

Phänologische Entwicklung von Mähwiesen – 21 Beobachtungsjahre

Zoé Vuffray¹, Claire Deléglise¹, Michel Amaudruz², Bernard Jeangros³, Eric Mosimann¹ und Marco Meisser¹

¹Agroscope, Institut für Nutztierwissenschaften INT, 1260 Nyon, Schweiz

²Agridea Lausanne, 1000 Lausanne 6, Schweiz

³Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

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



Abb. 1 | Das frühblühende Wiesenschaukraut kündigt in den Mähwiesen den Frühling an. Die phänologische Entwicklung der Wiesenkräuter im Frühling findet immer früher statt und schwankt stärker als vor zwanzig Jahren. (Foto: Eric Mosimann)

Einleitung

Rückblick auf 21 Jahre phänologische Erhebung

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Pflanzen im Frühling nimmt der Nährwert des Futters ab (Demarquilly und Andrieu 1988). Die Einbusse der Futterqualität lässt sich mit der Alterung des Pflanzengewebes sowie mit morphologischen Veränderungen über den Vegetationszyklus erklären. Die phänologische Erfassung der Entwicklungsstadien bei den Pflanzen ist deshalb ein guter Indikator, um den Nährwert des Futters ohne chemi-

sche Analysen abzuschätzen. Aus diesem Grund koordinieren Agridea und Agroscope seit 1995 jeden Frühling die Beobachtung der phänologischen Entwicklung der Wiesen in einem Netz aus rund 80 Parzellen in der Westschweiz. Die Ergebnisse werden jeweils am Ende jedes Jahres von der AGFF (Amaudruz *et al.* 2015) publiziert. Sie erlauben es anschliessend, dank der Tabelle von Daccord *et al.* (2006) die Futterqualität der Mähwiesen nach der biologischen Zusammensetzung und nach der Kon-

servierungsmethode einzuschätzen. In 21 Erhebungsjahren wurden mehr als 11900 Beobachtungen (Kombinationen «Parzelle × Jahr × Art») in 220 Gemeinden durchgeführt (Abb. 2).

In einem ersten Schritt wurden diese Daten verwendet, um die Robustheit der Methode zur Berechnung des durchschnittlichen Stadiums der Wiesen zu prüfen und zu aktualisieren.

In einem zweiten Schritt ermöglichten es diese Daten, den zeitlichen Verlauf der phänologischen Entwicklung der Wiesen über die vergangenen Jahre zu analysieren. Durch die Beobachtung dieser phänologischen Veränderungen kann mit einer einfachen und einmaligen Messung die direkte Reaktion der Vegetation auf Schwankungen der verschiedenen meteorologischen Parameter untersucht werden. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die Auswirkungen des Klimawandels ziehen.

Material und Methoden

Phänologische Beobachtungen

Die Beobachtungen wurden bei Kunst- und Dauerwiesen auf einer Höhe zwischen 380 und 1700 m während vier bis neun Wochen durchgeführt. Die beobachteten Parzellen wurden auf ebenem Gelände gewählt, damit eine vergleichbare Sonneneinstrahlung gewährleistet war. Die Parzellen waren auf zehn Temperaturzonen verteilt, wie sie gemäss Schreiber *et al.* (1977) auf der Grundlage der Entwicklung mehrerer Pflanzenarten und aufgrund der Topografie festgelegt wurden (Abb. 2). Es wurden zwei phänologische Skalen zur Bestimmung des Entwicklungsstadiums von fünf Gräserarten und fünf Dikotyledonen eingesetzt (Tab. 1).

Zusammenfassung Die phänologische Entwicklung der Wiesen beeinflusst die Futterqualität und insbesondere die Entwicklung der Verdaulichkeit der organischen Substanz. Die Beobachtung der Phänologie erleichtert damit die Bewirtschaftung der Wiesen beim ersten Aufwuchs. Da die Entwicklung der Vegetation stark von den meteorologischen Bedingungen abhängt, erlauben es langfristige phänologische Untersuchungen, den Einfluss des Klimawandels auf die Vegetation besser zu verstehen. Das Ziel dieser Studie ist es, erstens die Methode zur Feststellung des durchschnittlichen Stadiums einer Wiese unter Berücksichtigung mehrerer Arten zu aktualisieren und zweitens die zwischen 1995 und 2015 beobachtete Veränderungen der Entwicklung von Wiesen zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der erste Aufwuchs der Wiesen im Mittelland immer früher stattfindet (Datum des vollen Ähren-/Rispenchiebens bei den Gräsern alle 10 Jahre 2 bis 3 Tage früher) und dass es häufiger zu Schwankungen mit sehr frühzeitigen und sehr späten Frühlungen kommt. Diese Veränderungen zeigen, dass es wichtig ist, die phänologische Entwicklung der Wiesen als Ganzes zu beobachten. Die in diesem Artikel vorgeschlagene Methode will dazu einen Beitrag leisten.

