

Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau

Developing a plant-based fertilizer for organic vegetable production

FKZ: 110E109

Projektnehmer:

Hochschule für Technik und Wirtschaft, Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie,
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden
Tel.: +49 351 462-3017
E-Mail: schmidtke@htw-dresden.de
Internet: www.htw-dresden.de

Autoren:

Scheffler, Simon; Schmidtke, Knut

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Abschlussbericht
zum Verbundvorhaben
BOELN 2811OE109

Zuwendungsempfänger:

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Vorhabenbezeichnung: **Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau**

Laufzeit: 01.03.2013 bis 31.12.2016
Berichtszeitraum: 01.03.2013 bis 31.12.2016

Autoren des Abschlussberichtes: Dipl.-Ing. (FH) Gartenbau Simon Scheffler und
Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke
E-Mail: scheffler@htw-dresden.de, schmidtke@htw-dresden.de

SUMMARY

The main objective of the research project was to develop and prove a new plant-based fertilizer adapted to organic vegetable production. For this, different species of forage legumes were cut up to 11 times per year to achieve desired C to N ratio in the harvested plant biomass of less than 10. Therefore, during a pretest conducted in 2013 ten different forage legumes were evaluated in a field experiment near Dresden/Germany, while in 2014 the best suited four species were chosen for further evaluations in field and laboratory tests (N mineralization). The highest forage yields were achieved by red clover (96 dt DM per ha and year) and white clover (dt DM per ha and year) using high frequent cutting regime. The short-term cutting intervals resulted in all over the season weighted N content of the biomass between 4,2 and 4,4 % of DM and weighted C/N ratio in the biomass between 9,8 and 10,4. Between 2013 and 2015 the new legume-based fertilizer was tested in several laboratory and field experiments. The harvested shoot biomass of the legumes was dried, ground (< 2 mm) and applied into soil for growing spinach and beetroot. With increasing amounts of applied legume-based fertilizer, the fresh matter yield of spinach increased by up to 120 % of control (without fertilization). The apparent nitrogen utilization of the legume-based fertilizer was accounted for to be around 40 % by spinach, and 50 to 54 % within 125 days by beetroot. Additionally, the N utilization by spinach and beetroot was determined with ¹⁵N marked legume-based fertilizer in 2015. To sum up, based on field and laboratory experiments it could be concluded that early harvested and dried shoot biomass of white and red clover is well suitable to be used as a valuable fertilizer for producing vegetables in organic horticultural farms.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen.....	V
Verzeichnis der Tabellen.....	XIII
1 Einführung.....	1
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	1
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes.....	1
1.3 Planung und Ablauf des Projektes.....	2
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	3
3 Material und Methoden.....	7
3.1 Standorteigenschaften und Witterung	7
3.3 Versuchsaufbau	11
3.4 Analysen	28
3.6 Bodenchemische Untersuchungen.....	33
3.7 Statistische Methoden	35
4 Ergebnisse	36
4.1 Evaluation der Futterleguminosen.....	36
4.2 Prognosemodell Schnittregime.....	38
4.3 Stickstoffmineralisation.....	42
4.4 Pelletierte Düngemittel	49
4.5 Pflanzenverträglichkeit	50
4.6 Einfluss von Futterleguminosendüngemitteln auf die Ertragsbildung	55
4.7 Stickstoffverwertung.....	70
4.8 N _{min} -Vorrat im Boden nach der Ernte.....	89
4.10 Aufnahme und Verwertung weiterer Nährstoffe aus Futterleguminosenschnittgut.....	94
5 Diskussion.....	111
5.1 Evaluation der Futterleguminosenarten.....	111
5.2 Stickstoffmineralisation.....	112

5.3	Pflanzenverträglichkeit	114
5.4	Einfluss von Futterleguminosendüngemitteln auf die Ertragsbildung	114
5.5	N-Verwertung	116
5.6	Nährstoffaufnahme Spinat	119
5.7	Scheinbare Verwertung der gedüngten Nährstoffe durch Spinat	120
5.8	Ökonomische Bewertung	121
6	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	123
7	Geplante und erreichte Ziele	125
8	Zusammenfassung	126
9	Literaturverzeichnis	129
10	Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	132
11	Anhang	133

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Witterungsverlauf am Standort Dresden-Pillnitz in den Jahren 2013 und 2014 (Daten: Wetterstation des LfULG in Pillnitz)	9
Abb. 2:	Witterungsverlauf an der Wetterstation des LfULG in Roda im Jahr 2015 während des Düngeversuchs in Stollsdorf	10
Abb. 3:	Witterungsverlauf an der Wetterstation des LfULG in Wurzen im Jahren 2015 während des Düngeversuchs in Taucha bei Leipzig	10
Abb. 4:	Kumulierte Trockenmasseerträge der Futterleguminosenarten und des Welschen Weidelgrases im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts)	37
Abb. 5:	C/N-Verhältnisse im Schnittgut der Leguminosen zu den jeweiligen Schnittterminen im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, für die Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee jeweils ohne Luzerne)	38
Abb. 6	Zusammenhang zwischen Summe der Globalstrahlung je Schnittintervall und dem TM-Ertrag je Schnittintervall, Zeitraum: Mai und August 2014	40
Abb. 7	Zusammenhang zwischen akkumulierten Globalstrahlung und dem C/N-Verhältnis im Schnittgut je Schnittintervall, Zeitraum Mai und August 2014	40
Abb. 8	Zusammenhang zwischen dem Spross TM-Ertrag von Futterleguminosen und dem N-Gehalt im Schnittgut, Zeitraum April und Oktober 2014	41
Abb. 9:	Netto-N-Mineralisation aus Futterleguminosenschnittgut des zweiten (links) und dritten Schnitttermins (rechts) bei einer Inkubationstemperatur von 20°C und einer N-Gabe im Schnittgut von 1 mg N je g TM Boden	42
Abb. 10:	Netto-N-Mineralisation aus Futterleguminosenschnittgut des letzten Schnitttermins bei einer Inkubationstemperatur von 20°C und einer N-Gabe im Schnittgut von 1 mg N je g TM Boden	43
Abb. 11	Einfluss der Inkubation (bei 20°C, 70% WK) auf die Netto-N-Mineralisation aus Hornmehl (a), Alexandrinerklee (b), Steinklee (c) und Weißklee (d) in verschiedenen Vermahlungsstufen	45
Abb. 12	Einfluss der Inkubation (bei 20°C, 70% Wasserhaltekapazität) auf die Netto-N-Mineralisation aus Hornmehl, Alexandrinerklee, Steinklee, Weißklee und in verschiedenen Vermahlungsstufen (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$, n.n.- Daten nicht normalverteilt)	47

Abb. 13: Netto-N-Mineralisation aus Weißkleepellets und –mehl bei einer Inkubationstemperatur von 20°C (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	48
Abb. 14: Zusammenhang zwischen C/N-Verhältnis des organischen Materials und der maximalen Netto-N-Mineralisation nach 112 Tagen bei 20°C (Datengrundlage: erster und zweiter Inkubationsversuch; lineare Regression: F-Wert: 50,41, P-Wert: $<0,0001$)	49
Abb. 15: Einfluss von Hornmehl, Weißkleemehl und pelletiertem Weißklee auf Frisch- (a) bzw. Trockenmasserertrag (b) und N-Aufnahme (c) des Spinats sowie N-Gehalt im Spinat (d) und die scheinbare N-Verwertung (e) des gedüngten Stickstoffs durch Spinat im Jahr 2014, (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz von 5%)	50
Abb. 16: Keimversuche mit Kresse auf Filterpapier unter Zugabe von 0,2 g TM vermahlenem Leguminosenschnittguts je Petrischale mit 50 Samen (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc- Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee)	51
Abb. 17: Keimung von Kressesamen in Boden unter Zugabe von 39 bis 80 mg TM Schnittgut je g TM Boden als vermahlene Schnittgut eingearbeitet in die obersten 2 cm Boden (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc-Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee, Ho und Pe des letzten Schnittermines nicht getestet).....	52
Abb. 18: Keimung von Kressesamen in Sand unter Zugabe von 39 bis 80 mg TM Schnittgut je g TM Boden als vermahlene Schnittgut eingearbeitet in die obersten 2 cm (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc-Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee), (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.).....	54
Abb. 19: Einfluss der Art und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	55
Abb. 20: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Rukola als zweite	

	Folgekultur nach der Düngung am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)56
Abb. 21:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Rüben-FM- Ertrag (links) und den Rüben-TM-Ertrag (rechts) der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)58
Abb. 22:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Blatt-FM-Ertrag (links) und den Blatt-TM-Ertrag (rechts) von Rote Rübe am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....59
Abb. 23:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM- Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)61
Abb. 24:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM- Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Rukola als zweite Folgekultur nach der Düngung am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)62
Abb. 25:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Gesamt-FM- Ertrag (links) und den Gesamt-TM-Ertrag (rechts) von Spinat plus Rukola als zweite Folgekultur nach der Düngung des Spinates am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....63
Abb. 26:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Rüben-FM- Ertrag (links) und den Rüben-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)64
Abb. 27:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Blatt-FM-Ertrag (links) und den Blatt-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)65
Abb. 28:	Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Gesamt-FM- Ertrag (links) und den Gesamt-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)66

Abb. 29: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, D.n.nv.: Daten nicht normal verteilt).....	68
Abb. 30: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Taucha bei Leipzig im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	69
Abb. 31: Scheinbare Stickstoff-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014	71
Abb. 32: Scheinbare N-Verwertung des zu Spinat gedüngten Stickstoffs durch die zweite Folgefrucht Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Tukey, $\alpha < 0,05$, n.s.).....	72
Abb. 33: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge durch Spinat einschließlich der zweiten Folgefrucht Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014.....	73
Abb. 34: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Daten nicht normalverteilt; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.)	74
Abb. 35: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.).....	75
Abb. 36: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Rukola als Folgekultur nach Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	76
Abb. 37: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat sowie dessen Folgekultur Rukola im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	77
Abb. 38: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	78
Abb. 39: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Mengen durch Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (links) und am Standort Taucha im Jahr 2015 (rechts); (GD: Grenzdifferenz; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	79

Abb. 40: N-Verwertung nach ¹⁵ N-Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemittel durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	80
Abb. 41: N-Verwertung nach ¹⁵ N-Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemitteln durch Rukola als zweite Folgekultur am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	81
Abb. 42: N-Verwertung nach ¹⁵ N-Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemitteln durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	82
Abb. 43: N-Verwertung nach ¹⁵ N-Markierung der zur Saat gedüngten Düngemittel durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	83
Abb. 44: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ¹⁵ N-Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus den Futterleguminosen-Düngemittel Rotklee (links) und Schwedenklee (rechts) jeweils in zwei Dünge­stufen (je n = 48)	84
Abb. 45: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ¹⁵ N- Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus dem Futterleguminosen-Düngemittel Weißklee in zwei Dünge­stufen (n = 48).....	84
Abb. 46: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ¹⁵ N- Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus den zur Saat gedüngten Futterleguminosen-Düngemitteln Rotklee, Schwedenklee und Weißklee in jeweils zwei Dünge­stufen (n = 144) Ergebnisse vom Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015.....	85
Abb. 47 Einfluss der Düngung auf den düng­ebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Spross des gedüngten Spinats am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	86
Abb. 48: Einfluss der Art und der Höhe der Düngung auf den düng­ebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Spross des gedüngten Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	87

