

# Auswirkungen einer ausgeprägten Sommertrockenperiode auf eine montane Dauerweide im Jura

Marco Meisser<sup>1</sup>, Claire Deléglise<sup>1</sup>, Eric Mosimann<sup>1</sup>, Constant Signarbieux<sup>2</sup>, Robert Mills<sup>2</sup>, Patrick Schlegel<sup>3</sup>, Alexandre Buttler<sup>2</sup> und Bernard Jeangros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon 1, Schweiz

<sup>2</sup>Laboratoire des systèmes écologiques (ECOS), EPFL, 1015 Lausanne, Schweiz

<sup>3</sup>Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP-Haras, 1725 Posieux, Schweiz

Auskünfte: Marco Meisser, E-Mail: marco.meisser@agroscope.admin.ch, Tel. +41 22 363 47 42



Abb. 1 | Eine überdeckte Parzelle (Trockenverfahren) wurde mit Schafen bestossen (Weideverfahren).

## Einleitung

Die Wiesen und Weiden sind für die Landwirtschaft des Juras von zentraler Bedeutung, da sie die Grundlage für ihre typischen, auf Gras basierenden Produkte bilden (Kennzeichnung AOC-AOP). Das Klima und die Bodeneigenschaften dieser Region sind sehr unterschiedlich. Die Niederschläge sind eher umfangreich, doch der Unterboden ist wegen der Rissbildung und der karstartigen Natur des Gesteins oft wasserdurchlässig. Diese besonderen Bedingungen führen zu einem erhöhten Risiko von Wasserdefiziten. Im Kontext des Klimawandels werden die Zusammenhänge der unter Wasserstress leidenden Futterpflanzen während Trockenperioden noch wenig verstanden. Aus agronomischer Sicht erwartet man als ersten Effekt eine Ertragsverminderung. Als Folge der Trockenheitsperioden in den Jahren 2003, 2010 und 2011 betrug die Einbussen bei den Weideer-

trägen etwa 40 % (Mosimann *et al.*, 2012 und 2013). Es sind auch Veränderungen im Nährwert und im Nährstoffgehalt des Futters sowie in der botanischen Zusammensetzung vorauszusehen, aber es fehlen Referenzen, welche die Art und das Ausmass dieser Veränderungen aufzeigen können. Die Auswirkungen sind grundsätzlich verschieden und hängen von zahlreichen Faktoren ab (Dauer des Trockenstresses, Art der Vegetation, mittleres Niederschlagsniveau, Häufigkeit der Nutzungen; Fay *et al.* 2000; Gilgen und Buchmann 2009; Vogel *et al.* 2012). Zudem sollte auch der Einfluss der Bewirtschaftungsweise während Trockenperioden genauer verstanden werden.

Die Reaktion der Pflanzen auf Trockenstress äussert sich in morphologischer und physiologischer Hinsicht. Beispielsweise schliesst die Pflanze ihre Spaltöffnungen (Stomata) zur Vermeidung von Wasserverlust. Dieses Phänomen verlangsamt die Assimilation und insbesondere das Wachstum (Volaire *et al.* 2009), was die Höhe der Pflanzen stark verringert und deren Trockensubstanzgehalt erhöht.

Das Studium der funktionalen Merkmale der Pflanzen ermöglicht eine Beschreibung der Reaktionen der Pflanzengesellschaften und/oder der Ökosysteme bei Veränderungen der Umweltfaktoren (Schellberg und Pontes 2012). Die funktionalen Merkmale sind morphologische und physiologische Eigenschaften, welche an der Pflanze messbar sind und indirekt die Leistung der Pflanzenarten (Individuen) beeinflussen, indem sie das Wachstum, die Reproduktion oder das Überleben beeinträchtigen (Violle *et al.* 2007). Beispiele funktionaler Merkmale sind die Höhe des vegetativen Wachstums der Pflanzen oder der Trockensubstanzgehalt der Blätter. Gewichtete Mittelwerte der funktionalen Merkmale (Community weighted means, CWMs) können für die ganze Pflanzengesellschaft berechnet werden, indem man von Beobachtungen ausgeht, die man an den häufigsten Arten der Pflanzengesellschaft gemacht hat (Garnier *et al.* 2004). Gemäss Grime (1998) kann die

Funktionsweise eines Ökosystems beschrieben werden, indem die Bedeutung der Merkmale der häufigsten Arten berücksichtigt wird. Die funktionalen Merkmale treten nicht nur als Antwort der Pflanzengesellschaft auf Umweltveränderungen zu Tage; sie beeinflussen auch die Funktionsweise des Ökosystems (Effect traits). Die «agronomischen Dienstleistungen», insbesondere die Ertragsleistung und der Nährwert, können so anhand gewisser Merkmale vorausgesagt werden (Louaut *et al.* 2005; Pontes *et al.* 2007).

Die vorliegende Studie beschreibt die Auswirkungen einer ausgeprägten, experimentell erzeugten Trockenheit auf die ökologischen, agronomischen und physiologischen Eigenschaften einer Dauerweide im Jura, welche zwei Nutzungsarten unterzogen wurde, nämlich Mähen oder Beweiden. Es sollen insbesondere die agronomischen Reaktionen im Falle von Trockenheit erklärt werden, wobei verschiedene Disziplinen zum Zuge kommen: botanische Analyse, Ökophysiologie des Bodens und der Pflanzen sowie die Erhebung der funktionalen Merkmale der Pflanzen.

