

Einfluss der Nutzungsart auf den Phosphor- und Kaliumbedarf von Grasland im Jura

Bernard Jeangros und Sokrat Sinaj

Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Bernard Jeangros, E-Mail: bernard.jeangros@agroscope.admin.ch



Der Versuch fand auf einem typischen Grasland des Jura statt, von dem ein Teil beweidet (Vordergrund) und ein Teil gemäht wurde (Hintergrund).

Einleitung

Die Beweidung unterscheidet sich von der Mahd durch eine im Allgemeinen weniger homogene Nutzung des Futters und vor allem durch die Rücklieferung von Nährstoffen über die Ausscheidungen der Weidetiere. Diese Eigenheiten beeinflussen die Nährstoffbilanz und folglich auch die Düngungsempfehlungen (Huguenin-Elie *et al.* 2017). Die Düngung von Mähweiden im Mittelland war bereits Gegenstand zahlreicher Studien. Weniger gut erforscht ist der Nährstoffbedarf von Weiden in Bergregionen. Um die langfristigen Wirkungen verschiedener Düngungen mit Phosphor (P) und Kalium (K) bei einer Bewirtschaftung als Weide respektive Mähweide zu untersuchen, wurde im Jura ein Versuch eingerichtet. Die erhaltenen Ergebnisse bei einer wenig intensiv bewirtschafteten Mähweide (zwei Schnitte pro Jahr) wurden bereits früher veröffentlicht (Jeangros und Sinaj 2018). In diesem zweiten Artikel werden die Auswirkungen der PK-Düngung im Falle von Weiden analysiert und mit den Beobachtungen bei Mähweiden mit gleicher Nutzungshäufigkeit (vier Nutzungen pro Jahr) verglichen. Das Ziel des Versuchs war es, einerseits den Einfluss der Nutzungsart genau zu beschreiben und andererseits die P- und K-Gaben zu bestimmen, die bei

einer Beweidung erforderlich sind, um die botanische Zusammensetzung zu erhalten, eine an den Standort angepasste Futtermenge zu produzieren und gleichzeitig die Umwelt zu schonen.

Material und Methoden

Versuchsstandort

Der Versuch wurde von 1992 bis 2006 im Jura auf der Alp La Petite Ronde in der Gemeinde Les Verrières (NE, 1100 m) durchgeführt, auf einer Fläche, die zuvor meist beweidet aber manchmal auch gemäht worden war. Die Pflanzengesellschaft dieser Graslandfläche ist der Assoziation *Festuco-Agrostietum* zuzuordnen, mit den beiden dominierenden Arten Rotschwingel (*Festuca rubra*) und Rotes Straussgras (*Agrostis capillaris*). Die Boden- und Klimabedingungen wurden von Jeangros und Sinaj (2018) beschrieben.

Versuchsanordnung

Der vollständige Versuch war als Split-Plot mit vier Wiederholungen (Teilflächen 10 m × 3 m) angelegt, mit drei Nutzungsarten (Hauptverfahren: P4 = vier Beweidungen pro Jahr, C4 = vier Schnitte pro Jahr, C2 = zwei Schnitte pro Jahr) und acht PK-Düngungsverfahren (0 bis 26 kg P/ha/Jahr und 0 bis 116 kg K/ha/Jahr) als Unterverfahren. In diesem Artikel liegt der Fokus auf den Verfahren P4 und C4. Zwischen 1992 und 2005 wurden die Parzellen des Verfahrens P4 während 11 von 14 Jahren von Jungtieren verschiedener Rassen beweidet. Die vier Beweidungen pro Jahr erfolgten zwischen Ende Mai und Mitte September jeweils über rund zehn Tage während 24 Stunden pro Tag (Umtriebsweide). Die Parzellen des Verfahrens C4 wurden vier Mal pro Jahr gleichzeitig mit der Beweidung der Parzellen von Verfahren P4 gemäht. Ziel des Verfahrens C4 war es, spezifische Auswirkungen der Beweidung zu erkennen. Bei den Bedingungen des Standorts La Petite Ronde kann diese Schnittintensität für die Praxis nicht empfohlen werden. In beiden Verfahren erfolgte die erste Nutzung im Stadium des voll-

len Rispschiebens des Knaulgrases und die folgenden Nutzungen bei einem durchschnittlich fünf bis sechs Wochen alten Aufwuchs. 1997, 2001 und 2005 wurden die Parzellen des Verfahrens P4 gleichzeitig und auf dieselbe Weise wie die Parzellen des Verfahrens C4 gemäht (Schnitthöhe 5 bis 7 cm) damit die Menge und die Zusammensetzung des Futters der beiden Verfahren präzise miteinander verglichen werden konnten.

Die Modalitäten der Düngung mit P, K, Magnesium (Mg) und Calcium (Ca), die in beiden Nutzungsarten identisch waren, wurden von Jeangros und Sinaj (2018) beschrieben. Die beweideten Parzellen erhielten keinen Stickstoffdünger, während die Parzellen von Verfahren C4 einmal jährlich nach dem 2. Schnitt mit 25 kg N/ha (Ammoniumnitrat) gedüngt wurden. Wühlmäuseschäden, namentlich durch *Arvicola terrestris*, wurden durch eine regelmässige Bekämpfung mit Rodentiziden im Griff gehalten.

Beobachtungen, Messungen und Datenanalyse

Die verwendeten Methoden zur Charakterisierung des Bodens, der botanischen Zusammensetzung und des Futters wurden von Jeangros und Sinaj (2018) beschrieben. Der jährliche Nährstoffgehalt errechnete sich aus dem Durchschnitt des Gehalts der einzelnen Aufwüchse gewichtet nach dem Ertrag an Trockensubstanz (TS). Die jährlich mit dem Futter exportierten P- und K-Mengen wurden durch Multiplikation des P- beziehungsweise K-Gehalts der einzelnen Aufwüchse mit dem entsprechenden Ertrag an TS und anschliessender Addition aller vier Aufwüchse errechnet. Für die Berechnung der Bilanz im Verfahren P4 wurde die Nährstoffrücklieferung bei der Beweidung geschätzt aufgrund der Nährstoffmengen die bei einer wenig intensiv genutzten Weide pro Weide abzuziehen sind und der üblichen Anzahl Nutzungen (Huguenin-Elie *et al.* 2017). Diese Anzahl wurde berechnet, indem vom Jahresertrag 20 % als Verlust abgezogen und dieser korrigierte Ertrag durch 15 dt TS/ha (Standardertrag einer Weide) dividiert wurde.

