

5.2 Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf Ertrag und Qualität von Luzerne-Kleegras und Dauergrünland sowie pflanzenbauliche Strategien klimaneutraler Produktivitätssteigerung

Patrick Lind, Daniel Neuhoff, Ulrich Köpke

Zusammenfassung

Um betriebspezifische Aussagen über die Klimawirkungen landwirtschaftlicher Produktionssysteme treffen zu können, wurden in den Jahren 2009 und 2010 bundesweit 80 landwirtschaftliche Betriebe untersucht. Besonderes Augenmerk lag dabei auf den Luzerne-Kleegras- und Grünlandflächen. Trockenmasseertrag und Nährstoffgehalte der Aufwüchse wurden in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt ausgewertet und der Einfluss von Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) und Standort herausgearbeitet. Die Aufwüchse der Region Ost zeichneten sich durch ein insgesamt hohes Ertragsniveau und vergleichsweise geringe Nährstoffgehalte (v.a. P und K) aus. Die Ertrags- und Qualitätsbildung der Bestände der Region Nord wies diesbezüglich ein antagonistisches Verhalten auf. Auf Grundlage der erhobenen Daten wurden im Jahr 2010 auf den Grünlandflächen (ökologisch/konventionell) des Standortes Rheinbach (50°37'N 6°57'E) zwei faktorielle Feldversuche durchgeführt. Ziel war es, im Hinblick auf eine Senkung der produktbezogenen Emissionen (funktionelle Einheit: kg CO₂ je produzierter Einheit Trockenmasse) pflanzenbauliche Ansätze einer Produktivitätssteigerung zu prüfen. Es wurde angenommen, dass eine alleinige bzw. mit einem verkürzten Schnittintervall kombinierte Anhebung der Schnitthöhe ertragssteigernd wirkt. Untersucher Versuchsfaktor war das Schnittregime mit den Faktorstufen [6/6], [6/10] und [4/10] [Schnittintervall in Wochen/Schnitthöhe in cm]. Die Variante [6/6] erzielte unabhängig der Bewirtschaftungsweise tendenziell den höchsten Trockenmassegesamtertrag. Die Variante [6/10] resultierte jedoch auf ökologisch bewirtschaftetem Grünland in einer tendenziellen und auf konventionell bewirtschaftetem Grünland in einer signifikanten Ertragssteigerung des ersten Wiederaufwuchses (identisch mit zweitem Schnitt). Eine Anhebung der Schnitthöhe lediglich zum ersten Schnitt könnte somit produktivitätssteigernd auf Luzerne-Kleegras oder Grünlandbestände wirken und produktbezogene Emissionen senken.

Schlüsselwörter: produktbezogene Emissionen, ökologisch, konventionell, Schnitthöhe, Schnittintervall

Abstract

With the aim of determining climate effects of agricultural production systems on a single farm level, 80 private farms throughout Germany were analysed in 2009 and 2010. Particular attention was paid to grass-clover swards and permanent grassland. Dry matter yield as well as nutrient contents of crops were plotted against date of harvest and showed a strong influence of both the production system (organic/conventional) and site conditions. Region East was determined by comparatively high yields and low nutrient contents, especially P and K, region North showed an antagonistic behavior. Using the generated data as a basis, two field trials were conducted on permanent grassland (organic/conventional) at Rheinbach (50°37'N 6°57'E) in 2010. The trials aimed at reducing product-related emissions (kg CO₂ per unit dry matter produced) by enhancing the dry matter yield of the sward. It was

expected that an increased cutting height or a shortened regrowth interval combined with an increased cutting height could result in enhanced sward productivity. The experiments were carried out with the treatments [6/6], [6/10], [4/10] [cutting interval in weeks/cutting height in cm]. Independent of the production systems, total dry matter yield was highest per trend for treatment [6/6]. However, treatment [6/10] resulted in an increased (organic: by trend; conventional: significant) dry matter yield of the first regrowth. Therefore, elevating the cutting height only at the first cut may increase productivity of grass-clover swards or permanent grassland and reduce product related emissions.

Keywords: product-related emissions, organic, conventional, cutting height, cutting interval

5.2.1 Einleitung

Die Klimawirkungen landwirtschaftlicher Produktionssysteme sind vor dem Hintergrund der aktuellen politischen Diskussion von großer Bedeutung. Weltweit trägt die Landwirtschaft etwa 15 % zur Emission von Treibhausgasen bei (Chmielewski, 2007). Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen des Agrarsektors ist jedoch möglich (Köpke und Haas, 1995; Hülsbergen und Küstermann, 2007). Diesbezüglich stellt eine Effizienzerhöhung der eingesetzten Betriebsmittel einen wichtigen Ansatzpunkt der Forschung dar (Nguyen und Hayes, 1995; Refsgaard et al., 1998). Der Produktbezug der Treibhausgasemissionen (funktionelle Einheit: kg CO₂ je produzierter Einheit Trockenmasse) berücksichtigt dabei, dass neben einer Reduktion des Inputs auch Ertragssteigerungen zu einer erhöhten Effizienz des Betriebsmitteleinsatzes führen können. Für betriebspezifische Aussagen über produktbezogene Emissionen ist die Kenntnis von Ertrag und Qualität der erzeugten Produkte unerlässlich. Innerhalb des landwirtschaftlichen Produktionsprozesses kommt Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen dabei aufgrund der symbiotischen Stickstofffixierung eine besondere Bedeutung zu (Ta und Faris, 1987; Hakala und Jauhiainen, 2007). Eine detaillierte Analyse des Einflusses der Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) und des Standortes auf die Ertrags- und Qualitätsbildung von Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen stellt daher eine wichtige Grundlage für die gezielte Ableitung von Strategien zur Minderung von Treibhausgasemissionen dar.

Pflanzenbauliche Ansätze zur Ertragssteigerung von Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen verfolgen das Ziel, die produktbezogenen Emissionen der Kulturen zu senken. Eine Prüfung durch Feldversuche auf einzelbetrieblicher Ebene berücksichtigt dabei den Einfluss von Bewirtschaftungsweise und Standort. Einen wesentlichen Ansatzpunkt zur Ertragssteigerung von Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen stellt eine Verkürzung der Phasen geringer Produktivität nach erfolgter Nutzung dar (Gardner et al., 1985). Der Abfall der Wachstumsrate zu Beginn des Wiederaufwuchses kann bei schnittgenutzten Beständen besonders ausgeprägt sein (Hay und Porter, 2006). Eine Anhebung der Schnitthöhe oder eine Anhebung der Schnitthöhe kombiniert mit einer Verkürzung des Schnittintervalls könnte zu einer Produktivitätssteigerung der Bestände führen (Brougham, 1956; Liu et al., 2011). Allerdings gibt es auch Untersuchungen, die bezüglich einer Anhebung der Schnitthöhe (Binnie und Harrington, 1972; Kim und Albrecht, 2008) bzw. einer Verkürzung des Schnittintervalls (Mela, 2003; Herrmann et al., 2005; Vinther, 2006) zu einem gegenteiligen Ergebnis kommen.

5.2.2 Material und Methoden

In den Jahren 2009 und 2010 wurden die Grünland- und Klee grasflächen der Pilotbetriebe unmittelbar vor der jeweiligen betrieblichen Nutzung beprobt. Zu diesem Zweck wurden Testflächen mit einer Größe von 20 x 20 m angelegt, die jeweils aus vier Quadranten (10 x 10 m) bestanden. Für die Beprobung wurden je Quadrat zwei randomisierte Flächen a 0,25 m² ausgewählt und manuell mit einer elektrischen Rasenkantenschere 6 cm oberhalb der Erdoberfläche beerntet. Die pflanzliche Biomasse wurde anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und mit einer Scheibenschwingmühle (Körnungsgröße < 0,1 mm) vermahlen.

5.2.2.1 Analytik

100 bis 125 mg des vermahlenden Probenmaterials wurden mit 2 ml 35 %iger H₂O₂-Lösung benetzt, 5 ml 65 %ige HNO₃-Lösung hinzugefügt und mittels Mikrowelle aufgeschlossen. Die in Lösung gebrachte Probe wurde in einen 100 ml Messkolben überspült und zur Marke aufgefüllt. Die Bestimmung des Kaliumgehaltes erfolgte am Atomabsorptionsspektrometer (AAS). Zu diesem Zweck wurde das Probenmaterial im Flammen-AAS atomisiert und die Extinktion des absorbierten Lichtes in der Flamme des AAS gemessen. Zeitgleich wurde Kalium-spezifisches Licht durch die Flamme gesandt und die Absorption des in der Flamme emittierten Kaliumlichtes erfasst. Dabei wurden Standards von 0,6 bis 3,0 mg l⁻¹ mit Abstufungen von 0,6 mg l⁻¹ eingesetzt. Nach jeweils zehn Bestimmungen wurde der mittlere Standard von 1,8 mg l⁻¹ gemessen. Der Nullabgleich wurde mit Hilfe der Aufschlusslösung durchgeführt. Aus dem Mikrowellenaufschluss wurde auch der Phosphorgehalt am Filterphotometer bestimmt. Dabei reagierte Ortho-Phosphat in saurem Milieu mit Ammoniumheptamolybdat zu einem Phosphomolybdän-säurekomplex. Dieser wurde durch Ascorbinsäure zu einem blauen, bei einer Wellenlänge von 880 nm messbaren, Farbkomplex reduziert und filterphotometrisch gemessen. Für die Phosphorbestimmung wurden Standards von 5 bis 20 mg l⁻¹ in Stufen a 5 mg l⁻¹ verwendet. Die Bestimmung des Stickstoff- und Kohlenstoffgehaltes erfolgte an einem Elementaranalysator nach Einwaage von 15-20 mg des vermahlenden Probenmaterials in Zinn cups. Als Standard diente hierbei Acetanilid mit einem Gehalt von 71,09 % Kohlenstoff und 10,36 % Stickstoff.

5.2.2.2 Feldversuche

Am Standort Rheinbach (50°37'N 6°57'E) fanden im Jahr 2010 auf den innerhalb des Projektes beprobten schnittgenutzten Grünlandflächen zwei Feldversuche statt. Die Versuche wurden sowohl auf ökologisch als auch auf konventionell bewirtschaftetem Grünland als einfaktoriell randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt und lagen jeweils in unmittelbarer Nähe zur Testfläche. Die Parzellengröße betrug 6,6 m² (2,2 x 3 m). Untersucher Versuchsfaktor war das Schnittregime mit den Faktorstufen [6/6], [6/10] und [4/10] [Schnittintervall in Wochen / Schnitthöhe in cm]. Der erste Schnitt der Versuche erfolgte am 03.05. und der letzte Schnitt wurde am 18.10. durchgeführt. Die Beprobung geschah mit Hilfe einer höhenverstellbaren Rasenkantenschere auf zwei randomisierten Flächen a 0,25 m² je Parzelle. Die pflanzliche Biomasse wurde anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Restparzelle wurde stets in gleicher Höhe am gleichen Tag mit Hilfe eines Mähbalkens (Agraria, Möckmühl) nachgeschnitten und das Schnittgut abgefahren.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 19). Vor der Varianzanalyse wurden die Daten mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung geprüft. *Post hoc* wurde der Tukey-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$) verwendet.

