

Typologie der Produktion von Weiden

Zoé Vuffray¹, Claire Deléglise¹, Fredy Schori², Walter Glauser², Pierluigi Calanca³, Marco Meisser¹, David Frund¹, Luc Stévenin¹, Alexandre Bittar¹ und Eric Mosimann¹

¹Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

²Agroscope, 1725 Posieux, Schweiz

³Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Marco Meisser, E-Mail: marco.meisser@agroscope.admin.ch



Das Graswachstum wurde von 2000 bis 2015 auf verschiedenen Weiden für Milchkühe in der Südwestschweiz gemessen. (Foto: E. Mosimann)

Einleitung

Die Bewirtschaftung von Weiden besteht darin, das Angebot und den Verzehr von Futter in ein Gleichgewicht zu bringen. Die Besatzdichte, das heisst die Anzahl Tiere pro Flächeneinheit, kann aus dem täglichen Bedarf der Herde und der produzierten Grasmenge berechnet werden. Das Graswachstum schwankt im Verlaufe der Vegetationsperiode und wird durch zahlreiche Parameter beeinflusst, darunter Witterung, Höhe, Boden, Düngung und botanische Zusammensetzung (Mosimann 2005). Das Graswachstum wurde zwischen 2000 und 2015 in der

Westschweiz (Abb. 1) bei eher intensiv bewirtschafteten Weiden gemessen.

Die Daten dieser Versuche wurden analysiert und die Weiden in Klassen eingeteilt, mit dem Ziel, das Potenzial der Grasproduktion in einer gegebenen Situation mit Hilfe einfacher Kriterien schätzen zu können. Mit diesem Vorgehen wird das AGFF-Merkblatt «Weiden von Milchkühen. Berechnung der angepassten Besatzstärke» (Mosimann und Stettler 2004) fortgesetzt und vervollständigt.

Material und Methoden

Die Messungen des Graswachstums erfolgten in den meisten Fällen vor Ort im Rahmen von Weideführungsversuchen mit Rindern. Sie betrafen meistens Weiden für Milchkühe, die intensiv oder mittel-intensiv bewirtschaftet wurden. Die Messanordnung bestand aus jeweils zwei Streifen mit 6–10 m² Fläche, deren Gras alternierend alle zwei Wochen gemäht und gewogen wurde. Nach jeder Nutzung wurde eine Stickstoffdüngung ausgebracht (maximale Düngung 200 kg N/ha pro Jahr), mit Ausnahme der Sömmerungsgebiete des Juras über 1000 m Höhe, bei denen keine Düngung erfolgte, und von drei Bio-Betrieben, die zwei bis drei Mal pro Jahr organischen Dünger ausbrachten. Die Trockensubstanz-Erträge der während der ganzen Vegetationsperiode vorgenommenen Schnitte dienten der standardisierten Berechnung des täglichen Graswachstums (Corrall und Fenlon 1977; Mosimann 2001). Es wurden 226 Messserien (Jahr × Standort) analysiert, die jeweils eine Wachstumskurve ergaben. Insgesamt waren 46 Gemeinden betroffen, wobei sich die Messungen an einem Standort über ein bis zwölf Jahre erstreckten. Der Begriff «Wachstumskurve» bezieht sich auf die Schwankungen des Graswachstums über den Jahresverlauf. Die Weidesaison kann grundsätzlich in vier Zeitabschnitte unterteilt werden, die durch physiologische Veränderungen der Vegetation und durch meteorologische Schwankungen festgelegt sind (Abb. 2). Zur Erstellung dieser Kurven wurde das Programm R (R Core Team, 2015) verwendet. Die täglichen Wachstumsraten wurden über das gesamte Jahr mit Hilfe der Glättungsfunktion «Splines» (Funktion «smooth.spline» des Pakets «stats») extrapoliert. Um die Faktoren zu analysieren, die für die Schwankungen des Graswachstums verantwortlich sind, wurden zwei Serien von Variablen betrachtet: einerseits die unabhängigen Variablen (Klima- und Um-

Potenzial Futterproduktion

- sehr vorteilhaft
- sehr vorteilhaft bis günstig
- günstig
- günstig bis nutzbar
- begrenzt nutzbar
- kaum nutzbar
- limitiert
- nicht nutzbar

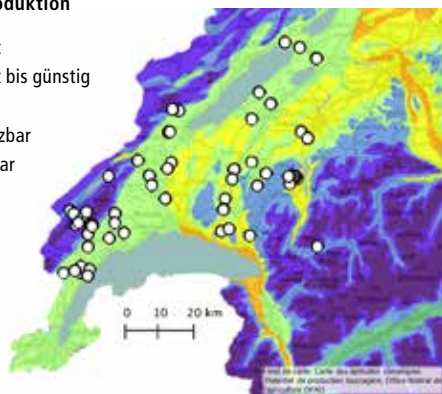


Abb. 1 | Standorte der Messung des Graswachstums von 2000 bis 2015.

