



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 95 | Ausgabe 1

MAI 2017

AGRARWISSENSCHAFT

FORSCHUNG

—
PRAXIS

Leistungen vom Grünland im Futterbaubetrieb

– Analyse auf Betriebsebene unter bayerischen Standortbedingungen

von Brigitte Köhler, Hubert Spiekers, Christof Kluß und Friedhelm Taube

1 Einleitung und Problemstellung

Das Grünland stellt als Produktionsfaktor mit seinen vielfältigen Ökosystemleistungen eine wichtige Basis für die Wertschöpfungskette in der Landwirtschaft (5). Dabei nimmt das Grünland – gemessen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) – mit 35 % auf EU-Ebene, 28 % in Deutschland und rund einem Drittel in Bayern einen hohen Anteil an der Landnutzung ein (58; 6; 66). In den unterschiedlich ausgeprägten Milchvieh-/Futterbauregionen besteht eine sehr enge Beziehung zwischen der Grünlandproduktivität und der Milcherzeugung (58). Mit steigender Nachfrage nach Futter und zunehmender Flächenkonkurrenz ist eine optimale Grünlandnutzung ein wesentlicher Bestandteil einer effizienten Futterwirtschaft, deren Umsetzung für die Milchvieh-/Futterbaubetriebe wirtschaftlich immer stärker ins Gewicht fällt (73; 28; 60; 63; 17; 18). Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Milchvieh-/Futterbausysteme, eine ressourcenschonende Produktionsweise umzusetzen, über die eine möglichst hohe Nährstoffnutzungseffizienz erreicht werden kann (69; 70; 72). Für Milchvieh-/Futterbaubetriebe ist das Grünland ein wertvoller Energie- und Eiweißlieferant, von dem eine möglichst hohe Flächeneffizienz, d. h. eine effiziente Erzeugung von Milch und Fleisch aus dem Aufwuchs je Hektar Grobfutterfläche erzielt werden soll (61). In Bayern nimmt das Grünland mit 1,05 Mio. ha Fläche (6) einen Hauptteil in der Futtererzeugung ein. Die zunehmende Herausforderung besteht darin, die Produktion des wirtschaftseigenen Grobfutters effizienter zu gestalten und damit das Eiweißpotenzial besser zu nutzen, um den Einsatz von Zukauffutter zu minimieren (3). In der bayerischen Nutztierhaltung wird der zusätzliche Bedarf an Eiweißkraftfutter über Nettoimporte von rund 360.000 t Rohprotein pro Jahr gesichert (55). Die Grünlandwirtschaft ist einer der zentralen Ansatzpunkte der bayerischen Eiweißstrategie, die Versorgung mit heimischen Eiweißfuttermitteln zu verbessern (47). Dabei wird dem bayerischen Grünland mit einem geschätztem Rohproteinangebot von 1,3 Mio. t pro Jahr ein großes Potenzial zur Schließung der „Eiweißlücke“ zugesprochen (55; 29).

Um einzelbetriebliche Optimierungspotenziale in der Futterwirtschaft zu identifizieren, müssen die Mengenströme auf Betriebsebene erfasst werden. Dies setzt ein konsequentes Messen von Menge

und Qualität beim Grobfutter voraus, wobei in der Praxis die Erträge vom Grünland häufig nicht bekannt sind (78; 11). Das Problem fehlender Ertragsdaten in der Futterwirtschaft wirkt sich auf gesamte Systemanalysen aus. Für die Betriebszweigauswertung (13; 64) bzw. zur Plausibilisierung der Nährstoffentzüge im Futterbau (16; 2; 4) werden die Erträge aus dem Futterbedarf der Tiere entsprechend den Leistungen abgeleitet. In der Betriebszweigauswertung Milch werden die so abgeschätzten Erträge als Nettoerträge bezeichnet. Dies steht im Widerspruch zur Verwendung des Begriffs im Pflanzenbau. Eine Anpassung und Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten wurde von Köhler et al. (2014) vorgeschlagen (40). Da in der Betriebszweigauswertung die Erträge des Grünlandfutters in der Regel nicht vorliegen, werden diese als Restgröße kalkuliert. Alle Fehler schlagen so auf das Grünland durch und jeglicher Luxuskonsum z. B. an Kraftfutter führt zu rechnerisch geringeren Erträgen auf dem Grünland. Abgesehen davon wird in der Berechnung der Grobfutterleistung das Grünland systematisch unterschätzt, weil der gesamte Energiebedarf für Erhaltung kalkulatorisch als Restgröße aus dem Grobfutter gedeckt wird, während die konkret vorliegenden Mengen an Konzentratfuttermittel mit dem Milcherzeugungswert in Ansatz gebracht werden (64).

Eine exakte Erfassung der tatsächlich geernteten Aufwuchsmengen und -qualitäten ist auch vor dem Hintergrund der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) unumgänglich, da die bisher genutzten Ansätze der Ertragsschätzungen im Rahmen der Feld-Stall-Bilanzen eine geringe Aussagekraft aufweisen (77). Die vorgeschlagene Plausibilisierung der Entzüge im Futterbau über den abgeschätzten Verzehr an Grobfutter entsprechend des Tierbesatzes zeigt die Problematik (16; 2). Mit der Verwendung valider einzelbetrieblicher Daten wird eine höhere Aussagekraft von Nährstoffsalden erzielt, die für ein optimiertes Düngemanagement zu nutzen sind. Während unter kontrollierten experimentellen Bedingungen eine Vielzahl von Daten zu den potentiellen Bruttoerträgen (Aufwuchsmenge) auf dem Grünland in Deutschland vorliegt, fehlt es an repräsentativen Daten zu den realisierbaren Grünlanderträgen unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen. Weitere Ansätze zur Quantifizierung werden über Ertrags- und Qualitätsmodelle verfolgt, mit deren Hilfe unter Einbeziehung klimatischer Daten eine Abbildung von Ertrags- und Qualitätsdaten ermöglicht wird, die Aussagen zur Ertragsstabilität zulassen (42; 31). Neben der Ertragsleistung (Flächennutzungseffizienz) sind weitere Kriterien in der Bewertung von Landnutzungssystemen zu berücksichtigen. Dazu gehören insbesondere die Nährstoffnutzungseffizienz (Stickstoff, Phosphor) sowie die Ökosystemdienstleistungen der Grünlandnutzung für die Bereiche: Wasserschutz, Klimaschutz und Biodiversität. Die Ausrichtung auf ein nachhaltiges Nährstoffmanagement in den Milchvieh-/Futterbausystemen ist ein wichtiges Forschungsfeld (on-farm research), das nur über eine ganzheitliche Betrachtung zur systematischen Verminderung von Nährstoffverlusten führen wird (53; 52; 48).

Das Ziel dieser Abhandlung ist es daher, die Erträge, Futterqualitäten und Nährstoffflüsse auf repräsentativen bayerischen Grünlandstandorten auf Betriebs- und Schlagebene zu analysieren, um daraus Schlussfolgerungen für eine optimierte Bewirtschaftung in der Praxis abzuleiten. Mit Hilfe des

Ertragsmodells „FOPROQ“ (42) werden die Leistungen des bayerischen Grünlands durch Simulationsläufe auf einen Zeitraum von neun Jahren erweitert, um die Ertragsstabilität in Abhängigkeit von Witterung, Standort und Bewirtschaftungsintensität zu analysieren. Dieser Ansatz verfolgt somit ein Teilziel des Forschungsvorhabens „Effiziente Futterwirtschaft und Nährstoffflüsse in Futterbaubetrieben“ mit einem gesamtbetrieblichen Ansatz zur Erfassung der Stoffströme vom „Bruttoertrag“ (Futteraufwuchs) des Grünlands bis zur Grobfutterleistung der Milchkühe auf fünf Modellbetrieben in Bayern (38).

2 Material und Methoden

2.1 Standort- und Betriebscharakteristik

An den Untersuchungen waren die Lehr-, Versuchs- und Fachzentren (LVFZ) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit den Standorten Spitalhof, Achselchwang, Almesbach, Kringell und dem Versuchsbetrieb Grub beteiligt (Abb. 1). Um die bayerischen Standortbedingungen für die Grünlandnutzung zu charakterisieren, sind in Tab. 1 die Betriebe den Agrargebieten sowie den Boden-Klima-Räumen (BKR) (51) zugeordnet. Die Jahrestemperaturen variierten im langjährigen Mittel im Bereich von 7,8 °C bis 8,8 °C und die Temperatursummen (> 5 °C) von 1.798 bis 2.119 °C im vierjährigen Mittel. Die mittleren Jahresniederschläge im Untersuchungszeitraum reichten von 750 mm (Almesbach, Oberpfalz) bis zur niederschlagsreichen Allgäuer Region am Spitalhof mit 1.180 mm. Die Produktionsschwerpunkte der Betriebe liegen in der Milchvieh- und Rinderhaltung mit Viehbeständen von 70 bis 190 Milchkühen plus weiblicher Nachzucht in konventioneller und am Betrieb Kringell in ökologischer Wirtschaftsweise.



Abbildung 1: Standorte der Betriebe in Bayern

Die Produktionsschwerpunkte der Betriebe liegen in der Milchvieh- und Rinderhaltung mit Viehbeständen von 70 bis 190 Milchkühen plus weiblicher Nachzucht in konventioneller und am Betrieb Kringell in ökologischer Wirtschaftsweise. Das Grünland nimmt je Betrieb einen unterschiedlichen Flächenanteil an der Grobfutterproduktion ein. Die energiekorrigierten Milchleistungen (ECM) liegen im Betriebsdurchschnitt bei 8.500 bis 9.700 kg ECM pro Kuh und Jahr. Auf allen Standorten wird das Grünland intensiv genutzt, jedoch mit einer N-Düngungsbandbreite von 156 bis 312 kg Nges./ha und Jahr (Tab. 1). Bei der Berechnung des Düngungsniveaus beruhen die Nährstoffgehalte der Gülle auf eigenen Analysen (2010 – 2011), bei weiteren Wirtschaftsdüngern (z. B. Stallmist, Mistkomposte) wurde auf entsprechende Standardwerte (79; 37) zurückgegriffen. Beim Wirtschaftsdünger wurden die anrechenbaren N-Abzüge gemäß der DüV berücksichtigt. Die Gülleausbringung erfolgte zumeist mit Breit- oder

Schwanenhalsverteiler, am Versuchsbetrieb Grub sowie am LVFZ Kringell mit Schleppschauch-technik. Die symbiotische N-Fixierung wurde nach dem empirischen Modell von Høgh-Jensen et al. (2004) (33) bei der Berechnung des $N_{ges.}$ mit einbezogen.

Tabelle 1:
Standort- und Bewirtschaftungscharakteristik der untersuchten Betriebe

Kenngrößen	Einheit	Spitalhof	Grub	Achselschwang	Almes- bach	Kringell
Standort						
Agrargebiet		Alpen- vorland	Tertiäres Hügelland	Voralpines Hügelland	Ostbayerisches Mittelgebirge I	
BKR ¹		117	115	117	112	112
Höhe	m über NN	730	525	586	417	480
Temp. ²	°C/Jahr	8,0	8,8	7,8	8,0	8,7
Temp. ³	Σ °C/Jahr	1.876	2.063	1.798	1.885	2.119
ND ⁴	Mm	1.180	992	1.010	750	968
Futterwirtschaft						
GL-Fläche ⁵	ha/Betrieb	85	40	60	32	40
GL-Anteil ⁶	% GFF	100	45	64	37	46
Milchleistung	kg ECM ⁷ /K.+J.	9.400	9.500	9.700	9.500	8.500
SI ⁸	n	4–5	4–5	4–5	3–4	4–5
Grünlanddüngung⁹						
$N_{ges.}$ ¹⁰	kg N/Jahr	204	312	266	278	156
$N_{fix.}$ ¹¹	kg N/Jahr	22	33	24	12	40
$N_{org.}$ ¹²	kg N/Jahr	134	112	197	137	116
$N_{min.}$	kg N/Jahr	48	167	45	129	0
$P_{ges.}$	kg P/Jahr	33	17	51	38	35
$K_{ges.}$	kg K/Jahr	162	160	202	164	154
Bodenkennwerte¹³						
Bodenart		uL	uL	sL	uL	uL
pH ±s	pH-Wert	6,5±0,2	6,4±0,3	6,2±0,2	6,3±0,4	5,6±0,3
P ±s	mg P/100g B.	7,6±1,5	11,3±0,8	16,9±4,3	6,9±3,1	5,6±2,6
K ±s	mg K/100g B.	19,1±3,3	11,6±3,0	36,8±12,9	7,0±2,5	11,4±5,5

¹= Boden-Klima-Räume: 117 = Moränen-Hügelland Donau-Süd, 112 = Verwitterungsböden in den Höhenlagen, 115 = Tertiär-Hügelland Donau Süd; ²= Temperatur im langjährigen Jahresmittel (1991 – 2013); ³= Summe Jahrestemperatur über 5 °C; ⁴= Jahresniederschläge im vierjährigen Mittel (2009 – 2012); ⁵= bewirtschaftete Grünlandfläche; ⁶= prozentualer Anteil an der Grobfutterfläche (GFF); ⁷= energiekorrigierte Milch pro Kuh und Jahr im Betriebsdurchschnitt (2009 – 2012) nach der Milchleistungsprüfung; ⁸= Schnittintensität; ⁹= NPK-Düngung im vierjährigen Mittel (2009 – 2012); ¹⁰= N_{gesamt} ; ¹¹= symbiotische N-Fixierung nach Høgh-Jensen et al. (2004) (33); ¹²= $N_{organisch}$ unter Abzug von 15 % Ausbringungsverlusten beim Stickstoff (nach DüV; 4, S. 23)); ¹³= Bodenart und mittlere Bodengehalte (B.= Boden) aus den aktuellen Bodenuntersuchungen (P, K nach CAL-Methode, pH-Wert CaCl₂) der Grünlandflächen je Betrieb im Zeitraum von 2010 – 2012 mit Standardabweichung (±s) zwischen den Grünlandschlägen.