Tab. 1 | Skala zur Bestimmung der phänologischen Entwicklungsstadien für die Gräser und die Dikotyledonen

Stadium	Gräser	Dikotyledonen*
1	Bestockung – Beginn des Schossens	Rosettenstadium (die Mehrzahl der Pflanzen haben mehr als 3 Blätter entwickelt)
2	Schossen (Rispe/Ähre steigt bei 50% der Pflanzen)	Blütenknospen (bei 50% der Pflanzen sichtbar)
3	Beginn Rispen-/Ährenschieben (einige Rispen/Ähren sichtbar)	Schossen (Blütenknospen steigen bei 50% der Pflanzen)
4	Volles Rispenschieben (50% der Pflanzen mit Rispen/Ähren)	Beginn Blüte (10% der Pflanzen blühen)
5	Ende Rispenschieben (90% der Pflanzen mit Rispen/Ähren)	Vollblüte (50% der Pflanzen blühen)
6	Blüte (50% der Pflanzen blühen)	Ende Blüte (verblüht)
7	Samenreife (50% der Pflanzen mit Samen)	Samenreife (50% der Pflanzen mit Samen)
8	Samen fallen ab	Samen fallen ab

*Stadium 2 bei Dikotyledonen nicht verwendbar, welche Knospen erst nach dem Schossen ausbilden (z. B. Scharfer Hahnenfuss, Wiesenkerbel und Rotklee).

Durchschnittliches Stadium einer Wiese

Das durchschnittliche Stadium von Dauerwiesen ist wegen der unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeit der zahlreichen Arten, aus denen diese Wiesen zusammengesetzt sind, schwierig einzuschätzen. Um dieses Hindernis zu überwinden und um einen Vergleich zwischen den Wiesen zu ermöglichen, werden die bei zehn Referenzarten beobachteten Stadien standardisiert. Dazu werden die Stadien in das sogenannte *Knaulgras-Äquivalent-Stadium* (KAS) übertragen, d. h. in das Stadium, in dem sich Knaulgras (*Dactylis glomerata*) bei der Beobachtung befinden würde. Gegenwärtig wird die Übertragung mit Hilfe von neun Gleichungen durchgeführt, die durch lineare Regression der Daten zur Beziehung zwischen den Stadien von Knaulgras und den Stadien der neun Referenzarten errechnet wurden. Diese Gleichungen wurden auf der Grundlage von zwischen 1990 und 1994 durchgeführten Beobachtungen aufgestellt (Jeangros und Amaudruz 2005). Das durchschnittliche Stadium der Wiese entspricht dem Durchschnitt der KAS-Werte, d. h. den standardisierten Beobachtungen aller untersuchten Arten.

In einem ersten Schritt wurde die Methode von Jeangros und Amaudruz (2005) mit den zwischen 1995 und 2015 durchgeführten Beobachtungen evaluiert, um zu prüfen, ob sie sich auf alle klimatischen Bedingungen in der Westschweiz übertragen lässt. Dazu wurden die Parameter (Steigung und Achsenabschnitt) der Referenzgleichungen schrittweise mit Varianzanalysen geprüft (ANOVA oder parameterfreie Kruskal-Wallis-Tests), um festzustellen, ob ihr Durchschnitt in bestimmten Jahren oder in bestimmten Temperaturzonen unterschiedlich war.

In einem zweiten Schritt wurden zur Verfeinerung der bestehenden Methoden unter Berücksichtigung der 21 Beobachtungsjahre neue Gleichungen formuliert. Dadurch sollte die Genauigkeit verbessert werden, weil die Entwicklung später oder früher Arten besser berücksichtigt wird, insbesondere durch die Einführung von quadratischen und kubischen Gleichungen und die Einführung von zwei neuen Referenzarten. Ausserdem wurden die Gleichungen nach Dauer- und Kunstwiesen unterschieden.