Zusammenfassung

Bei der Planung der Viehbesatzdichte von Weiden stützt sich die Berechnung der voraussichtlich erforderlichen Fläche auf die Einschätzung des Potenzials zur Futterproduktion. Das Wachstum des Grases wurde seit 2000 auf verschiedenen intensiv und mittel intensiv bewirtschafteten Weiden im Südosten der Schweiz gemessen. Es wurden die Amplitude und die Dynamik über den Jahresverlauf von 226 Wachstumskurven analysiert und mit verschiedenen Klima- und Umweltparametern in Beziehung gesetzt. Die gemessenen Werte wurden in allgemeinen Kategorien zusammengefasst, die zu einer zwei Tabellen umfassenden Typologie führten. In der ersten Tabelle sind die Daten der vier Schlüsselphasen einer Weide festgehalten («Beginn», «Spitze», «Sommer», «Herbst»), je nach Höhe und Frühzeitigkeit der Vegetationsperiode. Die zweite Tabelle hält die für die Berechnung der Besatzdichte nützlichen Referenz-Wachstumsraten fest. 32 % der gesamten Varianz lassen sich mit vier Variablen erklären. Da sich die Wirkung der Variable «botanische Zusammensetzung» nicht klar umschreiben lässt, wurden nur die «Höhe», die «Bodentiefe» und das «Klima» für die Typologie verwendet. Die Referenz-Wachstumsraten wurden für die vier Phasen und die drei gewählten Variablen berechnet. Die grosse noch verbleibende Variabilität zeigt aber, dass die Berücksichtigung aller Eigenschaften einer Wiese und die klimatischen Bedingungen eines Jahres zur präzisen Beschreibung des Graswachstums unerlässlich sind. Mit der Entwicklung eines auf landwirtschaftliche und klimatische Faktoren abgestützten Modells könnte das Graswachstum an einem bestimmten Standort und in einem gegebenen Jahr genauer abgeschätzt werden.

weltvariablen), die für die Zuteilung der Wachstumskurven zu Kategorien verwendet wurden (Tab. 1), und andererseits die abhängigen Variablen, welche die Dynamik und die Amplitude der Wachstumskurven beschreiben. Diese abhängigen Variablen wurden verwendet, um die Daten zu bestimmen, welche die vier Zeiträume begrenzen, sowie um die entsprechenden Referenzwerte für das Graswachstum festzulegen. Ihre Berechnung ist in Tabelle 2 kurz erklärt.

Tab. 1 | Unabhängige Variablen, die für die Klassifizierung der Wachstumskurven verwendet wurden.

Umweltparameter	
Höhe	Höhe der Parzelle
Weidenart	Kunstwiese (gesät) oder Naturwiese
Gräser	Prozentualer Anteil der Gräser an der botanischen Zusammensetzung
Leguminosen	Prozentualer Anteil der Leguminosen an der botanischen Zusammensetzung
Botanische Zusammensetzung	«G» > 70 % Gräser; «E» 50 bis 70 % Gräser; «L» > 50 % Leguminosen
Boden	Bodentiefe (2 Kategorien: oberflächlich und tief)
Klimatische Parameter*	
Jahresniederschläge	Gesamtniederschläge, kumuliert über den Verlauf des betrachteten Jahres
Niederschläge im Frühling	Kumulierte Niederschläge vom 1. März bis zum 31. Mai des betrachteten Jahres
Niederschläge im Sommer	Kumulierte Niederschläge vom 1. Juni bis zum 31. August des betrachteten Jahres
Durchschnittstemperatur	Temperatur gemittelt über das betrachtete Jahr
Phänologie	Semi-quantitative Variable, welche die Frühzeitigkeit der Vegetationsperiode beschreibt (1 = spät, 2 = normal, 3 = früh)
Trockenheitsindex Frühling	Σ (Niederschläge – ETb) über die Phasen Beginn bis Spitze
Trockenheitsindex Sommer	Σ (Niederschläge – ETb) über die Phase Sommer
Relativer Trockenheitsindex Frühling	Trockenheitsindex Frühling bezogen auf dessen Durchschnitt über 30 Jahre
Relativer Trockenheitsindex Sommer	Trockenheitsindex Sommer bezogen auf dessen Durchschnitt über 30 Jahre

* Die klimatischen Parameter (1985–2015) für die einzelnen Standorte beruhen auf der Extrapolation von Daten von MeteoSchweiz. ETb = berechnete Evapotranspiration gemäss der Methode nach Priestley-Taylor (1972)

Tab. 2 | Abhängige Variablen, die für die Beschreibung der Wachstumskurven verwendet wurden.

Parameter, die für die Bestimmung der Daten der vier Phasen einer Weide verwendet wurden	
Beginn	Datum, das durch Regression aus den Messungen vor der Wachstumsspitze berechnet wird
Spitze	Extrapolation des Datums beim Maximum der Wachstumskurve
Wechsel «Beginn» zu «Spitze»	Datum vor der Spitze mit Wachstumsrate = 0,7 x maximale Rate
Wechsel «Spitze» zu «Sommer»	Datum nach der Spitze mit Wachstumsrate = 0,7 x maximale Rate
Wechsel «Sommer» zu «Herbst»	Datum mit Wachstumsrate = 70 % des durchschnittlichen Wachstums während der Phasen Sommer und Herbst
Sommerloch	Datum mit minimalem Wachstum, falls es zwischen der Wachstumsspitze und dem Ende der Vegetationsperiode zu einem erneuten Anstieg kommt
Zweite Wachstumsspitze im Sommer	Datum mit maximalem Wachstum, falls es zwischen der Wachstumsspitze und dem Ende der Vegetationsperiode zu einem «Wiederanstieg» kommt
Ende der Vegetationsperiode	Datum, berechnet aus der Regression der letzten Messungen mit negativer Steigung

Parameter, die zur Erklärung des Wachstums verwendet wurden	
Maximum im Frühling	Extrapolation des Maximalwerts der Wachstumskurve
Minimum im Sommer	Minimale Wachstumsrate, falls es gegen Ende der Vegetationsperiode zu einem «Wiederanstieg» kommt
Maximum im Sommer	Maximale Wachstumsrate zwischen Minimum im Sommer und Ende der Vegetationsperiode, falls es zwischen Spitze und Ende der Vegetationsperiode zu einem «Wiederanstieg» kommt
Jahresertrag	Kumulierte tägliche Wachstumsraten zwischen Beginn und Ende der Vegetationsperiode
Wachstum Beginn	Median der Tagesraten während der Phase «Beginn»
Wachstum Spitze	Median der Tagesraten während der Phase «Spitze»
Wachstum Sommer	Median der Tagesraten während der Phase «Sommer»
Wachstum Herbst	Median der Tagesraten während der Phase «Herbst»
Wiederanstieg	Binäre Variable, die darüber Auskunft gibt, ob beim Wachstum ein lokales Minimum (Sommerloch) und anschliessend ein «Wiederanstieg» (2. Spitze) auftritt

Tab. 3 | Daten der vier Schlüsselphasen einer Weide nach Höhe und Frühzeitigkeit der Vegetationsperiode.