## Material und Methoden

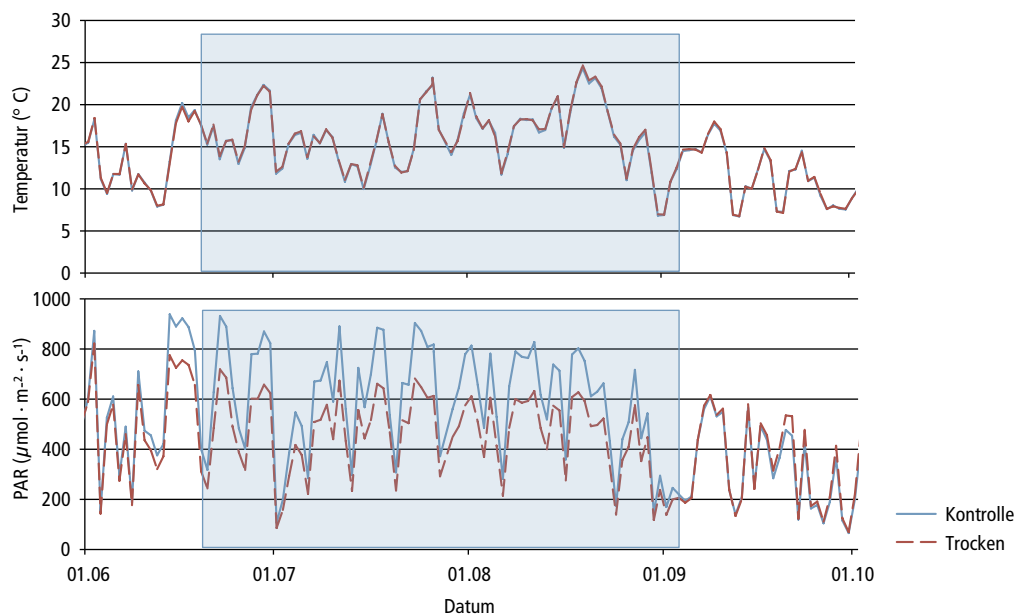
Der Versuch wurde im Sommer 2012 auf dem Betrieb La Frêtaz auf 1200 Meter über Meer im Waadtländerjura durchgeführt. Die Versuchsanlage enthielt zwei Hauptfaktoren: der Wasserhaushalt und die Nutzung. Von insgesamt 16 Versuchspartzen (6 × 12 m) wurden deren 8 mit einem Gemüsebautunnel vom 19. Juni bis 3. September überdeckt (Verfahren Trocken – T), womit eine längerdauernde Trockenheit simuliert wurde. Die übrigen acht Partzen wurden nicht überdeckt (Verfahren Kontrolle – K). Innerhalb der beiden Gruppen von Partzen wurden jeweils vier gemäht (Verfahren Schnitt – St) und die vier anderen wurden beweidet (Verfahren Weiden – Wn). Im Verfahren St führte man während der Saison drei Schnitte; im Verfahren Wn wurde sechs Mal geweidet. Diese Partzen wurden etwa alle vier Wochen während 36 bis 60 Stunden von Schafen beweidet (Abb. 1). In jeder Partze wurden in vorgängig definierten Unterabschnitten an fünfzig Punkten botanische Untersuchungen vorgenommen. Diese Beobachtungen wurden zu Beginn der Vegetationsperiode (Mai) und am Ende der Trockenperiode (Ende August) durchgeführt. Bei jedem Beobachtungspunkt wurden die vorgefundenen Arten nur einmal gezählt. Die Artenanteile (Daget und Poissonet 1969) wurden gesondert für jede der 16 Partzen berechnet.

Vor jeder Nutzung (Schnitt oder Weiden) und auf jeder der 16 Partzen wurden vier Teilflächen von 1 m<sup>2</sup> gemäht. Das Futter von diesen Teilflächen wurde gewo-

**Zusammenfassung** ■ Auf dem Betrieb von La Frêtaz (VD, 1200 m) wurde im Sommer 2012 ein Versuch durchgeführt mit dem Ziel, die Auswirkungen von Wasserstress auf die agronomischen, physiologischen und funktionalen Merkmale einer Dauerweide genauer zu untersuchen. In einer 2 × 2 Versuchsanlage wurden zwei Faktoren geprüft: die Nutzungsart (Schnitt versus Weiden) und der Wasserhaushalt (Trocken versus Kontrolle) sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren. Eine Trockenperiode wurde simuliert, in dem Plastiktunnels aus dem Gemüsebau während 84 Tagen installiert waren. Die beweideten Partzen wurden etwa alle vier Wochen mit Schafen bestossen, während die Schnittpartzen im Verlauf der Saison dreimal gemäht wurden.