Abb. 49: Einfluss der Art und Höhe der Düngung auf den düngebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff in der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	88
Abb. 50: Einfluss der Art und Höhe der Düngung auf den düngebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Rübenblatt (rechts), Standort Dresden-Gohlis 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	88
Abb. 51: Einfluss der Art und Höhe der Düngung zur Saat auf den Nmin-Vorrat im Boden nach der Ernte der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalkenkennzeichnen die Grenzdifferenz- GD für den Nmin in 0 bis 60 cm Boden, Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)	91
Abb. 52: Einfluss der Art und Höhe der N-Düngung zur Saat von Spinat auf den Nmin-Vorrat im Boden nach der Ernte des Spinats am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalkenkennzeichnen die Grenzdifferenz- GD für Nmin in 0 bis 60 cm Boden, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	92
Abb. 53: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngte Makronährstoffmengen an den Standorten Stollsdorf (P1) und Taucha (P2, kein Maltaflor) im August 2016	94
Abb. 54: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngte Mikronährstoffmengen an den Standorten Stollsdorf (P1) und Taucha (P2, kein Maltaflor) im August 2016	95
Abb. 55: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	96
Abb. 56: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	96
Abb. 57: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	97
Abb. 58: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	98

Abb. 59: Scheinbare Makronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	99
Abb. 60: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	101
Abb. 61: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	102
Abb. 62: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	103
Abb. 63: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	103
Abb. 64: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	105
Abb. 65: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	105
Abb. 66: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	107
Abb. 67: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	107
Abb. 68: Scheinbare Makronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngten	

Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015
(Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$) 108

Abb. 69: Scheinbare Mikronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel
Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngten
Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015
(Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$) 109

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Standorteigenschaften der verschiedenen Versuchsstandorte 2013 bis 2015.....	7
Tab. 2:	Nährstoffanalysen und Gehaltsklassen der Oberböden an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im August 2015	8
Tab. 3:	Nährstoffanalysen der Oberböden an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im August 2015.....	8
Tab. 4:	Standort der Wetterstationen des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, Umweltschutz und Geologie deren Daten zur Auswertung der Feldversuche 2013 bis 2015 genutzt wurden	9
Tab. 5:	hinsichtlich TM-Ertrag und N-Ertrag unter einem häufigem Schnittregime geprüfte Futterleguminosenarten sowie Welsches Weidelgras am Standort Dresden-Pillnitz im Jahr 2013	11
Tab. 6:	Hinsichtlich TM-Ertrag und N-Ertrag unter einem häufigem Schnittregime geprüfte Futterleguminosenarten am Standort Dresden-Pillnitz im Jahr 2014	12
Tab. 7:	Versuchsparameter der Untersuchungen zur Pflanzenverträglichkeit von jungem Futterleguminosenschnittgut in einem Keimtest.....	13
Tab. 8:	In Keimtests auf Keimfilterpapier, in Sand und Boden auf Pflanzenverträglichkeit getestetes Futterleguminosenschnittgut aus dem Jahr 2013.....	15
Tab. 9:	N-Gehalt und C-Gehalt sowie C/N-Verhältnis der im Bebrütungsversuch (B2) untersuchten Futterleguminosenschnittgutvarianten	17
Tab. 10:	im Bebrütungsversuch (B3) untersuchte Varianten der Partikelgröße von Weißkleeschnittgut und der jeweilige N-Gehalt, C-Gehalt sowie das C/N-Verhältnis im Weißkleeschnittgut	18
Tab. 11:	Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha und die tatsächlich gedüngte N-Menge	18
Tab. 12:	Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha sowie 40 dt Marktware Rote Rübe (Standort Dresden-Gohlis 2014)	20
Tab. 13:	Arbeitsschritte im Düngeversuch mit Spinat und Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014.....	21

Tab. 14 :	Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte, sowie C/N-Verhältnisse der im Düngeversuch in Spinat und Roter Rübe eingesetzten Düngemittel am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015	22
Tab. 15:	Arbeitsschritte im Düngeversuch mit Spinat und Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015.....	23
Tab. 16:	Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha sowie 40 dt Marktware Rote Rübe (Standort Dresden-Gohlis 2015)	24
Tab. 17 :	Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt sowie C/N-Verhältnisse der im Düngeversuch in Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 eingesetzten Düngemittel.....	25
Tab. 18	Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha für die Düngeversuche an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015	27
Tab. 19:	Arbeitsschritte in den Düngeversuchen mit Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015.....	28
Tab. 20	Im Spinatspross aus den Düngeversuchen der Standorte Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha ermittelte Nährstoffe im Jahr 2015, sowie die eingesetzten Untersuchungsmethoden	29
Tab. 21:	Zur Beschreibung der Böden an den Versuchsstandorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha analysierten bodenchemischen Parameter mit zugeordneten Untersuchungsmethoden	33
Tab. 22:	Schnittgutertragsleistung und Qualität des Erntegutes der evaluierten Futterleguminosenarten und Welschem Weidelgras im Jahr 2013 (Feldversuch F1).....	36
Tab. 23:	Schnittgutertragsleistung und Qualität des Erntegutes der evaluierten Futterleguminosenarten im Jahr 2014 (Feldversuch F1)	37
Tab. 24:	Witterungsdaten während des Feldversuchs zur Evaluation der Futterleguminosenarten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee im Jahr 2014 am Standort Dresden-Pillnitz (Vegetationsbeginn nach 300 °C Tagen).....	39
Tab. 25:	Übersicht aller im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen zum Projekt ..	132

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, ein aus dem System des ökologischen Landbaus stammendes, neuartiges N-Düngemittel für den ökologischen Gemüsebau auf der Basis von Futterleguminosen zu entwickeln, sowie dessen Einfluss auf Ertrag und Qualität von Spinat und Rote Rübe zu prüfen.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Für die Entwicklung eines stickstoffreichen Mehrnährstoffdüngemittels auf Basis von Futterleguminosenschnittgut sollten:

- (1) die für die Düngemittelerzeugung am besten geeigneten Futterleguminosenarten identifiziert werden (Evaluation verschiedener Arten hinsichtlich Pflanzenverträglichkeit und N-Mineralisierung des Futterleguminosenschnittgutes),
- (2) der Einfluss des Schnittzeitpunktes der Futterleguminosen (Identifikation des artspezifisch optimalen Zeitpunktes) und der Grad der Weiterverarbeitung (Vermahlung, Pelletierung) auf die Geschwindigkeit der N-Freisetzung aus dem getrockneten Futterleguminosenschnittgut ermittelt werden und
- (3) die Ertragswirkung und Höhe der N-Verwertung aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut durch Spinat und Rote Rübe quantifiziert werden.
- (4) zur Beurteilung der Düngewirkung die Nährstoffaufnahme sowie die Nährstoffverwertung aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut durch Spinat untersucht werden.

Zusätzlich sollte eine betriebswirtschaftliche Bewertung der Erzeugung und des Einsatzes dieser neuen Düngemittel im Vergleich zu einem Standard-Düngemittel des ökologischen Gemüsebaus (Hornmehl) vorgenommen werden.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt hatte eine Gesamtlaufzeit von 01. März 2013 bis 31. Dezember 2016 und wurde an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie, Fachgebiet Ökologischer Landbau umgesetzt. Die Untersuchungen begannen mit der Evaluation von 10 verschiedenen Futterleguminosenarten hinsichtlich TM-Ertrag, N-Ertrag in Feldversuchen im Jahr 2013 und wurden im Jahr 2014 mit vier Futterleguminosenarten fortgeführt. Das im Jahr 2013 entwickelte Schnittregime konnte 2014 weiter angepasst werden.

Im Feldversuch gewonnenes Schnittgut wurde nach Trocknung und Vermahlung in drei Gefäßversuchen (Keimtests) auf Pflanzenverträglichkeit und in drei Inkubationsversuchen auf die N-Mineralisierung aus dem Schnittgut untersucht.

Der Einfluss des Futterleguminosenschnittguts auf den Ertrag von Spinat und Rote Rübe sowie der Folgekultur Rukola konnte insgesamt in sechs Düngeversuchen im Feld bereits ab Herbst 2013, im Jahr 2014 und 2015 an vier verschiedenen Standorten untersucht werden.

Während der Evaluation der Futterleguminosen im Jahr 2014 wurde die Eignung des getrockneten und vermahlenden Schnittguts zum Pressen streufähiger Pellets unterschiedlicher Größe getestet. Die gewonnenen Pellets wurden in einem Feldversuch als Düngemittel im Vergleich zu Hornmehl und vermahlenem Futterleguminosenschnittgut auf den Einfluss von Ertrag und Qualität sowie der N-Verwertung durch Spinat geprüft.

Im Jahr 2015 wurden an drei verschiedenen Standorten Düngeversuche mit Futterleguminosenschnittgut in Spinat durchgeführt. Das gewonnene Probenmaterial wurde im Jahr 2016 auf Nährstoffgehalte aller für die Pflanze essentiellen Makro- und Mikronährstoffe untersucht und in Bezug auf Nährstoffaufnahme und Verwertung aus den Düngemitteln geprüft.

Auf Grundlage der Versuchsergebnisse des Projektes wurden erste ökonomische Kennzahlen für ein Verfahren zur Herstellung von Futterleguminosen-Düngepellets erhoben.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Hohe Ansprüche an die Ertragsbildung der Kulturen und die äußere Qualität der Ernteprodukte erfordern im ökologischen Gemüsebau den Einsatz erheblicher Mengen organischer Düngemittel, deren enthaltene Nährstoffe zu einem hohen Anteil schnell verfügbar sein müssen (LABER 2009). Dies betrifft insbesondere den Stickstoff, der aus organischer Quelle durch Mineralisation in eine pflanzenverfügbare Form überführt werden muss. Da in den zumeist knapp mit Fläche ausgestatteten ökologisch wirtschaftenden Gemüsebaubetrieben über die Nutzung von legumen Vorfrüchten und über den Einsatz betriebseigener Düngemittel (Komposte) nur ein kleiner Teil des Stickstoffbedarfes gedeckt werden kann, setzen diese Betriebe in Deutschland vor allem organische Handelsdüngemittel ein (LÜTKE-BESSELMANN & V. FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF 1999). Vorrangig eingesetzt werden: Haarmehlpellets (im Mittel etwa 50 % des Gesamteinsatzes, COLSHORN 2009), Bioilsa (etwa 25 %, COLSHORN 2009), Hornspäne/-gries/-mehl, Vinasse (Rückstand aus der Zuckerrübenverarbeitung), Agrobiosol (Pilzbiomasse aus der Penicilinherstellung), Phytogries (Rückstände aus der Maisverarbeitung), Rizinusschrot, Rapsschrot und Maltaflor (Rückstände aus der Bierherstellung, BRAIG 2009). Nur im Ausnahmefall stammen diese Düngemittel aus Betrieben des ökologischen Land- oder Gartenbaus, so dass deren Einsatz insbesondere von den Anbauverbänden des ökologischen Landbaus und des Lebensmitteleinzelhandels als sehr kritisch und nicht nachhaltig systemkonform angesehen wird (COLSHORN 2009).