Der Phosphor-Ernährungsindex (PNI) und der Kalium-Ernährungsindex (KNI) wurden mit Hilfe folgender Gleichungen berechnet (Duru und Thélier-Huché 1997):

$$\text{PNI} = 100 \times \frac{\text{P(Futter)}}{(0,15 + 0,065 \times \text{N(Futter)})}$$

$$\text{KNI} = 100 \times \frac{\text{K(Futter)}}{(1,6 + 0,525 \times \text{N(Futter)})}$$

P(Futter): P-Gehalt des Futters (%)

N(Futter): N-Gehalt des Futters (%)

K(Futter): K-Gehalt des Futters (%)

Zusammenfassung

Die Beweidung unterscheidet sich von der Mahd durch eine im Allgemeinen weniger homogene Nutzung des Futters und vor allem durch die Rücklieferung von Nährstoffen durch die Ausscheidungen der Weidetiere. Der Einfluss der Nutzungsart (vier Beweidungen oder vier Schnitte pro Jahr) auf den Bedarf an Phosphor (P) und Kalium (K) von Grasland im Jura wurde über den Zeitraum von 1992 bis 2006 in einem Versuch mit unterschiedlichen P- (0 bis 26 kg/ha/Jahr) und K-Gaben (0 bis 116 kg/ha/Jahr) untersucht. Bei gleicher PK-Düngung ist der P-beziehungsweise K-Gehalt des Bodens bei der Weide stets höher als bei der Mähwiese. Mit zunehmenden P- und K-Gaben kann der K-Gehalt im Boden unabhängig von der Nutzungsart signifikant erhöht werden, der P-Gehalt nur bei der Nutzung als Mähwiese. Die Nutzungsart hat einen grossen Einfluss auf die botanische Zusammensetzung, die PK-Düngung dagegen nicht. Der Verzicht auf eine PK-Düngung hatte eine signifikante Verminderung der produzierten Futtermenge zur Folge, was sich bei der Beweidung später äusserte (2005) als bei der Mahd (2001). P- und K-Gehalt des Futters stiegen deutlich mit der PK-Düngung, sowohl bei der Weide als auch bei der Mähwiese. Wenn alle beobachteten Parameter berücksichtigt werden, kann für diesen Weidetyp mit einer Produktion von rund 40 dt TS/ha/Jahr eine jährliche Düngung mit 9 kg P/ha/Jahr empfohlen werden. Im Falle der Beweidung ist keine K-Düngung notwendig, um die K-Verfügbarkeit im Boden, die botanische Zusammensetzung und die erwartete Menge des produzierten Futters zu erhalten. Dieser Versuch bestätigt, dass der Bedarf einer Weide an P und K bei gleicher Bewirtschaftungsintensität unter dem Bedarf einer Mähwiese liegt.

Der PNI und der KNI wurden für jede der vier Nutzungen bestimmt und anschliessend wurde ein durchschnittlicher jährlicher Ernährungsindex berechnet, indem die einzelnen Indizes mit dem jeweiligen TS-Ertrag des entsprechenden Aufwuchses gewichtet wurden. Die Zufuhr an Nährstoffen wird als ausreichend beurteilt, wenn der Index zwischen 80 und 120 liegt. Ein Index unter 80 ent-

Tab. 1 | Auswirkungen von 13 Jahren PK-Düngung auf den Gehalt des Bodens an P, K, Mg und Ca sowie auf den pH je nach Nutzungsart (4 Beweidungen oder 4 Schnitte pro Jahr, 2005, Horizont 0–10 cm). Bei einer bestimmten Eigenschaft unterscheiden sich die Werte mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant voneinander.

Eigenschaften des Bodens	P _{AA-EDTA} mg/kg	P _{CO₂} mg/kg	K _{AA-EDTA} mg/kg	K _{CO₂} mg/kg	Mg _{AA-EDTA} mg/kg	Mg _{CaCl₂} mg/kg	Ca _{AA-EDTA} mg/kg	pH
Anfangswert (1991)	–	0,59	–	11,5	–	95	–	5,51
4 Beweidungen pro Jahr (P4)								
P/K-Düngung								
0/0	39,3 a	0,79 a	187 bc	21,0 bc	241 a	184 a	3116 a	5,90 a
9/0	32,9 a	0,94 a	180 c	19,1 c	232 ab	177 a	2911 a	5,65 a
9/29	20,7 a	0,76 a	203 bc	21,6 bc	219 ab	170 a	2547 a	5,60 a
9/58	42,9 a	0,78 a	233 b	27,2 b	215 abc	163 a	2772 a	5,70 a
17/29	46,7 a	0,91 a	208 bc	23,9 bc	222 ab	176 a	2436 a	5,58 a
17/58	51,9 a	0,97 a	221 bc	24,3 bc	208 bc	159 a	2805 a	5,60 a
17/87	62,5 a	1,02 a	287 a	35,5 a	207 bc	158 a	2794 a	5,68 a
26/116	72,7 a	1,01 a	330 a	39,4 a	190 c	149 a	2572 a	5,58 a
Durchschnitt	46,2	0,90	231	26,5	217	167	2744	5,66
P-Wert	0,31	0,518	0,000	0,000	0,020	0,099	0,345	0,121
LSD	–	–	50	7,9	26	–	–	–
4 Schnitte pro Jahr (C4)								
P/K-Düngung								
0/0	7,9 c	0,50 c	143 d	13,7 d	203 a	158 a	2698 a	5,68 a
9/0	22,2 b	0,72 ab	150 d	13,5 d	206 a	160 a	2725 a	5,60 ab
9/29	23,1 b	0,62 bc	162 cd	14,7 cd	202 a	156 a	2514 a	5,45 bc
9/58	16,6 bc	0,51 c	154 d	14,1 d	173 b	137 c	2405 a	5,50 abc
17/29	43,9 a	0,76 ab	171 cd	15,8 cd	204 a	159 a	2446 a	5,50 abc
17/58	43,4 a	0,85 a	198 bc	20,3 bc	196 a	154 ab	2221 a	5,38 c
17/87	37,5 a	0,71 ab	230 b	24,3 b	176 b	140 bc	2279 a	5,33 cd
26/116	44,5 a	0,81 a	319 a	36,7 a	163 b	137 c	1692 b	5,13 d
Durchschnitt	29,9	0,69	191	19,1	190	150	2372	5,44
P-Wert	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,007	0,010	0,001
LSD	10,6	0,19	37	6,0	18	15	504	0,21