Der Biomasseertrag und die Qualität des Futters wurden während der ganzen Saison erhoben. Die botanische Zusammensetzung und die funktionale Merkmale der wichtigsten Pflanzenarten wurden vor und nach der Trockenperiode ermittelt. Ebenso wurden die Nettophotosynthese, die Bodenatmung und das Bodenwasserpotenzial gemessen. Abgesehen von markanten Ertragsenkungen zeigte der Versuch, dass eine ausgeprägte Trockenheit den Nährstoffgehalt und den Nährwert des Futters wenig beeinflusst. Die ökophysiologischen Messungen belegten eine generelle Verlangsamung des ganzen Ökosystems (geringerer Metabolismus der Pflanzen und der Bodenbakterien, geringere Mineralisation). Die beweideten Partzen, geprägt durch eine kürzere Bestandeshöhe, haben mehr unter der Trockenheit gelitten als die gemähten Partzen.

gen und anschliessend durchmischt. Es wurden zwei Futterproben gezogen: die erste Probe diente der Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes und die zweite der chemischen Analyse. Die Erträge an Biomasse wurden als Mittelwert der vier Teilflächen von 1 m<sup>2</sup> berechnet. Bei den beweideten Flächen führte man die Ernteerhebungen unmittelbar vor dem Bestossen der Versuchsfächen durch. Der Rohproteingehalt (RP), die Zellwandbestandteile (NDF = Neutral Detergent Fibre; und ADF = Acid Detergent Fibre), die Rohasche (RA) und die löslichen



**Abb. 2** | Lufttemperatur 30 cm über dem Boden und photosynthetisch aktive Strahlung (PAR). Die Trockenperiode ist durch das blaue Rechteck gekennzeichnet.

Kohlenhydrate (Zucker) wurden mittels NIRS bestimmt. Die Mineralstoffgehalte (Ca, P, Mg, K, Cu, Fe, Mn und Zn) wurden nach Veraschung (550 °C) durch optische Emissionsspektrometrie (ICP-EOS) bestimmt. Schliesslich wurde der Energiegehalt des Futters (NEL) auf Grund von Regressionen berechnet (Agroscope 2003).

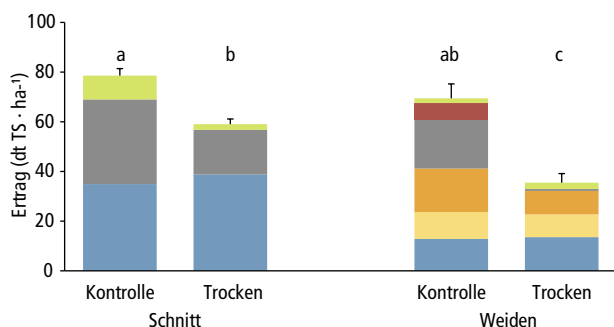
Ökophysiologische Messungen wurden bei zwei wichtigen Parametern durchgeführt: bei der Nettophotosynthese und beim Wasserpotenzial der Blätter. Der erste Parameter gibt einen Anhaltswert zur Menge des assimilierten Kohlendioxids pro Einheit Blattfläche. Er wird mittels eines tragbaren Infrarot-Gasanalysegerätes gemessen. Der zweite Parameter liefert eine Schätzung des Wasserhaushaltes der Pflanze unter Versuchsbedingungen; er wird mit einer Druckkammer nach Scholander gemessen. Erhebungen führte man bei zwei Pflanzenarten durch, nämlich beim Knäulgras (*Dactylis glomerata*) und beim Gemeinen Frauenmantel (*Alchemilla vulgaris*).

Die Bodenatmung wurde alle 15 Tage mit einem Infrarotgasanalysator LI-Cor 8100 gekoppelt an eine Messkammer erhoben. Auf jeder Parzelle wurden die Messungen während zwei Minuten auf einem PVC-Ring von 10 cm Durchmesser (ohne Pflanzendecke) vorgenommen. Der CO<sub>2</sub>-Fluss wurde automatisch auf Grund der von LI-COR mitgelieferten Regression berechnet.

Die Werte der Merkmale wurden gemäss den Standardprotokollen von Cornelissen *et al.* (2003) bestimmt. Berücksichtigte Parameter waren: (i) die Höhe der Pflanzen, (ii) der Trockensubstanzgehalt der Blätter (LDMC), (iii) die spezifische Blattfläche (SLA, Verhältnis von Ober-

fläche und Gewicht der Blattspreite) sowie (iv) der Rohproteingehalt der Blätter (LNC). Die Angaben wurden für die 16 Hauptarten, welche auf den Parzellen vorkamen, erhoben. Gewichtete Mittelwerte der funktionalen Merkmale (Community weighted means, CWMs) wurden gemäss dem spezifischen Beitrag der häufigsten Arten berechnet (Garnier *et al.* 2004).

Die statistische Bewertung der Jahreserträge wurde mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) vorgenommen. Ebenso wurden die am Ende der Trockenperiode durchgeführten Beobachtungen (botanische Analysen, Nährstoffgehalte, Nährwerte und funktionale Merkmale) analysiert. Die Reaktion der acht häufigsten Arten (*Agrostis capillaris*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Poa trivialis*, *Trifolium repens* und *Ranunculus acris*) auf die Versuchsverfahren wurde ebenfalls mittels eines ANOVA getestet. Dabei wurden auf jeder Parzelle die Unterschiede der prozentualen Anteile zwischen Mai und August berücksichtigt (Unterschiede in der Häufigkeit vor und nach der Trockenheit). Die statistische Bewertung der ökophysiologischen Beobachtungen (Nettophotosynthese und Wasserpotenzial der Blätter) wurde nur in Bezug auf die Beweidung vorgenommen; es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA (Wasserhaushalt) durchgeführt. Schliesslich wurden die Beziehungen zwischen den funktionalen Merkmalen und den Nährstoffgehalten einerseits und den Energiegehalten andererseits mittels einfacher linearer Regression oder mittels Regressionen höheren Grades beschrieben.