Analyse der phänologischen Veränderungen

Es wurde eine Trendanalyse zum Datum des *vollen Rispschiebens* (Stadium 4, Tab. 1) bei den Dauerwiesen des Beobachtungsnetzes durchgeführt. Dieses Stadium ist ein wichtiger Orientierungspunkt für die Bewirtschaftung von Wiesen: Ab diesem Zeitpunkt wird die Verringerung des Nährwerts immer ausgeprägter. Zu diesem Zweck wurden die beobachteten Stadien jeweils mittels der neuen Gleichungen ins *Knaulgras-Äquivalent-Stadium*

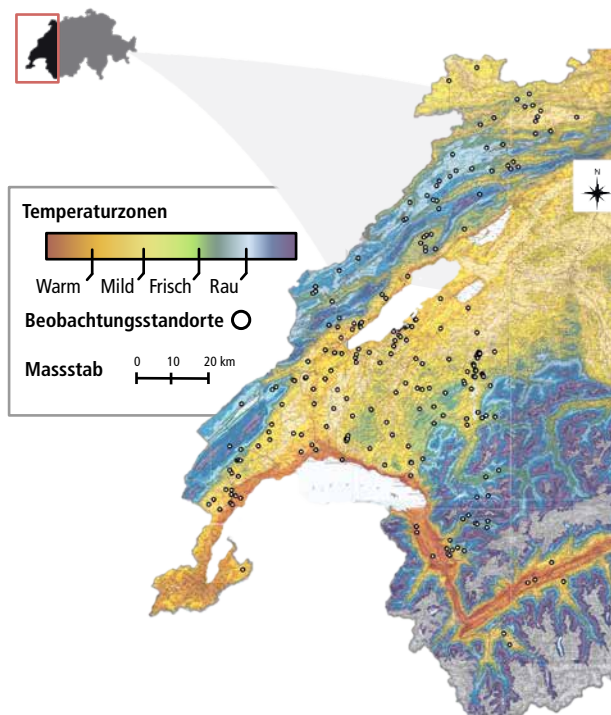


Abb. 2 | Standorte der zwischen 1995 und 2015 durchgeführten Beobachtungen (an manchen Standorten fanden Beobachtungen über mehrere Jahre statt). Die Färbungen der Karte zeigen die Temperaturzonen nach Schreiber et al. (1977).

um überführt. Mit Hilfe des Informationskriteriums von Akaike wurde für jede Parzelle das beste Modell zur Beschreibung der durchschnittlichen phänologischen Entwicklung ausgewählt (Wahl zwischen Polynom-Funktionen ersten, zweiten oder dritten Grades). Diese Regressionen wurden verwendet, um das Datum des vollen Rispschiebens für jede Parzelle zu bestimmen. Nun wurde mit der Theil-Sen-Methode eine Trendanalyse zu den Daten des Zeitraums 1995 à 2015 vorgenommen (Theil 1992; Sen 1968). Die Signifikanz dieser Trends wurde anschliessend mit dem Mann-Kendall-Test geprüft (Mann 1945; Kendall 1948). Schliesslich wurde mit dem Bartlett-Test eine Varianzanalyse zu den Daten des vollen Rispschiebens vorgenommen.

Resultate und Diskussion

Aktualisierung der Methode des Knaulgras-Äquivalent-Stadiums

Bei der Mehrzahl der Referenzarten ergaben sich keine Änderungen der Parameter in den KAS-Gleichungen, und zwar weder bei bestimmten Frühlungen noch in bestimmten Temperaturzonen. Anders ausgedrückt blieb

die Entwicklung bei der Mehrheit der beobachteten Arten unabhängig von Jahr und Ort unverändert. Bei den meisten Arten war im Vergleich zum Knaulgras weder eine Beschleunigung noch eine Verzögerung der phänologischen Entwicklung festzustellen. Einzig Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) zeigt Veränderungen der Parameter in bestimmten Jahren oder bestimmten Temperaturzonen. Diese Tatsache lässt sich damit erklären, dass diese Art über einen sehr langen Zeitraum blüht und dass es zahlreiche Ökotypen mit verschiedenen Blühzeitpunkten gibt. Wenn Löwenzahn von der Betrachtung ausgeschlossen wird, verhält sich die Methode des Knaulgras-Äquivalent-Stadiums sehr robust gegenüber den klimatischen Schwankungen in den Temperaturzonen der Studie über die 21 vergangenen Jahre.