Eine Ausnahme stellen hingegen Körnerleguminosenschrote aus ökologischem Anbau dar, die als N-Düngemittel im Gemüsebau erfolgreich geprüft wurden (MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF 2004, 2005, VON FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF & MÜLLER 2005). Allerdings ist der Preis je kg N aus diesen Düngemitteln sehr hoch. Er dürfte derzeit zwischen ca. 8,80 € (Ackerbohne) und 11,40 € (Erbse) je kg N für ökologisch erzeugte Ware liegen. Grund für das hohe Preisniveau der heimischen Körnerleguminosen ist die Konkurrenz zur Verwertung als Futtermittel sowie eine häufig unzureichende Ertragsleistung von Körnerleguminosen im ökologischen Landbau, die durch eine starke Verunkrautung und hohen Schaderregerbefall dieser Bestände verursacht wird (BROCK et. al. 2011). Einschränkend kommt für die Nut-

zung von Körnerleguminosenschroten als Düngemittel hinzu, dass diese zur Saat von Gemüse nicht eingesetzt werden können, da eine geringe Verträglichkeit der Schrote im Keimpflanzenstadium vorliegt (BRAIG 2009). Aus diesen Gründen werden Körnerleguminosenschrote nur in geringem Maße als Düngemittel im ökologischen Land- und Gartenbau eingesetzt.

Andere organische Düngemittel wie Stallmist und Stallmistkomposte stehen aus ökologischer Erzeugung nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung und können darüber hinaus zu einer kurzfristigen Bedarfsdeckung an Stickstoff für den ökologischen Gemüsebau nicht gezielt eingesetzt werden. Gegen den Einsatz von Gülle, Jauche oder Gärresten aus Biogasanlagen sprechen zudem hygienische Vorbehalte (LABER 2009). Deshalb besteht für den ökologischen Gemüsebau ein hoher Bedarf an bzw. nach einem aus dem Betriebssystem des ökologischen Landbaus stammenden, kostengünstig erzeugten und schnell mineralisierbaren organischen Düngemittel, um insbesondere die Stickstoffversorgung im ökologischen Gemüsebau nachhaltig und systemkonform decken zu können.

Untersuchungen von RILEY et. al. (2003), SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2011), und STUMM & KÖPKE (2013) zeigen, dass ein praxisüblicher Ernteschnitt von Futterleguminosen (Luzerne, Rotklee, Klee gras, Weißklee) zu Blühbeginn und die anschließende Einarbeitung von sowohl frischem, getrocknetem und siliertem Schnittgut in den Boden zu relativ geringen Verwertungsraten des im Schnittgut enthaltenen Stickstoffs durch die Folgefrucht führt. RILEY et. al. (2003) gaben für Rote Rübe eine Stickstoffaufnahme von 8 % des mit Rotkleeschchnittgut gedüngten Stickstoffs an. Blumenkohl konnte nach Angaben von SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2011) ca. 8 bis 22 % des mit Luzerneschnittgut gedüngten Stickstoffs verwerten. Ergebnisse aus Düngeversuchen in Raps von STUMM & KÖPKE (2013) deuten sogar auf einen Rückgang der Stickstoffaufnahme bei einer Düngung mit Luzernepellets hin.

SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2011) konnten jedoch auch zeigen, dass nach Einarbeitung von Sprossmasse von Luzerne bis zu 39 % des in der eingearbeiteten Luzerne enthaltenen Stickstoffs von der eingesetzten Folgefrucht Blumenkohl aufgenommen werden konnte. So hohe Verwertungsraten des gedüngten Stickstoffs konnten allerdings nur erzielt werden, wenn das C/N-Verhältnis des eingearbeiteten feldfeuchten Schnittgutes vergleichsweise eng war (C/N: 10 bis 11, SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN 2011). Futterleguminosen lassen sich, im Gegensatz zu Körnerleguminosen, sehr erfolgreich im ökologischen Landbau kultivieren. Allerdings bedarf es zur Nutzung des

Futterleguminosenschnittgutes als Düngemittel eines einfachen und zugleich kostengünstigen Verfahrens der Konservierung, da der Anfall des Schnittguts von Futterleguminosen mit dem N-Düngebedarf im Gemüsebau nicht synchron verläuft (z.B. hoher N-Düngebedarf im zeitigen Frühjahr). Zudem lassen sich hohe Verwertungsraten des gedüngten Stickstoffs nur mit sehr jungen Aufwüchsen der Futterleguminosen erzielen (enges C/N-Verhältnis), wobei dann der Nutzungstermin der Futterleguminose vermutlich deutlich früher, als zu futterbaulichen Verwertung erforderlich, erfolgen muss. Da sehr frühe Nutzungstermine der Futterleguminose in der Regel mit einem Ertragsrückgang verbunden sind, ist durch spezifische Untersuchungen zu ermitteln, wie hoch die N-Ertragsleistung von Futterleguminosen bei sehr hoher Nutzungsfrequenz noch ausfällt.

Futterleguminosen werden auch in viehlos wirtschaftenden Ackerbaubetrieben des ökologischen Landbaus zur Unkrautregulierung, zur Bodenverbesserung und vor allem zur Stickstoffversorgung nichtlegumer Folgefrüchte angebaut. Allerdings wird der Aufwuchs in diesen Betrieben vielfach nicht genutzt, da keine wirtschaftliche Verwertung durch eine Tierhaltung oder eine Biogasanlage realisiert werden kann. Gelänge es, diesen Aufwuchs gezielt im jungen Entwicklungsstadium zu schneiden und das blattreiche Material verlustarm zu konservieren, könnten diese Futterleguminosenbestände zur Erzeugung von stickstoffreichen organischen Düngemitteln genutzt werden. Hier setzt das beantragte Vorhaben an: Durch Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen ist es mit Hilfe einer Ballentrocknungsanlage möglich (FEUSTEL et al. 2009, B & S 2009), Futterleguminosenschnittgut nahezu ohne Blattverluste zu trocknen und somit ein lagerfähiges Substrat zur Düngemittelherstellung zu gewinnen. Hierdurch kann bisher nicht genutzte Abwärme von Biogasanlagen einer sinnvollen und klimaschonenden Nutzung zugeführt werden, die ab dem Jahr 2012 zu 60 % für neu in Nutzung gehende Biogasanlagen zudem vorgeschrieben ist (EEG 2012). Nach Vermahlung des so getrockneten Futterleguminosenschnittgutes und anschließender Pelletierung könnten diese legumen Schnittgutpellets als flexible Düngemittel im ökologischen Gemüsebau eingesetzt werden. Dabei wird ein stickstoffreiches Mehrnährstoff-Düngemittel mit Spurenelementen erzeugt, das aus dem Anbausystem ökologischer Landbau stammt.

Die Gewinnung von Futterleguminosenschnittgut könnte vor allem in viehlos wirtschaftenden Betrieben des ökologischen Landbaus erfolgen, die in Kooperation mit einer Biogasanlage das Futterleguminosenschnittgut trocknen. Entsprechende Trocknungsanlagen, die die Abwärme aus Biogasanlagen nutzen, sind bereits in Deutschland zur Erzeugung von Heu in der Praxis erfolgreich erprobt und betriebswirtschaftlich bewertet worden. Aus diesen Daten geht hervor, dass im ökologischen Landbau beispielsweise eine Dezitonne Luzerneheu für

etwa 12,50 € erzeugt werden kann (eigene Berechnungen auf Grundlage der Daten von FEUSTEL et al. 2009 und MICHEL et al. 2011), so dass unter Berücksichtigung des Nährstoffwertes für das enthaltene Kalium und Phosphor je kg N etwa 2,00 bis 2,50 € zu veranschlagen wären. Aus derart getrocknetem Futterleguminosenschnittgut könnte deshalb ein konkurrenzfähiges Düngemittel erzeugt werden. Allerdings liegen bisher keine spezifischen Daten vor, mit welcher Futterleguminosenart, zu welchem Schnittzeitpunkt und zu welchem Grad der Weiterverarbeitung des Schnittgutes die beste N-Düngewirkung im ökologischen Gemüsebau erzielt werden kann.

3 Material und Methoden

3.1 Standorteigenschaften und Witterung

Die Anlage der Versuche erfolgte an vier verschiedenen Standorten in Sachsen. Die Evaluation der Futterleguminosen sowie die Evaluation des geernteten Futterleguminosenschnittgutes als Düngemittel und die Feldversuche zur Düngewirkung verschiedener Futterleguminosenpellets erfolgte 2013 und 2014 auf dem Versuchsfeld der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Dresden-Pillnitz. In Dresden-Gohlis konnten in den Jahren 2014 und 2015 die Feldversuche zur Düngewirkung des Futterleguminosenschnittgutes in Spinat und Rote Rübe durchgeführt werden. Weitere Feldversuche zur Düngewirkung von Futterleguminosenschnittgut fanden im Jahr 2015 in Stollsdorf (Gemeinde Königfeld) und in Taucha bei Leipzig statt (Tab. 1). Die Analysen der Haupt- bzw. Mikronährstoffgehalte sowie der Humusgehalt und pH-Wert der Böden an den drei Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha sind in Tab. 2 und Tab. 3 sowie die zugehörigen Analyseverfahren in Tab. A 1 zusammengestellt.

Tab. 1: Standorteigenschaften der verschiedenen Versuchsstandorte 2013 bis 2015

Standort	Lage	Bodentyp	Bodenart	Bodenpunkte	Lage ü. NN	Bewirtschaftung
01326 Dresden-Pillnitz	Dresden, südöstliche Elbaue	Braunerde- aus Fluss- und Auenab- lagerungen	lehmiger Sand	62	117	langjährig ökologisch
01156 Dresden-Gohlis	Dresden - nordöstliche Elbaue	Braunerde- aus Fluss- und Auenab- lagerungen	Sand	42/43	110	langjährig ökologisch- nach den Richtlinien des Anbauverbandes Gäa
09306 Stollsdorf	Mittel- sächsisches Lösshügelland	Lösslehm	Lösslehm	60	220	langjährig ökologisch- nach den Richtlinien des Anbauverbandes Gäa
04425 Taucha	Leipziger Tieflands- bucht	Braunerde	lehmiger Sand	43	140	langjährig ökologisch- nach den Richtlinien des Anbauverbandes Demeter

Alle Versuchsflächen waren eben mit Ausnahme der Versuchsfläche in Stollsdorf, in der die Wiederholung eins und zwei leicht nach Süden geneigt positioniert waren.