spricht einer Mangelversorgung, ein Index über 120 gilt als «Luxuskonsum».

Zu jeder gemessenen Variablen wurde getrennt für jedes Beobachtungsjahr eine einfaktorische Varianzanalyse (Einflussvariable = PK-Düngung) durchgeführt. Es wurden ausserdem zweifaktorielle Varianzanalysen (Split-Plot-Anlage mit Nutzungsarten als Hauptverfahren und der PK-Düngung als Unterverfahren) durchgeführt, um den Einfluss der Nutzungsart zu untersuchen. Wenn ein Einfluss statistisch signifikant war, wurden die Durchschnitte paarweise nach der Methode der kleinsten gesicherten Differenz (*Least Significant Difference*, LSD) verglichen. Alle statistischen Analysen wurden mit der Software R 3.3.3 (R Core Team 2017) durchgeführt.

Resultate und Diskussion

Gehalt des Bodens an Mengenelementen

Bei demselben PK-Düngungsverfahren war der P-Gehalt des Bodens beim Verfahren P4 stets höher als beim Verfahren C4. Dieser Unterschied zwischen Beweidung und Mahd lässt sich mit der Rückführung von P durch die Ausscheidungen der Weidetiere erklären.

Im Verfahren P4 hatte die PK-Düngung 2005 keinen signifikanten Einfluss auf den P-Gehalt des Bodens, unabhängig davon, ob der Gehalt nach Extraktion mit

Ammoniumacetat-EDTA (AA-EDTA) oder mit CO₂-gesättigtem Wasser gemessen wurde (Tab. 1). Mit zunehmender P-Düngung stieg aber der P-Gehalt des Bodens tendenziell. Bei der Weide kann der P_{CO₂}-Gehalt bei allen Düngungsverfahren als genügend beurteilt werden, der P_{AA-EDTA}-Gehalt je nach Düngungsverfahren als mässig bis reich (Vorrat) (Flisch *et al.* 2017). Im Falle einer Schnittnutzung blieb der Nährstoffzustand bezüglich P meist mässig bei den vier Düngungsverfahren mit niedrigster Düngung und erreichte ein genügendes Niveau bei den Düngungsverfahren mit einer Gabe von 17 beziehungsweise 26 kg P/ha.

Wie bei P und aus denselben Gründen ist auch der K-Gehalt im Boden der Weide systematisch höher als im Boden der Mähwiese. Bei den Nutzungsarten P4 und C4 übt die PK-Düngung einen signifikanten Einfluss auf den K-Gehalt des Bodens aus, unabhängig von der Extraktionsmethode (Tab. 1). Der Gehalt schwankt beim Verfahren C4 etwas stärker als beim Verfahren P4. Im Falle der Weide kann der K_{AA-EDTA}-Gehalt immer als reich («Vorrat») und der K_{CO₂}-Gehalt immer als «genügend» beurteilt werden, ausser in den beiden Düngungsverfahren mit höchster K-Düngung, bei denen das Niveau «Vorrat» erreicht wird (Flisch *et al.* 2017). Im Falle der Mähwiese entspricht in den meisten Fällen der K_{AA-EDTA}- beziehungsweise K_{CO₂}-Gehalt dem Niveau «genügend».

Tab. 2 | Auswirkungen von 14 Jahren PK-Düngung auf die botanische Zusammensetzung je nach Nutzungsart (4 Beweidungen oder 4 Schnitte pro Jahr, 2006). Bei einer bestimmten botanischen Gruppe unterscheiden sich die Werte mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant voneinander.

Botanische Gruppe	Gräser %	Leguminosen %	Kräuter %
4 Beweidungen pro Jahr (P4)			
Anfangswert (1992)	65,7	7,8	26,2
P/K-Düngung			
0/0	65,1 a	7,2 a	27,6 a
9/0	68,0 a	8,8 a	23,3 a
9/29	71,6 a	7,8 a	20,5 a
9/58	65,7 a	10,1 a	23,3 a
17/29	69,5 a	8,9 a	21,8 a
17/58	66,3 a	11,0 a	22,7 a
17/87	69,9 a	8,1 a	21,8 a
26/116	71,0 a	10,8 a	18,4 a
Durchschnitt	68,4	9,1	22,4
P-Wert	0,645	0,233	0,488
LSD	–	–	–
4 Schnitte pro Jahr (C4)			
Anfangswert (1992)	63,5	8,8	27,5
P/K-Düngung			
0/0	54,0 a	2,3 a	43,2 a
9/0	55,7 a	4,4 a	39,4 ab
9/29	56,2 a	6,0 a	36,3 abc
9/58	56,2 a	4,8 a	36,6 abc
17/29	53,3 a	4,7 a	40,1 ab
17/58	59,6 a	6,1 a	34,0 bc
17/87	59,0 a	7,5 a	32,3 c
26/116	50,4 a	5,3 a	42,0 a
Durchschnitt	55,5	5,1	38,0
P-Wert	0,356	0,397	0,044
LSD	–	–	7,02

Der Mg-Gehalt des Bodens nahm mit zunehmender P- und K-Düngung leicht ab. Im Verfahren P4 war dieser Einfluss nur bei der Ammoniumacetat-EDTA-Extraktion signifikant. Diese Abnahme lässt sich mit einem Anstieg der Mg-Ausfuhren in den Düngungsverfahren mit den stärksten Düngungen (siehe unten) und mit dem starken Antagonismus zwischen K und Mg erklären. Der pH-Wert und der Ca-Gehalt des Bodens sanken ebenfalls leicht mit zunehmender PK-Düngung. Die Unterschiede zwischen den Düngungsverfahren sind bei der Mähwiese signifikant, nicht aber bei der Weide.