2.2 Datenerhebungen

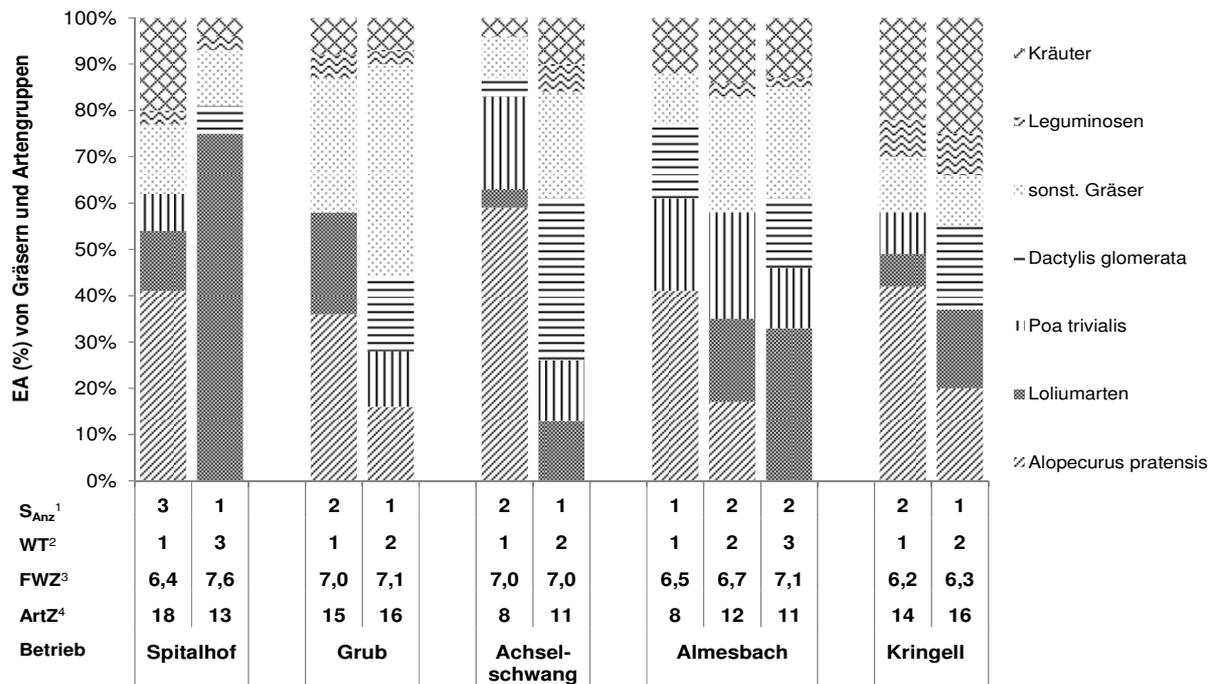
2.2.1 Pflanzenbestände

Das Wirtschaftsgrünland der Betriebe ist der Klasse Molinio-Arrhenatheretea und dem Verband Arrhenatheretalia zuzuordnen und dabei zum überwiegenden Teil der Assoziation Alopecuretum pratensis. Zur Charakterisierung des Wirtschaftsgrünlandes auf Ebene der Betriebsstandorte wurden auf ausgewählten Schlägen eine Bestandsaufnahme der Arten sowie eine Ertragsanteil(EA)-Schätzung nach Klapp-Stählin (35) durchgeführt, jeweils vor dem ersten Schnitt im Abstand von zwei Jahren. Die Bestandsaufnahmen wurden nach Wiesentypen (WT) in Anlehnung an Wendland et al. (79) eingeteilt und zusammengefasst (Tab. 2). Auf Basis der EA-Schätzungen wurden weitere Parameter wie Artenanzahl (ArtZ) und Futterwertzahl (FWZ) nach Klapp et al. (1953) (34) je Schlag berechnet (Abb. 2).

Tabelle 2:
Einteilung der Wiesentypen nach Gräser-Ertragsanteilen (EA)

WT	Wiesentyp	Gräser-EA	Weitere Differenzierung
1	Wiesen-Fuchsschwanzwiesen	>60%	Alopecurus pratensis >25%
2	Gräser reiche Wiesen	>65%	Loliumarten <25%, Alopecurus pratensis <25%
3	Weidelgras reiche Wiesen	>75%	Loliumarten >25%, andere Gräser <20%

Quelle: In Anlehnung an (79) und an frühere Auflagen (1985, 1997)



¹= Anzahl der bonitierten Schläge; ²= Wiesentyp; ³= mittlere Futterwertzahl nach Klapp et al. (1953) (34);

⁴= mittlere Artenanzahl.

Abbildung 2: Ertragsanteile der Hauptbestandsbildner (HBB) der Gräser sowie der Artengruppen aus Bestandsaufnahmen von ausgewählten Schlägen je Betriebsstandort getrennt nach WT mit Angabe der FWZ und ArtZ

2.2.2 Erträge und Qualitäten

Die Gesamtanalyse der Grünlanderträge erfolgte über eine quantitative und qualitative Datenerhebung auf einzelbetrieblichem Niveau über einen vierjährigen Untersuchungszeitraum von 2009 bis 2012 (siehe 2.1). Die Ernteerträge vom Grünland wurden über Wiegung aller einzelnen Fuhren an der Fuhrwerkswaage zur Ernte erfasst und schlagbezogen festgehalten (Tab. 3). Die Grünlandflächen reichten von drei bis 16 Schlägen je nach Betriebsstandort bei Schlaggrößen von 0,9 bis 13,9 ha. Bei dem Erntegut handelt es sich im Mittel aller Betriebe zu 87 % der geernteten Trockenmasse (TM) um zu silierendes Anwelkmaterial sowie beim Rest um Heu und Grascobs. Während der Ernte erfolgte eine Probenahme je Fuhre zur TM- und Qualitätsbestimmung. Je nach Schlaggröße wurden aus dem Probenpool mehrere Mischproben zur TM-Bestimmung sowie je nach Lagereinheit mehrere Mischproben zur Analyse von Futterqualitätsparametern und Mineralstoffen genommen (Tab. 3).

Tabelle 3:**Datenerhebung und Analytik zur Gesamtanalyse des Grünlands an den untersuchten Betrieben**

Datenerhebung	Methode	Anzahl	Analytik	Einheit
Erntemenge (Siliergut, Heu etc.)	Wiegung an der Fuhrwerkswaage	Grund- gesamtheit	Wiegung	dt FM ¹ je Fuhre
TM-Bestimmung	-PE ² je Fuhre -Mischprobe ³	4x je Schlag ⁴	Ofentrocknung ⁵	g TM/kg FM
Futterqualitäten	-PE je Fuhre -Mischprobe ³	3x je Lager ⁶		
-Rohnährstoffe			Weender-Analyse	
-Rohprotein (u.a.)			NIRS ⁷	g XP/kg TM
-nXP, RNB			Schätzggleichung ⁸	g nXP, RNB/kg TM
-Energie			Schätzggleichung ⁹	MJ NEL/kg TM
-Mineralstoffe			RFA ¹⁰	g P,K,Mg,S/kg TM

¹= Frischmasse (i.d.R. Anwelkgut); ²= Probenahme; ³= aus der PE je Fuhre; ⁴= Mindestanzahl je Schlag und Hektar mit Erhöhung der Probenanzahl je nach Schlaggröße; ⁵= nach VDLUFA-Verfahren (75) mit 36 h bei 65 °C und 4 h bei 105 °C; ⁶= i.d.R. je Silo oder anderer Lagereinheit; ⁷= Nahinfrarotspektroskopie; ⁸= Proteinbewertung nach GfE (23); ⁹= Energiebewertung nach GfE (22), ab 2011 GfE (24); ¹⁰= Röntgenfluoreszenzanalyse.

Die Summe der Erntemengen je Schnitt auf Basis der TM ergibt den Ernteertrag je Hektar und Jahr. Die mittleren Rohprotein-, Energie- und Mineralstoffgehalte je Betrieb wurden nach TM-Ertrag gewichteten mittleren Gehalten je Schnitt berechnet. Die Nährstoffträge bzw. -abfuhrer wurden aus den TM-Ertrag und den mittleren Nährstoffgehalt je Schnitt auf das Jahr summiert. In den Ertragsanalysen wird entsprechend nach Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren differenziert. Von ausgewählten Schlägen mit Pflanzenbestandsaufnahmen wurden ertragsrelevante Einflussfaktoren über eine weitere Ertragsanalyse untersucht.

2.2.3 Statistische Analyse

Die gesamtbetrieblichen Ernteerträge vom Grünland wurden auf Schlagebene je Standort und Jahr über den vierjährigen Untersuchungszeitraum analysiert. Die Besonderheit der Ertragsanalyse liegt auf der schlagbezogenen Ertragserhebung, die erstmals in einem solchen Umfang in der Praxis durchgeführt wurde. Mit Hilfe eines SAS-Makroprogramms (21) wurde die Ertragsvarianz der Schläge je Standort und Jahr als „boxplots“ unter Einbeziehung des „Interquartilabstands“ (IQR) ausgewertet. Anhand des Variationskoeffizienten (CV) wurde die Ertragsstabilität über die Jahre beurteilt. Eine weitere Ertragsauswertung wurde mittels der Kovarianzanalyse vorgenommen unter Anwendung eines gemischten Modells, da der unbalancierte Datensatz der Ernteerträge sowie die zu untersuchenden Merkmale dies erforderten. Dies wurde mit Hilfe der SAS-Prozedur „Proc mixed“ (SAS® Software 9.3) durchgeführt.

2.2.4 Modellsimulation

Für die Modellanalyse wurde das Simulationsmodell FOPROQ (42) eingesetzt, dessen Modellparametrisierung anhand der Ertragsdaten der Fünf-Schnitt-Wiesen an vier Betriebsstandorten aus den Jahren 2009 bis 2011 erfolgte. Das FOPROQ-Modell berechnet mittels genotypischer Parameter die tägliche Ertrags- und Qualitätsentwicklung. Dazu werden standortspezifische Variablen wie Lufttemperatur, Niederschlag, potentielle Verdunstung sowie die Globalstrahlung zur Berechnung einer spezifischen Umweltveränderungsrate einbezogen. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen können im Modell definiert werden. In dem verwendeten FOPROQ-Modell wird von einer optimalen Nährstoffversorgung ausgegangen. Die eingesetzten Wetterdaten stammen vom Deutschen Wetterdienst (DWD). Die Modellsimulation dient einerseits zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Modellalgorithmen für bayerische Grünlandstandorte und andererseits zur Beurteilung der Ertragsstabilität und Produktivität des bayerischen Grünlands durch Simulationen mit neunjährigen Witterungsdaten.

2.2.5 Nährstoffbilanzierung

Aus den Nährstoffabfuhr- bzw. -zufuhr über die aggregierten Grünlandflächen wurden für die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) Bilanzen für das Grünland über den vierjährigen Untersuchungszeitraum aufgestellt. Aus den jährlichen Nährstoffabfuhr- mit der Ernte und den jährlichen Nährstoffzufuhr über die Düngung sowie der N-Fixierung wurde eine einfache Saldierung im vierjährigen Mittel vorgenommen mit Berechnung des Variationskoeffizienten (CV) zwischen den Jahren (Tab. 8). Beim N entspricht dies einer Bruttosaldierung. Die Stickstoffverwertung der Grünlandflächen je Betrieb aus der N-Düngung – in Form der „nitrogen use efficiency“ (NUE) (kg TM/ kg eingesetzten Dünger-N) – wurde anhand des Verhältnisses vom mittleren Ernteertrag zur mittleren N-Zufuhr über die Düngung ($N_{\text{ges. ohne } N_{\text{fix.}}}$) im vierjährigen Mittel berechnet (Tab. 4). Dabei umfasst $N_{\text{ges.}}$ den mineralischen und organischen Dünger-N zu gleichen Wirkungsgraden (100 % Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)).

