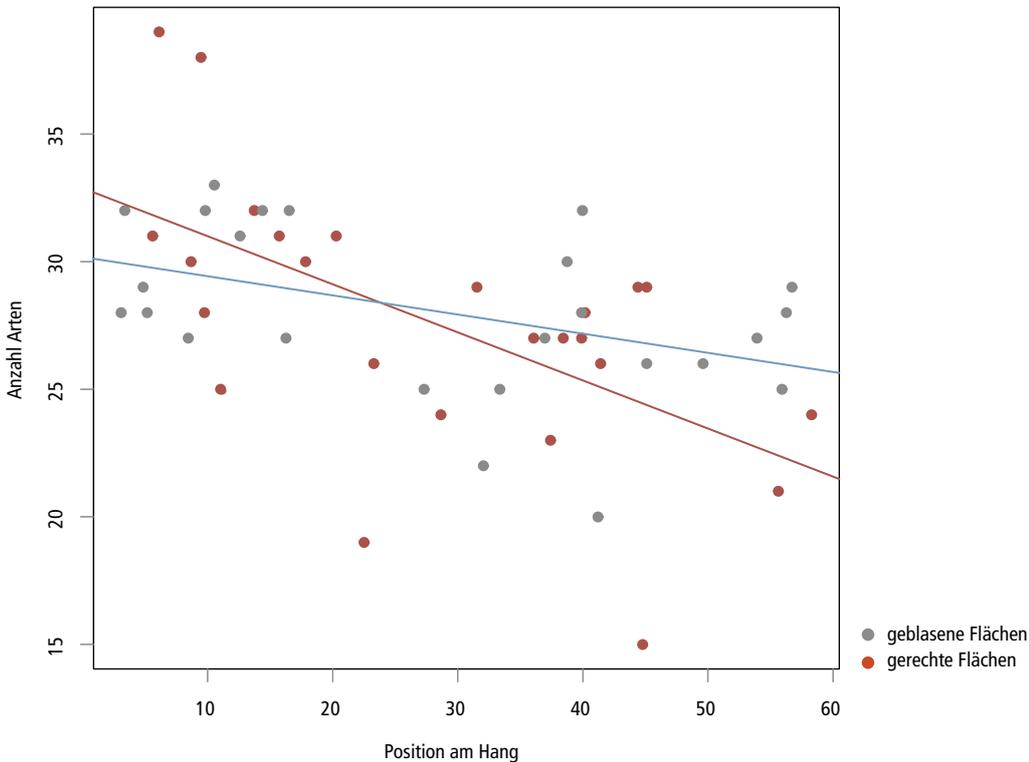


Abb. 3 | Durchschnittliche Anzahl Arten der einzelnen Aufnahmen je nach Position am Hang (die auf der Abszissenachse eingetragene Distanz bezieht sich auf die Basislinie zuunterst am Hang); geblasene Parzellen: $R^2 = 0,1499$; gerechte Parzellen: $R^2 = 0,3092$.

Diskussion

Diese Studie wurde aufgrund der Vermutung begonnen, dass die Ernte mit dem Rechen oder Bläser durch die unterschiedliche Wirkung auf die Bodenoberfläche und auf die Verbreitung der Samen die Vegetation einer Wiese unterschiedlich beeinflussen könnte: Der Rechen, indem er den Boden stellenweise öffnet und damit die Keimung neuer Arten fördert, und der Bläser, indem er die Verbreitung eines breiten Spektrums von Samen fördert und auf diese Weise die Artenzusam-

ensetzung verändert. Die Ergebnisse bestätigen diese Vermutung jedoch nicht. Die untersuchten Aspekte der Artenvielfalt scheinen im Zeitraum von vier Jahren durch die Bewirtschaftungsmethode nicht beeinflusst worden zu sein.

