

Wasserverfügbarkeit und Futterproduktion im Ackerbaugebiet

Eric Mosimann, Claire Deléglise, Marielle Demenga, David Frund, Sokrat Sinaj und Raphaël Charles
Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Eric Mosimann, E-Mail: eric.mosimann@agroscope.admin.ch, Tel. +41 22 363 47 36



Futterbauvergleich mit und ohne Bewässerung.

Einleitung

Eine Teilnahme am Bundesprogramm «Graslandbetonte Milch- und Fleischproduktion» (Barth *et al.* 2011) setzt voraus, dass die Futterrationen von Raufutter verzehrenden Nutztieren zu mindestens 80 % auf Gras basieren. Gegenwärtig erfüllen rund die Hälfte der schweizerischen Milchviehbetriebe dieses Kriterium nicht (Schmid und Lanz 2013). In Wirklichkeit verwendet die Mehrheit der Mittellandbetriebe Maissilage, da diese Kultur ein hohes Produktionspotenzial aufweist (Winckler *et al.* 2012). Silomaisfutter, das den Kühen im Stall verabreicht wird, ermöglicht eine höhere Milchleistung als wenn die Tiere mit Weidefutter versorgt werden. Die letztgenannte Tiergruppe erzielt jedoch ein signifikant höheres Einkommen, wie ein Versuch aus der Zentralschweiz belegt (Hofstetter *et al.* 2011; Gazzarin *et al.* 2011). Vergleiche verschiedener Futterstrategien fehlen jedoch für

andere Regionen, insbesondere für solche mit trockeneren Bedingungen. Im Sommer erhält das Genferseegebiet weniger Niederschläge als die Zentralschweiz. Von Mai bis August beläuft sich die mittlere Niederschlagsmenge auf 325 mm für das Genferseegebiet und auf 530 mm für die Zentralschweiz (Daten von Meteo Schweiz für Changins und Sempach, Mittelwerte der Jahre 1981 bis 2010). Mit dem Klimawandel und der vorhersehbaren Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten wird das Bedürfnis an Bewässerungswasser im Westen des Landes (Fuhrer und Jasper 2009) ausgeprägter werden, insbesondere dort, wo man eine Zunahme der Maisanbaufläche erwartet. Bereits in den Jahren 2003 und 2011 wurden die Grünlandflächen im Genferseegebiet durch Trockenperioden stark beeinträchtigt, was sich in einer etwa 40 %-igen Abnahme der Jahreserträge der Weiden gezeigt hat (Mosimann *et al.* 2012). Um im Ackerbau in den trockenen Regionen Ver-

gleiche zwischen Futterbaustrategien anstellen zu können, sind bessere Kenntnisse über die Einflüsse von begrenzter Wasserverfügbarkeit nötig. Im Genferseegebiet wurde ein Versuch durchgeführt, bei welchem verschiedene Wege der Futterproduktion verglichen wurden (ackerbauliche Fruchtfolgen versus langdauernde Ansaatwiesen). Auf diesen Flächen wurden zwei unterschiedliche Wasserversorgungsstrategien angewandt: «limitiert» = lokal verfügbarer Regen versus «nicht-limitiert» = lokal verfügbarer Regen plus zusätzliche Wassergaben. Das Ziel dieses Versuchs war es, Antworten auf folgende Fragen zu finden:

1. Welchen Einfluss hat die Verfügbarkeit von Wasser auf die Futterproduktion ?
2. Welche Futterpflanzen sollen in Ackerbaugebieten mit Trockenperioden ausgewählt werden?

Die Resultate des dreijährigen Versuchs (2010 – 2012) werden hier vorgestellt, mit besonderer Berücksichtigung der Erträge und der Nährstoffentzüge.

Material und Methoden

Versuchsstandort

Der Versuch wurde nach einer Pflugfurche im April 2009 auf einer vormaligen Winterweizenparzelle in Prangins (Waadt, 390 M.ü.M.) angelegt. Die Niederschlagsdaten während der Wintermonate wurden von der Meteorostation in Changins geliefert, welche durch Erhebungen auf der Versuchsparzelle während der frostfreien Periode ergänzt wurden. Der braune, kalkhaltige Boden kann als schwacher Pseudogley mit geringem Skelettgehalt und einer Gründigkeit von 90 cm eingestuft werden. Die mittlere Textur der ersten 20 cm ist Ton-Lehm betont mit Anteilen von 31 % Ton und 43 % Schluff. Unterhalb von 30 cm ist der Boden weniger tonhaltig. Zu Beginn des Versuches ergaben die Analysen einen pH-H₂O-Wert von 8,2, eine Kationenaustauschkapazität (KAK) von 17,7 Milli-Äquivalent pro 100 Gramm Boden und einen Gehalt an organischer Substanz von 3 %. Die mit Ammonium-Acetat EDTA (Sinaj *et al.* 2009) extrahierten Mengen an Phosphor (P) und Kalium (K) waren befriedigend beziehungsweise sehr hoch.