Am Beispiel des Gemeinen Rispengrases (Abb. 3), unterscheiden sich die Regressionen, die zu den Daten von 1995 bis 2015 berechnet wurden, leicht von den 1994 errechneten Gleichungen, insbesondere aufgrund der höheren Zahl von Beobachtungen (abgeschwächte Auswirkungen von Extremwerten). Aus diesem Grund schlagen wir vor, künftig die neuen Gleichungen zu verwenden, die sich auf die Daten aus den 21 Beobachtungsjahren stützen. Die Regressionen beruhen auf Polynomen zweiten und dritten Grades, welche die phänologische Entwicklung früher und später Arten besser beschreiben. Die neuen Gleichungen, die für elf Arten aus Dauerwiesen erstellt wurden, sind in Tabelle 2 aufgeführt.

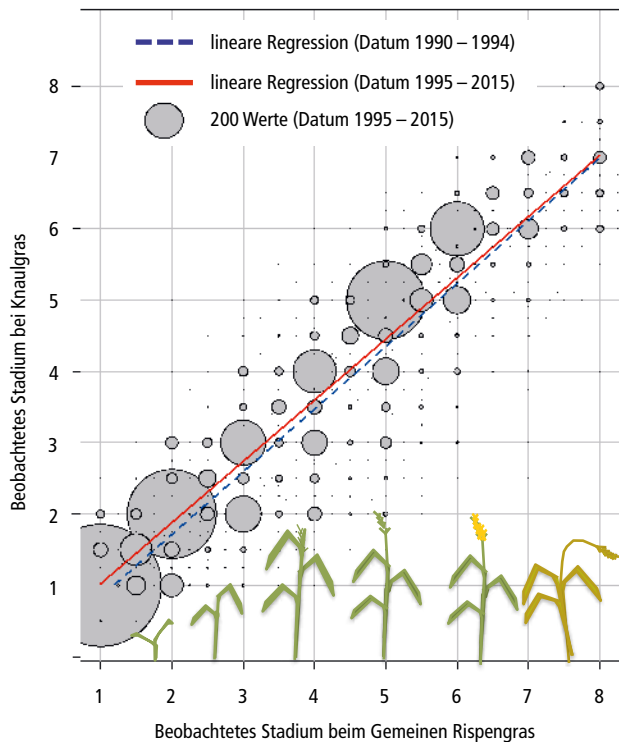


Abb. 3 | Beziehung zwischen den Stadien des Knaulgrases und des Gemeinen Rispengrases. Blaue Linie: 1994 berechnete Regression (Jeangros und Amaudruz 2005). Rote Linie: 2015 berechnete Regression (1755 Beobachtungen, $R^2 = 0,84$, $y = 0,858x - 0,162$) zu den zwischen 1995 und 2015 durchgeführten Beobachtungen, die durch graue Kreise dargestellt sind (Grösse der Kreise proportional zur Anzahl Werte).

Tab. 2 | Neue Gleichungen zur Umrechnung in das Knaulgras-Äquivalent-Stadium für Dauerwiesen

Trivialname	Lateinischer Name	Gleichung ($y = \text{Knaulgras-Äquivalent-Stadium}$, $x = \text{Stadium der Art}$)	R^2
Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i>	$y = 0,096x^2 - 0,324x + 1,395$	0,74
Gemeines Rispengras	<i>Poa trivialis</i>	$y = 0,858x + 0,162$	0,84
Timothe	<i>Phleum pratense</i>	$y = -0,158x^2 + 2,174x - 0,411$	0,74
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>	$y = 0,898x + 0,504$	0,85
Margerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>	$y = 1,006x - 0,070$	0,77
Wiesenfuchsschwanz	<i>Alopercurus pratensis</i>	$y = 0,109x^2 - 0,206x + 1,214$	0,77
Englisches Raigras	<i>Lolium perenne</i>	$y = 0,907x + 0,384$	0,84
Wiesenkerbel	<i>Anthriscus sylvestris</i>	$y = 0,089x^2 + 0,035x + 0,929$	0,83
Scharfer Hahnenfuss	<i>Ranunculus acris friesianus</i>	$y = 0,085x^2 + 0,092x + 0,801$	0,84
Ruchgras	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	$y = 0,032x^2 - 0,239x + 0,560x + 0,787$	0,82
Wiesenschaukraut	<i>Cardamine pratensis</i>	$y = 0,762x - 1,786$	0,52