5.2.3 Ergebnis und Diskussion

5.2.3.1 Betriebliche Erträge und Nährstoffgehalte

Die Abbildung 5.2-1 stellt die Trockenmasseerträge der ersten Grünlandaufwüchse des Jahres 2009 in Abhängigkeit des Schnittzeitpunktes dar. Während 50 % der untersuchten Betriebe der Region West bereits Ende April den ersten Schnitt der Bestände durchführten, fand er in den übrigen Regionen erst ab Anfang Mai statt.

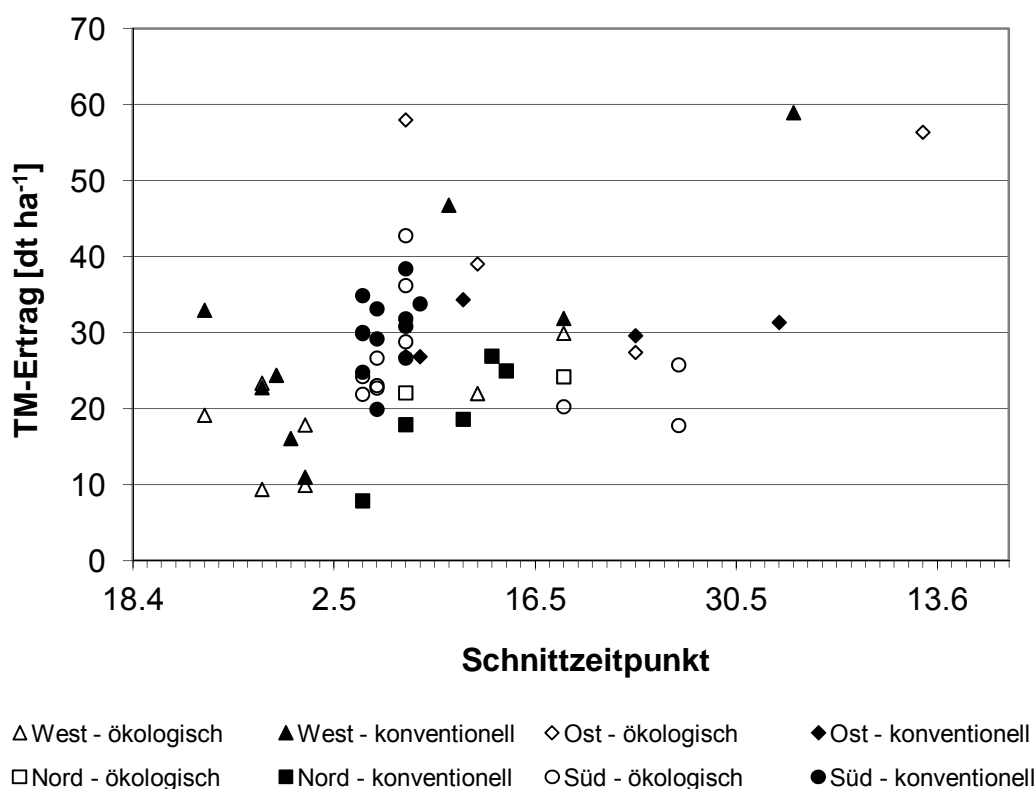


Abbildung 5.2-1: Trockenmasseerträge [dt ha⁻¹] des ersten Grünlandaufwuchses des Jahres 2009 der Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe.

In der Region West erzielten die ökologisch wirtschaftenden Betriebe mit dem ersten

Schnitt Trockenmasseerträge zwischen 9,4 (27.04.) und 29,9 dt ha⁻¹ (18.05.). Die entsprechenden Erträge bei konventioneller Bewirtschaftungsweise umfassten zwischen 11,0 (30.04.) und 58,9 dt ha⁻¹ (03.06.). Der späte Schnittzeitpunkt der am 03.06. geschnittenen Grünlandfläche wirkte sich negativ auf den Stickstoffgehalt des Aufwuchses aus (1,2 %, Abbildung 5.2-2). Der Stickstoffgehalt der übrigen ersten Aufwüchse der Region West betrug zwischen 2,1 und 3,9 %. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt des Erntegutes umfasste 2,9 % bei ökologischer und 3,0 % bei konventioneller Bewirtschaftungsweise. Insgesamt konnte in der Region West festgestellt werden, dass ein später erster Schnitt zu einem deutlich verringerten Stickstoffgehalt des Erntegutes führte. Die Region Ost war durch einen vergleichsweise späten ersten Schnitt der Grünlandflächen gekennzeichnet. Während der erste Aufwuchs der konventionell bewirtschafteten Flächen dieser Region zwischen 26,9 (08.05.) und 34,3 dt ha⁻¹ (11.05.) erzielte, betragen die Trockenmasseerträge der ökologisch bewirtschafteten Flächen zwischen 27,4 und 58,0 dt ha⁻¹. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt der ersten Aufwüchse dieser Region betrug bei einer ökologischen Bewirtschaftungsweise 2,5 % und bei den konventionell wirtschaftenden Betrieben 3,1 %. In der Region Ost konnte nur bei den ökologisch wirtschaftenden Betrieben eine Abnahme des Stickstoffgehaltes des ersten Aufwuchses mit zunehmender Dauer der Aufwuchsperiode festgestellt werden.

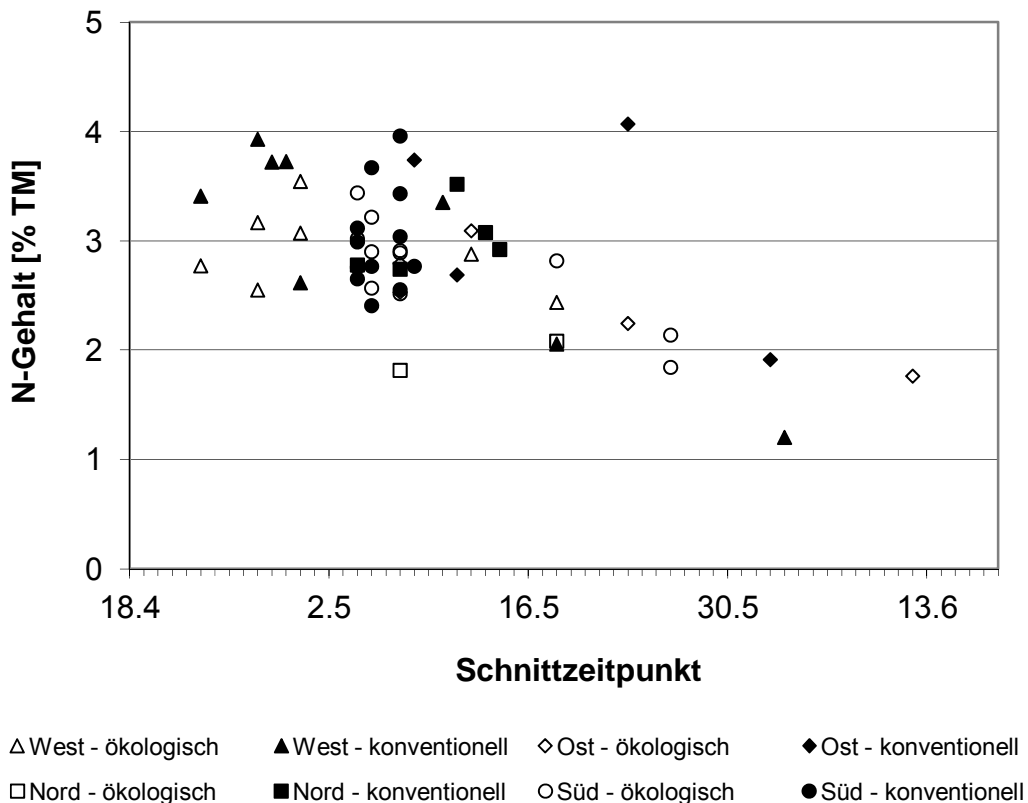


Abbildung 5.2-2: Stickstoffgehalte [% TM] des ersten Grünlandaufwuchses des Jahres 2009 der Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe.

Das Ertragsniveau in der Region Nord war im Vergleich der Regionen am geringsten. Die ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betriebe dieser Region erzielten durchschnittlich 19,2 bzw. 23,1 dt ha⁻¹ mit dem ersten Schnitt der Grünlandflächen. Im Gegensatz zum Trockenmasseertrag wurde der Stickstoffgehalt des ersten Aufwuchses deutlich durch die Bewirtschaftungsweise beeinflusst. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt des ersten Aufwuchses betrug in dieser Region 1,9 % bei ökologischer und 3,0 % bei konventioneller Bewirtschaftungsweise. In der Region Süd erzielten die ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe Trockenmasseerträge zwischen 17,8 (26.05.) und 42,7 dt ha⁻¹ (07.05.) und die konventionell wirtschaftenden Betriebe Erträge zwischen 19,9 (05.05.) und 38,4 dt ha⁻¹ (07.05.). Der durchschnittliche Stickstoffgehalt des ersten Aufwuchses betrug in dieser Region 2,8 % bei ökologischer und 3,0 % bei konventioneller Bewirtschaftungsweise der Grünlandflächen. Eine Abnahme des Stickstoffgehaltes des Ertegutes mit zunehmender Dauer der Aufwuchsperiode konnte in der Region Süd nur bei ökologischer Bewirtschaftungsweise festgestellt werden.