Höhe	Frühzeitigkeit	Beginn	Spitze	Sommer	Herbst	Ende
< 600 m	früh	13.03.	10.04.	14.05.	29.08.	04.11.
	spät	26.03.	22.04.	30.05.	23.09.	25.11.
< 700 m	früh	19.03.	16.04.	20.05.	29.08.	04.11.
	spät	01.04.	28.04.	03.06.	23.09.	25.11.
< 800 m	früh	25.03.	22.04.	25.05.	29.08.	04.11.
	spät	08.04.	03.05.	08.06.	23.09.	25.11.
< 900 m	früh	31.03.	28.04.	30.05.	28.08.	30.10.
	spät	15.04.	08.05.	13.06.	22.09.	20.11.
< 1000 m	früh	05.04.	04.05.	05.06.	18.08.	28.10.
	spät	22.04.	13.05.	17.06.	14.09.	16.11.
< 1100 m	früh	11.04.	10.05.	10.06.	07.08.	21.10.
	spät	28.04.	19.05.	22.06.	05.09.	09.11.
> 1100 m	früh	17.04.	16.05.	15.06.	27.07.	16.10.
	spät	05.05.	24.05.	27.06.	28.08.	06.11.

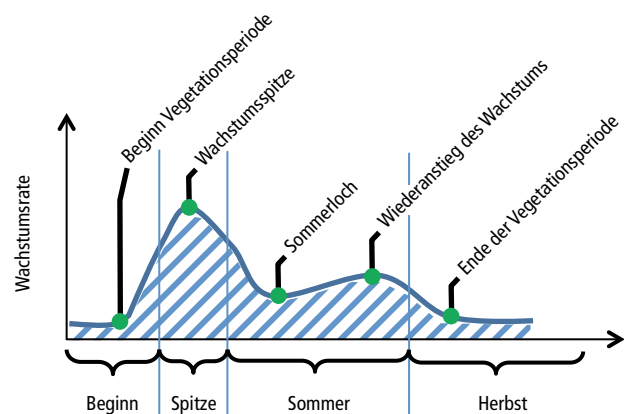
Der Trockenheitsindex oder «theoretische Wassermangel» wird in der Praxis oft verwendet (Meisser *et al.* 2016). Er entspricht der Differenz zwischen den effektiven Niederschlägen und der potenziellen Evapotranspiration. Er wird für die beiden Zeiträume «Beginn der Vegetationsperiode bis Ende Wachstumsspitze» sowie «Ende Wachstumsspitze bis Ende Sommer» (gemäss Abb. 2) berechnet. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage der täglichen Daten gemäss der nachfolgenden Methode, wobei ET_b = berechnete Evapotranspiration gemäss der Methode nach Priestley-Taylor (1972) mit einem kulturspezifischen Koeffizienten für Weiden von $k_c = 1,15$:

$$\text{theoretischer Wassermangel} = \sum_{\text{Zeitraum}} (\text{Niederschläge} - ET_b) \text{ [mm]}$$

Um das Klima des gemessenen Jahres im Vergleich zu den durchschnittlichen klimatischen Bedingungen des betreffenden Standorts zu berücksichtigen, wurden diese Indizes mit dem Durchschnitt über 30 Jahre verglichen. Der «theoretische Wassermangel» wurde für die vergangenen 30 Jahre für die beiden Zeiträume «Beginn der Vegetationsperiode bis Ende Wachstumsspitze» und «Ende Wachstumsspitze bis Ende Sommer» berechnet und anschliessend gemittelt. Das Verhältnis zwischen dem Index des gemessenen Jahres und dessen Durchschnitt über 30 Jahre entspricht dem relativen Trockenheitsindex. Um die Anzahl der Parameter zu reduzieren, die für die Klassifizierung der Wachstumskurven verwendet werden, wurden die Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen von Tabelle 1 berechnet. Zur Untersuchung der Beziehung zwischen den Variablen der Tabellen 1 und 2 wurden Redundanzanalysen (RDA) mit dem Paket

«vegan» des Programms R durchgeführt. Durch die gleichzeitige Darstellung der unabhängigen und abhängigen Variablen kann mit diesen Analysen die Erklärungskraft der einzelnen Variablen bestimmt werden (Legendre und Legendre 1998). Vor der Durchführung der RDA wurden alle Variablen zentriert und reduziert (Durchschnitt auf Null, Standardabweichung normiert), um die Originalwerte und unterschiedliche Massstäbe vergleichen zu können. Die Signifikanz jeder unabhängigen Variablen und des durch die RDA errechneten Gesamtmodells wurde nachträglich mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA, Paket «vegan» von R) geprüft.

Um die unabhängigen Variablen zu bestimmen, die sich am besten für die Zuordnungen der Typologie eignen, wurden drei RDA durchgeführt.


Abb. 2 | Die vier Phasen (auf der Abszisse) und Schlüsselzeitpunkte der Vegetationsperiode einer Weide.

Tab. 4 | Ergebnisse der Varianzanalyse zu den unabhängigen Variablen, die in den drei Redundanzanalysen (RDA) verwendet wurden.