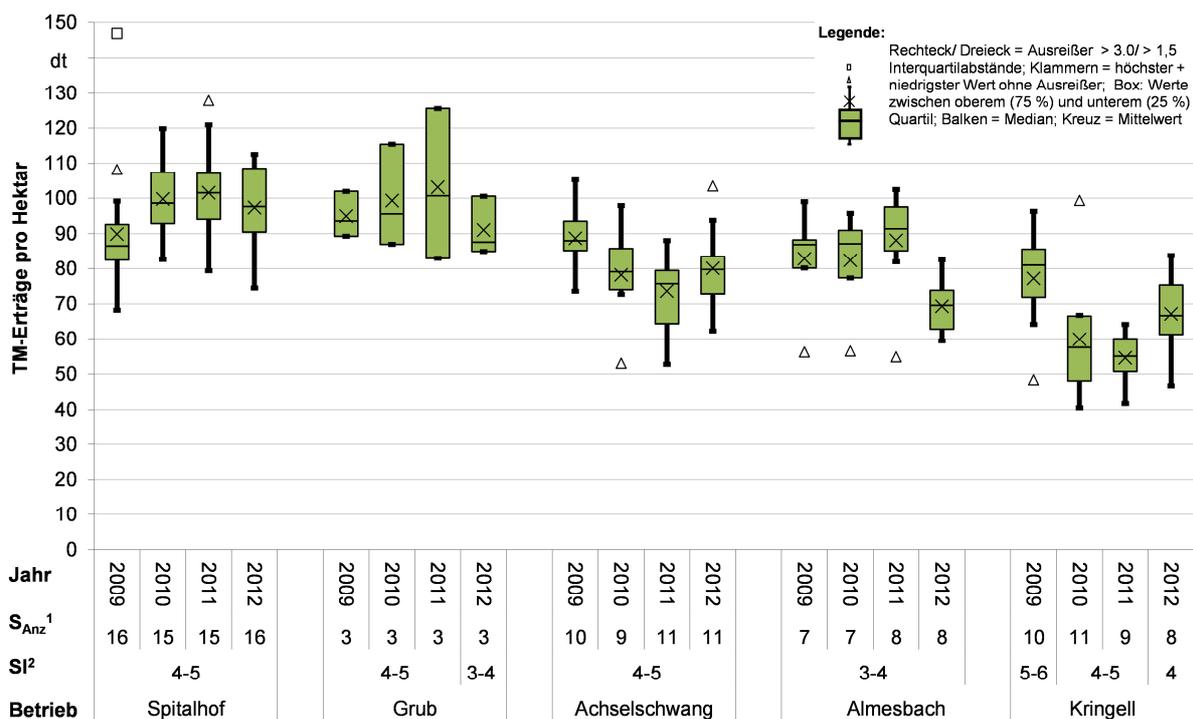
3 Ergebnisse

3.1 Ertragsanalyse

3.1.1 Ernteerträge auf Schlagebene

Die Ernteerträge der intensiv geführten Grünlandflächen aus den vierjährigen Untersuchungen zeigen eine erhebliche Variabilität in Abhängigkeit von Standort, Bewirtschaftung und Jahr (Abb. 3). Auf den Betrieben Spitalhof, Grub und Achselschwang wurden bei vier bis fünf Schnitten und in Almesbach bei drei bis vier Schnitten 80 – 97 dt TM/ha im vierjährigen Mittel geerntet (Tab. 4). Der

Ökobetrieb Kringell erwirtschaftete bei gleich hoher Schnittintensität und geringerem Düngungsniveau einen Ernteertrag von 65 dt TM/ha im vierjährigen Mittel. Bei den Ertragsvarianzen zwischen den Betrieben sind die Unterschiede im mittleren N-Düngungsniveau als ertragsbeeinflussender Faktor zu beachten (Tab. 1; Kap. 3.1.2). Über das Ertragsmittel je Betrieb zeigen die Variationskoeffizienten der Ernteerträge mit 5 – 8 % eine hohe Ertragsstabilität zwischen den Jahren auf. Die Jahresniederschläge sind an allen Standorten als günstig einzustufen (Tab. 1). Jedoch wirkten sich wiederkehrende längere Sommertrockenheitsperioden am Standort Almesbach nicht nur ertragsmindernd aus, sondern führten auch zu einer verringerten Ertragsstabilität (CV 10 %). Diese stärkeren Schwankungen zwischen den Jahren weist auch der Ökobetrieb Kringell mit einem CV von 15 % auf. Diese Schwankungen wurden zusätzlich durch die unterschiedlich hohe Nutzungsintensität im Laufe der Untersuchungsjahre beeinflusst. Ebenso zeigt die Ertragsanalyse auf Schlagebene erhebliche Ertragsspannen zwischen den Schlägen an allen Standorten (Abb. 3). Dahinter stehen als Beispiele im Jahr 2011 Ertragsspannen von 83 bis 126 dt TM/ha bzw. von 53 bis 88 dt TM/ha zwischen Schlägen an den Standorten Grub bzw. Achselschwang.



¹= Anzahl der Schläge; ²= Schnittintensität.

Abbildung 3: Ernteerträge vom Grünland auf Schlagebene der untersuchten Betriebe aus den Jahren 2009 – 2012

Tabelle 4:

Ernteerträge im vierjährigen Mittel von den Grünlandflächen je Betrieb mit Angabe von Niederschlags- und Bewirtschaftungsdaten sowie der Stickstoffverwertung (NUE)

Betrieb	ND ¹		SI ²	S _{Anz} ³	Ernteertrag dt TM/ha			NUE ⁴
	mm	cv% ⁵	n	n	mean	±s	cv%	kg TM/kg N-Düngung
Spitalhof	894	10	4-5	15	95	6	7	53
Spitalhof (I) ⁶	894	10	5	1	122	19	15	53
Grub	811	4	4-5	3	97	5	5	33
Achselschwang	818	6	4-5	10	80	6	8	33
Almesbach	509	19	3-4	8	81	8	10	30
Kringell	724	27	4-5	10	65	10	15	56

¹= Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode (1.03. – 31.10.) im vierjährigen Mittel (2009 – 2012); ²= Schnittintensität; ³= Anzahl der Schläge; ⁴= Verhältnis mittlerer Ernteertrag (kg TM/ha) zu mittleren N-Düngung (kg N_{ges.}/ha) mit 100 % MDÄ (siehe Kap. 2.2.5) im vierjährigen Mittel; ⁵= Variationskoeffizient (%) zwischen den Jahren; ⁶= einzelner Schlag mit 70 % mittlerem EA an Deutschem Weidelgras, herausgestellt zu den weiteren Grünlandschlägen am Spitalhof mit 40 % mittlerem EA an Wiesen-Fuchsschwanz.

Die Pflanzenbestandsaufnahmen vom Grünland an den einzelnen Standorten und Schlägen zeigen eine hohe Varianz, sodass keine versuchsstandortspezifische Gruppierung nach den Wiesentypen möglich war (Abb. 2). Unabhängig davon kamen im Mittel 8 – 18 Pflanzenarten im Grünland über alle Standorte vor. Damit sind alle Flächen botanisch als artenarm zu charakterisieren. An allen Betriebsstandorten trat überwiegend der WT 1 „Wiesen-Fuchsschwanzwiesen“ auf. Eine zunehmende Etablierung des Wiesen-Fuchsschwanzes (*Alopecurus pratensis*) wurde bayernweit im bayerischen Grünlandmonitoring festgestellt (43). Das hohe Ertragspotenzial des Deutschen Weidelgrases (DW) (*Lolium perenne*) war deutlich auf einer Grünlandfläche des Spitalhofs (I) zu erkennen, auf dem mit 70 % EA an DW ein deutlich höherer Ernteertrag von 122 dt TM/ha im vierjährigen Mittel erwirtschaftet wurde (Tab. 4). Bei der Bewertung der Ertragsleistung von intensiv geführten Pflanzenbeständen sollte die zunehmende Verbreitung des Gewöhnlichen Rispengrases (*Poa trivialis*) kritisch einbezogen werden, da dies bereits an einigen Standorten den Platz als zweit- bzw. drittstärksten HBB bei den Gräsern einnahm (Abb. 2). Darin kann eine Erklärung in den zum Teil niedrigen Erträgen der intensiv bewirtschafteten Praxisflächen liegen. Die Wiesenbestände am Ökobetrieb Kringell erhielten mit durchschnittlichen 10 % Weißklee (*Trifolium repens*)-EA über die N-Fixierung nur eine geringe zusätzliche N-Zufuhr bei der insgesamt hohen Nutzungsintensität des Grünlandes. Die NUE vom Grünland lag im vierjährigen Mittel über die untersuchten Betriebe bei 41 kg TM/kg eingesetzten Dünger-N mit einer Spanne zwischen den Betrieben von 30 bis 56 kg TM/kg N-Düngung (Tab. 4).

Die Ertragsspannen verdeutlichen, dass auf Ernteerträge mehrere der angesprochenen standort- und bewirtschaftungsbedingten Faktoren einwirken. Die Ertragsstabilität zeigt, dass nur über eine

Abgrenzung nach Nutzungsintensität – das häufig für die Ableitung von Ernteerträgen mittels Faustzahlen angeboten wird – keine ausreichend genaue Ertragsabschätzung erzielt werden kann. Anhand ausgewählter Datensätze wird eine weitere Analyse zu den ertragsrelevanten Faktoren vorgenommen.

3.1.2 Ertragsrelevante Faktoren

Um die relative Bedeutung der verschiedenen Einflussgrößen auf die Ertragsbildung der Grünlandbestände statistisch zu analysieren, wurden die Variablen WT, SI, N-Düngung je Schlag und Jahr (N), Summe der Tagestemperaturen > 5 °C je Jahr (Temp), Jahresniederschläge (ND_{Jahr}) und pH-Wert über die Kovarianzanalyse in das statistische Modell einbezogen (Tab. 5).

Tabelle 5:

Ertragsrelevante Faktoren zu den Ernteerträgen (dt TM/ha) sowie deren Schätzwerte der Ertragsfunktion aus der Kovarianzanalyse von ausgewählten Schlägen (n=64)

Effekt	Einheit	Wertebereich	Schätzwert	t-Wert	p-Wert ¹
WT1		-	-172,67	-2,68	0,0100**
WT2		-	-164,69	-2,53	0,0148*
WT3		-	-165,24	-2,54	0,0142*
SI ²	N	3-6	8,4603	3,06	0,0036**
Temp ³	°C	1.638-2.183	0,04260	2,96	0,0047**
N ⁴	kg N/ha	124-415	0,1050	2,63	0,0113*
ND _{Jahr} ⁵	mm/Jahr	685-1.272	0,02759	1,70	0,0958
pH ⁶	-	5,4-6,6	13,2230	1,57	0,1223

¹= p>0,05., p<0,05*, p<0,01**, ²= Schnittintensität; ³= Summe der Tagestemperaturen über 5 °C je Jahr; ⁴= N-Düngung je Schlag und Jahr (kg N_{ges.}/ha); ⁵= Summe der Niederschläge je Jahr; ⁶= pH-Wert je Schlag aus der Bodenuntersuchung.

Mit Differenzierung nach den WT ergeben sich folgende Ertragsfunktionen (y= dt TM/ha u. Jahr):

$$y_{WT1} = -172,67 + (8,4603 \times SI) + (0,04260 \times Temp) + (0,1050 \times N) + (13,2230 \times pH) + (0,02759 \times ND_{Jahr})$$

$$y_{WT2} = -164,69 + (8,4603 \times SI) + (0,04260 \times Temp) + (0,1050 \times N) + (13,2230 \times pH) + (0,02759 \times ND_{Jahr})$$

$$y_{WT3} = -165,24 + (8,4603 \times SI) + (0,04260 \times Temp) + (0,1050 \times N) + (13,2230 \times pH) + (0,02759 \times ND_{Jahr})$$

In dem statistischen Ertragsmodell wird nach den drei Wiesentypen differenziert, da es sich um signifikant unterschiedliche Variable handelt (Tab. 5). Die Ertragsfunktionen erzielten je nach WT eine sehr unterschiedliche Güte in der Anpassung der gemessenen Erträge (Abb. 4). Beim WT 3 wird das höhere Ertragspotenzial des DW durch die höheren EA (mind. >25 % EA) gut wiedergegeben (R²: 0,71). Dagegen steigt für WT 1 (R²: 0,47) und WT 2 (R²: 0,12) der Anteil nicht durch das Modell

erklärter Streuung deutlich an. Eine Ursache kann in der ungenügenden Kategorisierung der Pflanzenbestände in den beiden WT liegen. Als weitere Gräserarten dominieren zum Beispiel alternativ das weniger ertragsstabile Gewöhnliche Rispengras oder das hoch ertragreiche Knaulgras (*Dactylis glomerata*) (Abb. 2) als Bestandsbildner.

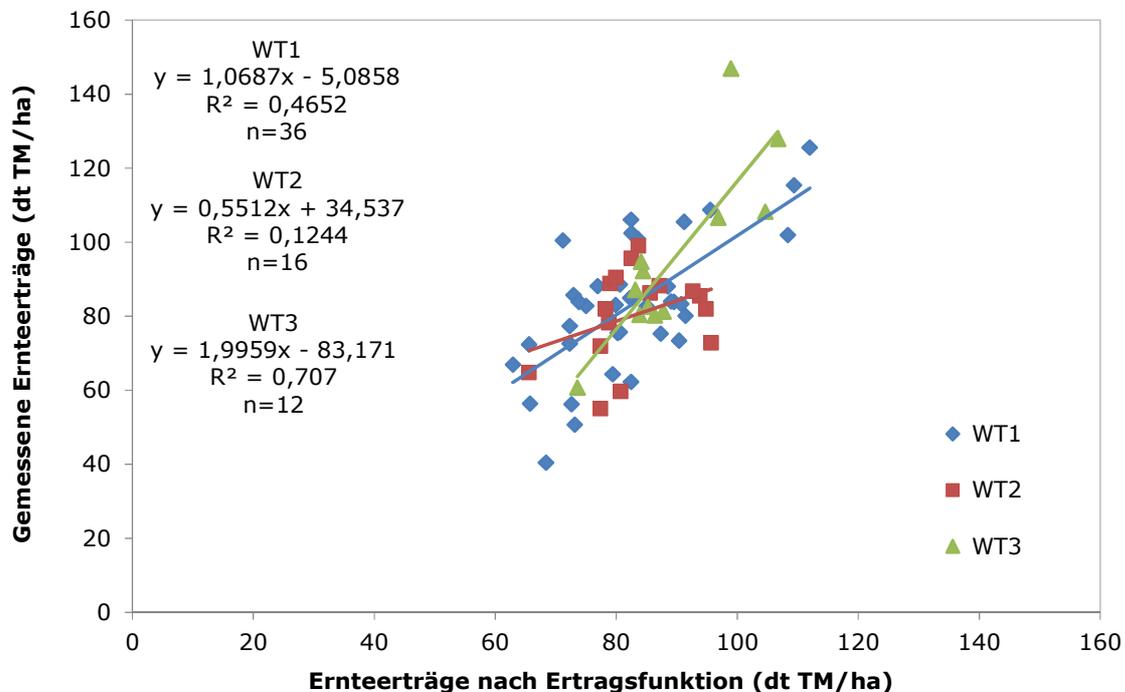


Abbildung 4: Regressionsgleichungen nach den ertragsrelevanten Faktoren differenziert nach den WT

Als entscheidende Einflussfaktoren auf den Ertrag stellten sich SI und N heraus. Somit hat die Bewirtschaftung über die Nutzungshäufigkeit einen deutlichen Einfluss auf die Jahresernteerträge. Bei den Arbeiten zur Kalibrierung von Ertrags- und Qualitätsmodellen gilt die Nutzungsstrategie mit entsprechenden Zeitpunkten und Häufigkeiten als wichtiges Kriterium, die den Ertrag beeinflusst (31; 42; 49). Von den klimatischen Werten wurden Temp und ND_{Jahr} als ertragsrelevante Variable in das Modell einbezogen. Dabei zeigt sich die Temp mit einer Basistemperatur von 5 °C in dem Bereich von 1.638 bis 2.183 °C zwischen den Standorten als eine signifikante Einflussgröße. Die ND_{Jahr} schwankten in den Untersuchungsjahren von 685 bis 1.272 mm zwischen den Standorten erheblich und wurden für eine bessere Anpassung in der Ertragsfunktion mit berücksichtigt. Die Bodennährstoffgehalte Phosphor und Kalium lagen an allen Standorten in optimalen bis (sehr) hohen Gehaltsklassen und waren als ertragsbestimmende Parameter somit nicht signifikant. Obwohl der pH-Wert nur einen tendenziellen Einfluss als Ertragsfaktor nach der statistischen Analyse aufweist, wird durch die Einbeziehung der Variablen in die Ertragsfunktion insgesamt eine genauere Anpassung erzielt. Niedrige pH-Werte im Bereich von 5,4 – 5,6 traten allein am Standort Kringell auf. Diese können negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur und somit auch auf die Ertragsbildung haben.