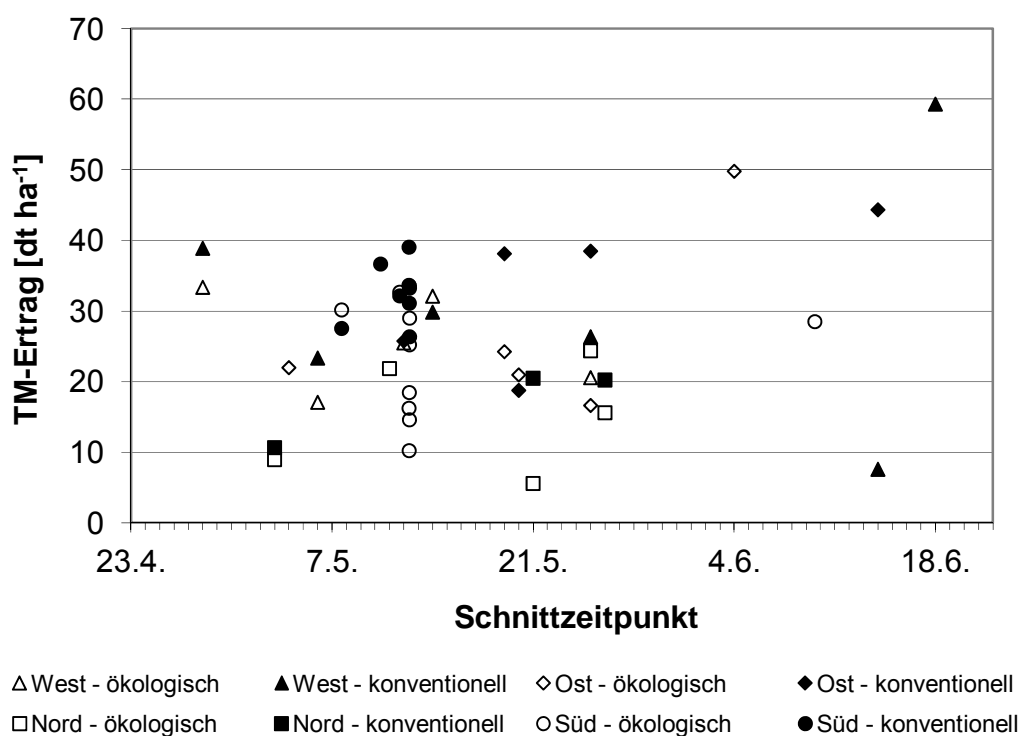


Abbildung 5.2-3: Trockenmasseerträge [dt ha⁻¹] des ersten Grünlandaufwuchses des Jahres 2010 der Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe.

Analog zum Vorjahr fanden in 2010 erste Schnitte der Region West bereits Ende April (28.04.) statt (Abbildung 5.2-3). Die Region West wies im Jahr 2010 sowohl den geringsten (7,6 dt ha⁻¹; 14.06.) als auch den höchsten (59,3 dt ha⁻¹; 18.06.) Trockenmasseertrag im interregionalen Vergleich auf. Durchschnittlich erzielten die ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betriebe dieser Region Trockenmasseerträge von 25,7 bzw. 30,9 dt ha⁻¹. Wie im Versuchsjahr 2009 wirkte sich der späte Schnitt-

zeitpunkt der am 14.06. bzw. 18.06. geschnittenen Grünlandflächen auf den Stickstoffgehalt der Sprossmasse aus (1,8 bzw. 1,4 %, Abbildung 5.2-4). Der durchschnittliche Stickstoffgehalt der ersten Aufwüchse sowohl der ökologisch als auch der konventionell bewirtschafteten Grünlandflächen der Region West betrug 2,7 %. Analog zum Vorjahr konnte in der Region West insgesamt eine Abnahme des Stickstoffgehaltes des Erntegutes mit zunehmender Dauer der Aufwuchsperiode festgestellt werden. In der Region Ost erzielte der erste Aufwuchs der ökologisch bewirtschafteten Grünlandflächen zwischen 16,6 (25.05.) und 50,0 dt ha⁻¹ (04.06.). Der Trockenmasseertrag der konventionell bewirtschafteten Flächen dieser Region wies eine Spannweite von 18,7 (20.05.) bis 44,3 dt ha⁻¹ (14.06.) auf. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt des ersten Aufwuchses betrug in dieser Region 2,4 % bei ökologischer und 2,6 % bei konventioneller Bewirtschaftungsweise der Grünlandflächen. In der Region Ost war analog zur Region West insgesamt eine Abnahme des Stickstoffgehaltes der Sprossmasse mit zunehmender Dauer der Aufwuchsperiode feststellbar.

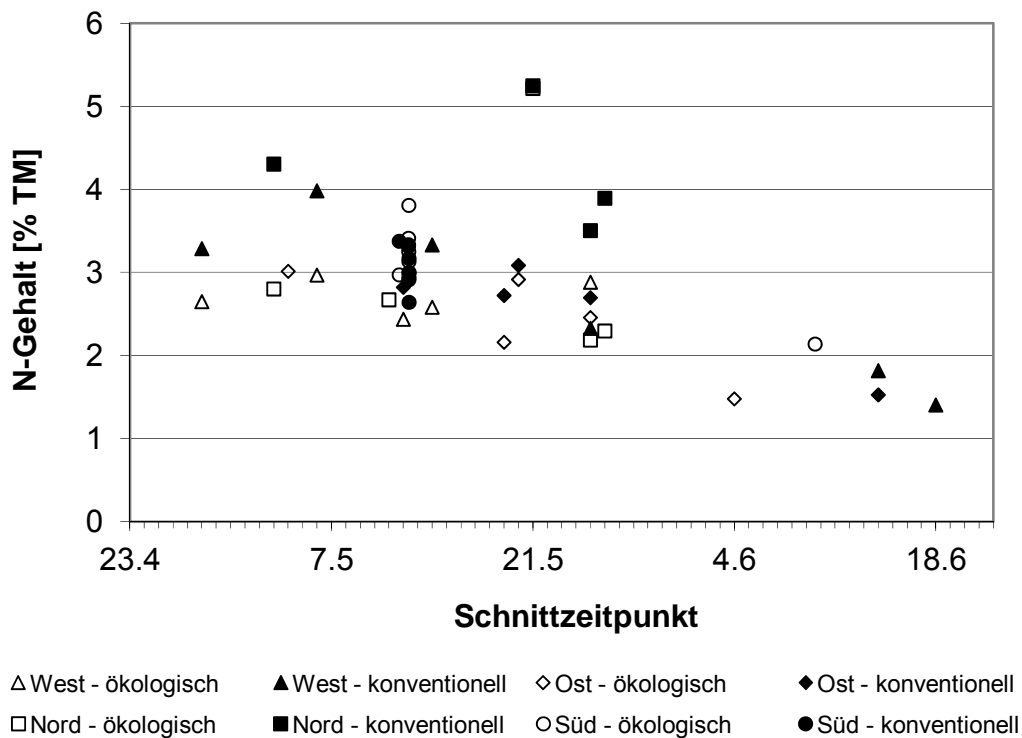


Abbildung 5.2-4: Stickstoffgehalte [% TM] des ersten Grünlandaufwuchses des Jahres 2010 der Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe.

Im Jahr 2010 erzielten die ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betriebe der Region Nord durchschnittlich 15,6 bzw. 15,1 dt ha⁻¹ mit dem ersten Schnitt der Grünlandflächen. Im Gegensatz zu den übrigen Regionen war hier der erste Schnitt bereits Ende Mai (26.05.) abgeschlossen. Der im inter-regionalen Vergleich relativ frühe Schnittzeitpunkt wirkte sich vor allem bei den Flächen unter konventioneller Bewirtschaftungsweise auf den Stickstoffgehalt der Aufwüchse aus. Der durchschnittliche Stick-

stoffgehalt des ersten Aufwuchses betrug in der Region Nord 4,2 % bei konventioneller und 3,0 % bei ökologischer Bewirtschaftungsweise. In der Region Süd erzielte der erste Aufwuchs der konventionell bewirtschafteten Grünlandflächen zwischen 25,2 (12.05.) und 39,0 dt ha⁻¹ (12.05.). Der Trockenmasseertrag der ökologisch bewirtschafteten Grünlandflächen dieser Region wies eine Spannweite von 10,2 (12.05.) bis 32,7 dt ha⁻¹ (11.05.) auf. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt der ersten Aufwüchse der Region Süd betrug sowohl bei konventioneller als auch ökologischer Bewirtschaftungsweise 3,1 % und lag damit oberhalb der entsprechenden Werte des Vorjahres.

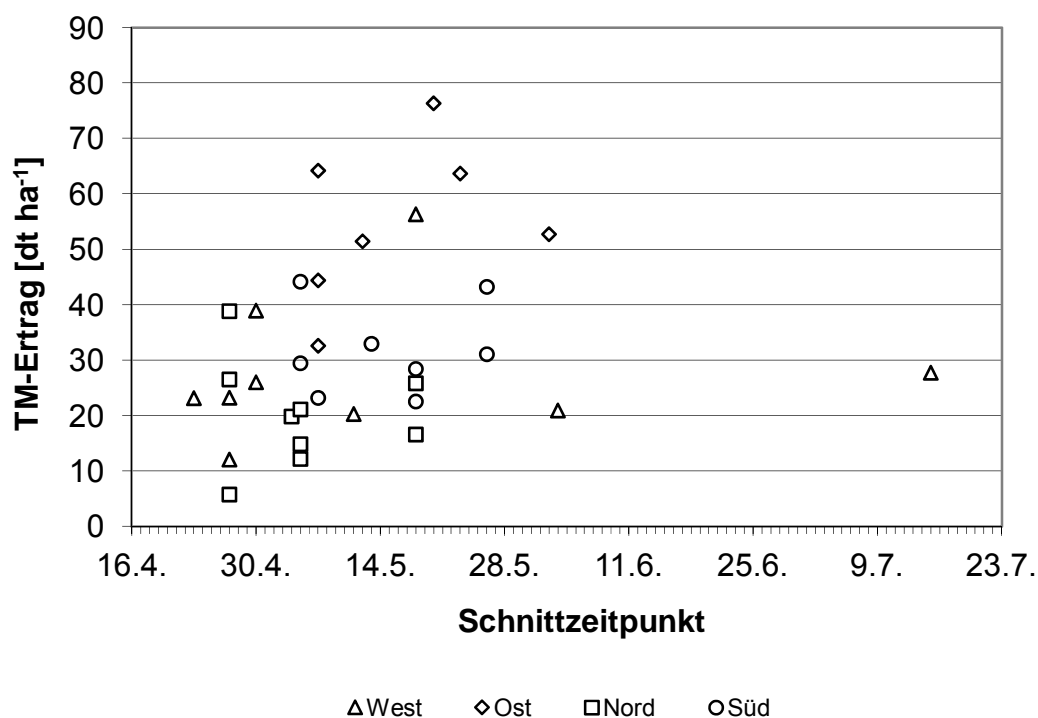


Abbildung 5.2-5: Trockenmasseerträge [dt ha⁻¹] des ersten Kleeerasaufwuchses des Jahres 2009 der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit der Betriebe.