	RDA1				RDA2				RDA3			
	Varianz	F	P		Varianz	F	P		Varianz	F	P	
Höhe (kontinuierliche Werte)	25,55	82,50	< 0,001	***	24,45	81,41	< 0,001	***				
Höhe (Abstufungen zu 100 m)									23,39	71,88	< 0,001	***
Boden	3,55	11,51	< 0,001	***	2,99	9,95	< 0,001	***	3,90	11,98	< 0,001	***
Botanische Zusammensetzung	1,08	3,52	0,018	*	1,07	3,55	0,018	*	1,22	3,74	0,015	*
Klima (3 Klassen)									3,26	10,02	0,001	**
Trockenheitsindex Sommer	3,49	11,34	< 0,001	***	6,24	20,76	< 0,001	***				
relativer Trockenheitsindex Sommer	0,44	1,42	0,218	ns	0,90	2,99	0,041	*				
Niederschläge im Sommer	3,49	11,32	< 0,001	***	1,67	5,56	0,002	**				
Niederschläge im Frühling	0,26	0,85	0,422	ns								
Trockenheitsindex Frühling	0,75	2,45	0,066	ns								
relativer Trockenheitsindex Frühling	0,97	3,15	0,037	*								
Weide	1,28	4,16	0,014	*								
Phänologie	0,31	1,00	0,361	ns								
Erklärte Varianz	41,17				37,31				31,76			

- Mit der ersten RDA konnten wir alle unabhängigen Variablen von Tabelle 1 testen und bestimmen, welche Variablen eine wichtige Rolle im Erklärungsmodell spielen.
- Die zweite RDA beruhte auf der Auswahl der besten Variablenkombination. Die Auswahl erfolgte durch automatische Berechnungen (*Forward Selection*; Borcard 2011). Mit dieser Methode, bei der das Aikake-Informationskriterium verwendet wurde, liess sich durch Iterationen die Kombination finden, die mit einer begrenzten Zahl von Variablen die Varianz maximal erklärt.
- Eine dritte RDA wurde schliesslich auf der Grundlage der Ergebnisse der beiden vorhergehenden Analysen durchgeführt. Es wurden die Variablen mit der grösstmöglichen erklärenden Wirkung ausgewählt, die den Landwirtschaftsbetrieben gleichzeitig leicht zugänglich sind. Dann wurden sie für die abschliessende Typologie in Klassenvariablen umgewandelt. Mit dieser RDA konnte geprüft werden, wie gut die Varianz durch dieses Schlussmodell erklärt wird.

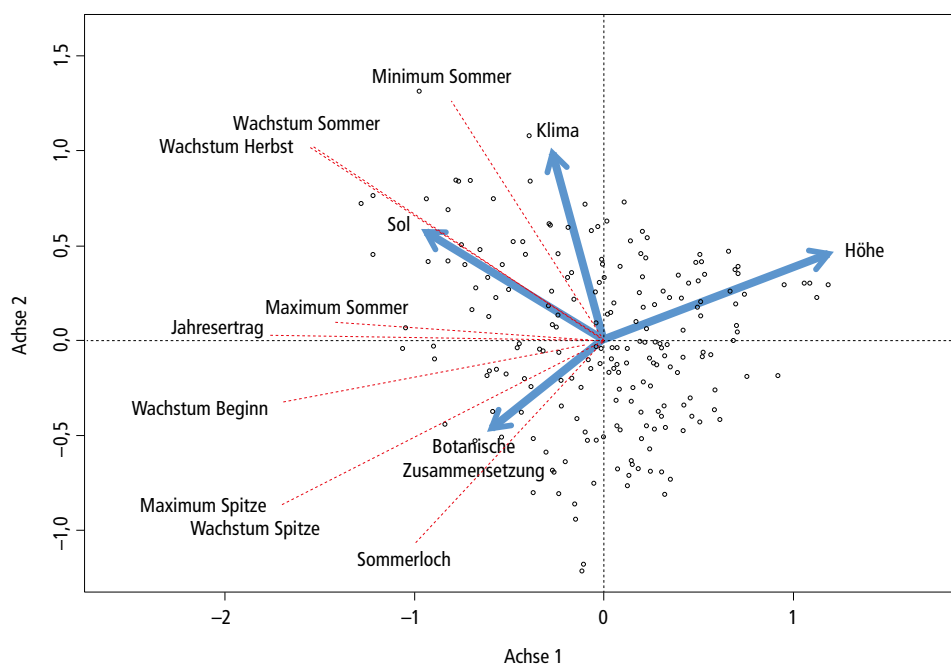


Abb. 3 | Biplot-Diagramm mit Projektion der unabhängigen Variablen (blau) und der abhängigen Variablen (rot).

Resultate

Bestimmung der Schlüsseldaten der Weidesaison

Mit Hilfe der in Tabelle 2 festgelegten abhängigen Variablen wurden bei allen 226 Messserien die Zeitpunkte errechnet, welche die vier Zeiträume «Beginn», «Spitze», «Sommer», «Herbst» (Abb. 2) begrenzen. Ihre Variabilität innerhalb der einzelnen Höhenklassen wurde mit Hilfe von Boxplot-Diagrammen untersucht. Die frühen und späten Jahre entsprechen den Daten unter- beziehungsweise oberhalb des Medianwertes für das Datum.

Das Datum des ersten und dritten Quartils (untere bzw. obere Kante der Box) wurden als Mittelwert des Datums der frühen beziehungsweise späten Jahre aufgefasst. Die Spanne zwischen den Quartilen entspricht damit der durchschnittlichen Abweichung zwischen frühen und späten Jahren und betrug 12 bis 13 Tage (gemittelt über alle Höhen). Pro hundert Höhenmeter wurde ausserdem eine Verschiebung um rund sechs Tage festgestellt. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse aufgeschlüsselt nach den

Tab. 5 | Durchschnittswerte zum Graswachstum über die vier Phasen einer Weide und jährlicher Trockensubstanz(TS)-Ertrag nach Höhe, Boden und Klima.