Versuchsanlage

Die Versuchsanlage war ein Split-Plot mit fünf Hauptversuchsvarianten bestehend aus verschiedenen Kulturen (Tab. 1) sowie zwei Unterversuchsvarianten mit unterschiedlicher Wasserversorgung («limitiert» und «nicht-limitiert») und vier Wiederholungen. Die insgesamt 40 Versuchspartellen waren je 12 m lang und 6 m breit. Die

Zusammenfassung

Im Jahre 2009 wurde im Genferseegebiet auf einer Höhe von 390 Meter über Meer ein Versuch mit verschiedenen Futterbaustrategien (Ackerfruchtfolgen im Vergleich zu Kunstwiesen) angelegt. Ab 2010 wurden zwei Wasserversorgungsstrategien verglichen, welche einem Jahresniederschlag von 900 mm (mittlerer Jahresniederschlag des Standortes) und einem von 1200 mm (zusätzliche Wassergaben durch Bewässerung) entsprachen. Während der Trockenheitsperioden der Jahre 2010 und 2011 zeigten die Wassergaben in den Klee-Gras-Mischungen die grösste Wirkung. Eine Wassergabe von zehn Litern pro Quadratmeter erlaubte es, den Ertrag der Klee-Gras-Mischungen um 120 kg TS/ha zu erhöhen, während dieselbe Wassergabe bei Mais lediglich eine Zunahme von 50 kg TS/ha bewirkte. Allerdings verschlechterte sich die botanische Zusammensetzung der Kunstwiesen ab dem dritten Nutzungsjahr merklich. Damit einher ging auch eine konstante Abnahme der Futterproduktion. In sämtlichen Kulturen bewirkten die Wassergaben im Grossen und Ganzen eine geringe Abnahme des Stickstoffgehaltes und eine Zunahme der Kaliumgehalte in den Klee-Gras-Mischungen (Luxuskonsum). Die Gehalte der anderen untersuchten Elemente (P, Ca und Mg) veränderten sich wenig. Die vorliegende Studie verdeutlicht die Schwächen des Grünlandes unter Trockenheitsbedingungen und zeigt die Vorteile auf, welche die Kulturen Mais und Luzerne aufweisen.

Kulturen wurden mit üblichen landwirtschaftlichen Maschinen bestellt und bearbeitet (Bodenbearbeitung, Saat, Pflege, Unkrautbekämpfung). Die Kulturen wurden mit speziellen Erntemaschinen gemäht, welche es ermöglichen, den gesamten Biomassertrag pro Parzelle und den TS-Gehalt zu erheben.

Fruchtfolgevarianten

Die beiden ersten Versuchsvarianten waren zweijährige Fruchtfolge bestehend aus Mais, Gerste und einer Zwischenfrucht mit Luzerne und Italienischem Raigras, wobei diese beiden Varianten um ein Jahr gegeneinander verschoben waren. Die dritte Versuchsvariante enthielt eine Abfolge verschiedener Kulturen (lange

Tab. 1 | Merkmale der fünf Fruchtfolgevarianten: Datum der Saat und der Ernte (erster und letzter Schnitt für die Fruchtfolgen 4 und 5), Kulturen, Sorten, Anzahl Schnitte und Menge an mineralischem N (kg N/ha)

| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 |
|------|---|---|---|--------------------------------|-----------------------------------|
| | zweijährige Fruchtfolge | zweijährige Fruchtfolge | lange Fruchtfolge | Kunstwiese | Kunstwiese |
| 2009 | 27/04 Mais Ronaldinio N 110 | 27/04 Frühlingsgerste Eunova N 40 | 14/04 StM 210 4 Schnitte | 14/04 StM 430 7 Schnitte | 14/04 StM 430 5 Schnitte |
| | 26/08 Wintergerste Plaisant | 29/07 30/07 Luzerne-RGI 2 Schnitte N 30 | N 130 | N 220 | N 160 |
| | 02/10 | 29/10 | 29/10 | 19/11 | 22/10 |
| 2010 | N 100 | 25/04 1 Schnitt N 30 | 15/03 Sommererbsen Gregor N 0 | 14/04 7 Schnitte | 07/05 5 Schnitte |
| | 25/06 25/06 Luzerne-RGI 2 Schnitte N 30 | 11/05 Mais Ricardinio N 120 | 19/07 20/07 AP 1 Schnitt N 0 | N 240 | N 150 |
| | 19/10 | 29/09 Wintergerste Plaisant | 30/09 08/10 Winterweizen Arina | 27/10 | 19/10 |
| | 20/04 06/05 Mais Ricardinio N 120 | 24/06 24/06 Luzerne-RGI 2 Schnitte N 30 | 15/07 15/07 AP 1 Schnitt N 0 | 06/04 8 Schnitte | 11/05 5 Schnitte |
| 2011 | 01/09 04/10 Wintergerste Fredericus | 07/10 | 30/09 04/10 Wintergerste Fredericus | 09/11 | 07/10 |
| | N 100 | 30/04 1 Schnitt N 30 | N 100 | 04/04 8 Schnitte | 04/05 StM 330 MA 4 Schnitte |
| | 04/07 10/07 Luzerne-RGI 2 Schnitte N 30 | 14/05 Mais Ricardinio N 120 | 04/07 10/07 Sorgho Hayking 2 Schnitte N 80 | N 180 | N 90 |
| | 24/10 | 28/08 29/09 Wintergerste Plaisant | 22/10 25/10 Getreide-Erbse Mischung | 29/10 | 24/10 |

Folgende Saaddichten wurden verwendet:

Mais 95 000 Körner/ha; Wintergerste 300 Körner/m²; Luzerne - Italienisches Raigras (RGI) 35 kg/ha; Standardmischung 210* = Rotklee, Alexandrinerklee + Italienisches und Westerwoldisch Raigras 30 kg/ha; Sommererbsen 262 kg/ha; AP = Sommerwickenhafer 200 kg/ha; Winterweizen 450 Körner/m²; Hybridsorghum 40 kg/ha; Standardmischung 430* = Weiss- und Rotklee, Englischs Raigras, spätreifes Knautgras, Timothee, Rotschwengel und Wiesenrispengras 36 kg/ha; Standardmischung 330 A* = Weissklee, Rotklee, Alexandrinerklee, Englischs Raigras, spätereifendes Knautgras, Timothee und Wiesenschwengel 34 kg/ha.