**Abb. 3 |** Jährlicher Biomasseertrag (Mittelwert und Standardfehler). Die verschiedenen Schraffuren entsprechen den Ernten. Werte, welche unterschiedliche Kleinbuchstaben tragen, unterscheiden sich signifikant voneinander (post-hoc Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

## Resultate und Diskussion

Während der Trockenperiode, die während 84 Tagen (Mitte Juni bis Anfang September) eingehalten wurde, erhielten die Parzellen T (= Trocken) keinerlei Regen, während die Parzellen K (= Kontrolle) 300 l/m<sup>2</sup> Wasser erhielten. Dieser Wert entspricht einer mittleren Regenmenge für die Beobachtungsperiode. Die Temperaturen, welche auf den trockenen Parzellen gemessen wurden, waren dieselben wie jene, die auf den Kontrollparzellen ermittelt wurden (Abb. 2). Im Gegensatz dazu war die photosynthetisch verwertbare Strahlung (PAR) etwas geringer: an Tagen mit starker Einstrahlung gab es Unterschiede zwischen den bedeckten und den unbedeckten Parzellen von etwas mehr als 20 % (Abb. 2).

### Jährlicher Ertrag an Biomasse

Die Trockenheit hat die Biomasseproduktion stark beeinflusst. Für die ganze Saison belief sich die Ertragsreduktion beim Verfahren Trocken gegenüber der Kontrolle auf 25 % für die Mähvariante, und auf 49 % bei der Weidevariante (Abb. 3). Die Erträge der gemähten und beweideten Kontrollparzellen (K-St, K-Wn) waren vergleichbar. Die Bestände der oft genutzten Parzellen,

deren Pflanzen in einem jungen Stadium gehalten werden, sind gegenüber Wasserstress empfindlicher als die Pflanzenbestände, die weniger häufig genutzt werden (Vogel et al. 2012; Mosimann et al. 2013).

### Botanische Zusammensetzung

Die botanische Zusammensetzung hat sich durch die Versuchsverfahren nur wenig verändert. Ende August waren die Anteile der drei Hauptpflanzengruppen in Bezug auf die Versuchsverfahren vergleichbar (Tab. 1). Eine genauere Analyse zeigte hingegen, dass gewisse Arten stärker auf den Wasserstress reagieren als andere, so zum Beispiel der Weissklee (*Trifolium repens*). Zwischen Mai und August hat sich der Weissklee im Kontrollverfahren stark vermehrt, während er im Verfahren Trocken stabil blieb ( $p < 0,001$ ; Unterschied von Mai bis August). Auch der Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) und das Wiesenrispengras (*Poa pratensis*) wurden von der Trockenheit beeinflusst, wenn auch in geringerem Ausmass ( $p < 0,10$ ; Unterschied von Mai bis August). Wie beim Weissklee haben die Anteile dieser beiden Grasarten nur im Kontrollverfahren zugenommen.

### Nährwert des Futters

Tabelle 2 zeigt die Nährstoffgehalte und den Energiegehalt am Ende der Trockenperiode. Die Gehalte an Ca, Mg, Cu, Mn und Zn wurden durch die Verfahren nicht beeinflusst und sind deshalb in der Tabelle nicht aufgeführt. Die Nährstoffgehalte der Kontrollverfahren entsprechen den Referenzwerten eines Futters des Typs A2 (ausgewogen, Stadium 2) aus den beweideten Parzellen und des Typs A4 (ausgewogen, Stadium 4) aus den gemähten Parzellen (Agroscope 2013). Zum Zeitpunkt der Ernte Ende August war das Futter der Variante Schnitt älter (Wiederaufwuchs aus neun Wochen, zweiter Zyklus) als jenes, das von der Variante Weiden (Wiederaufwuchs nach fünf Wochen, vierter Zyklus) stammte. Dieser Unterschied im Entwicklungsstadium erklärt die festgestellten Unterschiede zwischen Mähen und Beweiden in Bezug auf den Gehalt an Rohprotein, NEL, Zucker und Kalium. ➤

**Tab. 1 |** Anteil (%) der drei Pflanzengruppen (Gräser, Leguminosen und Kräuter) am Ende der Trockenperiode (Ende August). Dargestellt sind auch die Resultate der Varianzanalyse.

|             | Nutzungsart |         |           |         | SEM | Signifikanzniveau |                    |       |
|-------------|-------------|---------|-----------|---------|-----|-------------------|--------------------|-------|
|             | Schnitt     |         | Weiden    |         |     | Nutzung (N)       | Wasserhaushalt (W) | N × W |
|             | Kontrolle   | Trocken | Kontrolle | Trocken |     |                   |                    |       |
| Gräser      | 65,0        | 67,5    | 66,7      | 69,8    | 4,2 | ns                | ns                 | ns    |
| Leguminosen | 17,1        | 18,2    | 19,3      | 12,6    | 2,7 | ns                | ns                 | ns    |
| Kräuter     | 17,9        | 14,3    | 14,0      | 17,6    | 2,7 | ns                | ns                 | ns    |

SEM = Standardfehler des Mittelwertes.  
ns = nicht signifikant.