Tab. 2: Nährstoffanalysen und Gehaltsklassen der Oberböden an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im August 2015

Standorte	Humus- gehalt %	ph- Wert	mg je 100g lufttrockenem Boden			mg je kg lufttrockenem Boden			
			P	K	Mg	Fe	Mn	B	Cu
Dresden- Gohlis	1,9	6,6 C	7,7 D	10,8 C	13,3 E	450	150 E	1,3 E	7,6 E
Stollsdorf	2,3	6,6 C	1,9 A	6,2 B	20,1 E	260	150 E	<1 C	4,4 E
Taucha	2,2	6,7 C	5,1 C	6,1 B	8,3 D	270	150 E	<1 C	5,2 E

Tab. 3: Nährstoffanalysen der Oberböden an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im August 2015

Standorte	mg je kg lufttrockenem Boden				
	S	Ca	Na	Zn	Mo
Dresden-Gohlis	171	3125	180,0	830	0,06
Stollsdorf	198	3307	123,0	470	0,03
Taucha	202	3002	107,0	490	0,05

Hervorzuheben ist, dass im Versuchszeitraum 2013 bis 2015 das Frühjahr 2013 mit $-2,2^{\circ}\text{C}$ zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010) unterdurchschnittlich kalt, gefolgt von einem überaus niederschlagsreichen Frühsommer (Mai, Juni) 2013 mit über 300 % der langjährigen mittleren Niederschlagsmenge war. Der Winter 2013 zu 2014 war mit $2,5^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Mittel besonders mild und mit nur 51% der langjährigen Niederschlagsmenge vergleichsweise sehr trocken. Im Jahr 2015 ist der sehr heiße Juli und August mit Abweichungen von $+1,7$ bzw. $+3,4^{\circ}\text{C}$ zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010) zu erwähnen (Daten: Deutscher Wetterdienst Station Dresden-Klotzsche). Die Witterungsdaten für die Darstellung der Witterungsverläufe während der Versuchszeit wurden von Wetterstationen des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, Umweltschutz und Geologie bezogen (Tab. 4).

Tab. 4: Standort der Wetterstationen des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, Umweltschutz und Geologie deren Daten zur Auswertung der Feldversuche 2013 bis 2015 genutzt wurden

Standort Feldversuche	Standort Wetterstation	Entfernung Feldversuch-Wetterstation
Dresden-Pillnitz	Dresden-Pillnitz	ca. 300 m
Dresden- Gohlis	Coswig	ca. 6 km
Stollsdorf (Gemeinde Königsfeld)	Roda	ca.10 km
Taucha bei Leipzig	Wurzen	ca.10 km

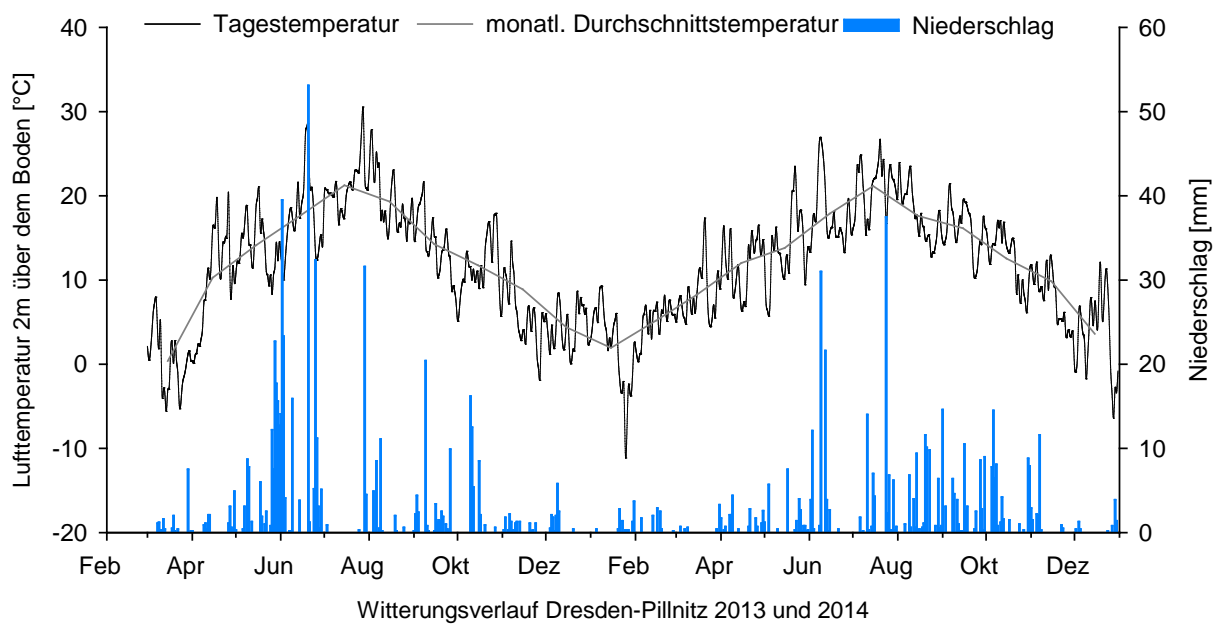


Abb. 1: Witterungsverlauf am Standort Dresden-Pillnitz in den Jahren 2013 und 2014 (Daten: Wetterstation des LfULG in Pillnitz)

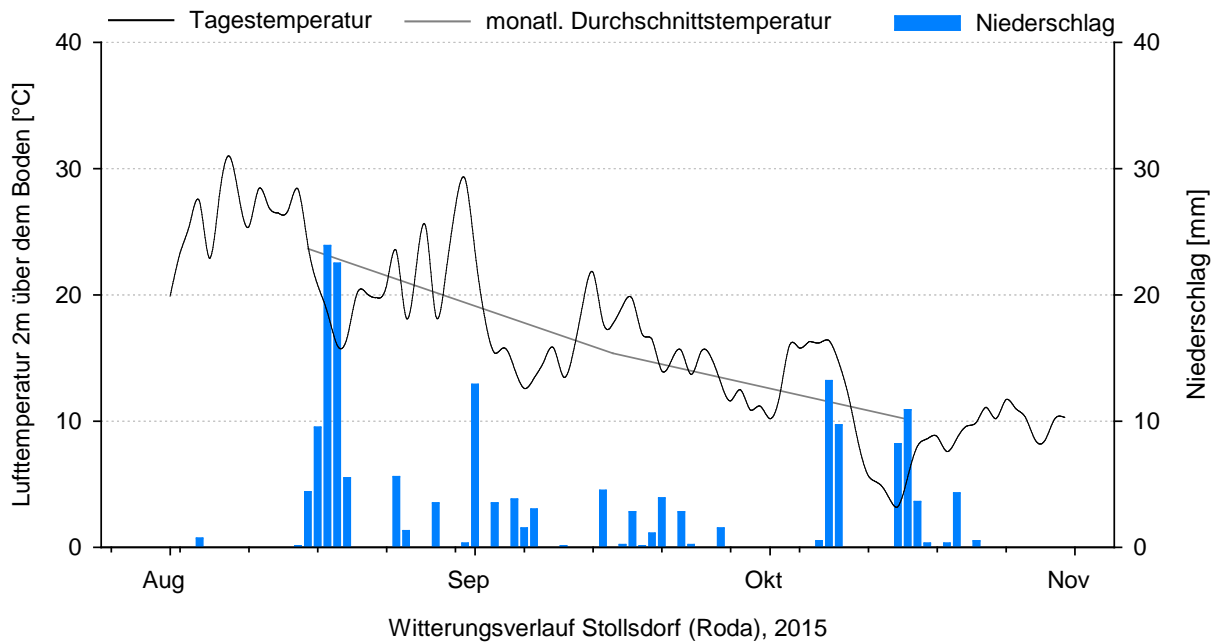


Abb. 2: Witterungsverlauf an der Wetterstation des LfULG in Roda im Jahr 2015 während des Düngeversuchs in Stollsdorf

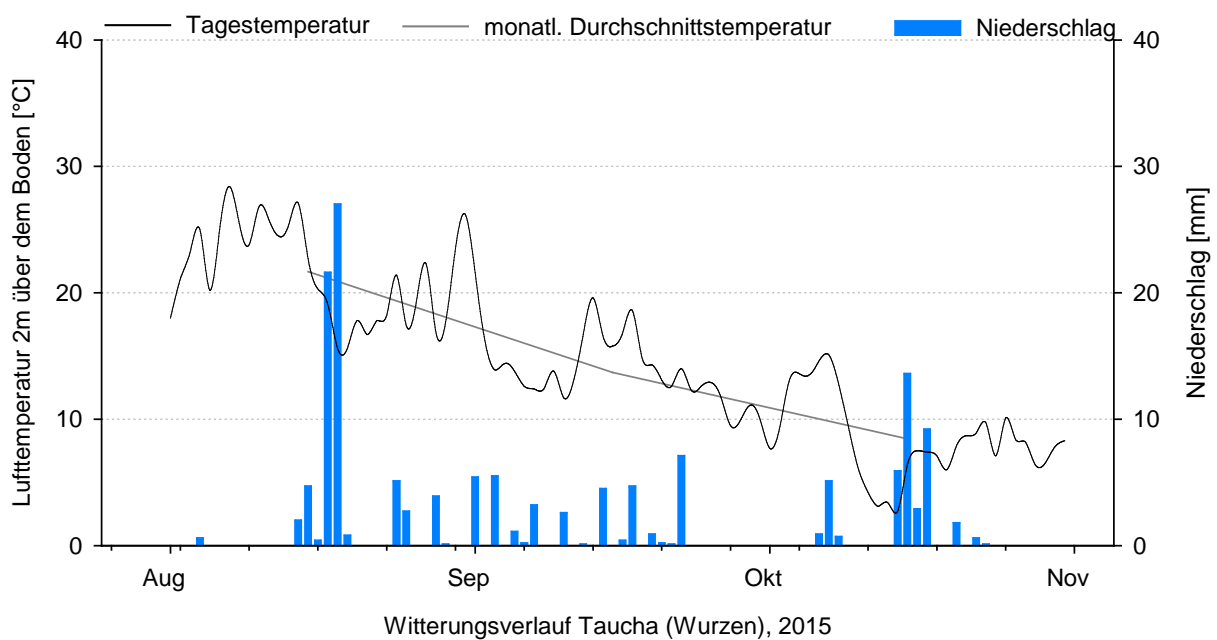


Abb. 3: Witterungsverlauf an der Wetterstation des LfULG in Wurzen im Jahren 2015 während des Düngeversuchs in Taucha bei Leipzig

3.3 Versuchsaufbau

Evaluation der Futterleguminosen

Der Feldversuch wurde als randomisierte Blockanlage mit 69 m² großen Parzellen in vierfacher Wiederholung auf dem Versuchsfeld der HTW-Dresden in Pillnitz angelegt. Nach der Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug (Bearbeitungstiefe 28 cm) und einer Saatbettbereitung mit der Kreiselegge (Firma Maschino), wurde eine Grunddüngung mit der Einscheibensämaschine in den Boden eingearbeitet. Der Düngbedarf errechnete sich aus einem Nährstoffbedarf von 90 kg P₂O₅ je ha und 200 kg K₂O je ha für einen Futterleguminosenschnittgutertrag von 150 dt TM ha⁻¹ und wurde in Form von Dolophos und Kalisop (Kaliumsulfat) ausgebracht. Zur Absicherung der Mikronährstoffversorgung wurde das Mikronährstoffdüngemittel *Excello Basis* in einer Aufwandmenge von 50 kg ha⁻¹ ausgebracht. Die Saat von zehn Futterleguminosenarten und Welchem Weidelgras (Tab. 5) erfolgte am 22.04.2013. Die Ernte begann am 16.06.2013 mit einem Schnittintervall von 2 bis 6 Wochen. Eingesetzt wurde ein Sichelmäher der Marke ‚Sabo‘ mit 54 cm Schnittbreite bei einer Schnitthöhe von ca. 9 cm. Das Schnittgut wurde auf festem Untergrund in der Sonne unter regelmäßigem Wenden von Hand getrocknet und für den Einsatz als Düngemittel mit der Schneidmühle SM 100 der Firma Retsch auf eine Partikelgröße < 2 mm vermahlen.