3.1.3 Ertragsstabilität (FOPROQ-Modell)

Um Aussagen zur Ertragsstabilität von den intensiv geführten Grünlandflächen der Betriebe zu machen, wurden die betreffenden Modellparameter des FOPROQ-Modells (42) mit Hilfe von dreijährigen Erntedaten kalibriert. Eine Gegenüberstellung der simulierten zu den gemessenen Erträgen zeigt anhand des hohen R^2 (0,91), dass eine gute Anpassung des Modells an die bayerischen Standortbedingungen erreicht worden ist (Abb. 5). Dafür spricht auch der niedrige Prognosefehler RMSE (Root Mean Square Error) im Mittel von 2,4 dt TM/ha und Schnitt. Damit wird belegt, dass die grundsätzlichen Modellalgorithmen, die bisher vor allem für nord- und westdeutsche Klimaverhältnisse kalibriert worden sind, auch auf die süddeutschen Klimaverhältnisse übertragbar und somit anwendbar sind.

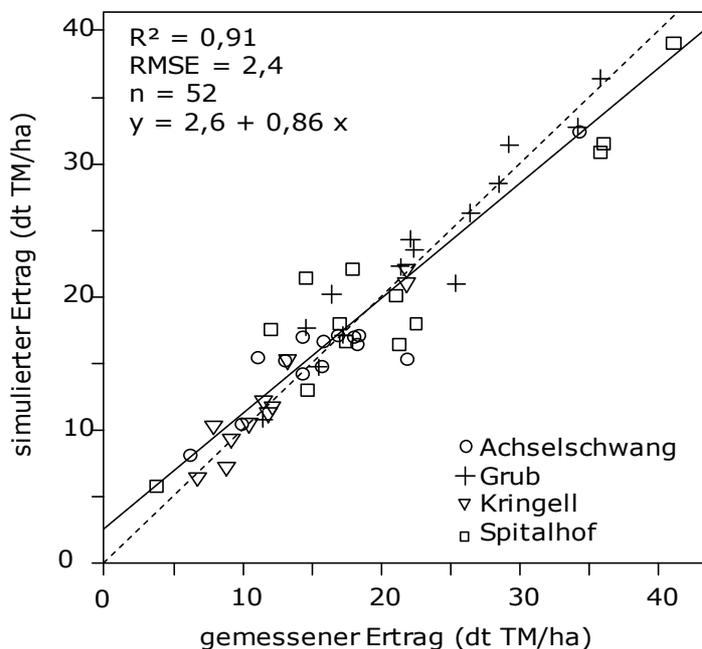


Abbildung 5: Kalibrationsstatistik der simulierten zu den gemessenen Ernteerträgen je Schnitt an vier Betriebsstandorten aus drei Jahren

Die Simulation der Ernteerträge nach dem FOPROQ-Modell über einen Zeitraum von neun Jahren zeigt eine deutliche Varianz zwischen den Standorten und den Jahren (Tab. 6). Je nach Standort wurde im neunjährigen Mittel (2006 – 2014) 66 bis 118 dt TM/ha erzielt mit Variationskoeffizienten je nach Standort von 15 bzw. 21 % CV zwischen den Jahren. Während der Spitalhof und Grub auch über die Langzeitsimulation als ertragsstabil gelten können, gilt dies mit deutlich erhöhten CV-Werten für Achselschwang und Kringell weniger ausgeprägt. Die mittleren Erträge aus der langjährigen Modellsimulation lagen im Vergleich zu den Untersuchungsjahren 2009 – 2011 über den gemessenen Ernteerträgen. Somit ist zu konstatieren, dass die drei Jahre der Datenerhebung auf den Betrieben repräsentative Verhältnisse widerspiegeln.

Tabelle 6:

Simulierte Ernteerträge (dt TM/ha) je Jahr und im neunjährigen Mittel (2006 – 2014) an vier Betriebsstandorten

Jahre	Spitalhof	Grub	Achselschwang	Kringell
2006	88	101	82	53
2007	118	127	130	74
2008	95	113	110	59
2009	105	115	94	84
2010	86	102	76	52
2011	131	126	105	71
2012	99	121	99	59
2013	85	100	71	52
2014	111	157	129	87
neunjähriges Mittel	102	118	100	66
±s	16	18	21	14
cv%	15	15	21	21

3.2 Rohprotein-, Energie- und Nährstoffträge

Rohprotein (XP)- bzw. N-Erträge

Die XP- bzw. N-Erträge lagen im vierjährigen Mittel über alle Betriebsstandorte im Bereich von 1.125 bis 1.662 kg XP bzw. 180 bis 266 kg N/ha und Jahr. Dabei zeigten sich insgesamt hohe Schwankungen zwischen den Jahren, die insbesondere an den Standorten Kringell, Achselschwang und Grub auftraten (\pm s: 385, 267 und 227 kg XP/ha und Jahr) (Tab. 7). Der Spitalhof erzielte mit einem mittleren XP-Gehalt von 166 g XP/kg TM die höchsten XP-Erträge von 1.662 kg XP/ha und Jahr. Am Betrieb Achselschwang sowie Almesbach wurde bei unterschiedlicher Schnittintensität ein gleich hoher XP-Ertrag von 1.317 kg XP/ha und Jahr erwirtschaftet. Am Ökobetrieb Kringell wurde von ausgewählten Grünlandschlägen (drei Schläge) 1.125 kg XP/ha und Jahr mit 178 g XP/kg TM erzielt. Über alle Betriebe lagen die mittleren XP-Gehalte im Bereich von 164 bis 178 g XP/kg TM, wobei auch hier deutliche Schwankungen zwischen den Jahren auftraten (Tab. 7). Extreme Witterungssituationen, u. a. die Frühjahrstrockenheit 2011 und die damit verbundene geringere Stickstoffmobilisierung haben sich deutlich in niedrigeren XP-Gehalten widerspiegelt (36). Jedoch sind insgesamt hohe XP-Gehalte durch frühe Schnittzeitpunkte von den intensiv geführten Grünlandbeständen erzielt worden.

Tabelle 7:

XP- bzw. N- und Energie-Erträge (±s) vom Grünland sowie mittlere XP-, N-, Energie- bzw. Mineralstoffgehalte¹ und N:S-Quotient² der Betriebe bei Silagenutzung (Analysen vom Anwelkgut) im vierjährigen Mittel (2009 – 2012) mit Angabe der Schnittintensität (SI)

Parameter	Spitalhof	Grub	Achsel-schwang	Almesbach	Kringell ³
SI	4–5	4–5	4–5	3–4	4–5
N-Ertrag, kg N/ha	266 ±10	242 ±36	211 ±43	219 ±31	180 ±62
XP-Ertrag, kg XP/ha	1.662 ±61	1.514 ±227	1.317 ±267	1.317 ±193	1.125 ±385
N-Gehalt, g/kg TM	26,5 ±1,5	27,4 ±2,6	26,3 ±2,9	26,7 ±1,8	28,5 ±0,9
XP-Gehalt, g/kg TM	166 ±9	171 ±16	164 ±18	167 ±11	178 ±6
nXP-Gehalt, g/kg TM	139 ±3	136 ±2	136 ±3	135 ±6	137 ±1
RNB, g/kg TM	4,4 ±1,6	5,7 ±2,3	4,5 ±2,8	5,2 ±1,6	6,6 ±0,8
Energie-Ertrag, GJ NEL/ha	63 ±5	53 ±6	48 ±4	49 ±6	38 ±13
Energie, MJ NEL/kg TM	6,2 ±0,3	6,0 ±0,1	6,1 ±0,3	6,0 ±0,4	6,0 ±0,2
P-Gehalt, g/kg TM	3,9 ±0,2	3,8 ±0,2	4,1 ±0,2	3,7 ±0,2	3,8 ±0,1
K-Gehalt, g/kg TM	27,4 ±1,2	23,6 ±1,5	28,2 ±1,3	27,4 ±1,6	28,5 ±1,6
Mg ⁴ -Gehalt, g/kg TM	2,5 ±0,1	2,8 ±0,1	2,5 ±0,2	2,8 ±0,2	2,6 ±0,1
N:S-Quotient, N:S	12:1 ±0,2	9:1 ±0,9	10:1 ±1,3	11:1 ±0,6	12:1 ±0,3

¹= nach Ernteertrag gewichtete Mittelwerte je Schnitt und Jahr mit Standardabweichung (±s) zwischen den Jahren; ²= Stickstoff:Schwefel-Verhältnis; ³= Berechnung anhand ausgewählter Grünlandschläge; ⁴= Magnesium.

Der XP-Ertrag ist eine Funktion des TM-Ertrages und des XP-Gehaltes. Bei Intensivnutzungssystemen des Grünlands wie im vorliegenden Fall ist eine enge Korrelation zwischen TM- und XP-Ertrag gegeben (Abb. 6), während der XP-Gehalt den XP-Ertrag nur marginal beeinflusst.

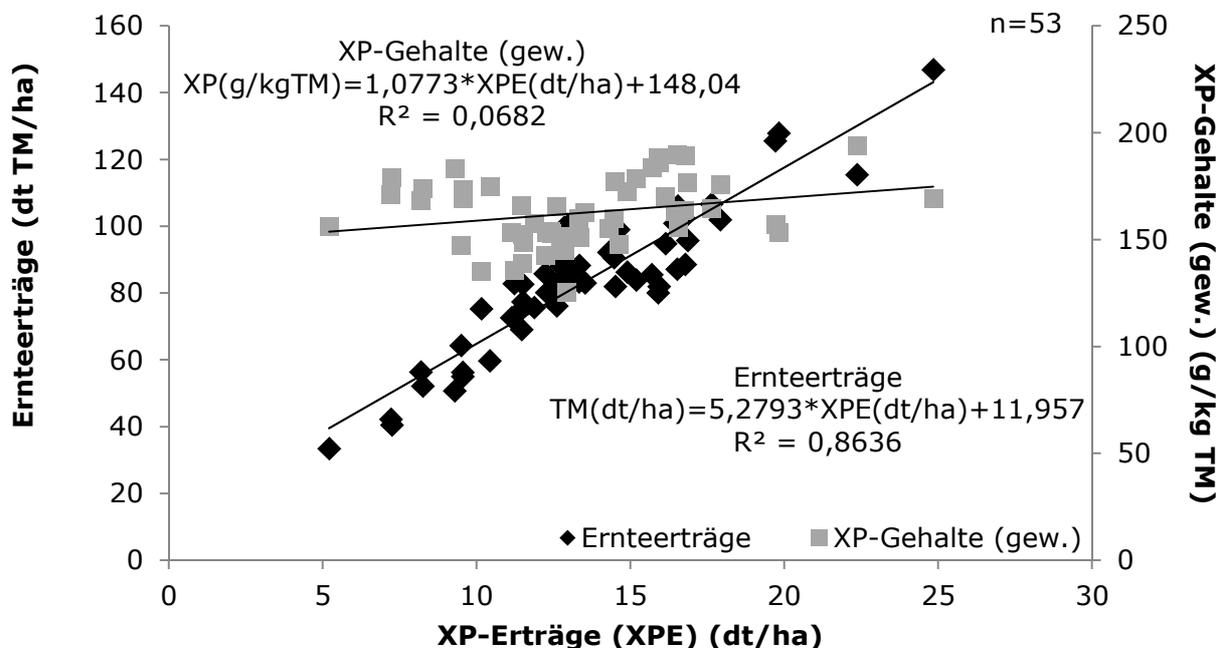


Abbildung 6: Regression der Ernteerträge (dt TM/ha) und der XP-Gehalte (gewichtete nach TM-Ertrag (g/kg TM) auf die XP-Erträge (XPE) (dt/ha)

Der absolute Rohproteingehalt ist zur Bewertung von Grasprodukten für die Milchviehfütterung allein nicht ausreichend. Neben dem Rohprotein sind das nutzbare Rohprotein am Duodenum (nXP), das im Pansen unabgebaute Protein (UDP), die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) sowie die Gehalte und Erträge an umsetzbarer Energie (ME) wichtige Größen (23; 57; 36). Für das Anwelkgut vom Grünland ergaben sich Werte im vierjährigen Mittel im Bereich von 135 bis 139 g nXP/kg TM bzw. 4,4 bis 6,6 g RNB/kg TM (Tab. 7) und liegen somit im Bereich der Orientierungswerte für Frischgras und gute Grassilagen (15; 59).