Interessant war der Einfluss des Höhengradienten auf die Ergebnisse. Das Gefälle kann Unterschiede der Bodeneigenschaften bewirken, die wiederum die Vegetation bestimmen. Durch das Gefälle, das eine konsequente Ernte von oben nach unten zur Folge hat, sind auch Rückschlüsse auf den Einfluss der Ernterich-

Tab. 6 | Lineare Regression der Werte für die Reaktionszahl mit der Position am Hang

	Schätzwert	Standardfehler	T-Wert	p	R ²
(Schnittpunkt)	3,523	0,061	57,980	< 0,001	-0,017
Position am Hang	0,001	0,001	0,002	0,674	

Tab. 7 | Lineare Regression der Werte für die Nährstoffe mit der Position am Hang

	Schätzwert	Standardfehler	T-Wert	p	R ²
(Schnittpunkt)	2,445	0,052	47,272	< 0,001	0,041
Position am Hang	-0,003	-0,003	0,002	0,086	

tung möglich. Bei der Artenvielfalt lässt sich feststellen, dass bezüglich der durchschnittlichen Artenzahl pro Vegetationsaufnahme, aber auch hinsichtlich der Gesamtzahl der Arten zwischen den höchsten und tiefsten Positionen ein Unterschied besteht. Bei Niederschlägen werden Nährstoffe im Allgemeinen nach unten ausgewaschen (Korsaeth und Eltun 2000). Vermutlich begünstigen die höhere Nährstoffkonzentration im unteren Bereich des Hangs sowohl Trockenwiesenarten als auch typische Arten intensiv bewirtschafteter Wiesen (Bobbink *et al.* 1998; Korsaeth und Eltun 2000; Stevens *et al.* 2004). Damit liesse sich die höhere Vielfalt an Pflanzenarten erklären. Die tiefere Nährstoffkonzentration im oberen Parzellenbereich kann entsprechend eine geringere Artenvielfalt zur Folge haben (Janssens 1998).

Der Unterschied der Artenvielfalt könnte aber auch darauf zurückzuführen sein, dass Samen leichter in den unteren Parzellenbereich gelangen. Dieser Transport könnte durch den Heubläser stärker gefördert werden. Deshalb wurde vermutet, dass die Samen je nach ihren Eigenschaften und je nach der Bewirtschaftungsmethode in stärkerem oder geringerem Ausmass transportiert werden. Dies würde schliesslich zu einer unterschiedlichen Artenzu-

sammensetzung führen (Howe und Smallwood 1982). Die Bewirtschaftungsmethode zeigte jedoch keine Beeinflussung auf die Artenzusammensetzung nach vier Jahren, unabhängig davon, ob die Ernte mit Rechen oder Bläser erfolgt, und unabhängig von der Position entlang des Höhengradienten. Es ist denkbar, dass ein allfälliger Einfluss erst nach langer Zeit sichtbar würde.

Auch die Anzahl Ziel- und Leitarten und die Deckung der Moose waren in den gerechten und geblasenen Parzellen ähnlich. Dagegen liess sich ein Einfluss der Position am Hang feststellen, wobei die Moose bei den geblasenen Parzellen eine grössere Deckung im oberen Bereich aufweisen, bei den gerechten Parzellen eine grössere Deckung im unteren Bereich. Die höhere Deckung der Moose im oberen Hangbereich erstaunt nicht, da dort die Konkurrenz aufgrund der geringeren Artenvielfalt und Nährstoffkonzentration vermutlich geringer ist (Lee und Caporn 1998). Die Ergebnisse der gerechten Parzellen zeichnen allerdings ein anderes Bild.

Wir werden unsere Beobachtungen bis 2015 fortsetzen und in zwei Jahren eine abschliessende Analyse der gesamten Daten des sechsjährigen Zeitraums durchführen. Mit dieser Untersuchung werden sich die hier vorgestellten Ergebnisse bestätigen oder differenzieren lassen.

Dank

Markus Odermatt, Landwirt, Seewli, Obbürgen und job-vision, Stans, für die Bewirtschaftung der Wiese. Gisela Lüscher, Andrea Klieber-Kühne, René Hoess und Markus Baggenstoss für die Vegetationsaufnahme und Philippe Jeanneret für die statistische Beratung.