*Standardmischungen: die Zusammensetzungen der Mischungen von Gräsern und Leguminosen sind in der Liste der Standardmischungen aufgeführt (Suter et al. 2012).

Fruchtfolge). Die Versuchsvarianten 4 und 5 bestanden aus langjährigen Kunstwiesen (vierjährige Klee-Gras-Mischung). Sie wurden mit zwei unterschiedlichen Häufigkeiten gemäht (Versuchsvariante 4: 7 bis 8 Schnitte pro Jahr = Simulation einer Weidefläche; Variante 5: 5 Schnitte pro Jahr = Mähwiese).

Weitere technische Details des Versuchs sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Unterversuchsvarianten: Wasserverfügbarkeit

Basierend auf Tensiometermessungen im Boden wurden ab April 2010 zusätzliche Wassergaben in den Parzellen mit der Unterversuchsvariante «nicht-limitiert» verabreicht. Dazu wurden Tröpfchenbewässerungsleitungen im Abstand von 50 cm (75 cm in den Maisflächen) direkt auf den Boden gelegt. Die Wassergaben betragen je nach dem erreichten Wasserdefizit 5 bis 15 l/m² pro Tag. Die Tensiometermessungen wurden in

allen Versuchsvarianten und Unterversuchsvarianten in einer Wiederholung mit Watermark®-Sonden (poröse Kerzen) durchgeführt, welche in zwei Tiefen (20 und 40 cm) plaziert waren. Diese porösen Kerzen waren mit einem Datenlogger verbunden, welcher drei Messungen pro Stunde aufzeichnete. Die Zuleitungen wurden von Hand abgekoppelt, sobald die Wasserspannung im Boden 60 cb (1cb = 1 kPa) überstieg, was der theoretischen Schwelle der Erschöpfung der nutzbaren Wasserreserven des Bodens entspricht (Puech et al., 2003).

Düngung

Die Versuchspartellen wurden mit handelsüblichen Mineralstoffdüngern gedüngt. Die N-Düngung wurde auf die Kulturen abgestimmt (Tab. 1) und in Form von Ammoniumnitrat (27,5 %) und punktuell im Getreide als Flüssigharnstoff verabreicht. Angesichts des Versorgungszustandes der Versuchsfläche bei Versuchsbeginn

Tab. 2 | Trockensubstanzertrag und Wassermenge pro Fruchtfolgevariante und Wasseruntersvariante sowie Reaktion auf die Wassergaben während dreier Jahre. Die statistischen Signifikanzwerte der Gesamterträge ergeben sich aus Vergleichen auf Grund der Varianzanalyse (*) $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$).**

| Jahr | Kultur | Trockensubstanzertrag dt TS/ha | | Wassermenge (l/m ²) | | Wassergabe | |
|-------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------|---------------------------|-------------------|
| | | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | Menge (l/m ²) | Reaktion (g TS/l) |
| Variante 1 | Total 2010-12 | 585,6 | 641,1*** | 2711 | 3630 | 920 | 0,6 |
| 2010 | Gerste Körner | 90,7 | 94,3 | 371 | 474 | 103 | 0,3 |
| | Gerste Stroh | 60,4 | 69,9 | | | | 0,9 |
| 2010 | Luzerne-RGI (Herbst) | 37,8 | 55,8 | 442 | 719 | 277 | 0,6 |
| 2011 | Luzerne-RGI (Frühling) | 55,0 | 53,0 | 106 | 132 | 25 | -0,8 |
| 2011 | Mais | 172,4 | 195,0 | 311 | 677 | 366 | 0,6 |
| 2011-12 | Gerste Körner | 83,5 | 77,2 | 812 | 845 | 33 | -1,9 |
| | Gerste Stroh | 57,4 | 54,2 | | 0 | | -1,0 |
| 2012 | Luzerne-RGI (Herbst) | 28,3 | 41,8 | 669 | 784 | 115 | 1,2 |
| Variante 2 | Total 2010-12 | 539,4 | 590,4** | 2711 | 3844 | 1133 | 0,5 |
| 2010 | Luzerne-RGI (Frühling) | 29,4 | 27,9 | 218 | 218 | 0 | |
| 2010 | Mais | 167,7 | 179,9 | 321 | 710 | 389 | 0,3 |
| 2010-11 | Gerste Körner | 54,4 | 63,1 | 496 | 792 | 296 | 0,3 |
| | Gerste Stroh | 31,3 | 46,2 | | 0 | | 0,5 |
| 2011 | Luzerne-RGI (Herbst) | 29,9 | 33,7 | 534 | 744 | 210 | 0,2 |
| 2012 | Luzerne-RGI (Frühling) | 42,2 | 40,9 | 228 | 234 | 7 | -1,9 |
| 2012 | Mais | 184,4 | 198,6 | 332 | 563 | 231 | 0,6 |
| 2012 | Gerste | | | 583 | 583 | | |
| Variante 3 | Total 2010-12 | 366,3 | 417,4** | 2711 | 3522 | 811 | 0,6 |
| 2010 | StM 210 | | | 143 | 143 | 0 | |
| 2010 | Erbse Körner | 29,9 | 24,5 | 256 | 415 | 159 | -0,3 |
| 2010 | Sommerwickenhafer (AP) | 49,6 | 66,2 | 154 | 301 | 147 | 1,1 |
| 2010-11 | Gerste Körner | 48,7 | 59,7 | 540 | 857 | 317 | 0,3 |
| | Gerste Stroh | 31,3 | 60,1 | | 0 | | 0,9 |
| 2011 | Sommerwickenhafer (AP) | 36,9 | 34,5 | 172 | 251 | 79 | -0,3 |
| 2011-12 | Gerste Körner | 84,5 | 74,0 | 777 | 801 | 24 | -4,5 |
| | Gerste Stroh | 60,1 | 66,6 | | 0 | | 2,7 |
| 2012 | Sorgho | 25,1 | 31,8 | 231 | 317 | 86 | 0,8 |
| 2012 | Roggen-Weizengemisch | | | 438 | 438 | 0 | |
| Variante 4 | Total 2010-12 | 251,4 | 377,3*** | 2711 | 3871 | 1159 | 1,1 |
| 2010 | StM 430: 8 Schnitte | 110,3 | 165,0 | 813 | 1320 | 507 | 1,1 |
| 2011 | StM 430: 8 Schnitte | 78,0 | 125,7 | 756 | 1144 | 388 | 1,2 |
| 2012 | StM 430: 8 Schnitte | 63,1 | 86,7 | 1142 | 1407 | 264 | 0,9 |
| Variante 5 | Total 2010-12 | 258,8 | 402,5*** | 2711 | 3834 | 1122 | 1,3 |
| 2010 | StM 430: 5 Schnitte | 117,0 | 172,3 | 813 | 1309 | 496 | 1,1 |
| 2011 | StM 430: 5 Schnitte | 85,2 | 122,3 | 756 | 1185 | 429 | 0,9 |
| 2012 | StM 330: 4 Schnitte | 56,7 | 107,8 | 1142 | 1339 | 197 | 2,6 |