Energieerträge

Von den Grünlandflächen wurden über alle Standorte Energieerträge von 38 bis 63 GJ NEL/ha und Jahr erzielt (Tab. 7). Die mittleren Energiegehalte lagen im Bereich von 6,0 bis 6,2 MJ NEL/kg TM. Die große Spanne in den Energieerträgen wurde nahezu ausschließlich durch die Ertragsleistung der Flächen beeinflusst und kaum durch die Variation der Energiegehalte. Stärkere Schwankungen in den Energiedichten (\pm s: 0,4) traten am Standort Almesbach auf, da sich in bestimmten Untersuchungsjahren witterungsbedingt der Erntetermin des 1. Schnittes deutlich nach hinten verschob. Die Energiedichte wird vorrangig durch Schnittzeitpunkt bzw. Pflanzenbestand im Grünland bestimmt, nicht jedoch durch das TM-Ertragsniveau. Die höchsten und stabilsten Energiegehalte und -erträge wurden am Spitalhof erzielt (6,2 MJ NEL/kg TM; 63 GJ NEL/ha). Dafür spricht, dass die Pflanzenbestände am Spitalhof neben der hohen Ertragsleistung einen höheren Anteil an hochwertigen Gräsern und Kräutern aufwiesen (Abb. 2). Hohe Energiegehalte im Grobfutter sind eine der Voraussetzungen für hohe Futtaufnahmen (14).

Nährstofferrträge

Die P-Erträge lagen über alle Betriebsstandorte im Bereich von 24 bis 39 kg P/ha und Jahr bei P-Gehalten von 3,7 bis 4,1 g P/kg TM im vierjährigen Mittel (Tab. 8 und 7). Die P-Gehalte des Erntegutes lagen insgesamt über dem bundesweiten Durchschnitt von 3,3 g P/kg TM bei Grassilagen (62). In der Literatur werden übereinstimmend Ertragsgrenzwerte für maximale TM-Erträge von \sim 2,8 g P/kg TM angegeben (26; 25). Unter Berücksichtigung der ebenfalls sehr hohen Boden-P-Vorräte ist somit von einer gewissen P-Übersorgung der konventionell bewirtschafteten Grünlandbestände auszugehen (Tab. 1 und 8).

Die K-Erträge ergaben Abfuhrerträge im Bereich von 181 bis 275 kg K/ha an allen Standorten (Tab. 8). Dabei lagen die K-Gehalte mit 23,6 bis 28,5 g/kg TM auf einem hohen Niveau (Tab. 7) und weisen auf einen Kalium-Luxuskonsum (bedingt durch hohe N-Aufnahmen der Bestände in Form von Nitrat) hin, der sich negativ auf die Mg-Aufnahme auswirken kann. Als Ertragsgrenzwert wird beim Kalium ein Wert von 20 g/kg TM als ausreichend angesehen (26). Ebenso zeigt der N:S-Quotient von 11:1 über alle Grünlandflächen keinen Schwefelmangel an, der sich auf das Ertragspotenzial auswirken könnte. Weitere Untersuchungen zum Grünland in Bayern weisen bei den Mineralstoffgehalten insbesondere

bei höheren Nutzungsintensitäten sehr hohe P- und K-Gehalte aus (11). Dabei waren deutlich höhere K-Gehalte mit 31,5 bzw. 34,0 g/kg TM bei den Vier- bzw. Fünf-Schnittwiesen auffällig und liegen somit deutlich über den Faustzahlen der bayerischen Landwirtschaftsverwaltung (79). Die Ergebnisse zu den grünlandbezogenen Nährstoffabfuhrungen zeigen die großen Streubreiten auf, die bei den NPK-Erträgen in der Praxis vorkamen.

3.3 Nährstoffsalden vom Grünland

Die Gehaltsklassen D bzw. E bei den P- und K-Bodenwerten vom Grünland der untersuchten Betriebsstandorte belegen eine langjährige viehintensive Grünlandbewirtschaftung (Tab. 8). Die Nährstoffbilanzen des intensiv bewirtschafteten Grünlands ergaben über die aggregierten Grünlandflächen der Betriebe unterschiedliche Ergebnisse in den NPK-Salden im vierjährigen Mittel (Tab. 8). Mit Ausnahme des Spitalhofs wurden positive N-Salden im Bereich von 4 bis 69 kg N/ha und Jahr gemessen. Die negativen NPK-Salden des Grünlands am Standort Spitalhof werden durch höchste Nährstoffabfuhrungen bei hohen TM-Erträgen verursacht.

Tabelle 8:

Nährstoffsalden der aggregierten Grünlandflächen je Betrieb über Nährstoffzu- und -abfuhrungen (NPK) im vierjährigen Mittel (2009 – 2012)

Betriebe		Spitalhof	Grub	Achsel- schwung	Almesbach	Kringell ¹
SI	n	4–5	4–5	4–5	3–4	4–5
Gehalts- klasse ²	P	D	E	E	C	C
	K	D	C	E	B	C
Zufuhr ³	N (kg/ha), CV (%)	204 (10)	312 (12)	266 (2)	278 (10)	184 (2)
	P (kg/ha), CV (%)	33 (10)	17 (16)	51 (8)	38 (23)	43 (4)
	K (kg/ha), CV (%)	162 (12)	160 (17)	202 (5)	164 (26)	191 (3)
Abfuhr ³	N (kg/ha), CV (%)	266 (4)	242 (15)	211 (20)	219 (14)	180 (34)
	P (kg/ha), CV (%)	39 (3)	34 (12)	33 (14)	30 (10)	24 (28)
	K (kg/ha), CV (%)	275 (4)	209 (11)	225 (14)	224 (7)	181 (33)
Saldo⁴	N (kg/ha), (\pm s)	-62 (12)	69 (33)	55 (39)	59 (48)	4 (8)
	P (kg/ha), (\pm s)	-5 (4)	-17 (6)	18 (6)	8 (11)	19 (6)
	K (kg/ha), (\pm s)	-112 (21)	-48 (30)	-24 (31)	-60 (48)	10 (60)

¹= Saldierung auf Basis drei ausgewählter Grünlandschläge über die Jahre 2009 – 2011; ²= siehe auch Tab. 1, ³= jährliche NPK-Zufuhren (mit N_{fix.}) und -Abfuhrungen im vierjährigen Mittel mit Variationskoeffizienten (CV) zwischen den Jahren auf Basis der aggregierten Grünlandflächen, ⁴= NPK-Salden im vierjährigen Mittel der jährlichen NPK-Salden mit \pm s zwischen den Jahren, N-Saldo als Bruttobilanz (siehe Kap. 2.2.5).

Beim Phosphor ergaben sich über die ausgewählten Betriebe positive wie negative Salden, die deutlich von der Art und Höhe der Düngung beeinflusst wurden, auch bei vorwiegendem Einsatz von Wirtschaftsdüngern. So waren für die Grünlandflächen in Achselschwang die N/P-Zufuhren im Verhältnis zu den Abfuhren zu hoch. Ferner führte auf dem Ökobetrieb Kringell die Düngung mit Stallmistkompost bei weitgehend ausgeglichenen N-Salden zu positiven P-/K-Salden. Die divergierenden Ergebnisse in den N-/P-/K-Salden ergaben sich durch die unterschiedlichen Düngerformen und untermauern die Bedeutung von Analysen der eingesetzten Wirtschaftsdünger um entsprechend den Düngebedarf richtig zu ermitteln. An den meisten Standorten zeigten sich deutlich die hohen K-Abfuhren mit negativen K-Salden im Bereich von -24 bis -112 kg K/ha und Jahr (Ausnahme Kringell mit 10 kg K/ha und Jahr). Dies steht in Zusammenhang mit den angesprochenen hohen K-Gehalten im Erntegut (siehe 3.2; Tab. 7), die bis auf Almesbach mit hohen Boden-K-Werten korrespondieren.

4 Diskussion

4.1 Produktivität des Grünlands

In einer Studie zur Abschätzung der Grünlandproduktivität in Europa wurde die Bedeutung der Ertragsleistung des Grünlandes für die Milcherzeugung herausgestellt (58). Mit Hilfe eines statistischen Modells unter Einbeziehung regionaler Daten wurden so für Deutschland durchschnittlich 86 dt TM/ha an Ernteerträgen berechnet mit einer sehr hohen Variabilität in Abhängigkeit der klimatischen Faktoren. Die Ernteerträge von intensiv bewirtschafteten Grünlandbeständen unter bayerischen Standortbedingungen in unserer Studie reichten je nach Nutzungsintensität und Standort von 65 – 97 dt TM/ha im vierjährigen Mittel (Tab. 4). Dabei verdeutlicht die Ertragsanalyse, welche hohe Variabilität bei den Ernteerträgen auf kleinräumiger Skala zu berücksichtigen ist. Die gemessenen, teils hohen Ertragsunterschiede zwischen einzelnen Schlägen (siehe Abb. 3) sind trotz ähnlichem Bewirtschaftungsniveau erheblich, sodass schlagbezogene Ertragsinformationen unter anderem für die Düngebedarfsermittlung des Landwirts evident sind. Gleichzeitig blieben die mittleren Ernteerträge von den Grünlandflächen aus der Praxis teils hinter den geschätzten Erträgen nach den geltenden Faustzahlen der bayerischen Landwirtschaftsverwaltung (79; 11) zurück. Die in der bayerischen Beratung eingesetzte Kategorisierung nach WT (79) erfordert eine ausreichende Artenkenntnis, die häufig in der Praxis nicht vorhanden ist. Nur für den WT 3 („Weidelgras reiche Wiesen“) konnte ein ertragsrelevanter Effekt durch den Pflanzenbestand festgestellt werden, da sich bei diesem WT das höhere Ertragspotenzial des wichtigsten Futtergrases DW durch höhere EA bemerkbar machte. In einem Grünland-Monitoring auf bayerischen Wiesen, mit dem der höchste mittlere Ertrag der wichtigsten Gräser ermittelt wurde, stand das DW jedoch erst an fünfter Stelle (43). Eine Langzeitstudie von Laidig et al. (44) zum Ertragszuwachs landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in den zurück liegenden 30 Jahren belegt u. a. für das DW einen züchterischen Fortschritt für den TM-Ertrag von

0,15 % pro Jahr aus den Daten der Wertprüfung, anhand von Praxiszahlen lag dafür keine Datenbasis vor (44). Daraus resultiert, dass die Nutzung von Zuchtfortschritten in der Gräserzüchtung nur über erhöhte Anteile des DW in der Praxis genutzt werden kann, da einerseits nur für diese Spezies solche Zuchtfortschritte dokumentiert sind (58; 44; 54) und andererseits gezeigt wurde, dass Reinbestände von Gewöhnlichem Rispengras gegenüber solchen von DW Ertragsreduktionen von 50 % aufweisen können (27).

Fundierte Wachstums- und Futterqualitätsmodelle bieten zunehmend die Möglichkeit, Ertragsleistung und Qualitätsveränderung von Grünlandaufwüchsen über ganze Vegetationsperioden vorherzusagen (42; 31; 49). Für die Modelloptimierung sind Feldversuchsdaten notwendig, um Einflüsse von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Erträge und Qualitäten im Modell zu parametrisieren. Anhand der Praxisdaten konnten die Modellparameter des FOPROQ (42) an die bayerischen Standortbedingungen gut angepasst werden (Abb. 5), um so eine langjährige Ertragssimulation vorzunehmen. Die simulierten Ernteerträge zeigen hohe Varianzen zwischen den Standorten bzw. zwischen den Jahren auf, die durch Umwelt- als auch Bewirtschaftungseffekte verursacht wurden. Dabei sind die hohen jahresbedingten Ertragsschwankungen auffällig, die die Ertragsstabilität des Grünlands an einigen der Standorte eingrenzt. Eine verminderte Ertragsstabilität resultiert konsequenterweise in einem reduzierten ökonomischen Düngungsoptimum (49), das unsere Betriebsdaten so nicht dokumentieren. Für intensiv geführtes Grünland stellen somit Ertragsmodelle ein geeignetes Werkzeug für die regionale Prognose dar. Jedoch vermitteln die hohen Ertragsspannen, die innerhalb einer Nutzungsintensität und an einem Standort auftreten, dass die kleinräumigen Effekte auf den Ertrag auch über Ertragsmodelle nicht ausreichend abgebildet werden können. In Summe resultiert daraus, dass technische Lösungen zur Erfassung der schlaggenauen TM-Erträge (z. B. Durchflussmessungen am Häcksler) notwendig sind, um eine entsprechende standortgerechte Nährstoffversorgung der Bestände zu gewährleisten. Entsprechende Techniken sind in der Entwicklung bzw. vor allem im überbetrieblichen Einsatz verfügbar (39; 74; 41).

4.2 Rohprotein- und Energieerträge vom Grünland

Energie und Rohprotein sind die wesentlichen Qualitätsmerkmale von Grünlandaufwüchsen. Entsprechend ist die Wahl des Nutzungszeitpunktes primär durch den Energiegehalt des Futters zur Ernte determiniert. Randby et al. (50) belegen in einer Untersuchung zu hohen Grobfutterqualitäten mit Wiesen-Lieschgras (*Phleum pratense*) dominierenden Beständen, dass durch sehr frühe Nutzungszeitpunkte hohe Grobfutterleistungen zu erzielen sind. In Intensivgrünlandssystemen zur Milchviehfütterung werden im Jahresdurchschnitt Werte $> 6,1$ MJ NEL/kg TM angestrebt und im Primäraufwuchs möglichst Werte $> 6,4$ MJ NEL/kg TM (15). Dies bedingt hohe Anteile von DW im Bestand und mindestens 4 – 5 Nutzungen/Jahr. Diese Zielwerte werden in der vorliegenden Studie insbesondere mit den DW reichen Beständen am Spitalhof realisiert. Auf Basis der durch die Ansprüche an Energiedichte vorgegebenen Nutzungshäufigkeiten ist es in der Rinderfütterung ein weiteres Ziel, eine überwiegende Rohproteinversorgung aus dem Grobfutter sowohl aus

ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen (N-Saldo) anzustreben (57; 32). Bei den untersuchten Betrieben lag der Anteil des Rohproteins aus dem Grobfutter zu Beginn des Untersuchungszeitraums zwischen 41 und 61 % (41). Mit den gesetzten Zielen der Eiweißstrategie über Bund- und Länderprogramme werden dem Grünland in der Diskussion um Einsparpotenziale beim Eiweißimport in der Rinderfütterung die größten Reserven zugesprochen (67; 55). Rund ein Drittel des importierten Sojaproteins wird derzeit in der Rinderfütterung eingesetzt (67). Über eine Steigerung der Eiweißerträge von 3 % aus dem Grobfutter könnten rund 206.000 t XP pro Jahr an Kraftfutteeiweiß eingespart werden (67).