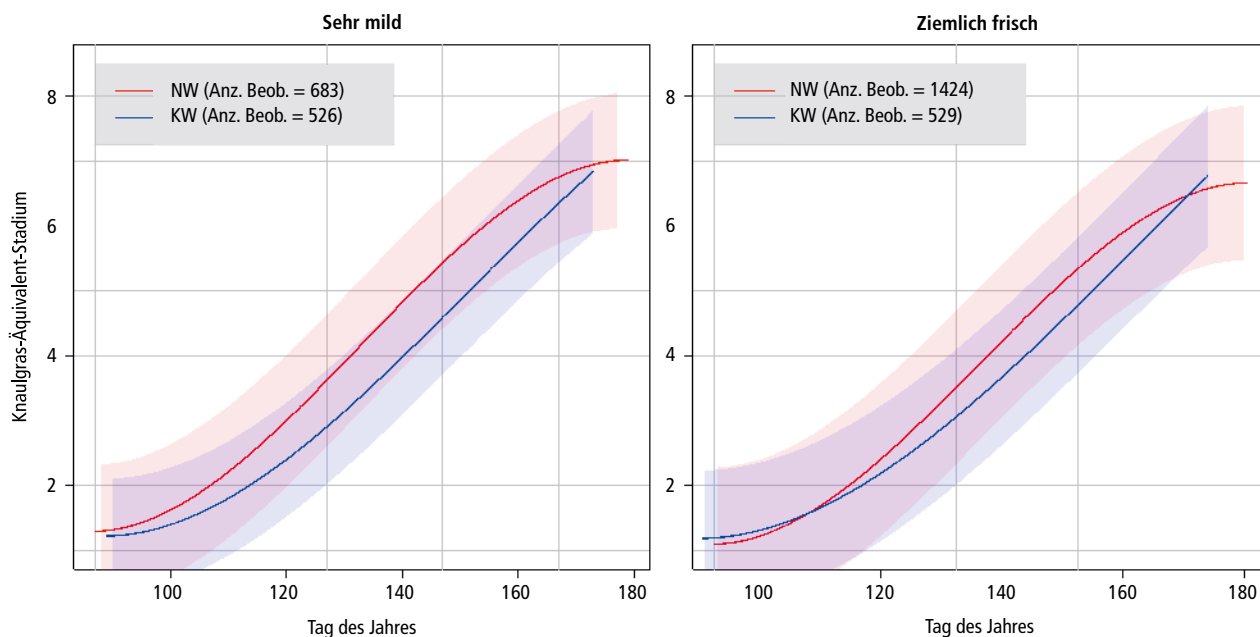


Abb. 4 | Vergleich der durchschnittlichen phänologischen Entwicklung (1995–2015) von Kunstwiesen (KW) und Dauerwiesen (DW) und deren Prognoseintervalle (gefärbte Flächen) für zwei Temperaturzonen.

Die Gleichungen in Tabelle 2 lassen sich nicht direkt auf Kunstwiesen übertragen, weil die Entwicklung bei Kunstwiesen im Vergleich zu Dauerwiesen verzögert stattfindet (Abb. 4). Diese Verzögerung, die sich namentlich bei Knaulgras feststellen lässt, wird bei der Sortenzüchtung und bei der Zusammenstellung der Sortenmischungen gezielt bevorzugt, um die Nutzungsdauer der Wiesen zu verlängern (Mosimann und Charles 1996). Es wurden auch neue KAS-Gleichungen für Kunstwiesen vorgeschlagen. Gegenwärtig liegen erst zu vier Arten genügend Beobachtungen vor, um solche Gleichungen zu erstellen (Tab. 3).

Die für die Kunstwiesen errechneten Regressionen (Tab. 3) weisen dieselbe Datenanpassungsqualität auf wie die Regressionen für die Dauerwiesen, obwohl in den Standardmischungen Sorten mit ganz unterschiedlicher Frühreife zusammengestellt sein können. Die Vari-

abilität des Zeitpunkts, zu dem das Stadium des vollen Rispschiebens erreicht wird, verhält sich bei Kunstwiesen und Dauerwiesen gleich, wie die Prognoseintervalle in Abbildung 4 zeigen.