wurden im März 2011 und im April 2012 alle Versuchsvarianten mit einer Grunddüngung von 90 kg P₂O₅/ha und 280 kg K₂O/ha versehen, um eine sichere, gute Entwicklung der Kulturen zu gewährleisten.

Messungen und Berechnungen

Bei Gerste und Weizen wurden Körner und Stroh gesondert geerntet. Das Erbsenstroh wurde zerkleinert im Feld belassen. Alle geerntete und aus den Parzellen abgeführte Biomasse hat man gewogen und in zwei Muster aufgetrennt. Das eine Muster wurde gewogen und getrocknet, um den Anteil an Trockensubstanz zu ermitteln und den Ertrag an Trockensubstanz zu berechnen. Die zweite Probe wurde getrocknet und vermahlen, um den Gehalt an Nährelementen zu bestimmen. Die

Gehalte an N, P, K, Ca und Mg wurden gemäss den Referenzmethoden der Agroscope-Forschungsanstalten (1996) bestimmt. Die Nährstoffzüge wurden bei jeder Ernte durch Multiplikation von produzierter Trockensubstanz und den ermittelten Nährstoffgehalten berechnet. Die Effizienz der Wasserversorgung wurde berechnet, indem die Differenz des Trockensubstanzertrages bei den beiden Unterversuchsvarianten durch die zugegebene Wassermenge in den Parzellen «nicht-limitiert» dividiert wurde.

Statistische Analysen

Die Auswirkungen der Hauptvarianten (V1 bis V5) des Versuches und der Untervarianten («limitiert» und «nicht-limitiert») auf die Trockensubstanzerträge und

die Nährstoffentzüge wurden mit einer Zwei-Faktor-Varianzanalyse untersucht. Anschliessend wurden noch post-hoc-Tests durchgeführt. Die verwendeten abhängigen Variablen waren die Erträge oder die Nährstoffentzüge jeder der Versuchsvarianten (Kumulierung der verschiedenen Kulturen und der drei Versuchsjahre; Tab. 2 und 4). Die Auswirkungen der Wassergaben auf die Mineralstoffgehalte der Kulturen sowie auf die Nährstoffentzüge pro Kultur wurden mit einer Ein-Faktor-Varianzanalyse (Verfügbarkeit von Wasser) durchgeführt. Dabei wurden die Daten der verschiedenen Jahre und der verschiedenen Versuchsvarianten als Wiederholungen betrachtet (Tab. 3 und 5). Diese statistischen Analysen wurden mit dem Softwarepaket R, Version 3.0.1. (R Development Core Team 2008) durchgeführt.

Resultate und Diskussion

Im Jahre 2009 wurde der Versuch ohne unterschiedliche Wasserversorgung abgewickelt. Damit wurde sichergestellt, dass die Parzelle einheitlich war und sich die Erträge der Kulturen im Vergleich zu den Referenzwerten der schweizerischen Landwirtschaft auf einem mittleren bis guten Niveau befanden (Sinaj *et al.* 2009). Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Jahre 2010 bis 2012, während derer die beiden Unterversuchsvarianten mit unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit geprüft wurden.

Wasserverfügbarkeit

Nach zwei eher trockenen Jahren (813 und 756 l/m² pro Jahr), besonders ausgeprägt im Sommer 2010 und im Frühling 2011, folgte dann 2012 ein feuchteres Jahr (1142 l/m²). Phasen, in denen die höchsten Wasseransprüche auftreten, sind typischerweise begleitet von einem starken Anstieg der Wasserspannung im Boden (>200 cb in 20 cm, Abb. 1), wobei zwischen den Kulturen Unterschiede zu verzeichnen sind. Im Sommer 2010 litten vor allem der Mais und die Wiesen am meisten unter der Trockenheit. Im weiteren Verlauf litten auch die übrigen Kulturen unter der Trockenheit, so die Wiesen und der Zwischenfutterbau im Herbst 2010, das Getreide und die Wiesen im Frühling 2011, der Mais und der Zwischenfutterbau am Ende des Sommers 2011, sowie der Mais und die Wiesen am Ende des Sommers 2012. So wurden, um ein Beispiel zu nennen, in den Unterversuchsvarianten «nicht-limitiert» im Juli 2010 dem Mais (V2) 220 l/m² zusätzliches Wasser verabreicht und im Mai 2011 erhielt die Kunstwiese (V5) eine Wassergabe von 159 l/m². Im Mittel der drei Versuchsjahre ergab sich eine mittlere jährliche Wasserverfügbarkeit von 900 mm für das Unterverfahren «limitiert» und 1250 mm für das