Die XP-Erträge der Betriebe zeigten große Ertragsspannen von 11 bis 17 dt XP/ha und Jahr (Tab. 7). Dabei hatte die TM-Ertragsleistung den höheren Einfluss auf die XP-Erträge als die erzielten XP-Gehalte (Abb. 6). Eine hohe NUE ist somit die Voraussetzung für gleichermaßen hohe XP-Gehalte und -erträge und diese hohe NUE wiederum setzt hohe Ertragsanteile an DW voraus (31; 12). Die Ansätze zur Verbesserung der XP-Ertragspotenziale liegen in den Bewirtschaftungsmaßnahmen, d. h. da Nutzungszeitpunkt und -häufigkeit primär durch die Energiedichteansprüche determiniert sind, sind vor allem N-Düngung und bestandsverbessernde Maßnahmen (Nachsaat, Kalkung etc.) zu nennen. Im vorliegenden Fall wird der in der Literatur häufig angeführte optimale „Rohproteinkorridor“ von 160 bis 180 g XP/kg TM zumeist eingehalten. In einem bundesweiten Projekt wurden die optimalen N-Intensitäten im Grünland bei Hochleistungsbeständen untersucht (32). Die Ergebnisse belegen einerseits die hohe N-Aufnahmekapazität DW dominierender Bestände, andererseits streute die optimale N-Zufuhr erheblich je nach Standort und der gewünschten Zielsetzung (Ertrag, Futterqualität). Am Spitalhof lagen die optimalen N-Zufuhren bei 313 kg N/ha für den Ertrag (Grenzertrag: 10 kg TM/kg N) bzw. bei 149 kg N/ha für den XP-Gehalt (Zielwert: 180 g/kg TM). Höhere Rohproteingehalte von Grünlandkonserven bis ~ 200 g/kg TM können durchaus im Sinne der Maximierung der nXP-Versorgung wie der RNB opportun sein, wenn alternative Rationskomponenten mit negativer RNB (z. B. Mais) zur Verfügung stehen (32). Das Fazit der Untersuchung ist, dass unterschiedliche Strategien zur Ausschöpfung des Ertrags- und XP-Potenzials verfolgt werden können, ohne dabei den N-Saldo negativ zu beeinflussen. Insbesondere über die Wahl des Konservierungsverfahrens kann die Versorgung mit nXP gesteuert werden (19). Der Anteil an XP aus dem Grobfutter wurde während des Versuchszeitraums an den untersuchten Betrieben durch ein verbessertes Grobfuttermanagement gesteigert (41). Gleichwohl weisen die auf den Betrieben im Anwelkgut realisierten nXP-Werte von durchgängig unter 140 g darauf hin, dass das Potential aus dem Zusammenspiel von erhöhter Energiedichte zugunsten erhöhter nXP-Werte noch nicht ausgeschöpft ist (64; 65). Die GfE (23) empfiehlt eine RNB von 0 – 50 g N pro Kuh und Tag um Eiweißüberschüsse zu vermeiden. Insofern stellen die beobachteten Werte vom Anwelkgut von 4,4 bis 6,6 g N in der RNB für diese Futterkomponente eine ausgeglichene Eiweißsituation dar und gewährleisten je nach Gestaltung der Gesamtration eine hohe potentielle Stickstoffnutzungseffizienz durch das Tier (59).

Im Durchschnitt lagen die XP-Erträge unter den bayerischen Standortbedingungen von intensiv geführtem Grünland bei rund 14 dt XP/ha und Jahr. Im Vergleich zu weiteren Futterpflanzen an den

untersuchten Standorten erzielten der Silomais 11 dt XP/ha sowie das Klee gras an einem Standort 17 dt XP/ha im vierjährigen Mittel (41). Aus Sortenversuchen in Bayern erreichte die Sojabohne rund 9,4 dt XP/ha (46; abzgl. 15 % Verluste) und die Luzerne rund 21 dt XP/ha (45; abzgl. 25 % Verluste). Neben dem hohen XP-Potenzial von Luzerne und Klee gras, deren Anbau in die Fruchtfolge zu integrieren ist, liefert das Grünland bei einer relativ hohen Ertragsstabilität die höchsten XP-Erträge pro Flächeneinheit. Eine Erweiterung des Körnerleguminosenanbaus ist nach wie vor sehr stark von der Wettbewerbsfähigkeit der Ackerfrucht abhängig und weist noch erhebliche Ertragsrisiken auf (1; 67). Weiter sind in der Diskussion um die heimischen Eiweißfutterprodukte der zusätzliche Flächenbedarf von Eiweißfrüchten vom Acker und die damit zusammenhängenden Effekte einer indirekten Landnutzungsänderung zu beachten (29).

4.3 Optimierungspotenziale im Futterbausystem

Die Ertragsanalyse unter bayerischen Standortbedingungen verdeutlicht die Variabilität in den Ernteerträgen vom Grünland, die standort-, bewirtschaftungs-, jahres- und schlagbedingt auftraten. Trotz hoher jahresbedingter Variabilität (15 – 21 %), die langjährig erhoben wurde, liefert das Grünland eine relativ hohe Ertragsstabilität, die für einen Milchvieh-/Futterbaubetrieb entscheidend ist. Da Schnittintensität und N-Düngung als wesentliche ertragsrelevante Faktoren ermittelt wurden, kann die Grünlandnutzung in Bezug auf Ertrag und Qualität über Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie im Sinne einer effizienten und umweltgerechten Düngepraxis gesteuert werden. Die Grundlage für diese gezielte Steuerung der Grünlandbewirtschaftung liegt in einer möglichst schlagbezogenen Ertragsermittlung. Darauf aufbauend können fundierte Kalkulationen und Planungen, wie z. B. Dünge- und Futterplanung erfolgen. Die Nährstoffsalden über die aggregierten Grünlandflächen verdeutlichen den hohen Einfluss der Ernteerträge auf die NPK-Abfuhr und somit auf die Bilanzsalden. Für N- und P-Salden gelten auf Betriebsebene bereits verbindliche Zielwerte, die in der DüV geregelt sind. Über eine fundierte NPK-Bilanz auf den Grünlandflächen ist es möglich, eine entzugsorientierte Düngung in der Praxis exakt umzusetzen. Darin liegt ein erhebliches Optimierungspotenzial unter Einhaltung umweltrelevanter Kriterien. Zur angemessenen Systembewertung werden aufgrund der hohen Heterogenität in den betrieblichen N-Flüssen bereits einzelbetriebliche Betrachtungen gefordert (68; 48). Dafür sollte die N-Effizienz als Referenz- und Zielgröße zur Beurteilung umweltverträglicher Landwirtschaft stärker etabliert werden (68). Aus Versuchsergebnissen von Weidelgras betonten Grünlandbeständen sind bei hohen Nutzungsintensitäten mit negativen N-Salden günstige NUE von über 60 kg TM/kg Dünger-N abgeleitet worden (8; 12). Dieses Verhältnis weist auf ein hohes N-Nachlieferungspotenzial solcher hochproduktiver Grünlandstandorte hin (12), das durch die Ergebnisse von den untersuchten Praxisflächen vom Spitalhof mit einer NUE von 53 kg TM je kg eingesetzten Dünger-N bei konstant negativem N-Saldo bestätigt wird. Für die Betriebe mit geringeren NUE (~ 32 kg TM/kg Dünger-N) und mit positiven N-Salden sind verstärkt Strategien für einen effizienten Düngeinsatz in der Grünlandbewirtschaftung zu verfolgen (71). Wesentliche Ansätze dafür liegen in verbesserten

Gülleapplikationstechniken, die eine möglichst hohe N-Verwertung der Gülle gewährleisten. Geringe NUE in Verbindung mit vergleichsweise hohen Anteilen von unerwünschten Gräsern wie Gewöhnliches Rispengras und Wiesen-Fuchsschwanz lässt auch auf verdichtete Böden schließen, da diese Gräser im Gegensatz zum DW an verminderten Sauerstoffpartialdruck im Boden adaptiert sind. Verschiedene Untersuchungen belegen gleichermaßen die ertragslimitierende Wirkung von Bodenverdichtungen (10), wie die negativen Effekte auf die NUE und auf erhöhte Treibhausgas-Emissionen (56).

Je nach Standortbedingungen und gewünschter Nutzungsstrategie sind in der Grünlandnutzung Reserven in Bezug auf Ertrags- und XP-Potenziale vorhanden. Die Untersuchung zum möglichen Leistungspotenzial von DW dominierenden Beständen verdeutlicht, dass bei intensiver Schnittnutzung entsprechend hohe NPK-Abfuhr von der Fläche erfolgen, ohne dass dabei N-Austräge vermehrt auftreten (32). Auch hier zeigen sich Möglichkeiten mit Hilfe der Ertragsermittlung solche hochproduktive Standorte fachgerecht und optimal zu nutzen. Die unterschiedlichen Ertragspotenziale an den Standorten unterstützen die Forderungen nach regionalen Düngeempfehlungen (32). So könnte in Zukunft mit Hilfe schlagbezogener Ertragsdaten die Derogationsregelung ohne negative Umwelteffekte verstärkt in Anspruch genommen werden.

Im DAIRYMAN-Projekt wurde insbesondere die Problematik der Nährstoffsituation in viehintensiven Betriebssystemen in Nordwesteuropa aufgegriffen (20; 30; 7). Insbesondere zur P-Problematik waren die hohen Schwankungen in den P-Salden auf Betriebsebene, die zwischen den Partnerregionen auftraten, teils durch hohe Kraftfutteranteile verursacht (20). Anhand der Nährstoffbilanzen über die aggregierten Grünlandflächen für P und K zeigt sich die Nährstoffsituation in den untersuchten Betrieben. Die P- und K-Werte in den Boden-Gehaltsklassen D bis E vom Grünland der untersuchten Standorte verdeutlichen eine langjährige viehintensive Grünlandbewirtschaftung. Auf die hohen Bodennährstoffgehalte ist mit der Unterlassung von Mineraldüngergaben über einige Jahre zu reagieren, gegebenenfalls auch mit der Abgabe von Wirtschaftsdüngern. Bei der Düngeempfehlung für Phosphor ist auf die Bodenuntersuchungswerte zurückzugreifen. Auf Basis neuerer Versuchsergebnisse wurde aktuell vom VDLUFA in einem Positionspapier zur Phosphordüngung vorgeschlagen, die Richtwerte für die Gehaltsklasse C herabzusetzen (76). Weitere Untersuchungen zur P- und K-Versorgung im Grünland verdeutlichen, dass allein vom P- und K-Status des Bodens nicht ausreichend auf den Düngebedarf geschlossen werden kann (9; 26). Für eine fachgerechte Düngeempfehlung wird die Einbeziehung der Mineralstoffgehalte aus den Futteranalysen empfohlen. Auf dieser Datengrundlage kann eine entzugsorientierte und teilflächenspezifische Düngeplanung aufgestellt werden, die kurz- und langfristig als betriebliches Controlling zur Düngung dient.

5 Schlussfolgerungen

Die Analyse des Grünlandmanagements und der Grünlandproduktivität unter bayerischen Standortbedingungen bestätigt die eingangs aufgestellte These, dass das Grünland für Milchvieh-

/Futterbaubetriebe eine sehr wertvolle Ressource als Energie- und Eiweißlieferant ist, die aber noch erhebliche Reserven aufweist. Um ein optimiertes und gleichzeitig umweltschonendes Produktionsmanagement in der Praxis zu erzielen, muss auf die hohe Variabilität im Ertrag und damit in den Nährstoffabfuhr mit einem konsequenten Erfassen von Menge und Qualität reagiert werden. Diese Ertrags- und Qualitätsdaten liefern in Verbindung mit Prognosemodellen für Zuwachs- und Qualitätsdynamik die Grundlage für eine verbesserte Steuerung der Futterwirtschaft und erhöhen die Aussagekraft von Nährstoffbilanzen für das gesamte Betriebsmanagement. So kann innerbetrieblich über eine Schlagbilanz eine Schwachstellenanalyse in der Düngepraxis erfolgen. Ferner liefern die Ertragsinformationen die Basis für eine entzugsorientierte Düngung, ermöglichen das Rohproteinpotenzial und damit die Grobfutterleistung besser auszuschöpfen und gewährleisten eine optimale Nährstoffverteilung im Betrieb. Bei Problemen mit Nährstoffüberschüssen in spezialisierten Milchvieh-/Futterbaubetrieben ist in erster Linie ein optimiertes Wirtschaftsdüngermanagement zu verfolgen (71). Insbesondere im Grünland gilt es höhere Effizienzen zu erreichen (41; 40). Die Auseinandersetzung mit dem Produktionsvermögen des Grünlands und den Stoffflüssen im Milchvieh-/Futterbaubetrieb führt grundsätzlich zu einer höheren Wertschätzung der Ressource Grünland und fördert somit eine nachhaltige Nutzung. Die Betrachtung ist nach Möglichkeit bis zu den erzeugten Produkten Milch, Fleisch und Leder zu erweitern. Dies beinhaltet auch die Minimierung der Verluste an Menge und Qualität von der Fläche bis zum Trog und den effizienten Einsatz der Grobfutter in der Ration (41). Klare Begrifflichkeiten und Definitionen zu den verschiedenen Ebenen des Flächenertrags sollten Anwendung finden (40).