**Tab. 2 |** Gehalte an Rohprotein (RP), Zellwände (NDF), Lignozellulose (ADF), Asche (RA), löslichen Kohlenhydraten (Zuckern), Energie (NEL), Phosphor (P), Kalium (K) und Eisen (Fe) am Ende der Trockenperiode (Ende August). Die Resultate der Varianzanalyse sind ebenfalls aufgeführt.

|                  | Nutzungsart |         |           |         | SEM  | Signifikanzniveau |                    |       |
|------------------|-------------|---------|-----------|---------|------|-------------------|--------------------|-------|
|                  | Schnitt     |         | Weiden    |         |      | Nutzung (N)       | Wasserhaushalt (W) | N × W |
|                  | Kontrolle   | Trocken | Kontrolle | Trocken |      |                   |                    |       |
| RP (g/kg TS)     | 146         | 123     | 194       | 144     | 3,7  | ***               | ***                | ***   |
| NDF (g/kg TS)    | 456         | 461     | 452       | 488     | 17   | ns                | ns                 | ns    |
| ADF (g/kg TS)    | 277         | 267     | 264       | 267     | 3,7  | ns                | ns                 | ns    |
| RA (g/kg TS)     | 100         | 90      | 105       | 77      | 6,2  | ns                | **                 | ns    |
| Zucker (g/kg TS) | 101         | 108     | 83        | 104     | 4,5  | *                 | **                 | ns    |
| NEL (MJ/kg TS)   | 5,8         | 5,8     | 6,3       | 6,0     | 0,05 | ***               | **                 | *     |
| P (g/kg TS)      | 3,9         | 2,9     | 4,3       | 2,6     | 0,14 | ns                | ***                | *     |
| K (g/kg TS)      | 27,8        | 27,4    | 35,6      | 25,6    | 0,71 | ***               | ***                | ***   |
| Fe (mg/kg TS)    | 486         | 240     | 503       | 159     | 126  | ns                | *                  | ns    |

SEM = Standardfehler des Mittelwertes.

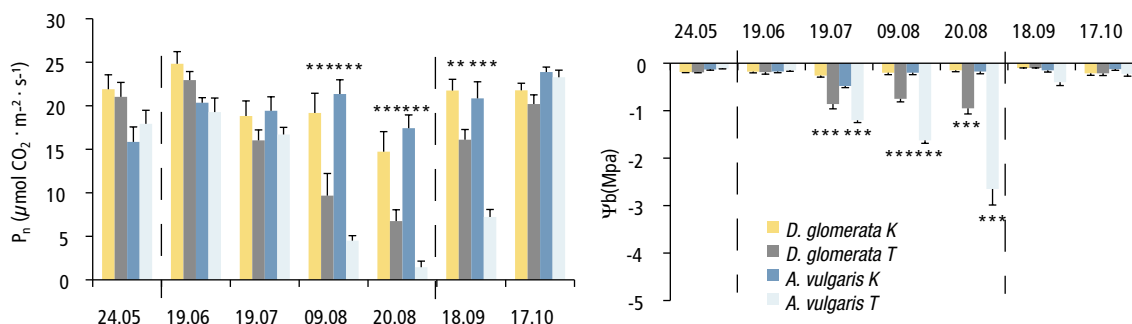
\*\*\* P < 0,001; \*\* P < 0,01; \* P < 0,05; ns = nicht signifikant.

Die Gehalte an Rohprotein, NEL, Phosphor und Kalium waren im Verfahren Trocken signifikant tiefer als im Kontrollverfahren. Diese durch die Trockenheit hervorgerufenen tieferen Gehalte wurden vor allem im Weidenutzungsverfahren festgestellt (Interaktion zwischen Nutzung und Wasserhaushalt). Die löslichen Kohlenhydrate (Zucker) zeigen ein anderes Profil: die Gehalte haben im Verfahren Trocken zugenommen. Die geringste Kontamination des Futters durch Erde während der Trockenperiode mag erklären, weshalb die Asche- und Eisengehalte im Verfahren Trocken geringer ausfielen.

### Ökophysiologische Beobachtungen

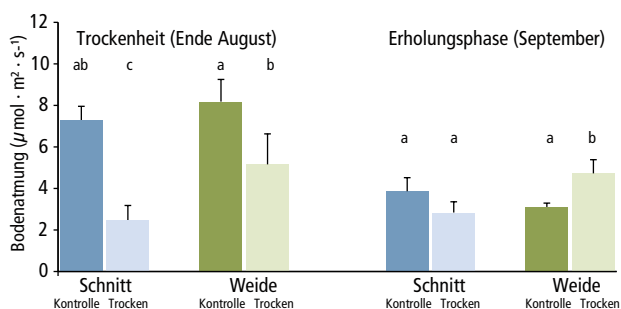
Die Beobachtungen an zwei Pflanzenarten (*Dactylis glomerata* und *Alchemilla vulgaris*) auf den beweideten Parzellen haben gezeigt, dass die Photosynthese durch die Trockenheit massiv verringert wird. Die Reduktion