Höhe (m)	Bodentiefe	Klima (Niederschläge)	Wachstumsrate (kg TS/ha/Tag)				Jahresertrag (kg TS/ha)
			Beginn	Spitze	Sommer	Herbst	
< 600	oberflächlich	trocken	30	65	40	15	8754
< 600	oberflächlich	normal	35	70	40	20	9455
< 600	oberflächlich	feucht	40	70	55	30	12026
< 600	tief	trocken	30	80	45	15	9846
< 600	tief	normal	40	85	55	20	11797
< 600	tief	feucht	40	85	65	35	14055
< 700	oberflächlich	trocken	25	60	35	15	7648
< 700	oberflächlich	normal	30	65	40	20	8873
< 700	oberflächlich	feucht	35	65	50	30	10835
< 700	tief	trocken	30	75	45	15	9372
< 700	tief	normal	30	80	50	20	10460
< 700	tief	feucht	35	85	65	35	13510
< 800	oberflächlich	trocken	20	55	30	15	6591
< 800	oberflächlich	normal	25	60	35	15	7402
< 800	oberflächlich	feucht	30	60	45	25	9300
< 800	tief	trocken	30	65	40	15	8212
< 800	tief	normal	30	70	50	15	9395
< 800	tief	feucht	30	75	55	25	10827
< 900	oberflächlich	trocken	20	45	30	15	6080
< 900	oberflächlich	normal	20	55	30	15	6418
< 900	oberflächlich	feucht	25	55	40	20	7895
< 900	tief	trocken	25	55	35	15	7027
< 900	tief	normal	30	60	45	15	8284
< 900	tief	feucht	30	70	50	25	9878
< 1000	oberflächlich	trocken	15	40	25	15	5030
< 1000	oberflächlich	normal	15	50	30	15	5768
< 1000	oberflächlich	feucht	20	50	35	15	6300
< 1000	tief	trocken	20	55	30	10	5629
< 1000	tief	normal	20	60	40	15	7038
< 1000	tief	feucht	25	60	45	25	8433
< 1100	oberflächlich	trocken	10	35	20	10	3505
< 1100	oberflächlich	normal	10	45	25	10	4164
< 1100	oberflächlich	feucht	15	45	30	10	4620
< 1100	tief	trocken	15	50	30	10	4782
< 1100	tief	normal	20	60	30	10	5230
< 1100	tief	feucht	20	60	45	15	6624
> 1200	oberflächlich	trocken	10	30	15	5	2410
> 1200	oberflächlich	normal	10	40	20	5	2989
> 1200	oberflächlich	feucht	10	40	25	5	3250
> 1200	tief	trocken	15	35	25	5	3210
> 1200	tief	normal	10	45	30	10	4104
> 1200	tief	feucht	15	55	40	10	5063

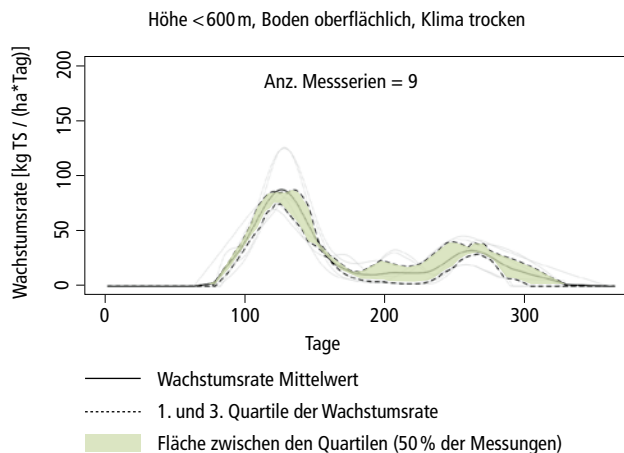


Abb. 4 | Variabilität der Messungen innerhalb einer Kategorie der vorgeschlagenen Typologie.

verschiedenen Zeiträumen aufgeführt. Gemäss Vuffray *et al.* (2016) haben phänologische Beobachtungen über die vergangenen zwanzig Jahre bei Weiden in der Romandie eine durchschnittliche Abweichung des Datums des Rispenschiebens vom Knaulgras von 18 Tagen zwischen den frühesten und den spätesten Jahren ergeben, mit einer durchschnittlichen Verschiebung des Datums um fünf Tage pro hundert Höhenmeter.

Auswahl der unabhängigen Variablen

Die Korrelationen (n=226) zwischen den Variablen «Höhe» und «Jahresniederschläge» (r=0,82), sowie zwischen «Höhe» und «Durchschnittstemperatur» (r=0,84) sind signifikant (p < 0,001), was den kühleren und feuch-

teren Bedingungen in den Bergen entspricht. Aus diesem Grund wurde für die nachfolgenden Analysen nur die «Höhe» berücksichtigt. Die Variablen «Prozentualer Anteil Gräser» und «Prozentualer Anteil Leguminosen» wurden nicht beibehalten, weil diese Informationen nur für eine zu kleine Anzahl von Messserien zur Verfügung standen. Diese Variablen korrelieren aber mit der Variablen «botanische Zusammensetzung».

Die erste RDA wurde mit allen in Tabelle 1 aufgeführten unabhängigen Variablen durchgeführt. Sie erklärten 41 % der gesamten Varianz der Wachstumsdaten in signifikanter Weise (mit α bei 0,05). Dadurch konnte das Gewicht der einzelnen Variablen geprüft werden. Gemäss Varianzanalyse (Tab. 4) erklärten folgende Variablen die Verteilung der Ergebnisse in signifikanter Weise: «Höhe» (25 % der Varianz), sowie die Klasse der Variablen «Boden», die «kumulierten Niederschläge im Sommer» und der «relative Trockenheitsindex Sommer» (je ca. 3 % der Varianz). Einzig die klimatischen Variablen des Sommers schienen einen signifikanten Einfluss auf die Amplitude der Wachstumsrate zu haben. Die klimatischen Faktoren im Frühling beeinflussten nur den Zeitpunkt der Spitze. Die Ergebnisse der zweiten RDA, die zu den per *Forward Selection* ausgewählten Variablen durchgeführt wurde, erklärten 37 % der Varianz der Variablen, welche die Wachstumskurven beschreiben (Tab. 4). Dieses Modell erklärt die Verteilung der abhängigen Variablen in signifikanter Weise (mit α bei 0,05). Die wichtigste unabhängige Variable war immer noch die «Höhe» (24,5 % der Varianz). Die anderen ausgewählten Variablen waren «Bodentiefe», «botanische Zusammensetzung», «Trockenheitsindex Sommer», «relativer Trockenheitsin-