Zusammenfassung Leistungen vom Grünland im Futterbaubetrieb – Analyse auf Betriebsebene unter bayerischen Standortbedingungen

Von intensiv geführten bayerischen Grünlandbeständen wurde auf Betriebs- und Schlagebene eine umfassende Ertragsanalyse durchgeführt. Dabei weisen die Ernteerträge abhängig von Standort, Bewirtschaftung, Jahr und Schlag eine hohe Variabilität auf. Als wesentliche ertragsrelevante Faktoren wurden Schnittintensität und N-Düngung ermittelt, sodass mit angepassten Bewirtschaftungsmaßnahmen das Leistungspotenzial des Grünlandes zu steuern und somit zu optimieren ist. Über eine Ertragssimulation wurde mit Hilfe des Modells FOPROQ eine weitgehend hohe Ertragsstabilität über einen neunjährigen Zeitraum von den Grünlandbeständen ermittelt. Dieses Ertragsmodell konnte anhand der Praxisdaten sehr gut an die bayerischen Standortbedingungen angepasst werden und eignet sich somit für regionale Prognosen von intensiv geführten Grünlandbeständen. Jedoch erfordert die Erhebung schlaggenauer Ertragsinformationen den Einsatz technischer Lösungen in der Praxis. Um von Intensivgrünlandssystemen eine hohe Produktivität und Qualität zu erzielen, müssen Maßnahmen zur besseren Etablierung des DW wie z. B. Übersaaten in den Grünlandbeständen ergriffen werden. Insbesondere für eine höhere Energie- und

Rohproteinversorgung vom Grobfutter sind im Grünlandmanagement noch Reserven vorhanden. Die Nährstoffsalden vom Grünland zeigen überwiegend annehmbare N-Überschüsse, aber die hohen P- und K-Bodengehalte der Grünlandböden deuten auf einen Verlauf mit hohen P- und K-Überschüssen hin. Daraus folgt, dass ein effizientes Nährstoffmanagement unter Beachtung einzelbetrieblicher Optimierung und umweltrelevanter Kriterien nur mit einem konsequenten Messen von Menge und Qualität zu erreichen ist. Die Ergebnisse der Ertrags- und Qualitätsanalyse untermauern den Stellenwert des Grünlands als wichtigen Energie- und Eiweißlieferant für Milchvieh-/Futterbaubetriebe und leisten einen positiven Beitrag für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Grünland.

Summary

Benefits of grassland in a fodder crop farm – analysis at a farm level under local Bavarian conditions

A comprehensive yield analysis of intensively managed Bavarian grasslands has been conducted at a farm and field level. The crop yields show a high degree of variability, depending on location, cultivation system, year and field. Mowing frequency and N-fertilisation have been identified as essential factors related to the yield, with the result that the performance potential of the grasslands can be controlled with adapted cultivation measures and thus optimised. With the help of the FOPROQ model, a largely high yield stability over a nine-year period was determined for the grasslands, using a yield simulation. It was possible to adapt this yield model to the local Bavarian conditions very well, using real data, and it is thus suitable for regional prognoses for intensively managed grasslands. However, the collection of field-specific yield information necessitates the use of technical solutions in practice. In order to achieve a high productivity and quality from intensive grassland systems, measures for the better establishment of perennial ryegrass, e.g. overseeding, in the grasslands must be taken. There are still reserves available in grassland management for a higher supply of energy and raw protein from the roughage, in particular. The nutrient balances from the grassland predominantly show acceptable N-surpluses, but the high P and K content in the soil of the grasslands indicates a development with high P and K-surpluses. As a result, an efficient nutrient management, taking the optimisation of individual farms and environmental criteria into account, can only be achieved with a consistent measurement of quantity and quality. The results of the yield and quality analysis underpin the significance of grassland as an important provider of energy and protein for dairy/fodder crop farms and make a positive contribution to a sustainable use of the resource of grassland.

Résumé

Prestations des prairies dans les exploitations fourragères – Analyse réalisée au niveau des exploitations dans les conditions locales bavaroises

Une vaste analyse des rendements a été réalisée au niveau des exploitations et des cultures pour les stocks de prairies naturelles bavaroises entretenues de manière intensive. Ceci étant, les rendements des récoltes qui dépendent du site, de l'exploitation, de l'année et du sol sont extrêmement variables. L'intensité de la coupe et la fertilisation azotée ont été déterminés comme étant les facteurs essentiels de détermination des rendements, si bien qu'il est possible de gérer et donc d'optimiser le potentiel de performance des prairies naturelles en appliquant des mesures d'exploitation adaptées. Par une simulation du rendement à l'aide du modèle FOPROQ, une large stabilité du haut rendement des stocks de prairies naturelles a pu être établie sur une période de neuf ans. Ce modèle de rendement a pu être très bien adapté aux conditions locales bavaroises en utilisant les données fournies par la pratique et il convient aussi pour établir les diagnostics régionaux des stocks de prairies naturelles de gestion intensive. Toutefois, le relevé des informations sur le rendement précis nécessite dans la pratique la mise en œuvre de solutions techniques. Afin de parvenir à une haute productivité et à la qualité des systèmes de prairies naturelles de culture intensive, il faut recourir à des mesures permettant de mieux établir le DW, comme par ex. des sursemis dans les stocks de prairies naturelles. En particulier, pour l'approvisionnement en haute énergie et en protéines brutes dans les fourrages grossiers, il se trouve encore des réserves dans la gestion des prairies naturelles. Les restes des nutriments des prairies révèlent essentiellement des excès d'azote certes acceptables, mais les teneurs élevées en P et en K dans les sols des prairies indiquent une évolution avec de forts excédents de P et de K. Il s'ensuit qu'une gestion efficace des nutriments, sous observation de l'optimisation des diverses exploitations et des critères importants pour l'environnement, ne peut s'obtenir que par le mesurage suivi des quantités et de la qualité. Les résultats de l'analyse des rendements et de la qualité prouvent l'importance des prairies en tant que fournisseur essentiel d'énergie et de protéines pour le bétail laitier/les exploitations fourragères, ils fournissent également une contribution positive en vue d'une utilisation durable des ressources des prairies.

Literatur

1. Aigner, A., 2010: Ertrags- und Anbauentwicklung bei Eiweißpflanzen in Bayern und Deutschland. 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2010, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 87–89, <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/526-saatzuechtertagung-2010/4233-ertrags-und-anbauentwicklung-bei-eiweisspflanzen-in-bayern-und-deutschland.html>, Datum: 05.02.2015.

2. BMEL, 2015: Entwurf einer Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen (DüV). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 130 Seiten, Stand: 16.12.2015,
http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwuerfe/EntwurfDuengeverordnung.pdf?__blob=publicationFile.
3. BMELV, 2012: Eiweißpflanzenstrategie des BMELV. Stand: 27.11.2012, Kapitel 3.2.2, S. 4, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV),
http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMELV.pdf?__blob=publicationFile, Datum: 30.03.2016.
4. BMJ, 2014: Gesetzestext Düngeverordnung (DüV) – Ausfertigungsdatum: 10.01.2006. Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (BMJ) in Zusammenarbeit mit der juris GmbH (Hrsg.). http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf, Datum: 21.02.2014.
5. DAFA, 2015: Fachforum Grünland – Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA),
http://www.dafa.de/fileadmin/dam_uploads/images/Fachforen/FF_Gruenland/dafa-ff-gruenland_broschuere-dt-2016-01-20-web.pdf, Datum: 30.03.2016.
6. Destatis, 2015: Statistisches Jahrbuch 2015. Statistisches Bundesamt,
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/LandForstwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile, Datum: 29.03.2016.
7. De Vries, M.; Debruyne, L.; Aarts, F., 2013: Sustainability of dairy farming and the implementation of EU environmental directives in the northwest of Europa.
<http://edepot.wur.nl/274184>, Datum: 02.04.2014.
8. Diepolder, M.; Raschbacher, S., 2011: Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungs-intensität – Güllegaben und Nutzungshäufigkeit – bei einem Standort im Allgäuer Alpenvorland. In: Gülle 11 – Gülle und Gärrestdüngung auf Grünland. Tagungsband Internationale Tagung 17./18.10.2011, Kloster Reute. Elsässer, M., Diepolder, M., Huguenin-Elie, O., Pötsch, E., Nußbaum, H., und Messner, J., Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft und Fischerei (LAZBW) (Hrsg.), Aulendorf, 81–85.
9. Diepolder, M.; Raschbacher, S., 2013: Phosphor im Grünland – Ergebnisse vom Ertrags- und Nährstoffmonitoring auf bayerischen Grünlandflächen und von Düngungsversuchen. In: Phosphor im Grünlandbetrieb – Bedeutung und aktuelle Problembereiche. 18. Alpenländisches Expertenforum, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 17–24, <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/856-expertenforum-2013/16498-phosphor-im-gruenland-ergebnisse-vom-ertrags-und-naehrstoffmonitoring-auf-bayerischen-gruenlandflaechen-und-von-duengungsversuchen.html>, Datum: 2.04.2014.
10. Diepolder, M.; Raschbacher, S.; Brandhuber, R.; Kreuter, T., 2009: Auswirkung mechanischer Bodenbelastung auf Dauergrünland – Neue Versuchsergebnisse. Fachinformation aus der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern „Schule und Beratung“, Heft 8–9/09, III 27–33,
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/bodenbelastung_gruenland.pdf.
11. Diepolder, M.; Raschbacher, S.; Heinz, S.; Kuhn, G., 2013: Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen. In: Agrarforschung hat Zukunft – Wissenschaftstagung der LfL. LfL Schriftenreihe 04/2013, Freising, 185–194.
12. Diepolder, M.; Schröpel, R., 2002: Ergebnisse eines Stickstoffsteigerungsversuches auf einer weidelgrasreichen Wiese im Allgäuer Alpenvorland. Fachinformation aus der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern „Schule und Beratung“, Heft 04/2002, Landshut, Sonderdruck, IV-3–7, <http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/024501/>.
13. DLG, 2000: Die neue Betriebszweiganalyse. Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), Band 197, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 117 Seiten.

14. DLG, 2006: Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, Bundesarbeitskreis der Fütterungsreferenten in der DLG (Hrsg.). DLG-Information 01/2006, 29 Seiten, http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/futteraufnahme_milchkuh06.pdf, Datum: 20.05.2016.
15. DLG, 2011: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 416 Seiten.
16. DLG, 2014: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), Band 199, 2. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 120 Seiten.
17. Dorfner, G., 2014: Die Milcherzeugung zwischen freiem Markt und neuen Begrenzungen. 41. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 09./10.04.2014, 1–6. <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/873viehwirtschaftstagung-2014/16650-viehwirtschaftstagung-2014-tagungsband-gesamt.html>, Datum: 12.12.2014.
18. Dorfner, G.; Hofmann, G., 2014: Milchreport Bayern 2014 – Ergebnisse der Betriebszweigabrechnung Milchproduktion 2013/2014. LfL-Information 08/2015, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/milchreport-bayern-2014_lfl-information.pdf, Datum: 20.05.2016.
19. Edmunds, B.; Spiekers, H.; Südekum, K.; Nussbaum, H.; Schwarz, F.J.; Bennett, R., 2013: Effect of extent and rate of wilting on nitrogen components of grass silages. Grass and Forage Science, 69, 140–152, doi:10.1111/gfs.12013.
20. Elsässer, M.; Herrmann, K.; Jilg, T.; Hummler, T.; Oenema, J., 2013: Phosphorbilanzen und Phosphoreffizienz von Milchviehbetrieben in Nordwesteuropa. In: Phosphor im Grünlandbetrieb – Bedeutung und aktuelle Problembereiche. 18. Alpenländisches Expertenforum, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 9–16, <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/856-expertenforum-2013/16499-phosphorbilanzen-und-phosphoreffizienz-von-milchviehbetrieben-in-nordwesteuropa.html>, Datum: 02.04.2014.
21. Friendly, M., 2005: SAS Macro Programs for Statistical Graphics: boxplots: <http://www.datavis.ca/sasmac/boxplot.html>, Version: 09.01.2005.
22. GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1995: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol.4, 121–123.
23. GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 33–56.
24. GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2008: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminant. Proceedings of the Society of nutrition physiology, Band 17, 62. Tagung Göttingen, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 191–198.
25. Greiner, B.; Hertwig, F.; Hochberg, H.; Priebe, R.; Riehl, G.; Schuppenies, R., 2014: Auswirkungen einer unterlassenen Phosphor- und Kaliumdüngung – Ergebnisse aus sechzehnjährigen Grünlanddüngungsversuchen. In: Multifunktionalität des Dauergrünlandes erhalten und nutzen. 58. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (AGGF), Arnstadt, 107–110, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2014_greiner_et_al.pdf.
26. Greiner, B.; Schuppenies, R.; Hertwig, F.; Hochberg, H.; Riehl, G., 2010: Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland. Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 157–168, www.vdlufa.de/kongress2010/Kongressband2010.pdf.