Botanische Zusammensetzung

Vierzehn Jahre differenzierte PK-Düngung haben den Anteil der Gräser, der Leguminosen und der Kräuter kaum beeinflusst (Tab. 2). Im Verfahren P4 begünstigte eine zunehmende PK-Düngung tendenziell die Gräser und Leguminosen zuungunsten der Kräuter. Beim Verfahren C4 nahm der Anteil der Leguminosen leicht zu, der Anteil der Kräuter ab. Nur drei Arten reagierten in signifikanter Weise auf die PK-Düngung. Bei einer intensiven Düngung nimmt der Anteil des Gewöhnlichen Rispengrases (*Poa trivialis*) und des Weissklee (*Trifolium repens*) im Verfahren P4 zu, während der Anteil von Ga-

Tab. 3 | Auswirkungen von 13 Jahren PK-Düngung auf den Gehalt des Futters an Mengenelementen je nach Nutzungsart (4 Beweidungen oder 4 Schnitte pro Jahr, 2006). Bei einem bestimmten Element unterscheiden sich die Werte mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant voneinander.

Mengenelement	P*	K*	N*	Mg*
	g/kg MS	g/kg MS	g/kg MS	g/kg MS
4 Beweidungen pro Jahr (P4)				
P/K-Düngung				
0/0	1,89 e	21,1 d	23,1 c	2,05 bc
9/0	2,64 cd	21,7 d	24,5 bc	2,31 a
9/29	2,47 d	24,2 c	24,4 bc	1,99 bc
9/58	2,51 d	25,8 abc	24,6 bc	1,95 bc
17/29	2,95 ab	24,9 bc	25,4 ab	2,12 ab
17/58	2,79 bc	24,9 bc	25,5 ab	2,06 bc
17/87	2,86 b	26,3 ab	24,6 bc	1,89 c
26/116	3,09 a	27,7 a	26,3 a	1,95 bc
Durchschnitt	2,65	24,6	24,8	2,04
P-Wert	0,000	0,000	0,024	0,015
LSD	0,18	2,0	1,6	0,22
4 Schnitte pro Jahr (C4)				
P/K-Düngung				
0/0	1,77 d	15,8 e	21,5 a	2,22 b
9/0	2,61 bc	15,3 e	21,7 a	2,60 a
9/29	2,52 c	18,3 d	21,6 a	2,11 b
9/58	2,41 c	20,1 bc	22,2 a	1,87 c
17/29	3,00 a	18,6 cd	22,5 a	2,09 b
17/58	2,99 a	20,7 b	23,0 a	1,85 c
17/87	2,85 ab	21,8 b	22,3 a	1,69 c
26/116	3,08 a	23,4 a	22,8 a	1,71 c
Durchschnitt	2,65	19,3	22,2	2,02
P-Wert	0,000	0,000	0,101	0,015
LSD	0,26	1,7	–	0,20

*Durchschnitt der einzelnen Nutzungen, gewichtet nach ihrem Ertrag an Trockensubstanz.

mander-Ehrenpreis (*Veronica chamaedrys*) im Verfahren C4 sinkt.

Während die botanische Zusammensetzung kaum durch die PK-Düngung beeinflusst wurde, führt die Nutzungsart zu einer starken Differenzierung der botanischen Zusammensetzung (Abb. 1). Die Beweidung (P4) begünstigte die Gräser, namentlich das Kammgras (*Cynosurus cristatus*) und das Gewöhnliche Rispengras, sowie Rotklee (*Trifolium pratense*). Die Teilflächen mit jährlich vier Schnitten (C4) waren dagegen geprägt von kleinwüchsigeren Arten wie Gemeine Brunelle (*Prunella vulgaris*), Grasblättrige Sternmiere (*Stellaria graminea*), Quendelblättriger Ehrenpreis (*V. serpyllifolia*) und Gamander-Ehrenpreis. Beim Verfahren mit zwei Schnitten pro Jahr (C2, siehe Jeangros und Sinaj 2018) waren Wiesen-Sauerampfer (*Rumex acetosa*), Wiesen-Schaumkraut (*Cardamine pratensis*), Wiesen-Platterbse (*Lathyrus pratensis*) und Frühlings-Krokus (*Crocus albiflorus*) stark vertreten.

Futtermenge

Die jährlich produzierte Futtermenge nahm zwischen 1997 und 2005 beim Verfahren P4 kontinuierlich ab (Abnahme um 23 % im Durchschnitt der acht Düngungsverfahren). Diese Abnahme war bei der Mähwiese noch

Tab. 4 | Auswirkungen der PK-Düngung auf die P- bzw. K-Bilanz (Einfuhr – Ausfuhr, kg/ha) 1997, 2001 und 2005 je nach Nutzungsart (4 Beweidungen oder 4 Schnitte pro Jahr). Im Verfahren P4 enthalten die Gaben die nach Huguenin *et al.* (2017) geschätzten Nährstoffrücklieferungen bei der Beweidung. Bei einem bestimmten Jahr unterscheiden sich die Bilanzen dem gleichen Buchstaben nicht signifikant voneinander.