Beispiel für die Anwendung der Typologie für eine Weide mit Milchkühen auf 730m Höhe

eher trockener Sommer

oberflächlicher Boden

geschätztes Wachstum
gemäss Tab. 5:
30 kg TS/ha/Tag

Verzehr einer Milchkuh,
die 20l Milch/Tag produziert:
16,5 kg TS/Tag

für eine Herde von 40 Kühen und 25 ha verfügbare Fläche

- die Herde verzehrt 660 kg TS/Tag
- 25 ha produzieren 750 kg TS/Tag
- Überschuss von 90 kg TS/Tag; die Weidefläche könnte um 3 ha verkleinert werden

Online-Flächenberechnung: <https://croissancepaturages.shinyapps.io/croissance/>

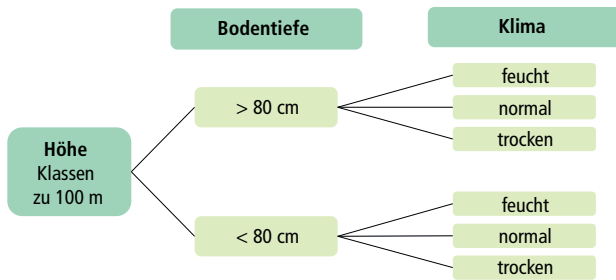


Abb. 5 | Baumdiagramm der Parameter, die für die Typologie des Graswachstums verwendet wurden.

dex Sommer» und «Niederschläge im Sommer»; auch sie spielten eine wichtige ergänzende Rolle, da sie alle in signifikanter Weise Einfluss nahmen.

Die dritte RDA wurde mit einer begrenzten Anzahl Variablen durchgeführt. Dabei wurde auf die Variablen «Niederschläge im Sommer» und «Trockenheitsindex Sommer» verzichtet, weil sie redundant sind zur Variablen «relativer Trockenheitsindex Sommer». Weil diese Variable jedoch für die Landwirtschaftsbetriebe nicht leicht zugänglich ist, wurde sie in eine Klassenvariable «Klima» umgewandelt. Schliesslich wurden damit vier unabhängige Variablen getestet:

- Höhe: sieben Klassen in Abstufungen zu 100m (Tab. 3).
- Klima: die drei Klassen «feucht», «normal» und «trocken». Die Klasse normal entspricht dabei einem re-

lativen Trockenheitsindex zwischen -75 (mm, kumuliert) und $+75$ (mm, kumuliert). Werte unter diesem Bereich werden der Klasse «trocken», Werte darüber der Klasse «feucht» zugeordnet. Diese Variable, die sowohl das Klima der betreffenden Saison als auch die durchschnittlichen klimatischen Bedingungen des Standorts beschreibt, gewährt dem Anwender der Typologie eine gewisse Interpretationsfreiheit.

- Boden: die zwei Klassen Bodentiefe > 80 cm und Bodentiefe < 80 cm.
- Botanische Zusammensetzung: die drei Klassen «G» (> 70 % Gräser), «E» (50 bis 70 % Gräser) und «L» (> 50 % Leguminosen) (Daccord *et al.* 2006).

Das so reduzierte Schlussmodell erklärte 32 % der Varianz der Variablen, welche die Wachstumskurven beschreiben (Tab. 4). Alle vier unabhängigen Variablen erklärten die Varianz in signifikanter Weise. Die grösste Erklärungskraft wies die Klasse der Höhe auf (23,4 %), gefolgt von der Klasse des Bodens (3,9 %), des Klimas (3,2 %) und der botanischen Zusammensetzung (1,2 %). Die Wahl von Klassenvariablen (statt Variablen mit kontinuierlichen Werten) und der Verzicht auf schlecht verfügbare Variablen schränkten die Aussagekraft des Modells zwar stark ein, es erklärte die Varianz aber noch immer in signifikanter Weise (mit α bei 0,05).

In Abbildung 3 wurden die Messserien auf eine Ebene projiziert, deren beide Achsen 31,6 % der Variablen