war bei *Dactylis* geringer als bei *Alchemilla* (Abb. 4a). Auch beim Wasserpotenzial der Blätter waren die Werte für *Dactylis* weniger negativ als jene bei *Alchemilla* (Abb. 4b). Diese Resultate weisen darauf hin, dass *Dactylis* trockenheitstoleranter ist als *Alchemilla*. Bei Trockenheit schliesst die Pflanze ihre Spaltöffnungen, um Wasserverluste durch Evapotranspiration zu vermeiden. Dieses Verhalten kann jedoch von Art zu Art unterschiedlich ausfallen (Signarbieux und Feller 2011). Durch diese Reaktion wird die Assimilation verringert, aber in geringerem Ausmass als das Wachstum (Boschma *et al.* 2003). Zucker wird für andere Pflanzenteile weniger remobilisiert und reichert sich in den Blättern an, um den Wasserverlust durch Evapotranspiration einzuschränken. Dies geschieht durch eine Erhöhung des osmotischen Drucks in den Blattzellen (Thomas und James 1999). Die in unserer Studie festgestellten Unterschiede bezüglich Photosynthese (Abb. 4a) und Nährwert (Tab. 2) zwischen



**Abb. 4 |** Entwicklung der Nettophotosyntheserate (Pn) und des Wasserpotentials der Blätter (Ψb) für die beiden in der Saison 2012 geprüften Arten, *Dactylis glomerata* und *Alchemilla vulgaris* (nur Weideverfahren). Die Trockenperiode ist durch die beiden vertikalen gestrichelten Linien gekennzeichnet. Aufgeführt sind die Mittelwerte, die Standardfehler und die signifikanten Unterschiede für die jeweilige Art bei den Verfahren Kontrolle (K) und Trocken (T). \*\*\* P < 0,001; \*\* P < 0,01.





**Abb. 5 | Bodenatmung am Ende der Trockenperiode (Ende August) und während der Erholungsphase (September).** Aufgeführt sind die Mittelwerte und die Standardfehler. Für dieselbe Messperiode sind jene Werte signifikant verschieden, welche unterschiedliche Kleinbuchstaben tragen (post-hoc Tukey HSD,  $p < 0,05$ ).

dem Verfahren Trocken und dem Kontrollverfahren widerspiegeln die Verlangsamung des Pflanzenmetabolismus während Trockenperioden sehr schön.

### Bodenatmung

Abbildung 5 illustriert die Bodenatmung am Ende der Trockenperiode (Ende August) und etwas danach (September). Die Trockenheit hat zu einer markanten Verringerung der Bodenatmung geführt, wobei dieser Effekt in den gemähten Parzellen ausgeprägter war als in den beweideten Parzellen. Nach der Trockenheit wiesen die gemähten Parzellen erneut vergleichbare Werte auf (keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Kontrollverfahren und dem Verfahren Trocken). Auf den beweideten Parzellen war die Atmungsrate im Verfahren Trocken höher. Die Absenkung der Bodenatmung während des Höhepunktes der Trockenheit beweist, wie wichtig der Wasserhaushalt für die Atmung der Wurzeln und der Mikroorganismen ist (Raich und Tufekcioglu

2000; Davidson *et al.* 2000). Nach der Trockenheit hat der erneut einsetzende Regen die Unterschiede zwischen den Verfahren grösstenteils zum Verschwinden gebracht. Der im September festgestellte Anstieg der Atmung auf den beweideten Parzellen im Verfahren Trocken (im Vergleich zu den beweideten Parzellen im Kontrollverfahren) könnte mit der Mineralisierung der tierischen Exkremente im Anschluss an die Trockenperiode erklärt werden.

### Funktionale Merkmale und Beziehungen zum Nährwert

Die Trockenheit hat auch die gewichteten Mittelwerte der Funktionalen Merkmale beeinflusst: im Vergleich zum Kontrollverfahren waren die Pflanzenhöhen und die spezifische Blattfläche (SLA) im Verfahren Trocken (Tab. 3) geringer. Die Trockensubstanzgehalte der Blätter (LDMC) waren hingegen höher. Der Parameter SLA ist stark mit der relativen Wachstumsrate der Pflanzen korreliert (Poorter und Remkes 1990), ebenso wie mit der Konkurrenzfähigkeit der Pflanze um Licht und weitere Ressourcen. Pflanzenarten, welche eine hohe spezifische Blattfläche aufweisen, zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, häufig neue Blätter zu bilden (junges Gewebe). Ebenso vermögen sie Blattstickstoff zu rezyklieren (hohe Gehalte in den Blättern) und sie sind bezüglich Lichtausbeute konkurrenzfähig (rasches Wachstum; Wright *et al.* 2004). Unter Wasserstress verlangsamt sich der Metabolismus und die Dichte der Gewebe nimmt zu. Die Pflanze wechselt von einer Wachstumsstrategie zu einer Strategie der Ressourcenschonung (Grime *et al.* 1997; Lavorel und Garnier 2002). Das Absinken der SLA und die Zunahme des Trockensubstanzgehaltes in den Blättern widerspiegelt diesen Prozess. Tabelle 4 zeigt, dass die SLA und der LDMC recht gute Indikatoren sind zur Schätzung der RP- und Energie-Gehalte. Diese Untersuchung bestätigt im Wesentlichen die Resultate von anderen Forschern (Louaut *et al.* 2005; Al Haj Khaled *et al.* 2006; Pontes *et al.* 2007). >