Frühzeitigerer Frühling im Flachland

Die Analyse der Daten aus 21 Beobachtungsjahren ergeben einen Trend hin zu einem immer früheren Datum des vollen Rispschiebens in den milderen Temperaturzonen. Die Abbildung 5 zeigt die beobachteten Trends und in Tabelle 4 ist die Verschiebung des Datums in Tagen pro Jahrzehnt sowie die Signifikanz dieses Trends für die einzelnen Temperaturzonen aufgeführt.

Die Ergebnisse bei den wärmsten Temperaturzonen decken sich mit den Trends, die sich bei anderen Studien beobachten liessen, die in der Schweiz (Studer et al. 2005) und in Europa (Menzel et al. 2006; Parmesan

Tab. 3 | Neue Gleichungen zur Umrechnung in das Knaulgras-Äquivalent-Stadium für Kunstwiesen

Trivialname	Lateinischer Name	Gleichung (y = Knaulgras-Äquivalent-Stadium, x = Stadium der Art)	R ²
Wiesenfuchsschwanz	<i>Alopercurus pratensis</i>	$y = 0,071 x^2 - 0,098 x + 1,496$	0,57
Timothe	<i>Phleum pratense</i>	$y = -0,121 x^2 + 2,03 x - 0,868$	0,85
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>	$y = 1,007 x + 0,377$	0,82
Englisches Raigras	<i>Lolium perenne</i>	$y = 0,992 x + 0,025$	0,86

und Yohe 2003) durchgeführt wurden. Die von Meteo-Schweiz festgestellte Zunahme der Lufttemperaturen (Rebetez und Reinhard 2007) stellt eine mögliche Erklärung dieser Veränderungen dar, weil dieser Parameter die Entwicklung der Pflanzen im Frühling massgeblich beeinflusst (Menzel 2003). Tabelle 4 zeigt jedoch auch, dass in Bergregionen (Zonen Ziemlich kühl, Sehr kühl, Ziemlich rau und Rau) keine signifikante Veränderung beim Datum des vollen Rispenschiebens zu beobachten ist. Studer *et al.* (2005) haben in der Schweiz für den Zeitraum 1951–2002 signifikante Trends zu einer früheren phänologischen Entwicklung im Frühling unabhängig von der Höhenlage festgestellt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich durch eine grössere Zahl von Beobachtungen über einen längeren Beobachtungszeitraum auch für Wiesen signifikante Trends zu einer frü-

heren phänologischen Entwicklung abzeichnen, die mit den von Studer *et al.* festgestellten Trends vergleichbar sind.

Mehr sehr frühe oder späte Frühlinge

Eine weitere Feststellung dieser Studie war, dass die Streuung zwischen frühen und späten Daten des vollen Rispenschiebens über die Jahre tendenziell grösser wird. Diese Zunahme der Abweichung ist für die meisten Temperaturzonen signifikant. Die Abweichung zwischen den Daten des vollen Rispenschiebens ist gemäss dem Bartlett-Test ($\alpha=5\%$) im ersten Jahrzehnt 95–05 signifikant kleiner als im Jahrzehnt 05–15. Dies zeigt, dass in den letzten Jahren besonders frühe und besonders späte Entwicklungen im Frühling häufiger aufgetreten sind als im Zeitraum von 1995 bis 2005.

Tab. 4 | Entwicklung des Datums des vollen Rispenschiebens (Durchschnitt des Knautgras-Äquivalent-Stadiums von zehn Arten) von 1995 bis 2015 bei Dauerwiesen

Niveau Thermique et altitude approximative [m]	Durchschn. Datum volles Rispenschieben (1995–2015)	Durchschn. Datum volles Rispenschieben, frühestes Jahr (2011)	Durchschn. Datum volles Rispenschieben, spätestes Jahr (2013)	Anzahl beobachtete Wiesen	Trend des Datums volles Rispenschieben (Tag/Dekade)	Signifikanz des Trends (P-Wert nach Mann Kendall)
Rau bis Ziemlich rau	05.06.	25.05.	17.06.	271	–1,3	0,16
1000–1250						
Sehr kühl	27.05.	17.05.	04.06.	184	–0,79	0,4
900–1000 Rhonetal: 1050–1150						
Kühl	19.05.	08.05.	29.05.	197	–2,2	0,02
750–900 Rhonetal: 950–1050						
Ziemlich kühl	16.05.	08.05.	23.05.	210	–0,06	0,9
650–750 Rhonetal: 800–950						
Ziemlich mild	14.05.	04.05.	23.05.	128	–2,4	0,01
550–650 Rhonetal: 700–800						
Mild bis Sehr mild	10.05.	01.05.	16.05.	179	–2,73	<0,001
<550						
Genferseeufer: 450–550 Rhonetal: 450–700						
Ziemlich warm bis Warm	07.05.	01.05.	14.05.	90	–2,35	0,06
Genferseeufer und Rhonetal: <450						