Bilanz	P kg/ha			K kg/ha		
	Jahr	1997	2001	2005	1997	2001
4 Beweidungen pro Jahr (P4)						
P/K-Düngung						
0/0	-9 d	-6 d	-2 e	-87 e	-68 e	-21 d
9/0	-1 c	1 c	2 d	-66 cde	-53 de	-48 e
9/29	-2 c	1 c	2 cd	-82 e	-44 cde	-33 de
9/58	-2 c	1 c	4 c	-47 bcd	-20 bc	6 bc
17/29	4 b	6 b	8 b	-73 de	-58 e	-37 de
17/58	6 b	7 b	9 b	-43 bc	-28 cd	-1 c
17/87	5 b	6 b	9 b	-27 ab	-2 b	17 ab
26/116	13 a	15 a	16 a	-0 a	32 a	32 a
Durchschnitt	2	4	6	-53	-30	-11
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LSD	3	2	2	27	26	18
4 Schnitte pro Jahr (C4)						
P/K-Düngung						
0/0	-11 d	-5 e	-3 d	-105 ef	-44 d	-28 e
9/0	-6 c	2 c	4 c	-110 f	-43 d	-30 e
9/29	-4 c	1 cd	2 c	-75 cd	-28 c	-21 de
9/58	-5 c	-0 d	3 c	-65 cd	-12 b	5 c
17/29	2 b	7 b	9 b	-82 de	-31 c	-22 de
17/58	2 b	6 b	7 b	-57 bc	-26 c	-12 d
17/87	2 b	6 b	8 b	-37 ab	-2 b	20 b
26/116	11 a	15 a	18 a	-13 a	30 a	53 a
Durchschnitt	-1	4	6	-68	-20	-4
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LSD	3	2	2	25	12	15

ausgeprägter (C4: -32%). Dieser Ertragsrückgang war auch beim Verfahren mit zwei Schnitten pro Jahr beobachtet worden (Jeangros und Sinaj 2018). Die relativ trockenen Bedingungen im Jahr 2005 erklären diesen Rückgang zumindest teilweise.

Der durchschnittliche Ertrag 2005 beim Verfahren P4 (39 dt TS/ha) entspricht ziemlich genau dem von Huguenin-Elie *et al.* (2017) vorgeschlagenen Referenzertrag für eine wenig intensiv bewirtschaftete Weide in 1100 m Höhe, die bis zu drei Mal jährlich genutzt wird (36 dt TS/ha). Der Ertrag liegt aber deutlich unter dem Referenzertrag für eine mittel-intensiv bewirtschaftete Weide mit vier Nutzungen pro Jahr (59 dt MS/ha).

Im Verfahren P4 hatte die PK-Düngung im Jahr 2005 einen signifikanten Einfluss auf die produzierte Futtermenge, nicht aber in den Jahren 1997 und 2001 (Abb. 2A). 2005 war die jährlich produzierte Menge beim Düngungsverfahren 26/116 deutlich höher (+57%) als beim Düngungsverfahren 0/0, während der Unterschied 1997 (+3%) und 2001 (+4%) nahe bei null lag. Bei der Mähweide (C4) war der Einfluss der PK-Düngung schon im Jahr 2001 signifikant (Abb. 2B), wie auch bei

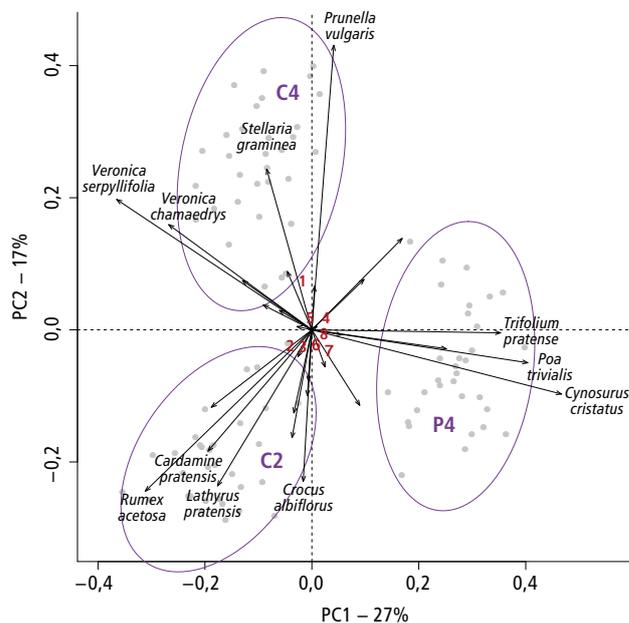


Abb. 1 | Projektion auf die Achsen 1 (erklärte Varianz 27%) und 2 (17%) der Hauptkomponentenanalyse der 2006 durchgeführten botanischen Aufnahmen (spezifische Beiträge), 14 Jahre nach Beginn des Versuchs, über die gesamten 96 Teilflächen (drei Nutzungsarten, acht PK-Düngungsverfahren und vier Wiederholungen). Die Pfeile entsprechen den Arten (es sind nur die Namen von Arten aufgeführt, die einen bedeutenden Beitrag zu den Achsen 1 und 2 leisten), die grauen Kreise den Teilflächen. P4, C4 und C2 entsprechen dem Schwerpunkt der drei Nutzungsarten (vier Beweidungen, vier Schnitte und zwei Schnitte pro Jahr), die Nummern von 1 bis 8 bezeichnen die PK-Düngungsverfahren.

jährlich zwei Schnitten (Jeangros und Sinaj 2018). Diese Ergebnisse zeigen, dass der vollständige Verzicht auf eine PK-Düngung kurzfristig einen geringen Einfluss auf die produzierte Futtermenge hat. Nach mehreren Jahren kann jedoch dieser Effekt beträchtlich zunehmen.