Zeitpunkt und Trockenmasseertrag des ersten Schnittes des Jahres 2009 der untersuchten Kleeerasflächen wiesen ausgeprägte inter- sowie intraregionale Unterschiede auf (Abbildung 5.2-5). In der Region West erzielte ein ökologisch wirtschaftender Pilotbetrieb bereits am 23.04. 23,1 dt ha⁻¹. In dieser Region erbrachte der erste Schnitt Trockenmasseerträge zwischen 12,1 und 56,3 dt ha⁻¹. Ein Pilotbetrieb der Region West führte den ersten Schnitt erst am 15.07. durch (27,8 dt ha⁻¹), auf den übrigen Flächen war der erste Schnitt bis Anfang Juni abgeschlossen. Die Stickstoffgehalte der ersten Kleeerasaufwüchse der Region West betrug Ende April zwischen 2,4 (30.04.) und 3,9 % (23.04.) (Abbildung 5.2-6). Mit zunehmender Dauer der Vegetationsperiode nahm die Schwankungsbreite der Stickstoffgehalte in der Region West ab. Die für die Schnittzeitpunkte zwischen dem 12.05. und dem 02.06. ermittelten Messwerte tendierten gegen 2,6 %. Trotz des späten Schnittzeitpunktes wies der am 15.07. geschnittene Kleeerasbestand hingegen einen Stickstoffgehalt von über 3 % auf. Das Ertragsni-

veau in der Region Ost lag deutlich höher als in der Region West und umfasste minimal 32,6 dt ha⁻¹ (07.05.) und maximal 76,3 dt ha⁻¹ (20.05.). In der Region Ost wurde der erste Schnitt zwischen dem 07.05. und dem 02.06. durchgeführt. Analog zur Region West nahm in der Region Ost die Schwankungsbereite der Stickstoffgehalte im Zeitverlauf ab. Während bezüglich des Schnittzeitpunktes 27.04. Stickstoffgehalte zwischen 2,2 und 3,1 % gemessen wurden, betrug die übrigen Messwerte dieser Region zwischen 2,1 und 2,6 %.

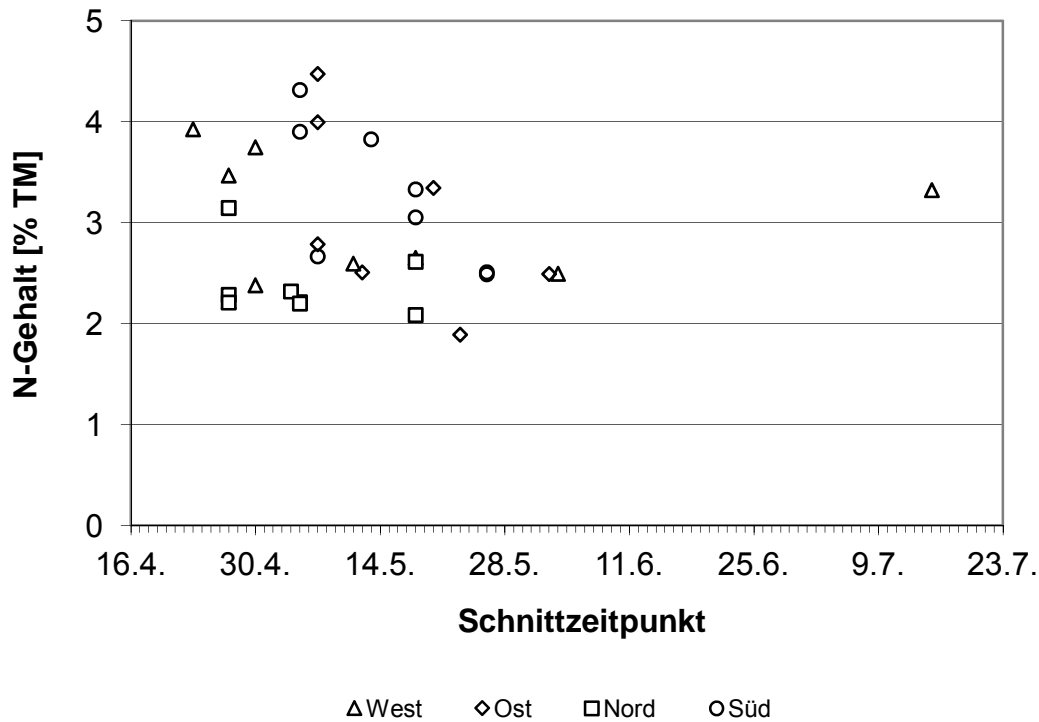


Abbildung 5.2-6: Stickstoffgehalte [% TM] des ersten Kleeerasaufwuchses des Jahres 2009 der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit der Betriebe.

Mit einem durchschnittlichen Trockenmasseertrag von 20,2 dt ha⁻¹ war das Ertragsniveau in der Region Nord im Vergleich der Regionen am geringsten. Der erste Schnitt wurde in dieser Region zwischen dem 27.04. und dem 18.05. eingebracht. Bei gleichem Schnittzeitpunkt unterschieden sich die Trockenmasseerträge in der Region Nord um maximal 33,1 dt ha⁻¹ (27.04.) voneinander. Der durchschnittliche Stickstoffgehalt der Kleeerasaufwüchse der Region Nord betrug 2,4 %. In der Region Süd fand der erste Schnitt zwischen dem 05.05. und dem 26.05. statt, der jeweilige Trockenmasseertrag betrug zwischen 22,5 und 44,1 dt ha⁻¹. In der Region Süd wurden Anfang Mai mit einer Ausnahme (2,7 %; 07.05.) Stickstoffgehalte von etwa 4 % erzielt, während die Stickstoffgehalte der Ende Mai geschnittenen Kleeerasbestände bereits unter 3 % lagen. Wie in der Region Ost war auch in der Region Süd insgesamt eine Abnahme des Stickstoffgehaltes der Sprossmasse mit zunehmender Dauer der Aufwuchsperiode feststellbar.

Die Trockenmasseerträge der ersten Schnitte der im Jahr 2010 beprobten Klee grasflächen sind der Abbildung 5.2-7 zu entnehmen. Analog zum Vorjahr erfolgte die Beerntung zuerst (28.04.) auf einem Betrieb der Region West bei einem vergleichbaren Ertragsniveau (24,3 dt ha⁻¹). Die übrigen ersten Aufwüchse dieser Region wiesen einen höheren Trockenmasseertrag auf. Am 25.05. wurde ein für die Region West maximaler Trockenmasseertrag von 53,3 dt ha⁻¹ erzielt. Die Stickstoffgehalte der ersten Aufwüchse der Region West betragen zwischen 1,9 (12.05.) und 3,5 % (28.04. und 25.05.) (Abbildung 5.2-8).

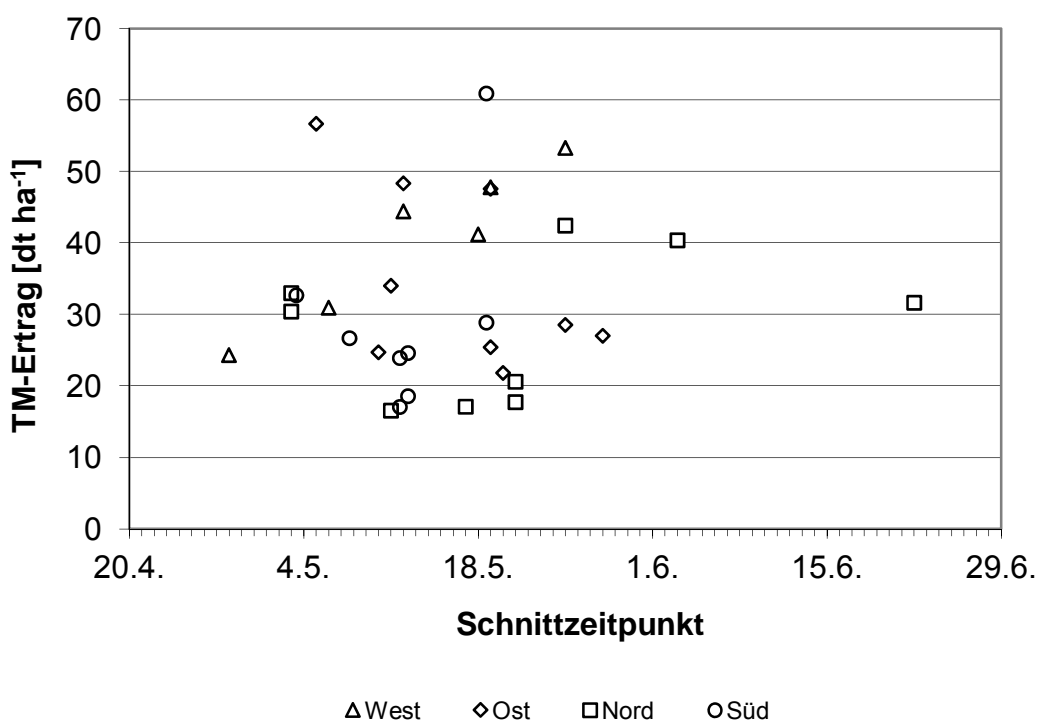


Abbildung 5.2-7: Trockenmasseerträge [dt ha⁻¹] des ersten Klee grasaufwuchses des Jahres 2010 der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit der Betriebe.

In der Region Ost erzielte der erste Klee grasaufwuchs Trockenmasseerträge zwischen 21,8 und 56,7 dt ha⁻¹. Wie im Vorjahr konnte in der Region Ost eine deutliche Abnahme des Stickstoffgehaltes des ersten Aufwuchses im Zeitverlauf festgestellt werden. Während in dieser Region der am 05.05. geschnittene Klee grasaufwuchs einen Stickstoffgehalt von 3,6 % aufwies, betrug der Stickstoffgehalt des am 28.05. gemähten Bestandes nur noch 2,0 %. Das mittlere Ertragsniveau der Region Süd betrug 29,1 dt ha⁻¹. Trotz des im Vergleich der Regionen geringen Ertragsniveaus wurde auf einem Betrieb der Region Süd der höchste Trockenmasseertrag des Jahres 2010 ermittelt (60,9 dt ha⁻¹). Die Beerntung fand in dieser Region zwischen dem 03.05. und dem 18.05. statt. In der Region Süd betrug der Stickstoffgehalt des ersten Aufwuchses zwischen 1,9 (12.05.) und 3,9 % (11.05.). Während der erste Schnitt in der Region Nord im Jahr 2009 bereits am 18.05. abgeschlossen war, erstreckte sich die Beerntung in

dieser Region im Jahr 2010 bis zum 22.06. Das mittlere Ertragsniveau der Region Nord betrug 28,0 dt ha⁻¹ und war damit um 7,8 dt ha⁻¹ höher als im Vorjahr. Die Stickstoffgehalte der ersten Kleeerasaufwüchse der Region Nord betragen zwischen 1,9 % (03.05.) und 3,4 % (17.05.). Die späten Schnittzeitpunkte am 03.06. und 22.06. resultierten hier nicht in einem Abfall des Stickstoffgehaltes (jeweils 2,4 %).