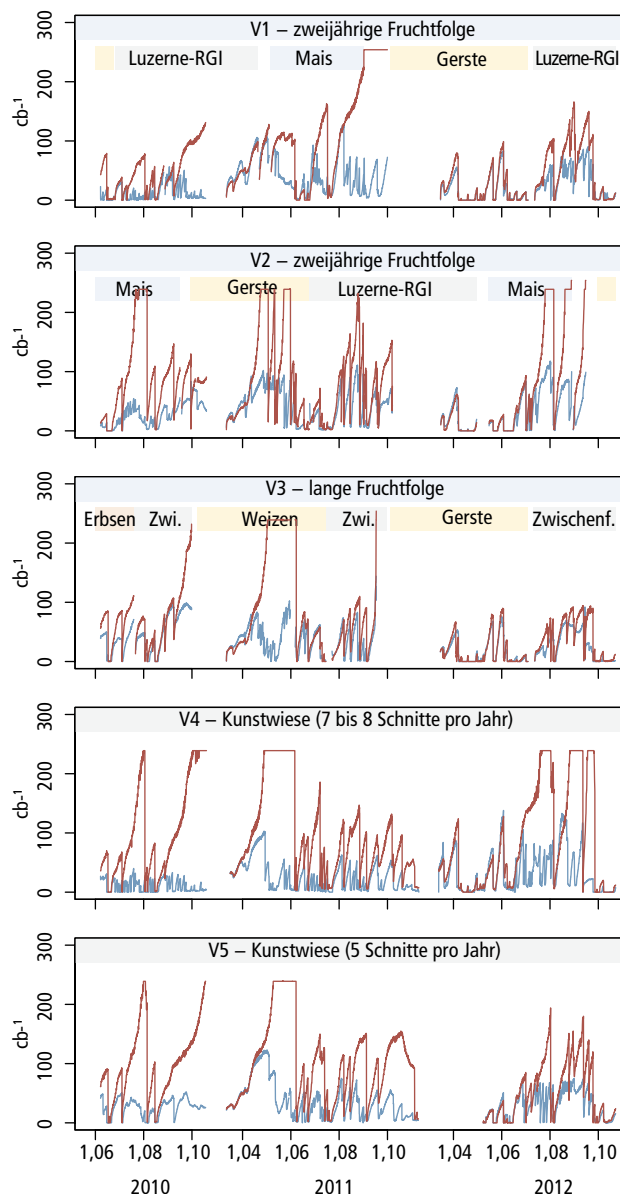


Abb. 1 | Wasserspannung in 20cm Bodentiefe bei den fünf Fruchtfolgevarianten der Jahre 2010 bis 2012.

Unterverfahren «nicht-limitiert». Untersucht man den Wasserbedarf in einer Sojakultur, was in Analogie auch für andere Sommerkulturen wie beispielsweise Mais gilt, so zeigt sich, dass in Abhängigkeit vom Jahr, der Region und dem Boden Phasen mit Wasserstress 0 bis 5 mal pro Jahr auftreten (Waridel *et al.* 1997). Es stellte sich auch heraus, dass eine Bewässerung im Genferseegebiet jedes Jahr angezeigt ist, sofern man die Wasseransprüche der Kulturen befriedigen will.

Tab. 3 | Mineralstoffgehalte der Kulturen (g/kg TS) im Mittel der drei Jahre 2010-2012. Statistisch signifikante Unterschiede ergeben sich aus der Varianzanalyse (*) $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ms [knapp signifikant] $0,05 < P < 0,1$; kein Symbol = nicht signifikant)**

| Variante | Kultur | N (g/kg TS) | | P (g/kg TS) | | K (g/kg TS) | | Ca (g/kg TS) | | Mg (g/kg TS) | | | | | | |
|----------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|------|-----|-----|-----|----|
| | | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | | | | | |
| 1 - 2 | Mais | 10,1 | 9,2 | * | 1,8 | 1,8 | 7,3 | 7,6 | 2,5 | 2,1 | * | 1,4 | 1,2 | * | | |
| 1 - 3 | Gerste Körner | 16,3 | 15,9 | ms | 4,0 | 4,2 | 4,9 | 5,0 | 0,5 | 0,5 | | 1,3 | 1,3 | | | |
| 1 - 3 | Gerste Stroh | 4,3 | 3,9 | ms | 1,0 | 0,9 | 15,6 | 17,2 | ms | 3,2 | 3,2 | 0,7 | 0,7 | | | |
| 1 - 2 | Luzerne-RGI | 33,4 | 31,4 | * | 3,7 | 3,8 | 32,9 | 36,0 | ** | 17,3 | 14,5 | *** | 2,1 | 1,9 | ms | |
| 3 | Erbse Körner | 33,4 | 34,3 | | 4,8 | 5,3 | ** | 10,6 | 11,8 | ** | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | ** | |
| 3 | Zwischenfrucht AP | 23,0 | 24,5 | | 3,5 | 3,8 | | 24,2 | 26,1 | | 11,0 | 12,0 | 1,7 | 2,0 | ** | |
| 3 | Gerste Körner | 19,0 | 16,3 | * | 3,5 | 3,5 | | 4,4 | 4,4 | | 0,5 | 0,4 | 1,2 | 1,3 | * | |
| 3 | Gerste Stroh | 5,8 | 4,0 | ms | 1,0 | 0,8 | ms | 11,5 | 9,8 | | 3,6 | 2,7 | ms | 0,7 | 0,6 | ms |
| 3 | Sorgho | 18,9 | 17,9 | ms | 4,4 | 4,1 | | 24,7 | 24,1 | | 8,3 | 7,3 | * | 1,8 | 1,9 | |
| 4 | StM 430: 8 Schnitte | 27,1 | 26,5 | | 4,1 | 4,3 | | 31,4 | 34,7 | ** | 11,6 | 11,4 | | 2,4 | 2,4 | |
| 5 | StM 430: 5 Schnitte | 25,5 | 23,6 | | 3,7 | 3,8 | | 29,5 | 32,2 | * | 14,4 | 14,5 | | 2,7 | 2,6 | |