Tab. 5: hinsichtlich TM-Ertrag und N-Ertrag unter einem häufigem Schnittregime geprüfte Futterleguminosenarten sowie Welsches Weidelgras am Standort Dresden-Pillnitz im Jahr 2013

Kulturart	Botanischer Name	Sorte	Saatdichte [kf. Samen m ⁻²]	Saatstärke [kg ha ⁻¹]
Alexandrinerklee	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.	Akenaton	1200	32
Geißraute	<i>Galega officinalis</i> L.	keine Sorte	-	15
Gelbklee	<i>Medicago lupulina</i> L.	Virgo	1200	17
Hornklee	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Oberhaunstädter	1600	20
Luzerne	<i>Medicago sativa</i> L.	Daphne	750	15
Persischer Klee	<i>Trifolium resupinatum</i> L.	Gorby	1200	16
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i> L.	Perseo	800	18
Schwedenklee	<i>Trifolium hybridum</i> L.	Frida	1000	7
Weißer Steinklee Gelber Steinklee	<i>Melilotus albus</i> Medik./ <i>Melilotus officinalis</i> Pall.	keine Sorte	750	15
Weißklee	<i>Trifolium repens</i> L.	Hebe	1000	6,5
Welches Weidelgras	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Ronaldo	850	35

Die Anzahl der Futterleguminosenarten wurde für die weitere Evaluation im Feldversuch im Jahr 2014 eingeschränkt. Die Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee wurden auf Grund der bis dato erhobenen Daten zum kumulierten TM- und N-Ertrag sowie hinsichtlich eines möglichst niedrigen C/N-Verhältnisses im Schnittgut ausgewählt. Luzerne wurde zusätzlich in den Versuch integriert, da diese Futterleguminosenart als legume Futterpflanze und zur Gründüngung einen hohen Stellenwert im ökologischen Landbau einnimmt.

Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug (27 cm) und anschließendem Einsatz Kreiselegge (8 cm) am 05. August 2013 und der Ausbringung von Makro- und Mikronährstoffen am 07. August 2013 wurde der Versuch bereits am 12. August 2013 mit der Parzellendruckmaschine HEGE 80 mit Einzelscheibenscharen ausgesät (Tab. 6). Der Reihenabstand betrug 15 cm bei 9 Reihen je Beet. Der Versuch war als Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die einzelnen Parzellen hatten eine Größe von 90 m². Im März 2014 ist der Durchwuchs der Vorfrucht Roggen von Hand entfernt worden. Am 14. März 2014 erfolgte eine Nachsaat mit 50% der Reinsaatstärke.

Das milde Frühjahr 2014 ermöglichte bereits am 11. April den ersten Ernteschnitt der Futterleguminosen. Die Ernte erfolgte 2014 mit dem handgeführten Grüngüterter-HGE der Firma Haldrup mit einer Arbeitsbreite von 75 cm und einer Schnitthöhe von 13 cm in einem Intervall von 14 bis 35 Tagen.

Der Frischmasseertrag der gesamten Parzelle wurde vor Ort mit der Waage PS SST 60 der Firma Bosche (± 20 g Genauigkeit) gewogen. Im Anschluss wurden je Parzelle zwei repräsentative Mischproben des bereits gehäckselten Schnittgutes von ca. 900 g FM entnommen. Die erste Probe wurde bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz für die Analyse getrocknet. Die zweite Probe wurde zur Bestimmung des TS-Gehalt zunächst bei 60°C und anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Tab. 6: Hinsichtlich TM-Ertrag und N-Ertrag unter einem häufigem Schnittregime geprüfte Futterleguminosenarten am Standort Dresden-Pillnitz im Jahr 2014

Kulturart	Botanischer Name	Sorte	Saadichte [kf. Samen m ⁻²]	Saatstärke [kg ha ⁻¹]
Luzerne	<i>Medicago sativa</i> L.	Daphne	750	15
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i> L.	Perseo	800	18
Schwedenklee	<i>Trifolium hybridum</i> L.	Frida	1000	7
Weißklee	<i>Trifolium repens</i> L.	Hebe	1000	6,5

Test auf Pflanzenverträglichkeit

Die Untersuchungen der Pflanzenverträglichkeit des im Feldversuch geernteten Futterleguminosenschnittgutes wurden an die Methodik der Untersuchungen der Keimfähigkeit nach Vorschriften der ISTA (2010) angelehnt und als Testpflanze Kresse *Lepidium sativum* L. ausgewählt. Die Untersuchungen wurden in drei getrennten Varianten (Tab. 7) durchgeführt: Als Keimtest auf Keimfilterpapier unter Zugabe von 0,2 g TM von < 0,2 mm vermahlenem Futterleguminosenschnittgut (G1), als Keimtest auf gewaschenem Sand unter Einarbeitung des auf < 0,2 mm vermahlenem Futterleguminosenschnittgutes in eine 2 cm Sandschicht (G2) und als Keimtest auf Boden unter Einarbeitung des auf < 0,2 mm vermahlenem Futterleguminosenschnittgutes in eine 2 cm Bodenschicht (G3) (Tab. 7). Insbesondere der Keimtest in Sand und Boden sollten unter Zugabe des auf < 0,2 mm vermahlenem Futterleguminosenschnittgutes eine Düngung mit flacher Einarbeitung (2 cm) bei zeitgleicher Saat simulieren. Getestet werden sollte, ob eine keimhemmende Wirkung des Schnittguts (Düngemittel) zu verzeichnen ist. Hierzu wurde eine sehr hohe N-Düngegabe in Höhe von 600 kg N ha⁻¹ in den Versuchen simuliert.

Tab. 7: Versuchsparemeter der Untersuchungen zur Pflanzenverträglichkeit von jungem Futterleguminosenschnittgut in einem Keimtest

	Versuch G1 - Filterpapier	Versuch G2 - Sand	Versuch G3 - Mutterboden
Saatgut	50 Kressesamen je Gefäß		
Wiederholungen	8 Wiederholungen		
Gefäß	Petrischalen 90mm Durchmesser	Blumentopf 110 mm Durchmesser (0,57 l)	
Substrat	Filterpapier	gewaschener Sand < 1,5 mm	Versuchsfeld Pillnitz, lehmiger Sand
Substrat je Gefäß		ca. 500 g Sand	ca. 500 g Boden
Einarbeitung des Düngemittels	0 cm	2 cm	
N-Gabe	5 bis 10 mg N je Gefäß = 8 bis 16 kg N ha ⁻¹	376 mg N je Gefäß = 600 kg N ha ⁻¹	
Düngemittel je Gefäß	0,2 g TM = 3,1 dt TM ha ⁻¹	7,42 bis 15,27 g TM = 117 bis 240 dt TM ha ⁻¹	
Schnittgut im Substrat	39 bis 80 mg TM _{Schnittgut} je g TM _{Substrat}		
Temperatur	Klimaschrank, 20°C	Gewächshaus: 22°C	
Belichtung	24 h	Gewächshaus: Tageslicht ca. 11 h je 24 h	
Bonituren	nach 3, 6, 10 Tagen	nach 3, 6, 10 Tagen	nach 3, 6, 10, 13 Tagen
Versuchsdauer	10 Tage	10 Tage	13 Tage

Das eingesetzte Futterleguminosenschnittgut wurde nach der Ernte im Feldversuch auf befestigtem Untergrund bis zu einem Trockensubstanzgehalt von ca. 88 % getrocknet und für den Einsatz als Düngemittel auf < 2 mm vermahlen. Die bereits zur Ernte genommenen Mischproben je Parzelle wurden in einem Trockenschrank bei 60 °C getrocknet und auf den C-Gehalt sowie auf den N-Gehalt untersucht (Tab. 8). Entsprechend des N-Gehaltes wurde das vermahlene Schnittgut für die Versuche G2 (Sand) und G3 (Boden) mit einer Laborwaage (Denver Instrument SI-6002, Genauigkeit $\pm 0,01$ g) eingewogen. Das Schnittgut der Futterleguminosenarten Alexandrinerklee, Gelbklee, Hornklee, Luzerne, Persischer Klee, Luzerne, Schwedenklee, Steinklee und Weißklee wurde von drei verschiedenen Schnittterminen getestet. Die Schnitttermine waren auf Grund der variablen phänologischen Entwicklung der verschiedenen Arten und der dadurch bedingten verschiedenen Schnittzeitpunkte nicht einheitlich (Tab. 8). Getestet werden sollten die Auswirkungen des Schnittzeitpunkts auf die Pflanzenverträglichkeit. Hierfür wurde das Schnittgut des zweiten, dritten und letzten Schnittes eines Jahres ausgewählt. Das Schnittgut der Arten Hornklee und Persischer Klee des letzten Schnitts wurde nicht getestet, da sich dieses zu über 50 % der Trockenmasse aus Beikräutern zusammensetzte und somit die Keimtests keine eindeutige Aussage bezüglich der Pflanzenverträglichkeit des jeweiligen Leguminosenschnittguts erlaubt hätte.

Die Bonituren aller Keimtests erfolgten in Anlehnung an die ISTA Vorschriften für Keimtests. (ISTA 2010). Nach 3 und 6 Tagen erfolgte eine Zwischenbonitur. Zu diesen Terminen wurden alle sowohl normal als auch nicht normal gekeimten Samen klassifiziert und entnommen. Die Abschlussbonitur auf normal gekeimte, nicht normal gekeimte und nicht gekeimte Samen wurde nach 10 Tagen durchgeführt. Nach jeder Bonitur wurde das Substrat mit den Samen erneut mit Hilfe einer Drucksprühflasche angefeuchtet. Auf Grund der minimalen Zahl gekeimter Samen nach 10 Tagen wurde der Keimversuch auf Sand (G2) erst nach 13 Tagen abschließend bonitiert und beendet.

Keimtest auf Filterpapier

Das vermahlene Futterleguminosenschnittgut wurde mit einer Feinwaage (Mettler Toledo XA105 Dual Range, Genauigkeit $\pm 0,01$ mg) eingewogen und einem Teesieb jeweils gleichmäßig auf das befeuchtete Keimfilterpapier C 160 der Firma Munktell (160 g m², Durchmesser 90 mm) gestreut und anschließend 50 Kresse Samen gleichmäßig auf das mit Schnittgut bestreute Filterpapier gegeben. Für die erfolgreiche Keimung wurde in die Petrischalen mit dem Filterpapier und den Samen mit einer Pipette ein Milliliter entionisiertes Wasser hinzugegeben und mit dem Deckel der Petrischale abgedeckt.