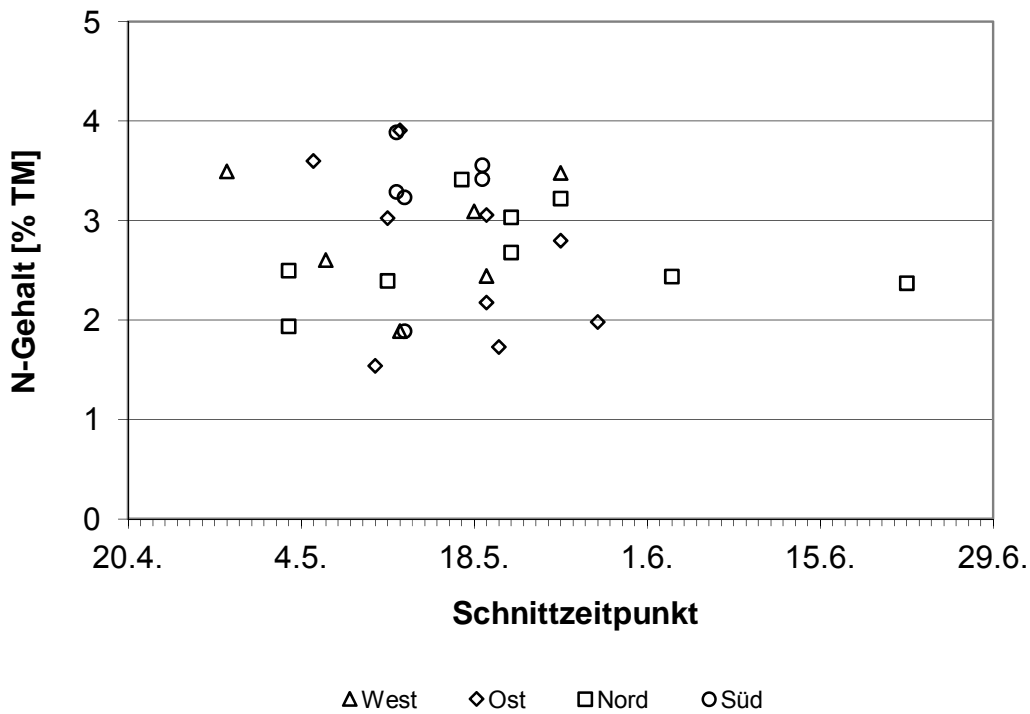


Abbildung 5.2-8: Stickstoffgehalte [% TM] des ersten Kleeerasaufwuchses des Jahres 2010 der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit der Betriebe.

Die Trockenmassegesamterträge des Jahres 2010 der innerhalb des Projektes untersuchten Kleeeras- und Grünlandflächen können der Abbildung 5.2-9 entnommen werden. In der Region West war das Ertragsniveau bei ökologischer Bewirtschaftungsweise höher als bei konventioneller Landbewirtschaftung. Auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen dieser Region wurden minimal 54,1 dt ha⁻¹, maximal 141,4 dt ha⁻¹ und im Mittel aller Betriebe 94,2 dt ha⁻¹ erzielt. Der Trockenmassegesamtertrag der konventionell bewirtschafteten Flächen der Region West betrug minimal 29,7 dt ha⁻¹, maximal 107,6 dt ha⁻¹ und im Mittel aller Betriebe 78,4 dt ha⁻¹. Analog zur Region West war auch in der Region Ost das Ertragsniveau der konventionell bewirtschafteten Flächen (101,4 dt ha⁻¹) geringer als bei einer ökologischen Bewirtschaftungsweise (121,0 dt ha⁻¹). Bei konventioneller Landbewirtschaftung wurde ein minimaler bzw. maximaler Gesamtertrag von 94,5 bzw. 108,2 dt ha⁻¹ erzielt. In den Regionen Nord und Süd resultierte eine konventionelle Bewirtschaftungsweise hingegen in im Mittel höheren Trockenmassegesamterträgen als bei einer ökologischen Landbewirtschaftung. Auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen der Region Süd wurden minimal 42,1 dt ha⁻¹, maximal 85,6 dt ha⁻¹ und im Mittel aller Betriebe

70,9 dt ha⁻¹ erzielt. Der Trockenmassegesamtertrag der konventionell bewirtschaftete Flächen dieser Region betrug minimal 89,4 dt ha⁻¹, maximal 102,4 dt ha⁻¹ und im Mittel aller Betriebe 95,3 dt ha⁻¹. Die Region Nord wies das geringste Ertragsniveau im interregionalen Vergleich auf. Der minimale bzw., maximale Trockenmassegesamtertrag bei ökologischer Bewirtschaftungsweise betrug in dieser Region 46,9 bzw. 78,7 dt ha⁻¹. Im Mittel aller ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betriebe der Region Nord wurde ein Trockenmassegesamtertrag von 62,8 bzw. 68,3 dt ha⁻¹ erzielt.

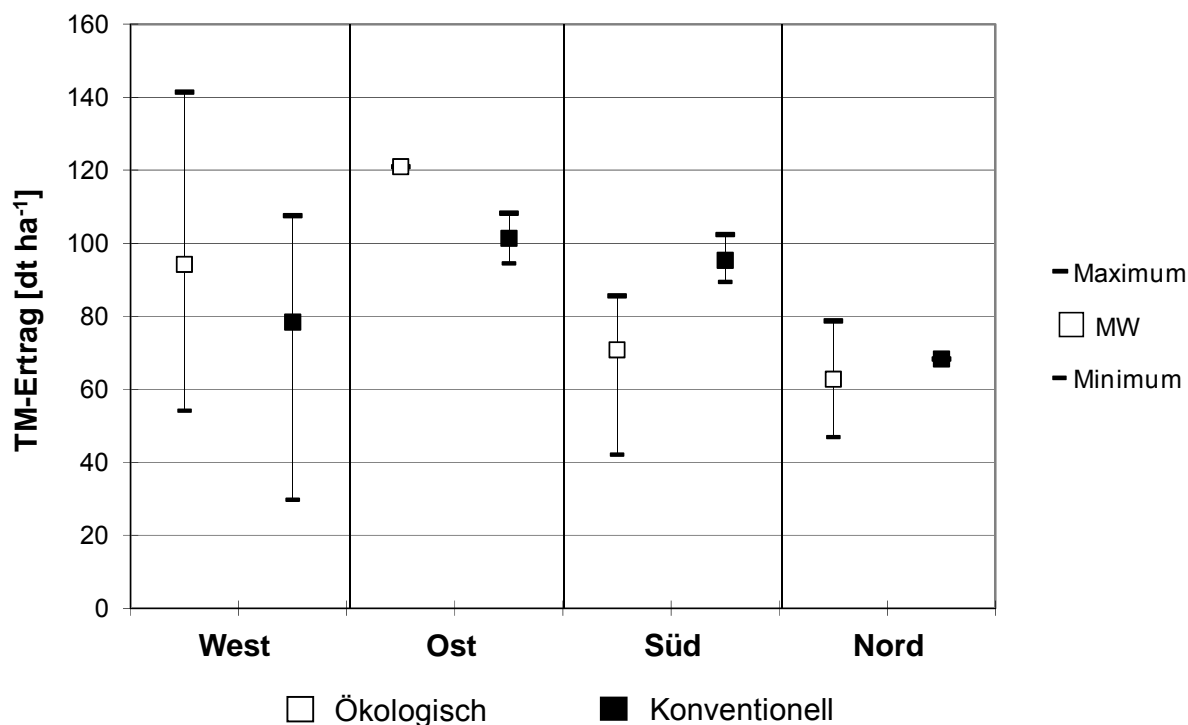


Abbildung 5.2-9: Trockenmassegesamterträge [dt ha⁻¹] des Jahres 2010 der Klee- und Grünlandflächen (zusammengefasst) der Pilotbetriebe. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

In der Region West konnte nur ein geringer Einfluss der Bewirtschaftungsweise auf den Phosphorgehalt der Grünlandaufwüchse des Jahres 2010 festgestellt werden (Abbildung 5.2-10). Bei ökologischer Bewirtschaftungsweise wurden minimal 0,26 %, maximal 0,53 % und im Mittel aller Aufwüchse der Betriebe 0,37 % erzielt. Die Phosphorgehalte bei konventioneller Landbewirtschaftung betragen in der Region West minimal 0,27 %, maximal 0,52 % und im Mittel 0,39 %. Im interregionalen Vergleich wiesen die Grünlandaufwüchse der Region Ost die geringsten Phosphorgehalte auf. Bei konventioneller Bewirtschaftungsweise der Grünlandflächen betragen die Gehalte minimal 0,16 %, maximal 0,40 % und im Mittel 0,32 % und waren tendenziell geringer als bei ökologischer Landbewirtschaftung (0,24 %; 0,44 % und 0,34 %). Die Grünlandaufwüchse der Region Nord wiesen hingegen deutlich höhere Phosphorgehalte auf. Bei konventioneller Bewirtschaftungsweise wurden in dieser Region minimal 0,24 %, maximal 0,63 % und im Mittel aller Aufwüchse der Betriebe 0,44 % erzielt. Die Phosphorgehalte bei

ökologischer Landbewirtschaftung betragen in der Region Nord minimal 0,35 %, maximal 0,56 % und im Mittel 0,42 %. Auch die Grünlandaufwüchse der Region Süd waren durch vergleichsweise hohe Phosphorgehalte gekennzeichnet. Dabei war die Spannweite bei ökologischer Bewirtschaftungsweise (0,24 bis 0,58 %) deutlich größer als bei konventioneller Bewirtschaftung der Grünlandflächen (0,38 bis 0,55 %). Im Mittel aller Aufwüchse der ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betriebe der Region Süd betrug der Phosphorgehalt 0,41 bzw. 0,45 %.