Tab. 4 | Entzug an Mineralien bei den fünf Fruchtfolgevarianten während der drei Jahre von 2010 bis 2012 (kg/ha). Die Signifikanzunterschiede ergeben sich auf Grund der Varianzanalyse (*) $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$)**

| Variante | Kultur | N-Entzüge | | P-Entzüge | | K-Entzüge | | Ca-Entzüge | | Mg-Entzüge | | | | | | |
|----------|---------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-----|----|-----|-----|
| | | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | | | | | |
| 1 | Fruchtfolge 2 Jahre | 921 | 967 | | 159 | 176 | * | 813 | 987 | *** | 318 | 321 | 82 | 88 | | |
| 2 | Fruchtfolge 2 Jahre | 784 | 780 | | 121 | 138 | * | 659 | 786 | ** | 257 | 238 | 77 | 76 | | |
| 3 | lange Fruchtfolge | 616 | 657 | | 116 | 127 | | 494 | 592 | | 160 | 197 | 44 | 53 | | |
| 4 | Kunstwiese | 692 | 1017 | *** | 101 | 159 | *** | 775 | 1294 | *** | 293 | 437 | *** | 60 | 90 | *** |
| 5 | Kunstwiese | 661 | 944 | *** | 94 | 152 | *** | 742 | 1284 | *** | 365 | 577 | *** | 67 | 104 | *** |

Trockensubstanzproduktion und Einfluss von Wassergaben

Die Kulturen in den zweijährigen Fruchtfolgen der Versuchsvarianten 1 und 2 bewirkten die höchsten Trockensubstanzerträge. Im Mittel der drei Jahre wurden 188 dt TS/Jahr in der Untervariante «limitiert» und 205 dt TS/Jahr in der Untervariante «nicht-limitiert» erreicht (Tab.2). Die Kunstwiesen (Varianten 4 und 5) erzielten für die beiden entsprechenden Unterversuchsvarianten Trockensubstanzerträge von 85 und 130 dt/Jahr. Die Trockensubstanzproduktion, welche während dreier Jahre bei Vermeidung von Wasserdefiziten erreicht wurde, ist signifikant höher. (Varianten 1, 4 und 5: $p < 0,001$; Varianten 2 und 3: $p < 0,01$). Die markanteste Produktionssteigerung wurde bei den Klee-Gras-Mischungen (V4 und V5) festgestellt. Im Mittel der drei Jahre nahm der Ertrag dank Bewässerung um 53% zu. Der mittlere Ertragszuwachs erreichte bei den einjährigen Kulturen 9%, wobei zwischen den Jahren grosse Unterschiede auftraten, insbesondere bei Gerste, Weizen oder der Sommer-Wickhafer-Mischung (AP). Im Jahre 2012 ergab die Bewässerung beim Getreide sogar negative Effekte, möglicherweise hervorgerufen durch physiologische Ungleichgewichte. Bewässerungsversuche in Soja haben zwischen den vegetativen und generativen Pflanzenteilen Antagonismen aufgezeigt, die als Folge einer zu hohen Wasserverfügbarkeit vor der Blüte auftraten (Charles *et al.* 1999). Je nach Jahr nahm der Ertrag bei

Mais um 7% bis 13% in der Untervariante «nicht-limitiert» zu. Gemäss einer neueren Studie lässt sich ein grosser Teil der Ertragsschwankungen durch die Temperaturen während der Ährenbildung erklären (Baux 2013). Die Klee-Gras-Mischungen (V4 und V5) haben die Wassergaben sehr gut verwertet. Ihre Produktion hat jedoch im Laufe der Jahre abgenommen, was vor allem auf eine Verschlechterung der botanischen Zusammensetzung zurück zu führen ist. Im Herbst 2011 zeigte sich in Variante 5 ein massives Auftreten von Knautgras (*Dactylis glomerata* L.), was im folgenden Frühling eine Neuanfaat erforderte. Danach hat diese Kunstwiese sehr gut auf die Bewässerung mit einem Ertragszuwachs von 90% im Jahre 2012 reagiert. Das Verhältnis der Ertragsunterschiede zwischen den Untervarianten und den Wassergaben präzisiert diese Beobachtungen. Der Effekt der Bewässerung (Tab. 2) war am deutlichsten in den Varianten 4 und 5 mit einer durchschnittlichen Trockensubstanzproduktion von 1,1 und 1,3 g pro Liter Wasser und Quadratmeter. So kann in Kunstwiesen mit 10 Liter Wasser pro Quadratmeter ein Ertragszuwachs von 120 kg TS/ha erzielt werden. In den einjährigen Kulturen wird das Wasser weniger effizient umgesetzt. Ausnahmen zeigen sich beim Stroh des Getreides und den Zwischenfutterbaukulturen im Herbst (0,5 bis 0,6 g TS pro Liter Wasser pro Quadratmeter in den Varianten 1 bis 3). Im Frühling wurde die Luzerne-Raigras-Mischung durch die Bewässerung eher negativ beeinflusst. >