Riassunto

Il soffiatore come alternativa al rastrello: influenza sulla vegetazione dopo quattro anni

In montagna la fienagione è molto impegnativa per i contadini. Per alleviare il compito e procedere più rapidamente nel raccolto, questi sostituiscono progressivamente il rastrello con il soffiatore. Attualmente l'organizzazione Pro Natura e la stazione di ricerca per la filiera agronomica e agroalimentare Agroscope valutano i potenziali effetti sulla vegetazione dei prati secchi che sono habitat già molto minacciati. In questo studio ogni anno sono realizzati rilevamenti di vegetazione su un prato in cui si alternano particelle dei due tipi di raccolto. L'analisi dei dati raccolti nel 2013 non testimonia alcuna influenza del soffiatore sulla ricchezza specifica, sulla composizione delle specie, sulla presenza di specie bersaglio e caratteristiche o sulla copertura di muschi. La posizione in pendenza, invece, influenza il numero di specie. Questo è più elevato alla base del pendio, su tutte le particelle. La copertura di muschi è maggiore nella parte alta delle particelle soffiate e nella parte bassa di quelle rastrellate.

Summary

Leaf blowers as an alternative to rakes: impact on vegetation after four years

In the mountains, hay harvesting represents a significant task for farmers. To make this job easier and speed up the harvest, farmers are gradually replacing rakes with leaf blowers. The Swiss nature conservancy organisation Pro Natura and the Agriculture and Agri-Food Research Station Agroscope are currently evaluating the potential effects of leaf blowers on the plant diversity of dry grasslands – habitats which are already under severe threat. In this study, plant surveys are carried out annually on a meadow where plots with the two types of harvest alternate. The analysis of the data collected in 2013 does not attest to any impact of blowers on plant diversity, species composition, the presence of target or characteristic species, or moss cover. By contrast, position on the slope has an influence on the number of species, which is higher at the bottom of the slope on all plots. Moss cover is greater at the top of the blown plots and at the bottom of the raked plots.

Key words: hay harvesting, leaf blower, vegetation, change.

Literatur

- Ballmer M., 2010. Fakten zu Trockenwiesen und -weiden in der Schweiz. Pro Natura, Basel. 2 S.
- BLW, 2001. Verordnung über die regionale Förderung der Qualität und der Vernetzung von ökologischen Ausgleichsflächen in der Landwirtschaft (Öko-Qualitätsverordnung, ÖQV). Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- Bobbink R., Hornung M. & Roelofs J.G.M., 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* **86** (5), 717–738.
- Dostalek J. & Frantik T., 2008. Dry grassland plant diversity conservation using low-intensity sheep and goat grazing management: case study in Prague (Czech Republic). *Biodiversity and Conservation* **17** (6), 1439–1454.
- Gubser C., Volkart G., Dipner-Gerber M., Eggenberg S., Hedinger C., Martin M., Walter T. & Schmid W., 2010. Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. Vollzugshilfe zur Trockenwiesenverordnung. Umwelt-Vollzug 1017. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 83 S.
- Howe H.F. & Smallwood J., 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics* **13**, 201–228.
- Janssens F., Peeters A., Tallowin J.R.B., Bakker J.P., Bekker R.M., Fillat F. & Oomes, M.J.M., 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* **202**, 69–78.
- Korsath A. & Eltun R., 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. *Agriculture Ecosystems & Environment* **79** (2–3), 199–214.
- Küchler M., 2012. VEGEDAZ – ein Programmpaket zur Erfassung und Exploration von Vegetationsdaten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.
- Landolt E., 2010. Flora indicativa. Haupt Verlag, Bern. 378 S.
- Lee J. A. & Caporn S.J.M., 1998. Ecological effects of atmospheric reactive nitrogen deposition on semi-natural terrestrial ecosystems. *New Phytologist* **139** (1), 127–134.
- R Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.0.2. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Stevens C.J., Dise N.B., Mountford J.O. & Gowing D.J., 2004. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* **303** (5665), 1876–1879.
- Walter T., Eggenberg S., Gonseth Y., Fivaz F., Hedinger C., Hofer G., Klieber-Kühne A., Richner N., Schneider K., Szerencsits E. & Wolf S., 2013. Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft. Bereich Ziel- und Leitarten, Lebensräume (OPAL). *ART-Schriftenreihe* **18**, 1–134.