27. Hartmann, S.; Hochberg, H.; Riehl, G.; Wurth, W., 2011: Measuring the loss of dry matter yield effected by rough-stalked meadow-grass (*Poa trivialis*). In: Grassland farming and land management systems in mountainous regions. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria, 241–243, www.europeangrassland.org/fileadmin/media/EGF2011.pdf.
28. Heißenhuber, A., 2010: Die Konkurrenz um knappe Flächen – Gründe, Entwicklungen, Auswirkungen. Knappe Flächen optimal nutzen – Futter und Substratwirtschaft optimieren. LfL-Jahrestagung, LfL Schriftenreihe 09/2010, Freising, 9–13, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_40227.pdf.
29. Heißenhuber, A.; Schätzl, R., 2013: Heimische Eiweißfuttermittel – Chancen und Grenzen. In: Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau Potenziale, Chancen und Risiken. 57. Jahrestagung der AGGF 2013, Triesdorf, LfL Schriftenreihe 06/2013, Freising, 27–39, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2013_heißenhuber_schätzl.pdf.
30. Herrmann, K.; Elsässer, M.; Jilg, T., 2011: Nachhaltige Milchproduktion in Baden-Württemberg – eine regionale Bewertung im Rahmen des Projektes DAIRYMAN. Arbeitspaket 1. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW) (Hrsg.), Aulendorf, http://www.lazbw.de/pb/,Lde/Startseite/Rinder_+und+Schafhaltung/Versuche+und+Projekte/, Datum: 01.04.2014.
31. Herrmann, A.; Kelm, M.; Kornher, A.; Taube, F., 2005: Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather – a simulation study. *Europ. J. Agronomy* 22, 141–158, doi:10.1016/j.eja.2004.02.002.
32. Herrmann, A.; Techow, A.; Kluß, C.; Taube, F.; Berendonk, C.; Diepolder, M.; Elsässer, M.; Greiner, B.; Neff, R., 2014: Mehr Eiweiß vom Grünland. *DLG-Mitteilungen* 4/2014, 76–79.
33. Høgh-Jensen, H.; Loges, R.; Jørgensen, F. V.; Vinther, F. P.; Jensen, E. S., 2004: A empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *J. agsy* 82, 181–194, doi:10.1016/j.agry.2003.12.003.
34. Klapp, E.; Boeker, P.; König, F.; Stählin, A., 1953: Wertzahlen der Grünlandpflanzen. *Das Grünland* 2, 38–40.
35. Klapp, E.; Stählin, A., 1936: Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes, Ulmer-Verlag, Stuttgart, 122 Seiten.
36. Köhler, B.; Diepolder, M.; Thurner, S.; Spiekers, H., 2013: Eiweißbereitstellung vom Grünland auf Betriebsebene. In: Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau Potenziale, Chancen und Risiken. 57. Jahrestagung der AGGF 2013, Triesdorf, LfL Schriftenreihe 06/2013, Freising, 62–69, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/aggf_2013_köhler_et_al.pdf.
37. Köhler, B.; Kolbe, H., 2007: Programm BEFU – Teil Ökologischer Landbau. Verfahrensbeschreibung und PC-Anleitung zu Methoden der Bilanzierung und Düngungsbemessung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden. Stand Dezember 2007, <http://orgprints.org/13632/>.
38. Köhler, B.; Spiekers, H.; Diepolder, M.; Demmel, M., 2009: Effiziente Futterwirtschaft und Nährstoffflüsse in Futterbaubetrieben. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, Band 10, 53. Jahrestagung der AGGF, Kleve 2009, 65–68, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/effiziente_futterwirtschaft_betriebsebene_30.10.13.pdf.
39. Köhler, B.; Spiekers, H.; Diepolder, M.; Thurner, S., 2011: Ertragserfassung als Voraussetzung für eine effiziente Grünlandnutzung. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, 55. Jahrestagung der AGGF 2011, Oldenburg, Band 12, 92–98, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/aggf_2011_koehler_et_al.pdf.
40. Köhler, B.; Südekum, K.-H.; Spiekers, H.; Taube, F., 2014: Quantitative Erfassung von Masse- und Stoffströmen im Futterbaubetrieb. *Kongressband 2014 Hohenheim, VDLUFA-Schriftenreihe* 70, 411–415, www.vdlufa.de/download/KB2014_web_gross.pdf.

41. Köhler, B.; Thurner, S.; Diepolder, M.; Spiekers, H., 2014: Effiziente Futterwirtschaft und Eiweißbereitstellung in Futterbaubetrieben. LfL Schriftenreihe 05/2014, Freising, 141 Seiten, <http://www.lfl.bayern.de/publikationen/schriftenreihe/082872/>.
42. Kornher, A.; Nyman, P.; Taube, F., 1991: Ein Computermodell zur Berechnung der Qualität und Qualitätsveränderung von gräserdominierten Grünlandaufwüchsen aus Witterungsdaten. Das Wirtschaftseigene Futter 37, Heft 1+2, 232–248.
43. Kuhn, G.; Heinz, S.; Mayer, F., 2011: Grünlandmonitoring Bayern – Ersterhebung der Vegetation 2002–2008. LfL Schriftenreihe 03/2011, Freising, 161 Seiten, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_41955.pdf.
44. Laidig, F.; Piepho, H.-P.; Drobek, T.; Meyer, U., 2014: Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends. Theor Appl Genet (2014) 127, 2599–2617, doi: 10.1007/s00122-014-2402-z.
45. LfL, 2011: Versuchsergebnisse der Landessortenversuche Luzerne. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/ISIP.woa/vb/bericht?nr=62814>, Datum: 05.02.2015.
46. LfL, 2014: Versuchsergebnisse aus Bayern – Sojabohne 2010–2014. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), <http://www.lfl.bayern.de/ipz/oelfruechte/027791/index.php>, Datum: 05.02.2015.
47. LfL, 2016: LfL-Arbeitsschwerpunkt Eiweißstrategie. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), <https://www.lfl.bayern.de/schwerpunkte/eiweissstrategie/121662/index.php>, Datum: 20.06.2016.
48. Oenema, J., 2013: Transitions in nutrient management on commercial pilot farms in the Netherlands. PhD Thesis Wageningen.199 pp, <http://edepot.wur.nl/279713>.
49. Petersen-Friedrich, E.C.; Kornher, A.; Taube, F., 1989: Ertragsbildung unterschiedlicher Sortentypen des Deutschen Weidelgrases im Vegetationsablauf in Abhängigkeit vom Nutzungsregime. 2. Mitteilung: Modellberechnungen. Das Wirtschaftseigene Futter 35, Heft 3, 289–300.
50. Randby, A.T.; Weisbjerg, M.R.; Nørgaard, P.; Herin的角度, B., 2012: Feed intake and milk yield responses during early lactation of cows offered grass silages harvested at early maturity stages. XVI. International Silage Conference Hämeenlinna Finland, Proceedings, 148–149.
51. Roßberg, D.; Michel, V.; Graf, R.; Neukampf, R., 2007: Definition von Boden-Klima-Räume für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 59, 155–161, www.journal-kulturpflanzen.de/artikel.dll?AID=351868.
52. Rotz, C.A.; Oenema, J.; Van Keulen, H., 2006: Whole Farm management to reduce nutrient losses from dairy farms: A simulation study. Applied engineering in agriculture 22(5), 773–784, doi:10.13031/2013.21992.
53. Rotz, C.A.; Taube, F.; Russelle, M.P.; Oenema, J.; Sanderson, M.A.; Wachendorf, M., 2005: Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. Crop Sci. 45(6), 2139–2159, doi:10.2135/cropsci2004.0523.
54. Salama, H.; Lösche, M.; Herrmann, A.; Gierus, M.; Loges, R.; Feuerstein, U.; Ingwersen, B.; Stelling, D.; Luesink, W.; Taube, F., 2012: Limited genotype- and ploidy-related variation in the nutritive value of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Acta Agr Scan Sect B -S P. 62(1), 23–34, doi:10.1080/09064710.2011.563750.
55. Schätzl, R., 2013: Futtereiweiß aus heimischen Quellen. Fachinformation aus der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern „Schule und Beratung“, Heft 08/2013, Landshut, 43–46.
56. Schmeer, M.; Loges, R.; Dittert, K.; Senbayram, M.; Horn, R.; Taube, F., 2014: Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. Soil Tillage Res. 143 (2014), 17–25, doi: 10.1016/j.still.2014.05.001.
57. Schuba, J.; Südekum, K., 2012: Pansengeschützte Aminosäuren in der Milchkuhfütterung unter besonderer Berücksichtigung von Methionin und Lysin. Übersichten Tierernährung 40, Heft 2, DLG Verlag, Frankfurt a.M., 113–149.

58. Smit, H.J.; Metzger, M.J.; Ewert, F., 2008: Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agric. Sys.* 98, 208–219, doi:10.1016/j.agsy.2008.07.004.
59. Spiekers, H., 2008: Ansprüche der Milchviehhaltung an das Grundfutter vom Grünland. In: Effiziente Grünlandbewirtschaftung – Deutscher Grünlandtag und 22. Allgäuer Grünlandtag. LfL Schriftenreihe 07/2008, 41–48, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_31349.pdf, Datum: 20.05.2016.
60. Spiekers, H., 2008: Rentable Milchproduktion bei steigenden Futterkosten. In Milchproduktion in Bayern. Ein Betriebszweig steht vor Herausforderungen. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), München, Nr. 30/2008, 29–36.
61. Spiekers, H., 2012: Milch und Fleisch effizient erzeugen: In: Perspektiven einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Tierernährung, 50. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e. V., Tagungsband, Freising, 53–58, http://lte.wzw.tum.de/fileadmin/BAT/50_BAT-Tagung_2012_Tagungsband.pdf.
62. Spiekers, H.; Ettle, T.; Pries, M.; Grünewald, K.-H., 2012: Kalkulation der Nährstoffausscheidungen beim Rind. VDLUFA Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 710–717, www.vdlufa.de/download/KB2012_print-14-12-12.pdf.
63. Spiekers, H.; Köhler, B., 2010: Mehr Netto vom Brutto – Effizienz der Futterwirtschaft verbessern! Trendreport Spitzenbetriebe Milchviehhaltung. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 91–98.
64. Spiekers, H.; Nussbaum, H.J.; Potthast, V., 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung. 5. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 576 Seiten.
65. Steingaß, H.; Südekum, K.-H., 2013: Proteinbewertung beim Wiederkäuer – Grundlagen, analytische Entwicklungen und Perspektiven. Übersichten zur Tierernährung 41 Heft 1, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 51–73.
66. StMELF, 2012: Bayerischer Agrarbericht 2012. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), <http://www.agrarbericht-2012.bayern.de/tabellen-karten/files/k18.pdf>, Datum: 18.02.2014.
67. Stockinger, B.; Schätzl, R., 2012: Strategien zur Erhöhung des Anteils heimischer Eiweißfuttermittel in der Nutztierfütterung. VDLUFA Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 665–672, www.vdlufa.de/download/KB2012_print-14-12-12.pdf.
68. Sundrum, A., 2012: Optimierung der Nährstoffeffizienz in der Milchviehhaltung. VDLUFA Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Schriftenreihe 68, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 122–129, www.vdlufa.de/download/KB2012_print-14-12-12.pdf.
69. Taube, F., 2010: Effiziente Ressourcennutzung – Futterbausysteme für die Milcherzeugung. In: 23. Hülsenberger Gespräche 2010 Lübeck, Schriftenreihe der Schaumann Stiftung, Hamburg, 176–183.
70. Taube, F., 2014: Nährstoffflüsse im Milchvieh-Futterbaubetrieb – Optimierungspotenziale im Hinblick auf eine novellierte Düngeverordnung. In 5. Agrarwissenschaftliches Symposium des Hans-Eisenmann-Zentrums, Tagungsband, Freising, 11–13.
71. Taube, F., 2014: Nährstoffflüsse im Milch-Futterbaubetrieb – Optimierungspotenziale im Hinblick auf eine novellierte DüV. „5. Agrarwissenschaftliches Symposium“, Hans-Eisenmann Zentrum, Vortrag, Freising, 25.09.2014.
72. Taube, F.; Gierus, M.; Herrmann, A.; Loges, R.; Schönbach, P., 2014: Grassland and globalization – challenges for northwest European grass and forage research. *Grass and forage science* 69, 2–16, doi:10.1111/gfs.12043.
73. Taube, F.; Herrmann, A.; Gierus, M.; Loges, R.; Schönbach, P., 2011: Nachhaltige Intensivierung der Futterproduktion zur Milcherzeugung. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 12, 55. Jahrestagung der AGGF 2011 Oldenburg, 13–29, www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2011_taub_e_t_al.pdf.

74. Thurner, S.; Fröhner, A.; Köhler, B.; Demmel, M., 2011: Online measurement of yield and dry matter content of wilted grass with two forage harvesters – comparison with and verification of reference measurements. Proceedings Precision Agriculture 2011, Ed. J.V. Stafford, 8th European conference on Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic, 628–637.
75. VDLUFA, 1976: Methodenbuch Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln 3. 1, 3. Auflage, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Forschungs- und Untersuchungsanstalten (VDLUFA), <http://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php/de/mb-iii-futtermittel>.
76. VDLUFA, 2015: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung – Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig. Positionspapier des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 9 Seiten, http://vdlufa.de/joomla/Dokumente/Positionspapiere/2015_Phosphord%C3%BCngung_nach_Bodenuntersuchung.pdf.
77. WBA; WBD, 2013: Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. Wissenschaftliche Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD), Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 219, 12 Seiten, doi: <http://dx.doi.org/10.12767/buel.v0i219.28.g77>.
78. Weiß, D.; Schneider, S.; Bellof, G.; Dorfner, G.; Schäufele, R.; Auerswald, R.; Thomet, P., 2008: Effizienz im Milchviehbetrieb. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung in Fulda, 09/10.04.2008, Tagungsunterlagen, 101–104.
79. Wendland, M.; Diepolder, M.; Capriel, P., 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft. 10. Unveränderte Auflage 2012, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, LfL Information, 97 Seiten, www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031924/.

Autorenanschrift

Dipl.-Ing. agr. (Univ.) Brigitte Köhler,
Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen,
Beratungsteam Ökologischer Landbau,
Kölnische Straße 48–50,
34117 Kassel,
E-Mail: Brigitte.Koehler@llh.hessen.de (korrespondierend)

Prof. Dr. Hubert Spiekers,
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),
Prof.-Dürrwaechter-Platz 3,
85586 Poing-Grub

Prof. Dr. Friedhelm Taube,
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,
Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel

Dipl.-Inf. Christof Kluß,
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,
Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Hermann-Rodewald-Str. 9,
24118 Kiel

Dank

Ich bedanke mich bei Dr. Mario Hasler von der Christian-Albrechts-Universität in Kiel für die Unterstützung bei der statistischen Analyse. Ebenso gilt mein Dank dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Projektförderung und der H. Wilhelm Schaumann Stiftung für die finanzielle Unterstützung in der Form eines Abschluss-Stipendiums.