Tab. 5 | Entzug an Mineralien durch die Kulturen im Mittel der drei Jahre von 2010 bis 2012 (kg/ha/Jahr). Die Signifikanzunterschiede ergeben sich auf Grund der Varianzanalyse (*) $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * kein Symbol = nicht signifikant)**

| Variante | Kultur | N-Entzüge | | P-Entzüge | | K-Entzüge | | Ca-Entzüge | | Mg-Entzüge | | | | | | |
|----------|---------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------|------|------|-----|
| | | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | begrenzt | unbegrenzt | | | | | |
| 1 - 2 | Mais | 176,7 | 175,9 | 31,0 | 35,2 | ** | 128,4 | 145,7 | 44,2 | 40,9 | 24,1 | 23,3 | | | | |
| 1 - 3 | Gerste Körner | 126,8 | 122,3 | 31,3 | 32,2 | | 38,6 | 39,4 | 4,1 | 4,1 | 10,2 | 10,3 | | | | |
| 1 - 3 | Gerste Stroh | 21,8 | 23,0 | 5,2 | 5,5 | | 81,5 | 101,9 | * | 16,6 | 19,1 | ms | 3,4 | 4,3 | * | |
| 1 - 2 | Luzerne-RGI | 185,2 | 197,1 | 20,3 | 24,0 | | 185,7 | 227,7 | | 96,4 | 92,8 | | 11,5 | 12,3 | | |
| 3 | Erbse Körner | 100,0 | 84,0 | 14,2 | 13,0 | | 31,7 | 28,9 | | 3,2 | 2,7 | ms | 3,8 | 3,1 | ms | |
| 3 | Zwischenfrucht AP | 98,5 | 123,0 | 14,8 | 18,5 | ms | 103,4 | 130,5 | | 47,7 | 62,8 | | 7,2 | 10,1 | | |
| 3 | Gerste Körner | 92,2 | 97,3 | 17,2 | 21,1 | | 21,3 | 26,3 | | 2,6 | 2,7 | | 5,9 | 7,5 | | |
| 3 | Gerste Stroh | 17,9 | 23,5 | 3,1 | 4,7 | * | 35,4 | 59,1 | * | 11,5 | 15,9 | | 2,2 | 3,4 | * | |
| 3 | Sorgho | 47,3 | 56,7 | 11,0 | 13,0 | | 62,4 | 76,8 | | 20,9 | 23,1 | | 4,6 | 6,1 | ms | |
| 4 | StM 430: 8 Schnitte | 230,7 | 339,1 | * | 33,6 | 53,1 | *** | 258,4 | 431,3 | *** | 97,5 | 145,5 | * | 20,0 | 30,1 | ** |
| 5 | StM 430: 5 Schnitte | 220,4 | 314,8 | * | 31,3 | 50,7 | *** | 247,3 | 428,0 | *** | 121,5 | 192,4 | ** | 22,3 | 34,8 | *** |

Nährstoffgehalte und Verluste

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte der drei Versuchsjahre für die Gehalte an N, P, K, Ca und Mg in der Biomasse der verschiedenen Kulturen aufgeführt. Im allgemeinen hat die Bewässerung zu tieferen N-Gehalten (signifikant für die meisten Kulturen in den Fruchtfolgen) und Ca-Gehalten (signifikant für Mais, Sorghum und die Luzerne-Raigras-Mischung) geführt. Die Zunahme der K-Gehalte (signifikant für die Luzerne-Raigras-Mischung, Erbsen und Kunstwiesen) kommt dadurch zu Stande, dass das Wasser Kalium aus den Tonkomplexen im Boden freisetzt. Bei den erwähnten Kulturen führt dies zu einem Luxuskonsum an Kalium. Die Nährstoffentzüge über drei Jahre (Tab. 4) waren in der getreidebetonten Variante 3 am geringsten. Die Grünlandkulturen, die Luzerne-Raigras-Mischung und die Standardmischung 430 (mehrjährige Kunstwiese) haben die grössten Nährstoffmengen mobilisiert (Tab. 5), insbesondere N, K und Ca in der Untervariante «nicht-limitiert». Ohne Wasserstress wird die Mineralisation der organischen Substanz des Bodens durch Mikroorganismen gefördert, was den hohen Stickstoffentzug zu erklären vermag. Gleichzeitig mit der bereits erwähnten, starken Trockensubstanzzunahme haben die Wassergaben in den Verfahren 4 und 5 im Lauf der drei Jahre zu 1,5 bis 1,7 mal höheren Nährstoffentzügen geführt. Dieser Effekt war hingegen bei den meisten einjährigen Kulturen in den Varianten 1 bis 3 nicht signifikant.

Schlussfolgerungen

Die Futterproduktion ist unter dem Aspekt von zwei verschiedenen Systemen der Wasserverfügbarkeit beleuchtet worden, nämlich eines mit 900 mm Jahresniederschlag und eines mit 1250 mm Jahresniederschlag, wie man sie typischerweise im schweizerischen Mittelland

beobachten kann. Für die Jahre 2010 und 2011 lassen die Resultate erkennen, dass die Grünlandflächen mehr unter der Trockenheit gelitten haben als die einjährigen Ackerkulturen. Unter diesen Bedingungen reagieren die Grünlandflächen ausgezeichnet auf Wassergaben: zehn Liter Wasser pro Quadratmeter ermöglichen einen Ertragszuwachs in der Grössenordnung von 120 kg TS/ha. Bei Mais und Getreide fällt die Reaktion auf Wassergaben von Jahr zu Jahr schwächer und viel variabler aus. Die Analysen haben gezeigt, dass die Mineralstoffgehalte durch die Wasserverfügbarkeit kaum beeinflusst werden. Dementsprechend ist es möglich, die Berechnung des Düngerbedarfes auf der Basis der Jahreserträge vorzunehmen. Die Schwankungen in der Produktion der Kunstwiesen sind nicht nur durch die Wasserreserven im Boden zu erklären. Sie stehen auch in Verbindung mit einem Alterungseffekt, der in einer Degradation der Vegetationsdecke sichtbar wird. Die vorliegende Studie zeigt deutlich, dass es wichtig ist, spezifische Mischungen für trockene Regionen zu entwickeln. Diese Feststellung betrifft vor allem Mischungen mit Gräsern und Leguminosen, welche Kunstwiesen mit einer Dauer von mehr als drei Jahren (längerdauernde Mischungen) ergeben sollen. Die Resultate zeigen auf, dass die einjährigen Kulturen für Zonen, die Trockenphasen ausgesetzt sind, von besonderem Interesse sind. Hier können der Mais und die Luzerne die Futterversorgung sicherstellen. ■