Tab. 8: In Keimtests auf Keimfilterpapier, in Sand und Boden auf Pflanzenverträglichkeit getestetes Futterleguminosenschnittgut aus dem Jahr 2013

Leguminosenart	Schnitt/	Schnittdatum	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N- Verhältnis
Alexandrinerklee	II	03.07.2013	3,3	40,8	12,4
Alexandrinerklee	III	23.07.2013	3,2	43,2	13,3
Alexandrinerklee	IV	07.08.2013	2,8	42,4	15,0
Gelbklee	II	29.08.2013	3,1	43,7	14,1
Gelbklee	III	23.09.2013	4,6	42,8	9,3
Gelbklee	IV	30.10.2013	4,8	45,8	9,6
Hornklee	II	29.08.2013	2,8	42,6	15,0
Hornklee	III	23.09.2013	3,2	43,4	13,5
Luzerne	II	18.07.2013	2,5	40,2	16,1
Luzerne	III	07.08.2013	3,1	42,7	13,8
Luzerne	IV	29.08.2013	4,3	43,9	10,1
Perserklee	II	09.07.2013	3,2	41,9	12,9
Perserklee	III	01.08.2013	2,8	39,1	14,1
Rotklee	II	03.07.2013	3,7	41,8	11,4
Rotklee	III	23.07.2013	3,5	43,4	12,2
Rotklee	VII	30.10.2013	4,2	45,4	10,7
Schwedenklee	II	09.07.2013	3,6	42,2	11,8
Schwedenklee	III	23.07.2013	3,8	44,3	11,8
Schwedenklee	VII	30.10.2013	4,4	44,6	10,2
Steinklee	II	18.07.2013	3,0	41,0	13,7
Steinklee	III	07.08.2013	3,5	41,7	12,1
Steinklee	IV	29.08.2013	3,3	43,8	13,2
Weißklee	II	03.07.2013	3,6	40,0	11,1
Weißklee	III	23.07.2013	3,5	43,3	12,5
Weißklee	VII	30.10.2013	5,1	45,2	8,8

Keimtests auf Sand und Boden

Für die Keimtests auf Sand und Mutterboden wurde jeweils der erste Teil des Substrates (ca. 310 g) in einen schwarzen Kunststoffblumentopf mit einem Außendurchmesser von 110 mm (Typ Göttinger 11) gegeben. Der zweite Teil des Substrates (ca. 190 g) wurde mit einer Variante des Futterleguminosenschnittgutes (7,42 bis 15,27 g TM = 376 mg N) vermengt und anschließend in den Blumentopf auf die erste Substratschicht gegeben, gleichmäßig verteilt und angedrückt. Nach dem Andrücken der zweiten Substratschicht wies

diese eine Stärke von ca. 2 cm und einen Durchmesser im Blumentopf von 9 cm auf. Das Vermengen des vermahlenden Schnittgutes mit dem Substrat erfolgte durch Schütteln beider Komponenten in einem 500 ml fassenden Kunststoffbecher mit Deckel. Die Kressesamen wurden in Anschluss von Hand gleichmäßig aufgestreut und zur Erzielung eines ausreichenden Bodenschlusses leicht angedrückt. Zur Befeuchtung des Substrates wurden die fertigen Blumentöpfe randomisiert auf einem Gewächshaustisch in einem quadratischen Block, Topf an Topf aufgestellt, mit einer Drucksprühflasche angefeuchtet und einer durchsichtigen 80 µm starken Folie gegen Austrocknung abgedeckt.

Stickstoffmineralisation

Die Stickstoffmineralisation wurde in allen Inkubationsversuchen bei einer konstanten Temperatur von jeweils 20°C über eine Versuchsdauer von 112 Tagen untersucht.

Im ersten Versuch (B1) wurden die gleichen Varianten der Futterleguminosen getestet wie in den Keimversuchen (Tab. 8). Als Boden kam der auf < 4 mm gesiebte Oberboden des Versuchsfeldes der HTW Dresden in Pillnitz zum Einsatz. 20 g TM Boden wurden jeweils in 50 ml fassende Weithalsflaschen gefüllt. 20 mg N des Futterleguminosenschnittgutes wurde entsprechend des N-Gehalts auf einer Analysewaage (Sartorius Entris 224I-1S, Genauigkeit $\pm 0,1$ mg) eingewogen und zu dem Boden hinzugefügt. Entionisiertes Wasser wurde auf eine Wasserhaltekapazität des Bodens von 70 % (entsprach 3,11 ml H₂O je 20 g TM Boden) zugeführt und anschließend 20 min in einem Überkopfschüttler (Marke Heidolph REAX 20) mit 15 U min⁻¹ gleichmäßig vermischt. Die 25 Weithalsflaschen (25 Wiederholungen) je Variante wurden vollständig randomisiert in einer Klimakammer aufgestellt und der Deckel der Flaschen als Verdunstungsschutz aufgelegt. Nach 0, 14, 28, 56 und 112 Tagen wurden je 5 Wiederholungen einer Variante entnommen und bis zur Aufbereitung bei -18°C eingefroren und gelagert.

Im zweiten Bebrütungsversuch (B2) sollte der Einfluss der Vermahlungsstufe auf die Netto-N-Mineralisation aus dem Futterleguminosenschnittgut untersucht werden. Der Versuch wurde im Aufbau identisch zu dem oben beschriebenen Bebrütungsversuch (B1) angelegt. Als Varianten wurden die Leguminosenarten Alexandrinerklee, Steinklee und Weißklee ausgewählt. Hornmehl wurde als Referenzdüngemittel in den Versuch integriert (Tab. 9). Das Material wurde in drei verschiedenen Stufen vermahlen. Die Vermahlung zu Partikeln < 2 mm und < 6 mm erfolgte mit der Schneidmühle SM 100 der Firma Retsch. Die Vermahlung zu Partikeln < 0,2 mm erfolgte mit der Zentrifugalmühle ZM 200 der Firma Retsch. Das Ausgangsmaterial des Hornmehls war bereits auf eine Partikelgröße < 4 mm vermahlen, sodass die Stufe < 6 mm entfiel.

Tab. 9: N-Gehalt und C-Gehalt sowie C/N-Verhältnis der im Bebrütungsversuch (B2) untersuchten Futterleguminosenschnittgutvarianten

Düngemittel	Vermahlungsstufen [mm]	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N-Verhältnis
Hornmehl	< 0,2; < 2	14,1	44,3	3,1
Alexandrin		2,8	42,4	15,0
Steinklee	< 0,2 ; < 2 ; < 6	3,3	43,8	13,2
Weißklee		5,1	45,2	8,8

Der Inkubationsversuch (B3) zur Untersuchung des Einflusses der Pelletierung des Futterleguminosenschnittgutes auf die N-Mineralisation aus Futterleguminosenschnittgut (Tab. 10) wurde ebenfalls mit Oberboden (Ap-Horizont) des Versuchsfelds der HTW-Dresden in Pillniz durchgeführt. Die Düngemittelvarianten wurden in 20-facher Wiederholung angelegt. Zu jedem Probenentnahmeterrain nach 14, 28, 56 und 112 Tagen der Inkubation wurden 4 der Wiederholungen entnommen und bis zur Probenaufbereitung bei -18 °C eingefroren und gelagert.

In diesem Versuch sollte eine Düngung von 120 kg N ha⁻¹ mit einer Einarbeitung von 10 cm simuliert werden. Getestet wurde Weißkleeschnittgut einheitlicher Qualität (Schnitt I bis III aus dem Jahr 2014) mit einem C/N-Verhältnis von 9,1 in den Variationen als Mehl vermahlen (< 2mm) und als 4 mm und 6 mm Pellet gepresst. Eine weitere Variante war Weißkleeschnittgut des fünften Schnitts aus dem Jahr 2014 in 6 mm Pellets gepresst. Zur Vorbereitung des Versuchs wurden 1000 g TM < 4 mm gesiebter Boden (1156, 2 g FM Boden) mit einer Laborwaage der Firma Denver Instrument (SI-6002) eingewogen und in einem Eimer mit den Düngemitteln durch Umschichten per Handschaufel gemischt. Anschließend wurde das Boden-/Düngemittelgemisch in quadratische, schwarze Kunststoffblumentöpfe mit einem 2 l fassenden Volumen gefüllt. Die Öffnungen im Boden der Töpfe wurden vorher mit einem zugeschnittenen Stück Verfrühungsvlies (30 g m⁻²) abgedeckt. Der Wassergehalt des Bodens lag zu Beginn des Versuchs 0,6 % über dem gewünschten Wassergehalt (155,27 g H₂O je 1000 g TM Boden) von 70 % der Wasserhaltefähigkeit des Bodens. Dieser Wassergehalt wurde wöchentlich durch Wiegen kontrolliert und bei Bedarf mit entionisiertem Wasser aufgefüllt. Die Töpfe wurden in einem Klimaschrank (Laborschrank, Firma: Esta) randomisiert aufgestellt und als Verdunstungsschutz mit einer PE-Folie abgedeckt.

Tab. 10: im Bebrütungsversuch (B3) untersuchte Varianten der Partikelgröße von Weißklee schnittgut und der jeweilige N-Gehalt, C-Gehalt sowie das C/N-Verhältnis im Weißklee schnittgut

Düngemittel	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N-Verhältnis
Weißklee-Mehl < 2 mm	4,7	42,4	9,1
Weißklee-Pellet 4 mm	4,7	42,4	9,1
Weißklee-Pellet 6 mm	4,7	42,4	9,1
Weißklee-Pellet 6 mm	4,2	43,5	10,3

Düngeversuche

Ziel des Düngeversuchs war die Untersuchung des Einfluss der Pelletierung von Futterleguminosenschnittgut auf den FM- und TM-Ertrag von Spinat. Zur Vorbereitung dieses Versuchs konnte im Juli 2014 vermahlener Weißkleeaufwuchs des ersten, zweiten und dritten Schnitttermins aus dem Jahr 2014 bei der Firma Salmatec in Gödenstorf zu Pellets mit 4 und 6 mm Durchmesser gepresst werden. Insgesamt wurden in diesem Feldversuch die Varianten Weißklee-Mehl (< 2 mm), 4 mm Weißklee-Pellet, 6 mm Weißklee-Pellet sowie Hornmehl (< 2 mm) und eine nicht gedüngte Kontrolle geprüft. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit Parzellen von 3 x 3,5 m (10,5 m²) und je vier Wiederholungen auf dem Versuchsfeld der HTW Dresden in Pillnitz angelegt.

Der N-Düngebedarf wurde nach LABER (2003) berechnet. Es wurde ein Spinat-Marktertrag von 180 dt FM ha⁻¹ zu Grunde gelegt sowie eine N-Verwertung der vor der Saat gedüngten N-Menge aus dem Futterleguminosenschnittgut von 50 % und aus dem Düngemittel Hornmehl von 60 % angenommen (

Tab. 11).