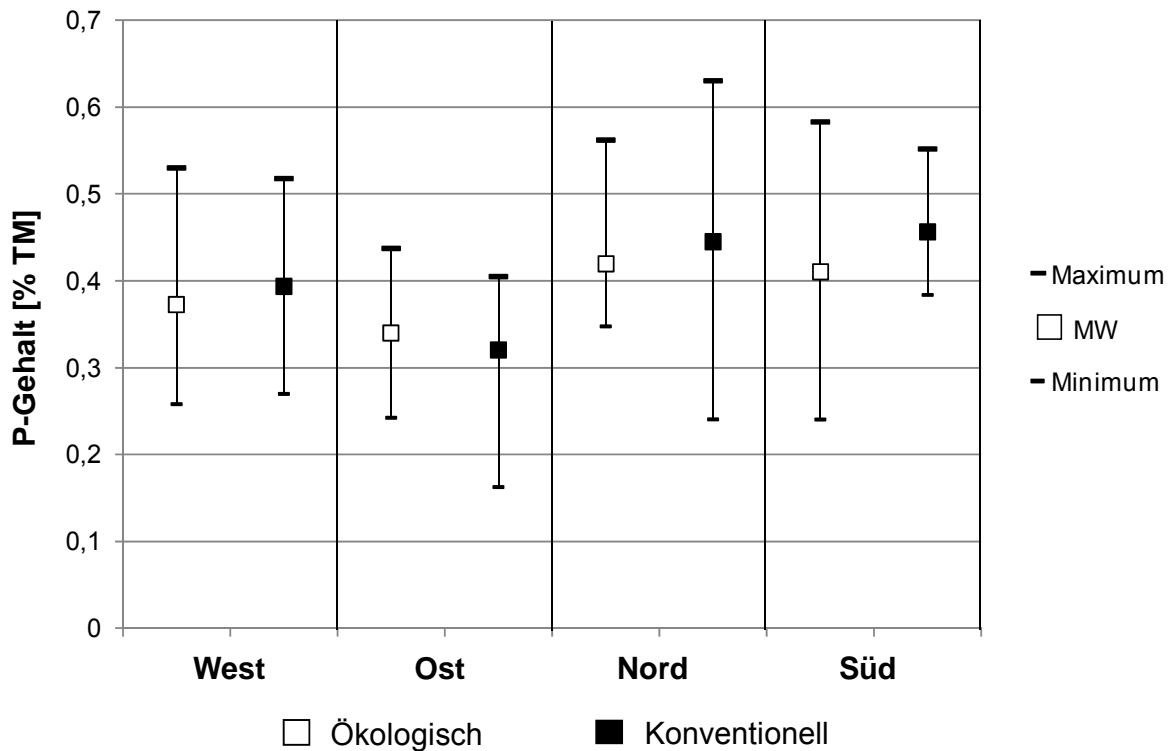


Abbildung 5.2-10: Phosphorgehalte [% TM] aller Grünlandaufwüchse des Jahres 2010. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Der Einfluss von Region und Bewirtschaftungsweise auf die Kaliumgehalte der Grünlandaufwüchse des Jahres 2010 ist der Abbildung 5.2-11 zu entnehmen. In der Region West betragen die Kaliumgehalte bei ökologischer Bewirtschaftung der Grünlandflächen minimal 1,5 %, maximal 4,8 % und im Mittel aller Aufwüchse 2,7 %. Die entsprechenden Werte bei konventioneller Landbewirtschaftung waren 1,3, 4,3 und 2,4 %. Analog zu den Phosphorgehalten wiesen die Grünlandaufwüchse der Region Ost auch die geringsten Kaliumgehalte im interregionalen Vergleich auf. Bei ökologischer Bewirtschaftungsweise wurden minimal 0,6 %, maximal 3,7 % und im Mittel aller Aufwüchse 2,0 % erzielt. Die Kaliumgehalte bei konventioneller Landbewirtschaftung betragen in der Region Ost minimal 0,6 %, maximal 3,2 % und im Mittel 2,0 %. Die Regionen Nord und Süd zeichneten sich auch bei Kalium durch einen vergleichsweise hohen Nährstoffgehalt der Aufwüchse aus. In der Region Nord war die Spannweite der Kaliumgehalte bei konventioneller Bewirtschaftungsweise (0,7 bis 4,6 %) deutlich größer als bei ökologischer

Bewirtschaftung der Grünlandflächen (1,8 bis 4,1 %). Im Mittel aller Aufwüchse der konventionell bzw. ökologisch wirtschaftenden Betriebe der Region Nord betrug der Kaliumgehalt 3,2 bzw. 3,1 %. In der Region Süd betragen die Kaliumgehalte bei ökologischer Bewirtschaftungsweise der Grünlandflächen minimal 1,7 %, maximal 4,2 % und im Mittel aller Aufwüchse 3,0 %. Die entsprechenden Werte bei konventioneller Landbewirtschaftung waren 2,9; 4,2 und 3,6 %.

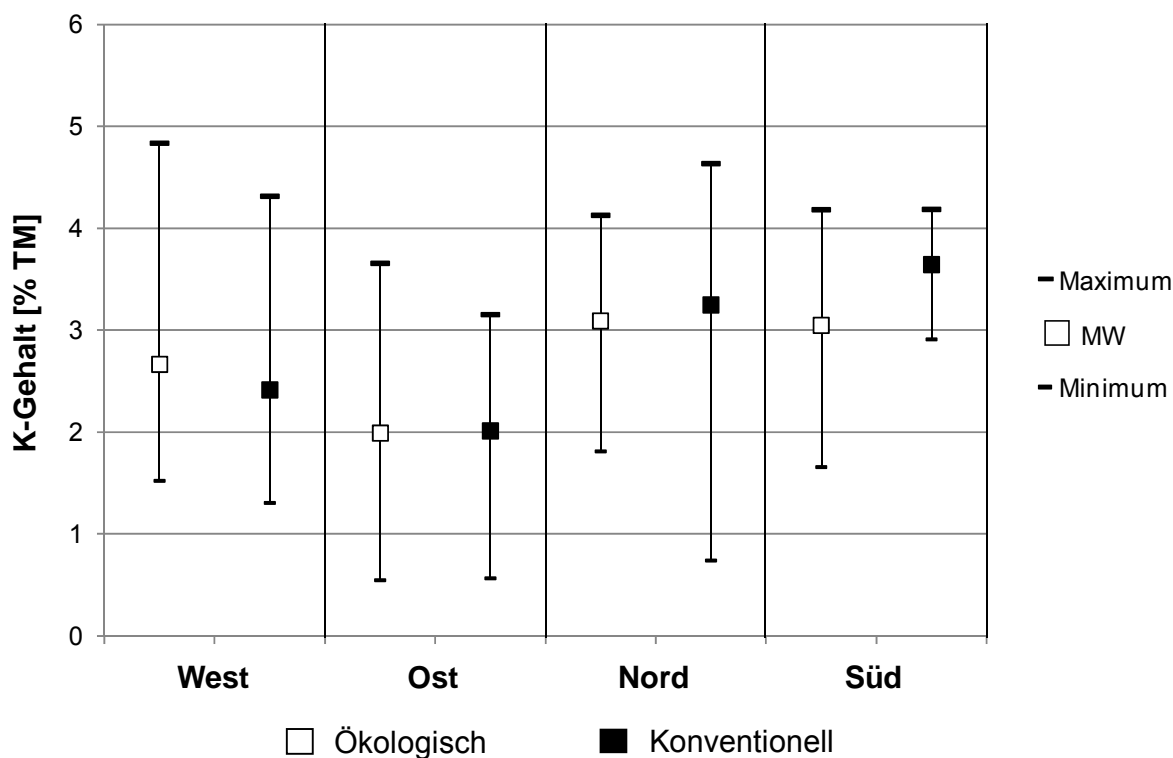


Abbildung 5.2-11: Kaliumgehalte [% TM] aller Grünlandaufwüchse des Jahres 2010. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

Das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) von pflanzlicher Biomasse ist für mikrobiologische Ab- und Umbauprozesse von großer Bedeutung (Jones und Parsons, 1970; Springob und Kirchmann, 2003; Khalil et al., 2005). Organische Rückstände mit einem weiten C/N-Verhältnis (deutlich über 20) werden weniger leicht mineralisiert und können eine temporäre Immobilisation des im Boden vorhandenen mineralischen Stickstoffs bewirken (Mary et al., 1996). Die C/N-Verhältnisse der Grünlandaufwüchse des Jahres 2010 können der Abbildung 5.2-12 entnommen werden.

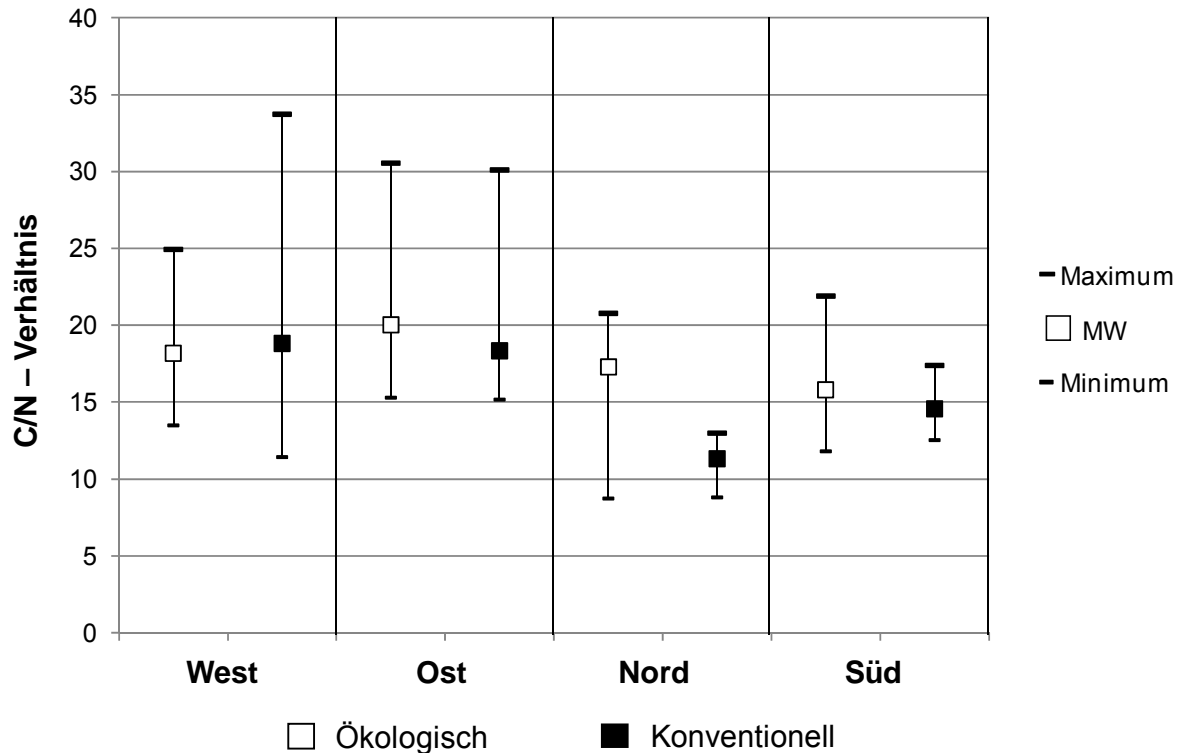


Abbildung 5.2-12: C/N-Verhältnis [dimensionslos] aller Grünlandaufwüchse des Jahres 2010. Differenzierung nach regionaler Zugehörigkeit und Bewirtschaftungsweise der Betriebe. Dargestellt sind das jeweilige Minimum, Maximum und arithmetische Mittel.