Gehalt des Futters an Mengenelementen

Im Verfahren P4 stieg 2005 der Gehalt an P und K im Futter mit zunehmender PK-Düngung deutlich und signifikant (Tab. 3). Der P-Gehalt stieg zwischen den Düngungsverfahren 0/0 und 26/116 um 63%, der K-Gehalt um 32%. Der P-Gehalt der Pflanzen reagierte stärker auf die PK-Düngung als der P-Gehalt des Bodens (Tab. 1). Der K-Gehalt des Futters korrelierte positiv und signifikant mit dem Gehalt des Bodens an $K_{AA-EDTA}$ ($r=0,63$) und K_{CO_2} ($r=0,54$). Beim P-Gehalt war die Korrelation zwischen dem Gehalt des Futters und dem Gehalt des Bodens schwächer ($r=0,13$ für $P_{AA-EDTA}$ und $r=0,26$ für P_{CO_2}). Durch den Vergleich der Verfahren P4 und C4 konnten die spezifischen Auswirkungen der Nutzungsart auf den Gehalt an Mengenelementen von Pflanzen gleichen Alters untersucht werden. In den beiden Verfahren P4 und

Tab. 5 | Auswirkungen der PK-Düngung auf den P-Ernährungsindex (PNI) bzw. K-Ernährungsindex (KNI) 1997, 2001 und 2005 je nach Nutzungsart (4 Beweidungen oder 4 Schnitte pro Jahr). Bei einem bestimmten Jahr und Index unterscheiden sich die Werte mit dem gleichen Buchstaben nicht signifikant voneinander.

Index	PNI*			KNI*		
	Jahr	1997	2001	2005	1997	2001
4 Beweidungen pro Jahr (P4)						
P/K-Düngung						
0/0	84 e	78 d	63 e	92 c	92 a	75 c
9/0	93 cd	92 bc	86 cd	80 d	79 b	75 c
9/29	91 d	90 c	80 d	101 ab	97 a	84 b
9/58	93 cd	89 c	81 d	102 ab	101 a	90 ab
17/29	103 ab	106 a	94 ab	99 b	100 a	85 b
17/58	97 bcd	96 bc	89 bc	102 ab	98 a	85 b
17/87	99 abc	98 b	93 ab	106 a	97 a	91 ab
26/116	104 a	106 a	97 a	105 ab	101 a	93 a
Durchschnitt	95	95	85	99	96	85
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
LSD	7	7	6	6	10	7
4 Schnitte pro Jahr (C4)						
P/K-Düngung						
0/0	77 c	71 d	61 d	74 ef	63 de	58 d
9/0	94 b	96 bc	90 bc	72 f	59 e	56 d
9/29	94 b	93 c	87 c	82 de	70 c	67 c
9/58	94 b	90 c	82 c	86 bcd	74 c	73 bc
17/29	108 a	109 a	101 a	83 cd	69 cd	67 c
17/58	109 a	112 a	100 a	91 bc	88 ab	74 b
17/87	105 a	104 ab	97 ab	95 ab	87 b	79 ab
26/116	107 a	110 a	103 a	101 a	93 a	84 a
Durchschnitt	98	98	90	85	75	70
P-Wert	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LSD	10	9	9	8	6	7

*Durchschnitt der einzelnen Nutzungen, gewichtet nach ihrem Ertrag an Trockensubstanz.

C4 lagen die P-Konzentrationen des Futters bei gleichem Düngungsverfahren nahe zusammen (Tab. 3), obwohl der P-Gehalt des Bodens bei der Weide höher als bei der Mähwiese war (Tab. 1). Das im Verfahren P4 produzierte Futter enthält dagegen mehr K als das Futter des Verfahrens C4, was in diesem Fall die bessere K-Verfügbarkeit im Boden der beweideten Parzellen widerspiegelt. Die in den Verfahren P4 und C4 beobachteten Konzentrationen an Mengenelementen liegen unter den Referenzwerten nach Daccord *et al.* (2017), die den botanischen Typ (E) und das Entwicklungsstadium der Pflanzen zum Zeitpunkt der Nutzung berücksichtigen (erster Aufwuchs im Stadium 3-4, Wiederaufwuchs jeweils nach fünf bis sechs Wochen). Der in diesem Versuch beobachtete K-Gehalt lag ebenfalls unter den Referenzwerten, im Falle der Mähwiese deutlicher als bei der Weide.

Der N-Gehalt des Futters stieg leicht mit zunehmender PK-Düngung beim Verfahren P4, nicht aber beim Verfahren C4. Dies lässt sich teilweise damit erklären, dass Leguminosen positiv auf die PK-Düngung reagieren. Bei der Weide erreichen sie einen Anteil von ungefähr 10%, gegenüber nur 5% bei der Mähwiese.

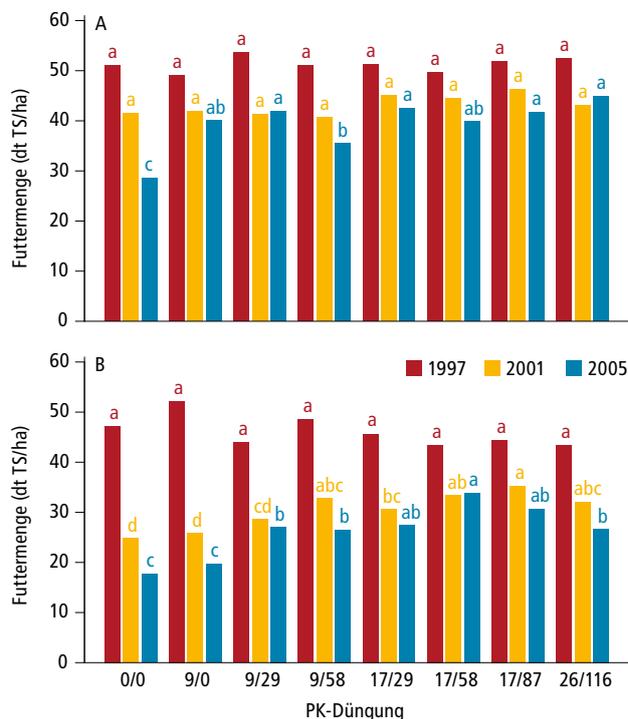


Abb. 2 | Auswirkungen der PK-Düngung auf die Menge des produzierten Futters (Summe aus vier Nutzungen, dt TS/ha/Jahr) 1997, 2001 und 2005 mit vier Beweidungen pro Jahr (A) und vier Schnitten pro Jahr (B). Zwei gleiche Buchstaben über Balken gleicher Farbe weisen darauf hin, dass sich die Werte im betreffenden Jahr nicht signifikant unterscheiden.