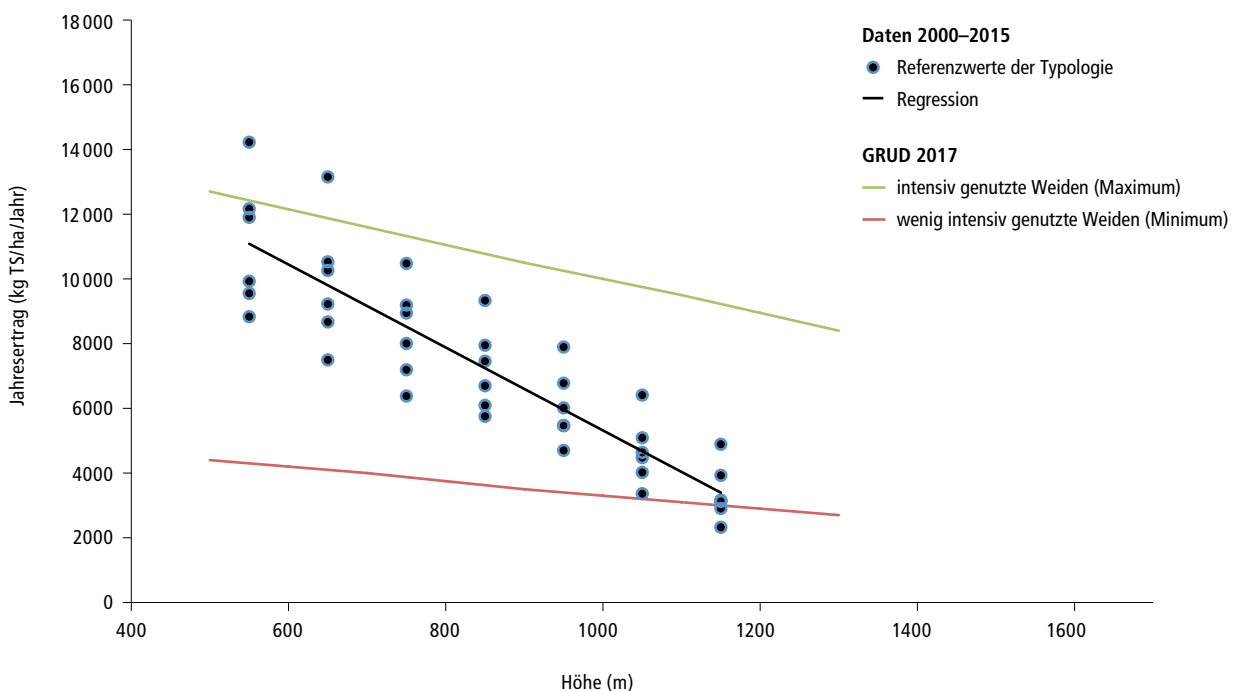


Abb. 6 | Beziehung zwischen Höhe und Jahresertrag der Weiden: Vergleich mit den Werten der Grundlagen für die Düngung GRUD 2017 (Huguenin *et al.* 2017).

darstellten, welche die Wachstumskurve beschreiben. Die Gültigkeit des erklärenden Modells wird bestätigt. Namentlich der Jahresertrag korrelierte negativ mit der Höhe und positiv mit der Bodentiefe. Aus dem Diagramm lässt sich schliessen, dass für die Typologie geeignete Variablen ausgewählt wurden. Darüber hinaus zeigte die RDA aber weitere interessante Aspekte, zum Beispiel die gute Korrelation des Anteils der Gräser mit der Wachstumsrate bei der Spitze und mit einem Wiederanstieg im Herbst. Es lässt sich damit die Hypothese formulieren, dass bei den Standorten im Tiefland für die bedeutenden Wachstumsspitzen im Frühling und Herbst vor allem die Gräser verantwortlich waren.

Ein Vergleich der Wachstumskurven innerhalb der einzelnen Kategorien der Typologie zeigt schliesslich, dass während der Vegetationsperiode die Streuung der Messungen um den Mittelwert mit einem Interquartilabstand von rund 20 kg TS/ha/Tag moderat war (Abb. 4).

Vorschlag für eine Typologie des Graswachstums

Um die Klassifizierung der Daten einfacher zu gestalten, wurde der moderate Einfluss der botanischen Zusammensetzung auf die abhängigen Variablen nicht berücksichtigt. Die Typologie beruht damit auf den in Abbildung 5 dargestellten Parametern. Sie umfasst sieben Höhenklassen, zwei Klassen der Bodentiefe und drei Klassen zum Klima, wodurch sich insgesamt 42 Werteserien ergeben. Die Wachstumsraten wurden über jede Phase (Beginn, Spitze, Sommer, Herbst) gemittelt, was zu vier Werten pro Serie führte. Die gemittelten Werte wurden manchmal korrigiert, um regelmässige Abweichungen zwischen den Serien zu erhalten. Bei einigen Serien fehlten Daten und die Werte wurden extrapoliert. Anschliessend wurden die Werte auf das nächste Vielfache von fünf gerundet und in die Tabelle 5 eingetragen. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte die erste, bisher als Referenz verwendete Typologie verfeinert werden (Mosimann 2001). Durch den Umfang der seit 2000 gesammelten Daten konnte die Erklärungskraft der Wachstumsbedingungen untersucht und quantifiziert und eine detailliertere und praxisnahe Klassifizierung vorgeschlagen werden.

Jahresertrag

Der Jahresertrag wurde berechnet, indem das kumulierte Wachstum der vier Phasen summiert wurde, wobei die Dauer der Phasen in Tagen in Tabelle 3 aufgeführt ist. Unabhängig von der Höhenklasse waren die Unterschiede des Ertrags zwischen frühen und späten Jahren sehr gering (maximale Abweichung 400 kg TS/ha/Jahr). In Tabelle 5 ist der jeweilige Durchschnitt dieser beiden Werte aufgeführt. Diese Durchschnittswerte wurden mit

den Jahreserträgen gemäss den Düngungsgrundlagen (Huguenin *et al.* 2017) verglichen. Wie erwartet sank der Ertrag mit zunehmender Höhe. Die in dieser Studie festgestellte Ertragsminderung verlief jedoch steiler, als sie in den Düngungsgrundlagen für Weiden beschrieben wurde (Abb. 6). Dieser Unterschied lässt sich mit den tieferen Temperaturen im Südwesten der Schweiz bei gleicher Höhe erklären. Weitere Eigenheiten des untersuchten Gebiets sind die Bergkette des Juras sowie der durchlässige und oft untierte Untergrund. Schliesslich nimmt die Intensität der Bewirtschaftung mit zunehmender Höhe ab, insbesondere in Sömmerungsgebieten über 1000 m, bei denen auf jede Düngung verzichtet wird.