Dank

Die Studie Maizen'herbe erhielt finanzielle Unterstützung von der Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues (AGFF).

Riassunto

Disponibilità in acqua e produzione foraggera in zona di campicoltura

Nel 2009 è stato istituito nel bacino lemanico ad un'altitudine di 390 m, una prova di confronto tra diverse strategie foraggere (rotazione delle colture vs prati temporanei). A partire dal 2010 si sono testati due regimi d'approvvigionamento idrico, corrispondenti alle quantità annuali medie di 900 mm (pluviometria del luogo) e di 1200 mm (apporti supplementari d'acqua per irrigazione). Durante i periodi di siccità nel 2010 e 2011 gli apporti d'acqua sono stati più efficaci sulle miscele graminacee-trifogli. Una quantità di dieci litri d'acqua per metro quadrato ha permesso di aumentare la loro resa di 120 kg SS/ha, mentre questo aumento raggiungeva solamente i 50 kg SS/ha per il mais. Tuttavia, si è constatato, a partire dal loro terzo anno, una forte degradazione della composizione botanica dei prati temporanei. Essa era accompagnata da una costante riduzione di produzione. L'effetto degli apporti in acqua si traduce in una debole riduzione dei tenori in N per l'insieme delle colture e in un aumento dei tenori in K delle miscele graminacee-leguminose (consumazione di lusso). I tenori degli altri elementi analizzati (P, Ca e Mg) sono stati poco influenzati. Questo studio evidenzia le debolezze degli erbai in caso di siccità e i benefici che offrono le colture di mais e di erba medica.

Literatur

- Barth L., Lanz S. & Hofer C., 2011. Förderung der grünlandbasierten Tierproduktion mit der Agrarpolitik 2014-2017. *Agrarforschung Schweiz* 2 (1), 20–25.
- Baux A., 2013. Zwanzig Jahre Sortenversuche mit Silomais in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* 4 (7–8), 330–337.
- Charles R., 1999. Culture du soja: irrigation et rendement. *Revue suisse d'Agriculture* 31 (5), 227–233.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* 16 (10), 396–401.
- Gazzarin Ch., Frey H., Petermann R. & Höltschi M., 2011. Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain. Weide- oder Stallfütterung – was ist wirtschaftlicher? *Agrarforschung Schweiz* 2 (9), 418–423.
- Hofstetter P., Frey H., Petermann R., Gut W., Herzog L. & Kunz P., 2011. Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain. Stallhaltung versus Weidehaltung – Futter, Leistungen und Effizienz. *Agrarforschung Schweiz* 2 (9), 402–411.
- Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope, 1996. Volume 1 «Analyses de terre et du substrat pour conseil de fumure».
- Mosimann E., Meisser M., Deléglise C. & Jeangros B., 2012. Das Futterpotenzial der Juraweiden. *Agrarforschung Schweiz* 3 (11–12), 516–523.

Summary

Water availability and forage production in arable crops areas

A comparison trial between various feed strategies (crop rotation versus ley) was established in 2009 in the western part of Switzerland, at an altitude of 390 m. From 2010, two water regimes were tested, corresponding to the average annual amounts of 900 mm (local rainfall) and 1200 mm (additional water supply by drop irrigation).

During periods of drought in 2010 and 2011, water supplies were the most effective on grass-clover mixtures. A quantity of ten liters of water per square meter has increased performance of 120 kg DM/ha, while the increase was only 50 kg DM/ha for maize. In contrast, a sharp deterioration in the botanical composition of leys was observed from the third year. It was accompanied by a steady decline in production. The effect of additional water supply results in a small decrease in N contents for all crops and an increase in K content of grass-legume mixtures (luxury consumption). The contents of the other elements analyzed (P, Ca and Mg) have been little affected. This study highlights the weaknesses of grassland during drought and the benefits of maize and alfalfa.

Key words: forage, water availability, grassland, crops.

- Puech J., Isbérie C. & Pexremorte P., 2003. Conduite de l'irrigation: de la stratégie au pilotage de l'irrigation. Irrigation – Guide pratique, Cemagref Editions, ISBN 2-85362-592-3, 344 S.
- R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing.
- R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Zugang: <http://www.R-project.org>.
- Schmid D. & Lanz S., 2013. Die Zusammensetzung der Futtermittel in der Milchviehhaltung der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* 4 (4), 184–191.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'Agriculture*. 41 (1), 1–98.
- Suter D., Rosenberg E., Mosimann E. & Frick R., 2012. Standardmischungen für den Futterbau. Revision 2013-2016. *Agrarforschung Schweiz* 3 (10), 1–12.
- Waridel P. & Charles R., 1997. Culture du soja: stress hydrique et irrigation. *Revue suisse d'Agriculture* 29 (4), 205–209.
- Winckler L., Cutullic E. & Aeby P., 2012. Effizienz der Futterbauflächen für die Milchproduktion im Kanton Freiburg. *Agrarforschung Schweiz* 3 (2), 74–81.