In beiden Verfahren sank der Mg-Gehalt des Futters mit zunehmender PK-Düngung, im Falle der Weide etwas weniger ausgeprägt als bei der Mähwiese (Tab. 3). Bei beiden Nutzungsarten liegt der Mg-Gehalt des Futters nahe bei den Referenzwerten gemäss Daccord *et al.* (2017).

P- und K-Bilanz

2001 und 2005 konnten mit der Gabe von 9 kg P/ha in beiden Verfahren P4 und C4 die P-Ausfuhren über das Futter annähernd kompensiert werden (Tab. 4). Mit einer Gabe von 17 oder 26 kg P/ha ergab sich ein deutlicher P-Bilanz-Überschuss. Die P-Bilanz fiel bei den beiden Verfahren P4 und C4 ähnlich aus, weil die in Verfahren P4 aufgrund einer etwas umfangreicheren Futterproduktion auch höheren P-Ausfuhren durch die Rücklieferungen bei der Beweidung kompensiert wurden.

1997 fiel die K-Bilanz in praktisch allen Düngungsverfahren des Verfahrens P4 negativ aus. Dieser Mangel nahm kontinuierlich ab bis zu einer ausgeglichenen Bilanz im Jahr 2005 bei einer Gabe von 58 kg K/ha/Jahr. 2001 und 2005 war das K-Defizit im Verfahren P4 im Allgemeinen

etwas ausgeprägter als beim Verfahren C4, was zeigt, dass der Anstieg der Ausfuhren bei der Weide nicht vollständig durch die K-Rücklieferung während der Beweidung kompensiert wird.

Ernährungsindizes

Eine zunehmende PK-Düngung verursachte einen signifikanten Anstieg des P- beziehungsweise K-Ernährungsindex (PNI bzw. KNI) in den Verfahren P4 und C4 (Tab. 5). Diese Indizes gingen von 1997 bis 2005 leicht zurück, blieben aber beim Verfahren P4 meistens über 80, was einer ausreichenden P- und K-Versorgung entspricht (Duru und Thélrier-Huché 1997). 2001 und 2005 ergab sich nur in den Düngungsverfahren ohne P-Düngung (0/0) oder ohne K-Düngung (0/0 und 9/0) ein PNI oder KNI unter 80. Insgesamt lagen die PNI-Werte beim Verfahren P4 leicht unter den entsprechenden Werten des Verfahrens C4, während die KNI-Werte beim Verfahren C4 tiefer waren als beim Verfahren P4.

Die Beurteilung der Nährstoffverfügbarkeit auf der Grundlage der Ernährungsindizes kann mit derjenigen, die die Interpretation der Bodenanalysen angibt (Flisch *et al.* 2017), verglichen werden. Gemäss Flisch *et al.* (2017) liegen die Schwellenwerte für den Übergang zwischen Klasse B (mässig) und Klasse C (genügend) des Nährstoffzustandes für $P_{AA-EDTA}$ beziehungsweise P_{CO_2} bei 30 respektive 0,62 mg P/kg Boden, wenn der Boden zwischen 20 und 30% Ton enthält. Im Verfahren P4 lag der P-Gehalt des Bodens, der erforderlich war, damit der PNI 2005 den Wert 80 überschritt, bei 30 beziehungsweise 0,8 mg/kg für $P_{AA-EDTA}$ respektive P_{CO_2} . Diese Werte lagen im Verfahren C4 mit 20 beziehungsweise 0,6 mg/kg etwas tiefer. Für P besteht also eine recht gute Übereinstimmung zwischen der Beurteilung des Nährstoffzustandes aufgrund des PNI und aufgrund der beiden Methoden zur Bodenanalyse. Der kleine Unterschied zwischen den Verfahren P4 und C4 könnte darauf hindeuten, dass die Verfügbarkeit des P, das durch die Ausscheidungen der Weidetiere rückgeliefert wird, von den beiden Methoden der Bodenanalyse leicht überschätzt wird.

Bezüglich K liegt die Schwelle für den Übergang zwischen den Klassen B (mässig) und C (genügend) bei 100 beziehungsweise 12,5 mg K/kg Boden für $K_{AA-EDTA}$ respektive K_{CO_2} (Flisch *et al.* 2017). In unserem Versuch betrug der Gehalt des Bodens, bei dem ein KNI von 80 erreicht wird, etwa 200 beziehungsweise 22 mg/kg. Diese beträchtliche Abweichung von den vorherigen Werten zeigt, dass in unserem Versuch die beiden Methoden der Bodenanalyse die K-Verfügbarkeit im Boden überschätzen. Diese Überschätzung wirft Fragen dazu

auf, wie aussagekräftig die für Ackerböden entwickelten Methoden zur K-Analyse für Dauerwiesen sind, insbesondere wenn diese beweidet werden.

Schlussfolgerungen

Mit zunehmender K-Düngung kann die Verfügbarkeit von K im Boden unabhängig von der Nutzungsart signifikant erhöht werden. Auch eine steigende P-Düngung hat eine Erhöhung der Verfügbarkeit von P im Boden zur Folge, im Falle der Weide ist dieser Anstieg aber nicht signifikant.

Sowohl bei der Weide als auch bei der Mähwiese beeinflusste die PK-Düngung die botanische Zusammensetzung kaum. Dagegen führte die Nutzungsart zu einer starken Differenzierung der botanischen Zusammensetzung.

Bei einem vollständigen Verzicht auf eine PK-Düngung wurde kurzfristig nur ein unwesentlicher Einfluss auf die produzierte Futtermenge festgestellt, eine bedeutende Minderung des Ertrags kann aber nach mehreren Jahren auftreten. Zu einem solchen Ertragsverlust kommt es bei der Weide später als bei der Mähwiese.

Sowohl P- als auch K-Gehalt des Futters steigen mit der PK-Düngung deutlich, bleiben aber unter den Referenzwerten.