Tab. 11: Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha und die tatsächlich gedüngte N-Menge

Düngemittel	Weißklee- düngemittel	Hornmehl	
N-Bedarf (180 dt Marktware Spinat je ha)	130	130	kg N ha ⁻¹
Nachlieferung aus dem Boden (Mineralisation): geschätzter N _{min} -Vorrat im Boden zu Versuchsbeginn:	25	25	kg N ha ⁻¹
N-Düngebedarf	75	75	kg N ha ⁻¹
erwartete N-Verwertung	0,5	0,6	
gedüngte N-Menge	146	117	kg N ha ⁻¹

Die Düngemittel wurden am 01.08.2014 breitflächig ausgebracht und mit einer Beetfräse (Einachsfräse, agria 3400, 70 cm Arbeitsbreite) ca. 10 cm tief eingearbeitet. Die Aussaat erfolgte am 10.08.2015 mit der Parzellendrillmaschine Hege 80 mit Einzelscheibenscharen. Die Saatstärke betrug 300 keimfähige Samen je m², Sorte Palco' F1 (Hild Samen) mit einem Reihenabstand von 30 cm. Der Aufwuchs des Spinats wurde zweimal, am 08.10.2014 als Blattspinat und am 26.11.2014 als Wurzelspinat, geerntet. Die Ernte erfolgte auf einer Kernparzelle von 6 m² von Hand mit Messern. Der gesamte FM-Ertrag jeder Parzelle wurde auf dem Feld mit einer Paketwaage (Bosche-PS SST 60, ±20 g Genauigkeit) gewogen. Im Anschluss wurden je Parzelle zwei repräsentative Mischproben von ca. 900 bis 1300 g FM Spinat genommen. Die erste Probe wurde bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz für die Analyse getrocknet. Die zweite Probe wurde zur Bestimmung des TS-Gehaltes bei zunächst bei 60°C und anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach jeder Spinaternte erfolgte jeweils eine Entnahme von Bodenproben in den Stufen 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm mit je vier Einzelproben pro Mischprobe und Parzelle.

Düngeversuch mit Spinat und Rote Rübe 2014 (Versuch F5)

Im Feldversuch wurde der Einfluss von vermahlenem Schnitt verschiedener Futterleguminosenarten als Düngemittel auf den Ertrag von Spinat (*Spinacia oleracea* L.), der Folgekultur Rukola (*Eruca sativa* Mill.) sowie Rote Rübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.) geprüft. Die Kulturen Spinat und Rote Rübe bildeten zwei Einzelversuche. Zum Einsatz kamen Düngemittel aus Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee in zwei Düngegraden. Diese wurden gegen eine nicht gedüngte Kontrolle getestet. Die zwei Teilversuche wurden als Blockanlage mit vier Wiederholungen und Parzellen von je 3 x 3,5 m (10,5 m²) Größe angelegt. Das verwendete Schnittgut wurde im Feldversuch zur Evaluation der Futterleguminosenarten des Jahres 2013 (F1) gewonnen und war vermahlen (< 2 mm). Die Berechnung des N-Bedarfs für Spinat und Rote Rübe erfolgte nach LABER (2003).

Der Versuch wurde auf einer langjährig nach den Richtlinien des Gää Verbandes bewirtschafteten Fläche in der Elbaue in Dresden-Gohlis angelegt. Die Vorfrucht war Roggen. Dieser wurde bereits im Juni 2013 nach Überschwemmung abgemulcht und eingearbeitet. Die Düngemittel wurden nach Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber am 1. April 2014 von Hand ausgebracht und mit einer Einachsfräse (Agria 3400, 70 cm Arbeitsbreite) auf ca. 10 cm eingearbeitet (Tab. 13). Dabei wurden in den entsprechenden Parzellen kleine Mikroparzellen (1,5 m²) abgesteckt und ausgespart. Auf diesen Kleinflächen wurde zum Schluss das auf einer zusätzlichen Fläche im Jahr 2013 gewonnene, mit dem Stickstoffisotop ¹⁵N angereicherte, vermahlene (< 2 mm) Leguminosenschnittgut in äquivalenter N-Menge ausgebracht und mit Hilfe einer Rübenhacke innerhalb eines

Schutzrahmens in den Boden eingearbeitet (ca. 10 cm). Die Aussaat der Kulturen Spinat und Rote Rübe erfolgte am 14. April 2014 mit der Parzellensämaschine Hege 80 mit je 5 Reihen je Beet und 10 Reihen je Parzelle (Reihenabstand: 30 cm). Der anschließende Feldaufgang der Roten Rübe war für eine Nutzung der Ertragsdaten nicht ausreichend (inhomogen, z.T. nur 35 Pfl./m²), sodass am 21.05.2015 nach flacher Unterschneidung und Beräumung des geringen Aufwuchses (BBCH 12 der Roten Rübe) eine erneute Saat der Roten Rübe mit doppelter Saatstärke erfolgte.

Tab. 12: Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha sowie 40 dt Marktware Rote Rübe (Standort Dresden-Gohlis 2014)

Düngemittel	Spinat		Rote Rübe		
	Futter-leguminosen-düngemittel	Hornmehl	Futter-leguminosen-düngemittel	Hornmehl	
Erwarteter Ertrag Marktware	180		400		dt FM ha ⁻¹
N-Bedarf (für erwarteten Ertrag)	130		200		kg N ha ⁻¹
Nachlieferung aus dem Boden (Mineralisation):	25		90		kg N ha ⁻¹
geschätzter N _{min} -Vorrat im Boden zu Versuchsbeginn:	30		30		kg N ha ⁻¹
N-Düngebedarf (100%)	75		80		kg N ha ⁻¹
Düngestufe I (75 % des N-Düngebedarfs)	56		60		kg N ha ⁻¹
Düngestufe II (150 % des N-Düngebedarfs)	113		120		kg N ha ⁻¹
erwartetet N-Verwertung:	0,5	0,6	0,5	0,6	
gedüngt N-Menge:					
Düngestufe I	109,6	87,7	116,9	93,5	kg N ha ⁻¹
Düngestufe II	167,6	175,3	179,8	187,0	kg N ha ⁻¹

Am 30.05.2014 schädigte ein Hagelschlag den erntefähigen Spinat derart, dass keine Ernte vermarktungsfähiger Ware mehr möglich war. Daraufhin blieb der Spinatbestand stehen, um über die zunehmende Biomassebildung eine Düngewirkung ableiten zu können.

Am 17.06.2014 erfolgte die Ernte des Spinats als Wurzelspinat mit dem Messer auf einer Kernparzelle von 6 m². Die Mikroparzellen wurden gesondert auf einer Kernfläche von 0,6 x 0,65 m² beerntet, sowie die Proben gesondert aufbereitet und getrocknet. Die gesamte Spinat-Frischmasse jeder Parzelle wurde auf dem Feld mit der Paketwaage (Bosche-PS SST 60, ±20 g Genauigkeit) gewogen und eine Teilprobe von ca. 3 kg FM Spinat je Parzelle entnommen. Die Teilprobe Spinat wurde im Anschluss mit einem Probenhäcksler System Weihenstephan (Saatzucht Baumann) gehäckselt, gut homogenisiert und entsprechend zwei Proben zu ca. 900 g FM zur Trocknung bei 60 bzw. 105°C bis zur Gewichtskonstanz zur

Bestimmung des TS-Gehalts in der Spinatbiomasse getrocknet. Nach der Ernte erfolgte die vollständige Beräumung der Versuchsfläche sowie die Entnahme der Bodenproben zur Bestimmung des N_{\min} -Vorrats nach Spinat in zwei Stufen (0 bis 30, 30 bis 60) am 20.06.2014.

Tab. 13: Arbeitsschritte im Düngeversuch mit Spinat und Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014

	Spinat		Rote Rübe	
	Datum	durchgeführte Arbeiten	Datum	durchgeführte Arbeiten
Bodenbearbeitg.	25.03.2014	Grubber 20 cm tief		
Versuch	9 Varianten 36 Parzellen a 10,5 m ² (3,3 x 3,5 m) Blockanlage, randomisiert, 4 Wiederholungen			
Düngung	01.04.2014	Ausbringen der Düngemittel von Hand Düngemittel mit Beetfräse ca. 10 cm tief eingearbeitet 2 Überfahrten		
Saat	11.04.2014	Parzellendrillmaschine Hege 80 mit Einscheibenscharen Spinat 'Palco' F1 von Hildsamem 5 Reihen a 30 cm Abstand pro Beet, 2 Beete je Parzellen 250 kf. Körner m ⁻² , 48,4 kg ha ⁻¹		
		21.05.2014	Wiederholung der Aussaat (s.o.), doppelte Saatstärke 70 kf. Körner m ⁻² , 6,8 kg ha ⁻¹	
Ernte	17.06.2014	6 m ² pro Parzelle Handernte mit dem Messer	23.09.2014	6 m ² pro Parzelle Handernte mit dem Messer
N_{\min} -Bodenproben	20.06.2014	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm	30.09.2014	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm

Die Aussaat der Folgekultur Rukola erfolgte nach flacher Bodenbearbeitung mit einer Beetfräse am 24.06.2014. Die Parzellen wurden anschließend mit Vlies abgedeckt. Die Ernte der Rukola-Biomasse fand am 07.08.2014 im BBCH-Stadium 64 auf Kernparzellen von 2,6 m² statt. Die Probennahme erfolgte wie zur Spinaternte.

Die Kultur der Roten Rübe wurde am 23.09.2015 mit der Ernte der Rüben abgeschlossen. Dabei wurde der Gesamtertrag an Blatt- und Rübenfrischmass von 6 m² der Kernparzelle mit einer Waage am Versuch gewogen (Bosche-PS SST 60, ±20 g Genauigkeit), eine Teilprobe entnommen und je 10 Rüben eines repräsentativen Größenmittels für die Trocknung bei 60 bzw. 105°C bis zur Gewichtskonstanz für die Aufbereitung zur Analyse und zur Bestimmung des TS-Gehalts klein geschnitten.

Der Gesamtertrag Rüben je Parzelle wurde entsprechend den EU-Handelsnormen nach der Größe und Schadstellen bonitiert und gewogen (Bosche-PS SST 60, ± 20 g Genauigkeit). Im Anschluss an die Ernte wurden am 30.09.2014 N_{\min} -Bodenproben in zwei Tiefenstufen (0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm) mit 4 Einzelproben je Parzelle entnommen.

Düngeversuch mit Spinat und Roter Rübe 2015 (Versuch F7)

Nach Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber im März wurden am 8. April 2015 die Parzellen ausgesteckt, die Düngemittel für die Kultur Spinat ausgebracht und mit einer Einachsfräse (Agria 3400, 70 cm Arbeitsbreite) ca. 10 cm tief eingearbeitet (Tab. 15). Innerhalb der entsprechend gedüngten Parzellen der Düngemittel Rotklee-, Schwedenklee- und Weißkleemehl wurden zu Beginn kleine Mikroparzellen (1,5 m²) ausgesteckt und ausgespart. Auf diesen Kleinflächen wurde zum Schluss das im Jahr 2014 gewonnene, mit ¹⁵N-angereicherte Leguminosenschnittgut in äquivalenter N-Menge ausgebracht und mit Hilfe einer Rübenhacke innerhalb eines Schutzrahmens in den Boden eingearbeitet.

Die Ermittlung des Stickstoffbedarfs des Spinats und der Roten Rübe erfolgte nach LABER (2003) und ist in Tab. 16 zusammengetragen. In Tab. 14 sind die Stickstoffgehalte sowie die C/N-Verhältnisse der eingesetzten Düngemittel wiedergegeben.