**Tab. 3 | Trockensubstanzgehalt der Blattspreiten (LDMC), spezifische Blattfläche (SLA) und Höhe der Vegetation am Ende der Trockenperiode (Ende August).** Die Resultate der Varianzanalyse sind ebenfalls angeführt.

|                          | Nutzungsart |         |           |         | SEM  | Signifikanzniveau |                    |       |
|--------------------------|-------------|---------|-----------|---------|------|-------------------|--------------------|-------|
|                          | Schnitt     |         | Weiden    |         |      | Nutzung (N)       | Wasserhaushalt (W) | N × W |
|                          | Kontrolle   | Trocken | Kontrolle | Trocken |      |                   |                    |       |
| Höhe (cm)                | 28,8        | 18,9    | 19,4      | 9,2     | 0,67 | ***               | ***                | ns    |
| SLA (m <sup>2</sup> /kg) | 27,3        | 23,3    | 32,3      | 24,2    | 0,68 | ***               | ***                | *     |
| LDMC (%)                 | 24,5        | 30,0    | 21,5      | 28,3    | 0,57 | ***               | ***                | ns    |

SEM = Standardfehler des Mittelwertes.

ns = nicht signifikant.

**Tab. 4 | Beziehungen zwischen den Merkmalen: Trockensubstanzgehalt der Blattspreiten LDMC (%), Stickstoffgehalt der Blätter LNC (%), spezifische Blattfläche SLA (m<sup>2</sup>/kg) und dem Rohproteingehalt RP (g/kg TS), den Zellwänden NDF (g/kg TS) und dem Energiegehalt NEL (MJ/kg TS); n = 24.**

| y   | x    | r <sup>2</sup> | Gleichung                   | P   |
|-----|------|----------------|-----------------------------|-----|
| RP  | LDMC | 0,75           | $y = -7,98 \cdot x + 365$   | *** |
| NDF | LDMC | 0,43           | $y = +9,29 \cdot x + 208$   | *** |
| NEL | LDMC | 0,53           | $y = +13,6 \cdot x^{-0,25}$ | *** |
| RP  | LNC  | 0,61           | $y = +60,6 \cdot x - 1,05$  | *** |
| NEL | LNC  | 0,52           | $y = +0,503 \cdot x + 4,70$ | *** |
| RP  | SLA  | 0,88           | $y = +7,23 \cdot x - 40$    | *** |
| NEL | SLA  | 0,71           | $y = +0,058 \cdot x + 4,44$ | *** |

Das Signifikanzniveau der Gleichungen ist mit dem P-Wert (F-Test von Fischer) angegeben.  
\*\*\* P < 0,001.

#### Literatur

- Agroscope, 2013. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Zugang: <http://www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=de+> [10.10.2013on]
- Al Haj Khaled R., Duru M., Decruyenaere V., Jouany C. & Cruz P., 2006. Using leaf traits to rank native grasses according to their nutritive value. *Rangeland Ecology & Management* **59**, 648–654.
- Boschma S. P., Scott J. M., Hill M. J., King J. R. & Lutton J. J., 2003. Plant reserves of perennial grasses subjected to drought and defoliation stresses on the Northern Tablelands of New South Wales, Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **54** (8), 819–828.
- Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Díaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P. B., Ter Steege H., Morgan H. D., Van der Heijden M. G. A., Pausas J. G. & Porter H., 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* **51**, 335–380.
- Daget P. & Poissonet J., 1969. Analyse phytologique des prairies, applications agronomiques. Document 48, CNRS-CEPE, Montpellier, 67 p.
- Davidson E. A., Verchot L. V., Cattaneo J. H., Ackerman I. L. & Carvalho J. E. M., 2000. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* **48**, 53–69.
- Fay P. A., Carlisle J. D., Knapp A. K. & Blair J. M., 2000. Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: Design and performance of rainfall manipulation shelters. *Ecosystems* **3**, 308–319.
- Garnier E., Cortez J., Billes G., Navas M.-L., Roumet C., Debussche M., Laurent G., Blanchard A., Aubry D., Bellmann A., Neill C. & Toussaint J.-P., 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology* **85**, 2630–2637.
- Gilgen A. K. & Buchmann N., 2009. Response of temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled with annual precipitation. *Biogeosciences* **6**, 2525–2539.
- Grime J. P. et al., 1997. Integrated screening validates primary axes of specialization in plants. *Oikos* **79**, 259–281.
- Grime, J.P., 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter, and founder effects. *Journal of Ecology* **86**, 902–910.
- Lavorel S. & Garnier E., 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* **16**, 545–556.
- Louault F., Pillar V. D., Aufrère J., Garnier E. & Soussana J.-F., 2005. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science* **16**, 151–160.
- Mosimann E., Meisser M., Deléglise C. & Jeangros B., 2012. Das Futterpotenzial der Juraweiden. *Agrarforschung Schweiz* **3** (11–12), 516–523.
- Mosimann E., Deléglise C., Demenga M., Frund D., Sinaj S. & Charles R., 2013. Einfluss der Wasserverfügbarkeit auf die und Futterproduktion im Ackerbaugebiet. *Agrarforschung Schweiz* **4** (11–12), 468–475.
- Pontes L. Da S., Soussana J. F., Louault F., Andueza D. & Carrère P., 2007. Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology* **21**, 844–853.
- Poorter H. & Remkes C., 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* **83**, 553–559.
- Raich, J. W. & Tufekcioglu, A., 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* **48**, 71–90.
- Schellberg J. & Pontes L. da S., 2012. Plant functional traits and nutrient gradients on grassland. *Grass and Forage Science* **67**, 305–319.
- Signarbieux C. & Feller U., 2012. Effects of an extended drought period on physiological properties of grassland species in the field. *Journal of Plant Research* **125**, 251–261.
- Thomas H., James A. R., 1999. Partitioning of sugars in *Lolium perenne* (perennial ryegrass) during drought and on rewetting. *New Phytologist* **142**, 292–305.
- Violle C., Navas M.-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. & Garnier E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* **116**, 882–892.
- Vogel A., Scherer-Lorenzen M. & Weigelt A., 2012. Grassland resistance and resilience after drought depends on management intensity and species richness. *PLoS ONE* (doi:36910.31371/journal.pone.0036992).
- Voltaire F., Norton M. R. & Lelièvre F., 2009. Summer drought survival strategies and sustainability of perennial temperate forage grasses in Mediterranean areas. *Crop Science* **49** (6), 2386–2392.
- Wright I. J. et al. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* **428**, 821–827.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Trockenheit bringt insgesamt eine Verlangsamung des Pflanzenmetabolismus und eine abgesenkte mikrobielle Aktivität im Boden (Reduktion der Mineralisierung) mit sich. Diese Prozesse erklären, unter anderem, den Ertragsrückgang und die Abnahme der Gehalte an Rohprotein, Energie, Phosphor und Kalium. Die Interaktion zwischen dem Wasserhaushalt und der Nutzung werden ebenfalls deutlich: die häufig genutzten und damit kurz gehaltenen Pflanzenbestände leiden stärker unter den Auswirkungen der Trockenheit. Die funktionalen Merkmale stellen ein interessantes Werkzeug dar, um die Reaktion der Pflanzenbestände auf den Wasserstress zu ermitteln. Sie sind überdies bei der Schätzung des Nährwertes des Raufutters von Interesse. Da in der Schweiz die Umweltbedingungen und die Pflanzengesellschaften regional grosse Unterschiede aufweisen, ist es wichtig, die Beobachtungen auf andere Situation auszudehnen, damit man die Auswirkungen der Trockenheit im Kontext des Klimawandels besser verstehen kann. ■