In der Region West wiesen die Aufwüchse der ökologisch bzw. konventionell bewirtschafteten Grünlandflächen C/N-Verhältnisse zwischen 13,5 und 24,9 bzw. zwischen 11,4 und 33,7 auf. Im Mittel aller Aufwüchse dieser Region betrug das C/N-Verhältnis bei ökologischer bzw. konventioneller Landbewirtschaftung 18,2 bzw. 18,8. In der Region Ost betrug das C/N-Verhältnis bei ökologischer Bewirtschaftung der Grünlandflächen minimal 15,3, maximal 30,5 und im Mittel aller Aufwüchse 20,0. Die entsprechenden Werte bei konventioneller Landbewirtschaftung lagen bei 15,2, 30,1 und 18,3. In der Region Nord wiesen die unter konventioneller Bewirtschaftungsweise erzeugten Grünlandaufwüchse im Mittel deutlich geringere C/N-Verhältnisse auf, als das Erntegut von ökologisch bewirtschafteten Flächen (11,3 bzw. 17,3). Die Spannweite der C/N-Verhältnisse war in der Region Nord bei ökologischer Bewirtschaftungsweise (8,7 bis 20,8) höher als bei konventioneller Landbewirtschaftung (8,8 bis 13,0). Die Grünlandaufwüchse der Region Süd wiesen hingegen unabhängig der Bewirtschaftungsweise vergleichsweise geringe C/N-Verhältnisse auf. Das C/N-Verhältnis betrug in dieser Region bei ökologischer Bewirtschaftung der Grünlandflächen minimal 11,8, maximal 21,9 und im Mittel aller Aufwüchse 15,8. Für eine konventionelle Landbewirtschaftung wurden entsprechende Werte von 12,5, 17,4 und 14,6 berechnet.

Im Bezug auf die Bewertung der Klimawirkungen landwirtschaftlicher Betriebssysteme stellt der Teilbereich des Pflanzenbaus ein wichtiges Subsystem dar. Die betrieblichen Primärdaten werden für alle komplexeren Analysen zu den Umwelt- und Klimawirkungen der Landwirtschaft benötigt. Die einzelbe-

trieblichen Ertragsdaten fließen in die Berechnung der produktbezogenen Emissionen ein. Die Analysedaten der Aufwüchse sind für die Modellierung der gesamtbetrieblichen Nährstoffkreisläufe erforderlich. Von besonderer Bedeutung sind hierbei der Stickstoff- (Küstermann et al., 2010), Phosphor- (Stein-Bachinger et al., 2004) und Humussaldo (Hülsbergen et al., 2009).

Das statistische Jahrbuch des Statistischen Bundesamtes (2011) ermöglicht eine Einordnung der ermittelten betrieblichen Erträge unter Berücksichtigung ihrer regionalen Zugehörigkeit. Analog zu den innerhalb dieses Projektes ermittelten Ergebnissen der Region Ost zeichneten sich die Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2010 durch vergleichsweise hohe Erträge von Leguminosen/Gras-Gemengen aus (im Mittel der drei Bundesländer: $82,0 \text{ dt ha}^{-1}$). Auch das im Vergleich zu den genannten östlichen Bundesländern geringere Ertragsniveau der Leguminosen/Gras-Bestände in Nordrhein-Westfalen (Region West) wird im Jahrbuch des Statistischen Bundesamtes (2011) bestätigt ($71,5 \text{ dt ha}^{-1}$). Für das Bundesland Bayern (Region Süd) lagen in der genannten Quelle keine diesbezüglichen Angaben vor. Sowohl Schleswig-Holstein ($68,2 \text{ dt ha}^{-1}$) als auch Mecklenburg-Vorpommern ($45,5 \text{ dt ha}^{-1}$) wiesen im Jahr 2010 vergleichsweise geringe durchschnittliche Erträge von Leguminosen/Gras-Beständen auf und bestätigen damit die innerhalb dieses Projektes für die Region Nord ermittelten Ergebnisse.

5.2.3.2 Feldversuche

Sowohl auf ökologisch (Abbildung 5.2-13) als auch auf konventionell bewirtschaftetem Grünland (Abbildung 5.2-14) wurde eine Variation des Schnittregimes im Hinblick auf die Ertragsbildung geprüft. Auf ökologisch bewirtschaftetem Grünland war der Trockenmassegesamtertrag der Variante [6/6] ($53,6 \text{ dt ha}^{-1}$) im Vergleich zur Variante [6/10] ($42,4 \text{ dt ha}^{-1}$) signifikant erhöht. Der Trockenmassegesamtertrag der Variante [4/10] umfasste $45,4 \text{ dt ha}^{-1}$. Weder eine alleinige Anhebung der Schnitthöhe noch eine Anhebung der Schnitthöhe in Kombination mit einer Verkürzung des Schnittintervalls führte über den gesamten Untersuchungszeitraum zu einer Steigerung der Produktivität. Lediglich zu Beginn des Versuches konnten positive Auswirkungen des höheren Schnittes festgestellt werden. Vergleicht man die anfängliche Ertragsbildung der Varianten [6/6] und [6/10], so resultierte die Anhebung der Schnitthöhe zwar in einem geringeren Trockenmasseertrag des ersten Aufwuchses ([6/6]: $16,3 \text{ dt ha}^{-1}$; [6/10]: $8,7 \text{ dt ha}^{-1}$), mit höherem Schnitt war jedoch eine höhere Restblattfläche nach dem Schnitt verbunden, aus der eine gesteigerte Lichtinterzeption des Bestandes zu Beginn des Wiederaufwuchses abgeleitet werden kann.

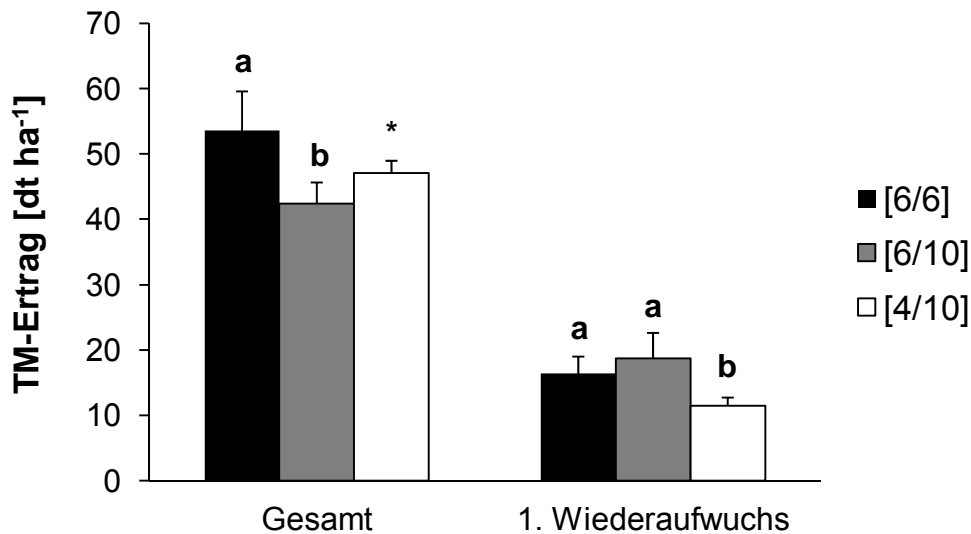


Abbildung 5.2-13: Trockenmassegesamtertrag (links) und Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses (rechts) in Abhängigkeit des Schnittregimes. Ökologisch bewirtschaftetes Grünland. Tukey-Test, $\alpha = 0,05$. * Für die Variante [4/10] erfolgte wegen eines Versuchsfehlers keine Signifikanzuntersuchung des Gesamtertrages.

Die erhöhte Restblattfläche könnte ursächlich für den tendenziell gegenüber der Variante [6/6] ($16,4 \text{ dt ha}^{-1}$) erhöhten Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses der Variante [6/10] ($18,7 \text{ dt ha}^{-1}$) gewesen sein. Der Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses der Variante [4/10] betrug $11,4 \text{ dt ha}^{-1}$. Der positive Einfluss einer alleinigen Anhebung der Schnitthöhe auf die Ertragsbildung war in den folgenden Wiederaufwüchsen des ökologisch bewirtschafteten Grünlandes nicht mehr feststellbar. Die Differenz zwischen den kumulativen Trockenmasseerträgen der Varianten [6/6] und [6/10] nahm ab dem zweiten Wiederaufwuchs mit zunehmender Versuchsdauer kontinuierlich zu und betrug nach dem letzten Schnitt $11,2 \text{ dt ha}^{-1}$ mehr Sprossertrag für die Variante [6/6].

Auf konventionell bewirtschaftetem Grünland war das Ertragsniveau geringer. Die Trockenmassegesamterträge der Varianten [6/6] ($37,7 \text{ dt ha}^{-1}$), [6/10] ($36,3 \text{ dt ha}^{-1}$) und [4/10] ($31,3 \text{ dt ha}^{-1}$) unterschieden sich im Gegensatz zu der ökologisch bewirtschafteten Grünlandfläche nicht signifikant voneinander. Trotz des tendenziell höchsten Trockenmassegesamtertrages der Variante [6/6] konnte zu Beginn der Untersuchung wiederum ein Vorteil einer alleinigen Anhebung der Schnitthöhe im Hinblick auf die Ertragsbildung festgestellt werden. Wie auf ökologisch bewirtschaftetem Grünland wies die Variante [6/10] zu Beginn des ersten Wiederaufwuchses eine gegenüber der Variante [6/6] deutlich erhöhte Restblattfläche auf. Dieser relative temporäre Vorteil der Variante [6/10] wird als ursächlich für den signifikant höchsten Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses ($14,2 \text{ dt ha}^{-1}$) im Vergleich der Varianten interpretiert. Der Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses der Varianten [6/6] bzw. [4/10] betrug $10,8$ bzw. $6,1 \text{ dt ha}^{-1}$. Analog zu der ökologisch bewirtschafteten Grünlandfläche war ein derartiger positiver Einfluss einer angehobenen Schnitthöhe auf die Ertragsbildung in den nachfolgenden Aufwüchsen nicht mehr feststellbar.