Schlussfolgerungen

Mit dieser Studie konnte die bestehende Typologie der Weiden verbessert und Referenzwerte der Wachstumsraten für verschiedene Höhen-, Boden- und Klimaklassen vorgelegt werden. Diese Daten sind für die Berechnung der idealen Besatzdichte der Weiden je nach den spezifischen Wachstumsbedingungen nützlich. Auf diese Weise lässt sich die Bewirtschaftung der Weiden optimieren. Auf der anderen Seite zeigt diese Studie die grosse Variabilität des Ertrags und der Wachstumsdynamik über den Verlauf der Weidesaison auf. Es lassen sich dabei Unterschiede zwischen den Daten für das in dieser Studie untersuchte Gebiet (Südosten der Schweiz) und der übrigen Schweiz feststellen. Eine genaue Abschätzung der Wachstumsraten kann nur vorgenommen werden, wenn alle Parameter berücksichtigt werden, die das Pflanzenwachstum der Weiden bestimmen. Mit der Entwicklung eines agroklimatischen Modells könnte das Pflanzenwachstum an einem bestimmten Standort und in einem gegebenen Jahr genauer abgeschätzt werden (Calanca *et al.* 2016). ■

Dank

Diese Studie wurde mit Unterstützung des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) im Rahmen des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» durchgeführt. Die Studie erhielt auch Mittel des Kantons Waadt im Rahmen des Projekts «Progrès Herbe».

Riassunto**Tipologia di produzione dei pascoli**

Per pianificare il carico di bestiame sui pascoli, il calcolo previsionale del fabbisogno di superficie si basa su una valutazione del potenziale di produzione foraggera. La crescita dell'erba è stata misurata dal 2000 in diversi pascoli intensivi e medio intensivi situati nel sud ovest della Svizzera. Sono state analizzate la dinamica e l'ampiezza annuale di 226 curve di crescita mettendole in relazione ad altre variabili climatiche e ambientali. I valori misurati sono stati raggruppati in categorie generali che hanno generato una tipologia che comporta due tabelle. La prima definisce le date dei quattro periodi chiave del pascolo («inizio», «apice della crescita», «estate», «autunno») secondo l'altitudine e la precocità della stagione. La seconda evidenzia i tassi di crescita di riferimento utili al calcolo del carico. Quattro variabili spiegano il 32 % della varianza totale. Siccome la variabile del «tipo botanico» non è chiaramente definibile, per la tipologia sono state mantenute solo le variabili «classe di altitudine», «profondità del suolo» e «natura del clima». I tassi di crescita di riferimento sono stati calcolati per i quattro periodi e per le tre variabili mantenute. Tuttavia, la grande variabilità residua indica che tenere conto di tutte le caratteristiche di un prato e del clima annuale è essenziale per descrivere accuratamente la crescita dell'erba. Lo sviluppo di un modello agroclimatico dovrebbe consentire di migliorare la precisione della stima della crescita dell'erba per un determinato luogo e per un dato anno.

Literatur

- Borcard D., Gillet F. & Legendre P., 2011. Numerical Ecology with R. Springer Science & Business Media, 175–180.
- Calanca P., Deléglise C., Martin R., Carrère P. & Mosimann E., 2016. Testing the ability of a simple grassland model to simulate the seasonal effects of drought on herbage growth. *Field Crops Research* **187**, 12–23.
- Corrall A.J. & Fenlon J.S., 1977. A comparative method for describing the seasonal distribution of production from grasses. *J. agric. Sci. Camb.* **91**, 61–67.
- Daccord R., Wyss U., Jeangros B. & Meisser M., 2006. Bewertung von Wiesenfutter. Nährstoffgehalt für die Milch- und Fleischproduktion. Merkblatt AGFF-AGRIDEA.
- Hugenin-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. S. Sinaj & W. Richner). *Agrarforschung Schweiz* **8** (6), Spezialpublikation, 9/1–9/22.
- Legendre L. & Legendre P., 1998. Numerical ecology. 2nd English Edition. Elsevier, Amsterdam.

Summary**Typology of pasture production**

When planning stocking density on pasture, the preliminary calculation of the surface-area requirement is based on an estimate of the forage production potential. Since the year 2000, grass growth has been measured in various intensively-to-semi-intensively-managed grasslands in the southwest of Switzerland. The dynamism and amplitude over the course of the year of 226 growth curves were analysed and correlated with various climatic and environmental parameters. The measured values were grouped into general categories leading to a typology comprising two tables. The first of these defines the dates of the four key grazing periods ('beginning', 'peak', 'summer', 'autumn') according to the altitude and precocity of the growing season. The second stipulates the benchmark growth rates useful for calculating stocking density. Four variables explain 32 % of the total variance. Since the effect of the 'botanic composition' variable cannot be clearly defined, only 'altitude', 'soil depth' and 'climate' were retained to describe the typology. The benchmark growth rates were calculated for the four periods and three variables that were retained. Nevertheless, the high residual variability shows that consideration of all the characteristics of a meadow and the climatic conditions over the year are indispensable for the precise description of grass growth. The development of an agro-climatic model should allow us to estimate grass growth for a given place and year more accurately.

Key words: grassland, pasture, yield, modelling.

- Meisser M., Deléglise C., Stévenin L. & Mosimann E., 2015. Auswirkung von Trockenperioden auf Wiesen. *Agrarforschung Schweiz* **6** (9), 400–407.
- Mosimann E. & Stettler M., 2004. Weiden von Milchkühen. Berechnung der angepassten Besatzstärke. Merkblatt AGFF-AGRIDEA.
- Mosimann E., 2001. Croissance des herbages. Méthodes de mesure et applications pratiques. *Revue suisse Agric.* **33** (4), 163–167.
- Mosimann E., 2005. Caractéristiques des pâturages pour vaches laitières dans l'ouest de la Suisse. *Revue suisse Agric.* **37** (3), 99–106.
- Priestley C.H.B. & Taylor R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Wea. Rev.* **100**, 81–92.
- R Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing. Version 3.1.3. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Vuffray Z., Amaudruz M., Deléglise C., Jeangros B., Mosimann E. & Meisser M., 2016. Phänologische Entwicklung von Mähwiesen – 21 Beobachtungsjahre. *Agrarforschung Schweiz* **7** (7–8), 322–329.