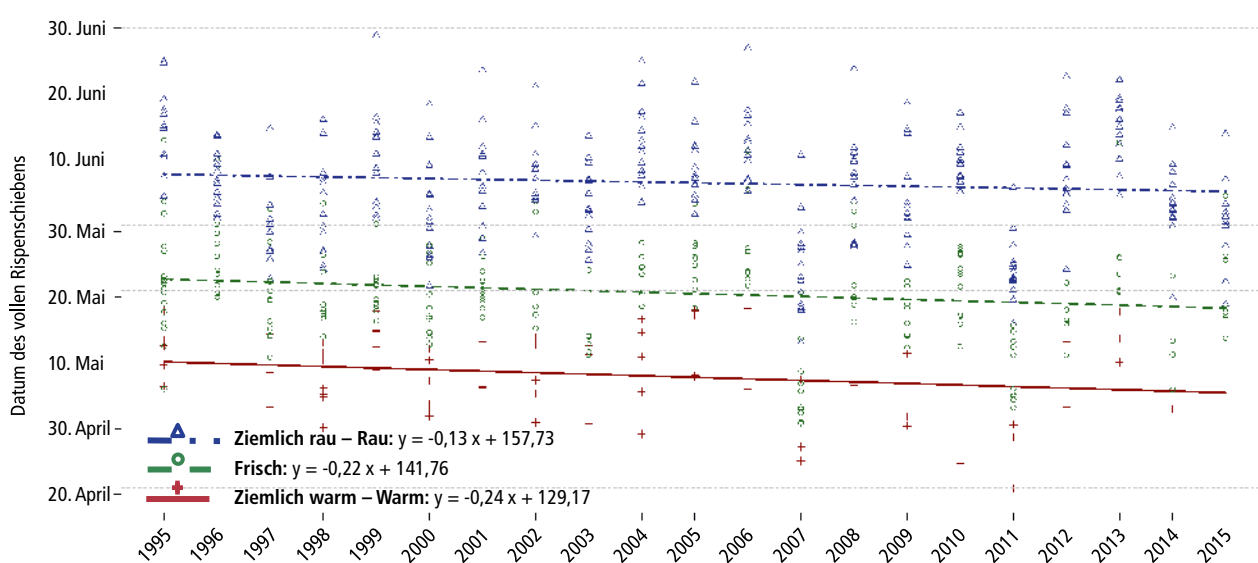


Abb. 5 | Die durch die Theil-Sen-Regression berechneten Trendgeraden zeigen eine Verschiebung des Datums des vollen Rispenschiebens bei Dauerwiesen (Ursprung der Ordinatenachse bei 1995).

Schlussfolgerungen

Die Methode des Knaulgras-Äquivalent-Stadiums ist robust. Durch die über die vergangenen 21 Jahre geführte Beobachtungsreihe liessen sich einerseits die ursprünglichen Gleichungen verfeinern und andererseits konnte der Verlauf der phänologischen Entwicklung im Frühling über einen längeren Zeitraum verfolgt werden. Die neuen vorgeschlagenen Gleichungen sind spezifisch für die Wiesenart (Dauer- oder Kunstwiese). Die Entwicklung der Dauerwiesen fand von Jahr zu Jahr tendenziell etwas früher statt (Datum des vollen Rispenschiebens zwei bis drei Tage früher), insbesondere in Zonen tiefer Höhenlage. Ausserdem hat die Häufigkeit ex-

tremer Frühlinge (besonders frühe oder besonders späte Entwicklung) zugenommen. Angesichts dieser Veränderungen ist es wichtig, die phänologischen Beobachtungen weiterzuführen, sowohl um Referenzpunkte für die Prüfung des Nährwerts von Wiesen festzulegen, als auch um die Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz zu untersuchen. ■

Dank

Diese Studie wurde im Rahmen des vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) unterstützten Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» durchgeführt.