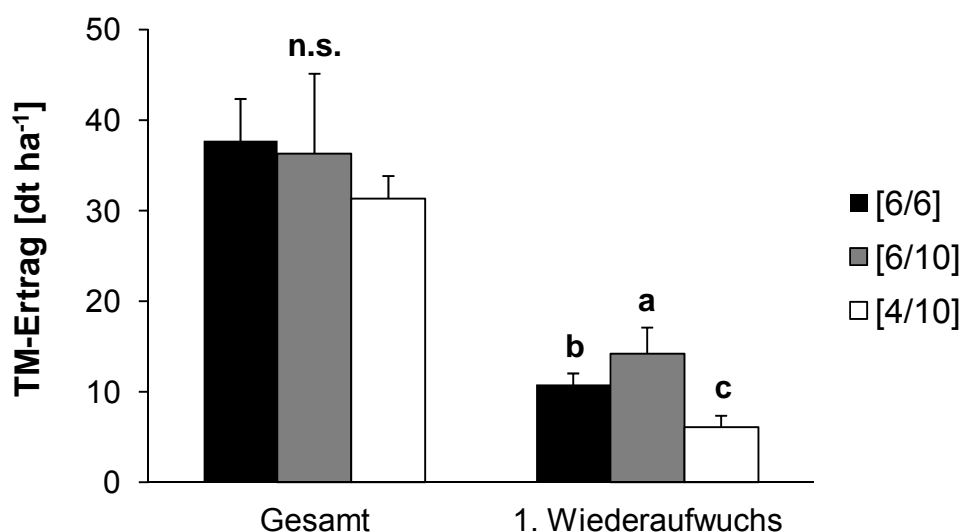


Abbildung 5.2-14: Trockenmassesgesamtertrag (links) und Trockenmasseertrag des ersten Wiederaufwuchses (rechts) in Abhängigkeit des Schnittregimes. Konventionell bewirtschaftetes Grünland. Tukey-Test, $\alpha = 0,05$.

Unabhängig der Bewirtschaftungsweise führte weder eine alleinige Anhebung der Schnitthöhe noch eine Anhebung der Schnitthöhe in Kombination mit einer Verkürzung des Schnittintervalls zu einer Steigerung des Trockenmassesgesamtertrages der untersuchten Grünlandbestände. Auf ökologisch bewirtschaftetem Grünland resultierte eine alleinige Anhebung der Schnitthöhe sogar in einer signifikanten Ertragsreduktion. Dieses Ergebnis widerspricht insgesamt der Ausgangshypothese. In der vergleichbaren Untersuchung von Binnie und Harrington (1972) führte bei einem sechswöchentlichen Schnittintervall eine Anhebung der Schnitthöhe von 7,6 auf 12,7 cm bei Reinbeständen aus Deutschem Weidelgras zu einer tendenziellen Abnahme des Trockenmassesgesamtertrages. Kim und Albrecht (2008) ermittelten unabhängig der gewählten Schnittfrequenz eine signifikante Abnahme des Trockenmassesgesamtertrages von Klee-grasbeständen bei einer Anhebung der Schnitthöhe von 4 auf 10 cm. Frame und Boyd (1987) erzielten bei einer Nutzungsfrequenz von sechs Schnitten pro Jahr bei Klee-gras unabhängig der Stickstoffdüngung des Bestandes (0 bis 360 kg N ha⁻¹) eine signifikante Ertragsreduktion durch eine Anhebung der Schnitthöhe von 4 auf 8 cm. In der Studie von Liu et al. (2011) steigerte eine Verkürzung des Schnittintervalls von vier auf zwei Wochen bei einer auf 24 cm angehobenen Schnitthöhe den Trockenmassesgesamtertrag des untersuchten Grasbestandes. In den Untersuchungen von Mela (2003), Herrmann et al. (2005) und Vinther (2006) resultierte eine erhöhte Schnittfrequenz hingegen in einer Reduktion des Trockenmassesgesamtertrages der jeweiligen Klee-grasbestände (ohne Angabe der Schnitthöhe).

5.2.4 Schlussfolgerungen

Ausgehend vom jeweiligen Ertragsniveau des Standortes, bedingt durch seine lokale und regionale Zugehörigkeit, wurde mit dem Ziel einer Senkung der produktbezogenen Emissionen eine Ertragssteigerung angestrebt. Am Standort Rheinbach führte unabhängig der Bewirtschaftungsweise weder die Strategie einer dauerhaften Anhebung der Schnitthöhe noch einer zusätzlichen Verkürzung des Schnittintervalls zum Erfolg. Eine entsprechende Umsetzung in der landwirtschaftlichen Praxis ist daher nicht anzuraten.

In der vorliegenden Untersuchung konnte jedoch durch eine Anhebung der Schnitthöhe zum ersten Schnitt auf ökologisch bewirtschaftetem Grünland eine tendenzielle und auf konventionell bewirtschaftetem Grünland eine signifikante Ertragssteigerung des ersten Wiederaufwuchses bewirkt werden. Es kann vermutet werden, dass zu diesem Zeitpunkt die Pflanzen im Hinblick auf die photosynthetische Leistung der Einzelblätter und den Neuaustrieb jüngerer Blätter als physiologisch jünger interpretiert werden können. Diese Vermutung steht im Einklang mit den Ergebnissen von Reid (1967, S. 253): *„Cutting the first crop to 2½ in and the remaining four crops to 1 in was the only treatment which gave a total yield in 1963 and 1964 approaching that of cutting all five crops to 1 in and, in fact, it significantly outyielded this latter treatment in 1965, mainly as a result of an extremely high second-cut yield“*. Wenn in der vorliegenden Untersuchung analog zum Vorgehen von Reid (1967) ab dem zweiten Schnitt eine tiefe Schnitthöhe gewählt worden wäre, wäre der jeweilige Ertrag des ersten Wiederaufwuchses noch gesteigert worden.

Der Ansatz einer einmaligen Anhebung der Schnitthöhe zum ersten Schnitt könnte daher sowohl auf konventionell als auch ökologisch bewirtschafteten Grünland- oder Klee grasflächen ertragssteigernd wirken. Damit bestünde die Möglichkeit, die produktbezogenen Emissionen des Anbauverfahrens zu senken. Die Umsetzbarkeit dieses Ansatzes bei differierenden Standortbedingungen bedarf jedoch weiterer Untersuchungen.

5.2.5 Literatur

Binnie R, Harrington F (1972) The effect of cutting height and cutting frequency on the productivity of an Italian ryegrass sward. *Journal of the British Grassland Society* 27:177-182

Brougham R (1956) Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research* 7:377-378

Chmielewski F (2007) Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Endlicher W, Gers-tengabe F-W (Hrsg.) *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 75-85

Frame J, Boyd A (1987) The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass and Forage Science* 42:85-96

Gardner F, Pearce R, Mitchell R (1985) *Physiology of crop plants*. Iowa State, USA: Iowa State Press, 327 S

Hakala K, Jauhiainen L (2007) Yield and nitrogen concentration of above- and below-ground bio-masses of red-clover cultivars in pure stands and in mixtures with three grass species in northern Europe. *Grass and Forage Science* 62:312-321

Hay R, Porter J (2006) *The physiology of crop yield*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2. Auflage, 328 S

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. *European Journal of Agronomy* 22:141-158

Hülsbergen K-J, Küstermann B (2007) Ökologischer Landbau - Beitrag zum Klimaschutz. Öko-Landbau-Tag 2007 in Freising-Weißenstephan, 07.03.2007. In: Wiesinger K (Hrsg.) *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 9-21

Hülsbergen K-J, Engelmann K, Reinicke F (2009) Nachhaltigkeitsindikatoren. In: *Nachhaltige landwirtschaftliche Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel*. Initiativen zum Umweltschutz 78. Erich Schmidt Verlag Berlin, 9-65

Jones M, Parsons J (1970) The influence of soil C/N ratios on nitrogen mineralization during anaerobic incubation. *Plant and Soil* 32:258-262

Khalil M, Hossain M, Schmidhalter U (2005) Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology & Biochemistry* 37:1507-1518

Kim B, Albrecht K (2008) Yield and species composition of binary mixtures of kura clover with Kentucky bluegrass, orchardgrass or smooth bromegrass. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences* 21:995-1002

- Köpke U, Haas G** (1995) Vergleich Konventioneller und Organischer Landbau - Teil II: Klimarelevante Kohlendioxid-Senken von Pflanzen und Boden. *Berichte über Landwirtschaft* 73:416-434
- Küstermann B, Christen O, Hülsbergen K-J** (2010) Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 70-80
- Liu K, Sollenberger L, Newman Y, Vendramini J, Interrante S, Whiteleech R** (2011) Grazing management effects on productivity, nutritive value, and persistence of 'Tifton 85' Bermudagrass. *Crop Science* 51:353-360
- Mary B, Recous S, Darwis D, Robin D** (1996) Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soils. *Plant and Soil* 181:71–82
- Mela T** (2003) Red clover grown in a mixture with grasses: Yield, persistence and dynamics of quality characteristics. *Agricultural and Food Science in Finland* 12:195-212
- Nguyen M, Hayes R** (1995) Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52:163-172
- Refsgard K, Halberg N, Kristensen E** (1998) Energy utilization in crop and dairy production in Organic and Conventional livestock production systems. *Agricultural systems* 57:599-630
- Reid D** (1967) Studies on the cutting management of grass-clover swards. V. The effect of changes in the closeness of cutting at different times in the season on the yield and quality of herbage from a perennial ryegrass-white clover sward. *The Journal of Agricultural Science* 68:249-254
- Springob G, Kirchmann H** (2003) Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. *Soil Biology & Biochemistry* 35:629-632
- Statistisches Bundesamt** (2011) Statistisches Jahrbuch 2011. Kapitel 13: Land- und Forstwirtschaft. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 747 S
- Stein-Bachinger K, Bachinger J, Schmitt L** (2004) Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau – ein Handbuch für Beratung und Praxis. KTBL-Schrift 423. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, 138 S
- Ta T, Faris M** (1987) Species variation in the fixation and transfer of nitrogen from legumes to associated grasses. *Plant and Soil* 98:265-274
- Vinther F** (2006) Effects of cutting frequency on plant production, N-uptake and N₂-fixation in above and below-ground plant biomass of perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Science* 61:154-163