**Riassunto****Effetti di una grave siccità estiva sui pascoli permanenti della montagna giurassiana**

Durante l'estate 2012 si è condotto una prova presso il demanio di La Frêtaz (VD, 1200 m) per poter precisare gli impatti dello stress idrico sul valore agronomico e diverse caratteristiche fisiologiche e funzionali di un pascolo permanente. Due variabili sono state testate in un disegno 2 × 2: il modo d'uso (sfalcio vs pascolo) è stato incrociato con il regime idrico (secco vs testimone). Per una durata di 84 giorni è stata simulata una siccità mediante l'uso di tunnel orticoli. Le parcelle da pascolo erano utilizzate praticamente tutte le quattro settimane da pecore, mentre quelle falciate sono state utilizzate tre volte durante la stagione. La produttività e la qualità del foraggio sono stati oggetto di un monitoraggio durante tutta la stagione. La composizione botanica e i valori delle caratteristiche delle principali specie sono state valutate prima e dopo la siccità. Si sono anche realizzate delle misurazioni della fotosintesi netta, del potenziale idrico e della respirazione del suolo. Oltre le importanti riduzioni di resa, l'esperienza ha mostrato che una grave siccità comporta anche degli impatti sui tenori nutrienti e sul valore nutritivo del foraggio. Le misure ecofisiologiche e pedologiche testimoniano un rallentamento generale di tutto l'ecosistema (riduzione del metabolismo delle piante e dell'attività microbica del suolo, minore mineralizzazione). Le parcelle pascolate, caratterizzate da una copertura più rada hanno sofferto molto più la siccità di quelle falciate.

**Summary****Effects of a severe drought on a permanent meadow in the Jura mountains**

In order to determine the impacts of a severe summer drought on the agronomic value and diverse physiological and functional characteristics of a permanent meadow, a trial was carried out in 2012 on a mountain farm located in the Swiss Jura (1200 m). Two factors – management type (mowing vs grazing) and moisture (drought vs control) – were tested with a 2 × 2-design. The drought stress was simulated by means of rain shelters for a duration of 84 days. The grazed plots were grazed every four weeks with ewes, whereas the mowed plots were cut three times in the season. The biomass and the quality of the forage were monitored across the season. The botanical composition of the meadow and the functional traits of the 16 most abundant species were assessed before and after the drought treatment. The photosynthesis rate, the pre-dawn leaf water potential and the respiration of the soil were all measured.

Apart from important yield losses, the drought stress also led to changes in the nutrient contents and the nutritive value of the forage. The ecophysiological measurements reflected a slow-down of the whole ecosystem. The grazed plots, characterized by a shorter vegetation, were more impacted by the drought than the mown plots.

**Key words:** grassland, permanent meadow, drought, nutritive value, photosynthesis rate, leaf water potential, soil respiration, functional traits.