Aufgrund der Entwicklung des P-Gehalts des Bodens, der botanischen Zusammensetzung, der Menge des produzierten Futters und dessen P-Gehalts, der Einfuhr/Ausfuhr-Bilanz sowie des P-Ernährungsindex kann eine jährliche Gabe von 9 kg P/ha/Jahr empfohlen werden. Dieser Wert liegt etwas über der von Huguenin-Elie *et al.* (2017) empfohlenen Gabe (7 kg P/ha/Jahr) für eine wenig intensiv bewirtschaftete Wiese, die etwa 40 dt TS/ha/Jahr produziert.

Eine K-Düngung scheint nicht erforderlich zu sein, um die K-Verfügbarkeit im Boden aufrechtzuerhalten, die botanische Zusammensetzung zu bewahren und die für diesen Weidetyp zu erwartende Futtermenge zu produzieren.

Dieser Versuch bestätigt, dass der P- und K-Bedarf einer Weide unter dem Bedarf einer gleich intensiv bewirtschafteten Mähwiese liegt. ■

Dank

Wir bedanken uns bei allen Personen die zur Durchführung dieses Langzeitversuchs beigetragen haben, namentlich Cédric Bertola, Luc Stévenin und Jakob Troxler. Unser Dank geht auch an Lucie Büchi für die statistische Auswertung der Daten und an Marco Meisser für seine Verbesserungsvorschläge zum Manuskript.

Riassunto**Effetti del tipo di utilizzazione sui fabbisogni di fosforo e di potassio di un prato del Giura**

Il pascolamento si distingue dallo sfalcio a causa di un'utilizzazione generalmente meno omogenea del foraggio e soprattutto grazie alla restituzione di elementi nutritivi contenuti nelle deiezioni animali. L'effetto del tipo di utilizzazione (quattro pascolamenti o quattro sfalci all'anno) sui fabbisogni di fosforo (P) e di potassio (K) di un prato del Giura è stato studiato dal 1992 al 2006 nell'ambito di una prova sperimentale che comportava diversi apporti di P (da 0 a 26 kg/ha/anno) e di K (da 0 a 116 kg/ha/anno). A pari concimazione di PK, i tenori di P e di K del suolo sono sempre più elevati nelle superfici destinate al pascolo rispetto a quelle falciate. Apporti crescenti di P e K permettono di aumentare questi tenori in modo significativo per K, indipendentemente dal tipo di utilizzazione e per P soltanto nel caso dello sfalcio. Il tipo di utilizzazione ha un impatto importante sulla composizione botanica, ma non sulla concimazione PK. L'assenza della concimazione PK ha determinato una diminuzione significativa della quantità di foraggio, verificatasi più precocemente con lo sfalcio (2001) che con il pascolo (2005). I tenori di P e K del foraggio sono aumentati significativamente grazie alla concimazione PK, sia col pascolamento sia con lo sfalcio. In considerazione dell'insieme dei parametri osservati, un apporto annuale di 9 kg/ha/anno può essere raccomandato per questo tipo di pascolo che produce circa 40 q SS/ha/anno. Nel caso del pascolo, gli apporti di K non sono necessari per mantenere la disponibilità di K nel suolo, per preservare la composizione botanica e per produrre il foraggio atteso. Questa prova conferma che i fabbisogni di P e K di un pascolo sono inferiori a quelli di un prato falciato con la stessa intensità.

Literatur

- Daccord R., Wyss U., Kessler J., Arrigo Y., Rouel M., Lehmann J., Jeangros B. & Meisser M., 2017. Nährwert des Raufutters. In: Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch), Kapitel 13, Hrsg. Agroscope, Posieux.
- Duru M. & Thélier-Huché L., 1997. N and P-K status of herbages: use for diagnosis of grasslands. In: Inra (Ed.), Diagnostic procedures for crop management. Les colloques de l'Inra, 125–138.
- Flisch R., Neuweiler R., Kuster T., Oberholzer H., Huguenin-Elie O. & Richner W., 2017. 2/Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 2/1–2/33.

Summary**Impact of type of use on the phosphorus and potassium requirements of grassland in the Swiss Jura**

Grazing differs from mowing in its generally less homogeneous use of forage, and above all in its return of nutrients in the excreta of herbivores. The impact of the type of use (four grazings vs four cuts per year) on the phosphorus (P) and potassium (K) requirements of a grassland in the Swiss Jura was studied from 1992 to 2006 in a trial with various inputs of P (0 to 26 kg/ha/year) and K (0 to 116 kg/ha/year). For the same PK fertilisation, the P and K content of the soil is always higher for grazing than for mowing. Increasing inputs of P and K enable this content to be increased significantly for K regardless of the type of use, and for P only in the case of mowing. Although type of use has a significant effect on botanical composition, PK fertilisation does not. The absence of PK fertilisation results in a significant decrease in the quantity of forage; this decrease appeared later with grazing (2005) than with mowing (2001). The P and K content of the forage increased significantly with PK fertilisation for both types of use. Bearing in mind all of the observed parameters, an annual input of 9 kg P/ha/year may be recommended for this type of pasture that produces approximately 40 dt DM/ha/year. In the case of grazing, K inputs are not necessary to maintain the availability of K in the soil, preserve the botanical composition, and produce the expected forage. This trial confirms that the P and K requirements of pastures are lower than those of hay meadows managed at the same intensity.

Key words: pasture, meadow, fertilization, soil fertility, botanical composition, forage, nutrition index.

- Huguenin-Elie O., Mosimann E., Schlegel P., Lüscher A., Kessler W. & Jeangros B., 2017. 9/Düngung von Grasland. In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg. W. Richner & S. Sinaj). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 9/1–9/22.
- Jeangros B. & Sinaj S., 2018. Phosphor- und Kaliumbedarf einer rotschwingelreichen Mähwiese im Jura. *Agrarforschung Schweiz* 9 (6), 192–199.
- R Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Zugang: <http://www.R-project.org/>