Riassunto**Sviluppo fenologico dei prati da sfalcio – 21 anni di osservazione**

In primavera, lo sviluppo fenologico delle praterie influisce la qualità del foraggio, in particolare l'evoluzione della digeribilità della materia organica. In questo modo, l'osservazione della fenologia facilita la gestione delle praterie durante la prima fase di crescita. Siccome lo sviluppo della vegetazione dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche, tali monitoraggi fenologici, condotti su un lungo periodo, forniscono anche informazioni riguardo agli effetti del cambiamento climatico sulla vegetazione. Lo scopo di questo studio è di (i) aggiornare il metodo che serve a stabilire lo stadio fenologico medio di un prato tenendo conto di specie diverse e (ii) studiare i cambiamenti di precocità dei prati avvenuti tra il 1995 e il 2015. I risultati dello studio dimostrano che la prima fase di crescita è sempre più precoce in pianura (la data di piena spigatura è anticipata di 2–3 giorni ogni 10 anni) e che l'alternanza tra primavere molto precoci e molto tarde è più frequente. Questi cambiamenti sottolineano l'importanza del monitoraggio dello sviluppo fenologico dei prati con l'aiuto del metodo proposto in questo articolo.

Summary**Phenological development of meadows – 21 years of observations**

In spring, the phenological development of meadows influences forage quality, particularly in terms of the digestibility of organic matter. Thus, phenological observations facilitate grassland management during first grass growth. Since vegetation development depends largely on meteorological conditions, long-term phenological monitoring also enables the effects of climate change on vegetation to be assessed. The aim of this study is (i) to update the method serving to establish the average phenological stage of a meadow by considering several species, and (ii) to study the changes in precocity of meadows occurring between 1995 and 2015. The results of this study show that the first grass growth occurs increasingly early in the lowlands (date of full heading occurs 2 to 3 days earlier every 10 years), and that there is more frequent alternation between very early and very late springs. These changes highlight the importance of following the phenological development of meadows as a whole, particularly using the method put forward in this article.

Key words: spring development, grassland, Cocksfoot, climate change, phenological trend.

Literatur

- Amaudruz M., Vuffray Z., Deléglise C., Jeangros B. & Meisser M., 2015. Valeur des fourrages-Stades de développement des prairies. *Fiche technique Agridea* 2.7.3.1.
- Daccord R., Wyss U., Jeangros B. & Meisser M., 2006. Estimation de la valeur du fourrage des prairies-Valeur nutritive et production de lait ou de viande. *Fiche technique Agridea* 2.7.1.
- Demarquilly C. & Andrieu J., 1988. Les fourrages, Graminées et légumineuses: influence du stade de végétation. In: *Alimentation des bovins, ovins & caprins* (Ed. R. Jarrige). Institut national de la recherche agronomique, Paris, 315–336.
- Jeangros B. & Amaudruz M., 2005. Dix ans d'observations sur la phénologie des prairies permanentes en Suisse romande. *Revue suisse d'Agriculture* 37 (5), 201–209.
- Kendall M.G., 1948. Rank Correlation Methods. Charles Griffin & Co. London. 160 p.
- Mann H.B., 1945. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245–259.
- Menzel A., 2003. Plant Phenological Anomalies in Germany and Their Relation to Air Temperature and NAO. *Climatic Change* 57 (3), 243–263.
- Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K. et al., 2006. European Phenological Response to Climate Change Matches the Warming Pattern. *Global Change Biology* 12 (10), 1969–1976.
- Mosimann E. & Charles J.P., 1996. La conception des mélanges fourragers en Suisse. *Fourrages* 145, 17–31.
- Parmesan C. & Yohe G., 2003. A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems. *Nature* 421 (6918), 37–42.
- Rebetez M. & Reinhard M., 2007. Monthly Air Temperature Trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004'. *Theoretical and Applied Climatology* 91 (1–4), 27–34.
- Schreiber K. F., Kuhn N., Hug C., Häberli R. & Schreiber C., 1977. Wärmegliederung der Schweiz. Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement, Bern, CH.
- Sen P. K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* 63 (324), 1379–89.
- Studer, S., Appenzeller C. & Defila C., 2005. Inter-Annual Variability and Decadal Trends in Alpine Spring Phenology: A Multivariate Analysis Approach. *Climatic Change* 73, 395–414.
- Theil H., 1992. A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. *Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics*, 345–381.