Tab. 14 : Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte, sowie C/N-Verhältnisse der im Düngeversuch in Spinat und Roter Rübe eingesetzten Düngemittel am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015

Düngemittel	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N-Verhältnis
Hornmehl (Mehl < 2 mm)	14,1	44,3	3,1
Rotklee (Mehl < 2 mm)	4,8	43,9	9,2
Schwedenklee (Mehl < 2 mm)	4,7	44,7	9,5
Weißklee (Mehl < 2 mm)	4,9	44,4	9,2

Am 16. April 2015 erfolgte die Aussaat des Spinates der Sorte ‚Palco‘ F1 der Firma Hildsamen mit einer Parzellendrillmaschine Hege 80 mit Einscheibenscharen auf einen Reihenabstand von 30 cm bei 5 Reihen pro Beet und einer Saatstärke von 250 keimfähigen Körnern pro m². Unkrautregulierungen wurden am 04. Mai mit einer Radhacke mit Pendelmesser und am 13. Mai 2015 per Handhacke durchgeführt.

Zum Zeitpunkt der Ernte am 10. Juni 2015 begannen einzelne Pflanzen der Kontrollvariante zu schossen (BBCH 33 bzw. 51). In den gedüngten Varianten hatte der Spinat vereinzelt gelbe Blattspitzen (BBCH 39). Geerntet wurden 6 m² Parzellen mit gesonderter Probenahme der Mikroparzellen für die Analyse des aufgenommenen ¹⁵N-Stickstoffs aus den Düngemitteln.

Tab. 15: Arbeitsschritte im Düngeversuch mit Spinat und Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015

	Spinat		Rote Rübe	
	Datum	durchgeführte Arbeiten	Datum	durchgeführte Arbeiten
Bodenbearbeitg.	24.03.2015	Grubber, 20 cm tief		
Versuch	9 Varianten 36 Parzellen zu 14,85 m ² (3,3 x 4,5 m) Blockanlage, randomisiert, 4 Wiederholungen			
Düngung	08.04.2015	Ausbringen der Düngemittel von Hand Düngemittel mit Beetfräse ca. 10 cm eingearbeitet eine Überfahrt	06.05.2015 09.06.2015	Ausbringen der Düngemittel von Hand Düngemittel mit Beetfräse ca. 10 cm eingearbeitet eine Überfahrt 2. Gabe, mit Radhacke eingearbeitet
Saat	16.04.2015	Parzellendrillmaschine Hege 80 mit Einscheibenscharen 30 cm Reihenabstand, 5 Reihen pro Beet, 2 Beete je Parzelle Spinat 'Palco' F1 von Hildsamem 250 kf. Körner pro m ² , 48 kg ha ⁻¹	20.05.2015 20.05 bis 02.06.2015	Robuschka', bingenheimer Saatgut AG 140 kf. Körner m ⁻² , 6,8 kg ha ⁻¹ Abdeckung mit Verfrühungsfließ (30 g m ⁻²)
Vereinzeln			17./18.06.2015	auf 65 Pfl. m ⁻² vereinzelt
Ernte	10.06.2015	6 m ² pro Parzelle Handernte mit dem Messer	28.09.2015	6 m ² pro Parzelle Handernte mit dem Messer
N _{min} -Bodenproben	20.06.2014	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm	30.09.2015	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm

Nach der Ernte wurden die Spinatrückstände von den Parzellen beräumt, am 12. Juni 2015 N_{min}-Bodenproben genommen, am 16. Juni 2016 erneut eine ca. 10 cm tiefe ganzflächige Bodenbearbeitung mit einer Beetfräse durchgeführt und am 26. Juni 2015 die Nachkultur Rukola mit einer Parzellensämaschine Hege 80 mit 9 Reihen und 15 cm Abstand pro Beet und einer Saatstärke von ca. 400 Samen pro m² ausgesät. Für einen verbesserten Feldaufgang wurde der Versuch nach der Saat mit einem 30 g je m² schweren Verfrühungsfließ abgedeckt. Nach dem Auflaufen des Rukola (BBCH-Stadium 10) wurde das Vlies am 01. Juli 2015 von der Versuchsfläche genommen. Die erste Beikrautregulierung durch Jäten des Bestandes fand am 08. Juli 2015 statt. Der Versuch konnte auf Grund zu heißer Witterung und Wasserknappheit nur unzureichend beregnet werden. Durch große

Hitze und Trockenheit verbrannten die Blätter der Pflanzen an den Spitzen. Eine Ernte marktfähiger Ware war nicht möglich. Zur Ermittlung der Biomassebildung wurde der Versuch erst am 21. September 2015 auf Kernparzellen von je ca. 2,6 m² mit einem Sichelmäher (Sabo, 54 Pro) abgemäht, der Frischmasseertrag erfasst und entsprechend Proben zur Bestimmung des Trockenmasseanteils und des Stickstoffgehaltes in der Biomasse entnommen.

Tab. 16: Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha sowie 40 dt Marktware Rote Rübe (Standort Dresden-Gohlis 2015)

Düngemittel	Spinat		Rote Rübe		
	Futter-leguminosen-düngemittel	Hornmehl	Futter-leguminosen-düngemittel	Hornmehl	
erwarteter Ertrag Marktware	180		400		dt FM ha ⁻¹
N-Bedarf (für erwarteten Ertrag)	130		200		kg N ha ⁻¹
Nachlieferung aus dem Boden (Mineralisation):	25		90		kg N ha ⁻¹
geschätzter N _{min} -Vorrat im Boden zu Versuchsbeginn:	30		30		kg N ha ⁻¹
N-Düngebedarf (100%)	75		80		kg N ha ⁻¹
Düngestufe I (75 % des N-Düngebedarfs)	56,3		60		kg N ha ⁻¹
Düngestufe II (150 % des N-Düngebedarfs)	112,5		120		kg N ha ⁻¹
erwarteter N-Verwertung	0,4	0,5	0,4	0,5	
gedüngte N-Menge:					
Düngestufe I	140,6	112,5	150,0	120,0	kg N ha ⁻¹
Düngestufe II	281,3	225,0	300,0	240,0	kg N ha ⁻¹

Der zweite Teil des Feldversuchs F7 mit Roter Rübe wurde am 6. Mai wie oben beschrieben angelegt. Die Düngemittelgabe erfolgte jedoch gesplittet in allen Varianten zunächst nur in Höhe der Düngestufe I (150 bzw. 120 kg N ha⁻¹).

Die Roten Rüben der Sorte ‚Robuschka‘ der Bingenheimer Saatgut AG wurden am 20. Mai 2015 in der gleichen Weise wie der Spinat jedoch mit einer Saatstärke von 140 Samen pro m² gesät. Im Anschluss an die Saat wurden die Parzellen mit einem 30 g m² schwerem Verfrühungsvlies für einen verbesserten Feldaufgang abgedeckt und am 02. Juni 2015 mit erscheinen des ersten Laubblattes (BBCH-Stadium 11) wieder aufgedeckt.

Die zweite Düngemittelgabe auf den Parzellen der Düngestufe II in Höhe von 150 bzw. 120 kg N je ha erfolgte am 9. Juni 2015. Die Düngemittel wurden anschließend beim Hacken des gesamten Versuchs mit einer Radhacke und Gänsefußschar oberflächlich eingearbeitet. Eine weitere Beikrautregulierung wurde am 16. Juni 2015 mit einer Radhacke und Pendelmesser durchgeführt. Auf Grund des guten Feldaufgangs der Roten Rüben wurden diese mit Hilfe eines Maßstabs auf eine Pflanzendichte von ca. 65 Pflanzen pro m² am 17. und 18. Juni 2015 blockweise vereinzelt.

Die Ernte der freigelegten Kernparzellen mit einer Fläche von 6 m² erfolgte am 28. September durch Ziehen der Roten Rüben und Entfernen der Bätter von Hand. Die Rüben der Mikroparzellen wurden gesondert geerntet und entsprechend Proben entnommen. Alle Rüben der Kernparzellen wurden getrennt nach einzelnen Parzellen nach Größenklassen sortiert. Im Anschluss an die Ernte wurden am 30. September 2015 N_{min}-Bodenproben in zwei Tiefenstufen (0 bis 0 cm, 30 bis 60 cm) entnommen

Düngeversuche mit Spinat an den Standorten Stollsdorf (P1) und Taucha (P2)

Die Feldversuche P1 und P2 wurden durch das ZAFT e.V. an der HTW Dresden an zwei verschiedenen Standorten in ökologisch wirtschaftenden Gartenbaubetrieben in Sachsen ausgeführt. Beide Versuche waren ähnlich aufgebaut wie der Düngeversuch (F7) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015. Es wurden drei Futterleguminosen-Düngemittel - Rotklee, Weißklee, das Referenzdüngemittel Hornmehl - sowie in 2015 geerntetes und in Pellets (Durchmesser 8 mm) gepresstes Weißkleeschnittgut als Düngemittel in zwei Düngestufen in Spinat getestet. Am Standort Stollsdorf wurde zusätzlich ‚Maltaflor‘, ein Handelsdüngemittel mit ähnlicher Nährstoffzusammensetzung wie die Futterleguminosendüngemittel, getestet.

Tab. 17 : Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt sowie C/N-Verhältnisse der im Düngeversuch in Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 eingesetzten Düngemittel

Düngemittel	N-Gehalt [%]	C-Gehalt [%]	C/N-Verhältnis
Hornmehl (Mehl < 2 mm)	14,1	44,3	3,1
Rotklee (Mehl < 2 mm)	4,5	44,7	9,9
Weißklee (Mehl < 2 mm)	4,7	44,8	9,6
Weißklee-Pellet 8mm	3,2	41,6	13,2
Maltaflor (Pellet 8 mm)	4,9	37,1	7,6

Die Vorfrucht war an beiden Standorten Wintergetreide (Stollsdorf: Dinkel, Taucha: Winterweizen) Die Kalkulation der Düngemittelaufwandmengen für beide

Standorte erfolgte nach Berechnungen des Stickstoffbedarfs nach LABER (2009). Der Nmin-Vorrat des Bodens nach Wintergetreide zu Beginn der Kultur wurde auf 20 kg N je ha geschätzt. In Tab. 17 sind die Stickstoffgehalte sowie die C/N-Verhältnisse der eingesetzten Düngemittel dargestellt. Die ausgebrachten Stickstoffmengen für den Versuch am Standort Stollsdorf sowie Taucha sind in Tab. 18 zusammengefasst. Die Versuche wurden am 14. August 2015 angelegt. Die entsprechenden Arbeitsschritte sind in

Tab. 19 aufgeführt.

Tab. 18 Berechnung der zu düngenden N-Menge für einen Ertrag von 180 dt Marktware Spinat je ha für die Düngerversuche an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015

Düngemittel	Futterleguminosendüngemittel/ Hornmehl	
N-Bedarf (erwarteter Marktertrag: 180 dt FM Spinat)	140	kg N ha ⁻¹
Nachlieferung aus dem Boden (Mineralisation):	31,5	kg N ha ⁻¹
geschätzter N _{min} -Vorrat im Boden zu Versuchsbeginn:	20	kg N ha ⁻¹
N-Düngebedarf (100%)	88,5	kg N ha ⁻¹
Düngestufe I (75 % des N-Düngebedarfs)	66	kg N ha ⁻¹
Düngestufe II (150 % des N-Düngebedarfs)	133	kg N ha ⁻¹
erwartete N-Verwertung	0,4	
gedüngte N-Menge:		
Düngestufe I	166	kg N ha ⁻¹
Düngestufe II	332	kg N ha ⁻¹

Tab. 19: Arbeitsschritte in den Düngeversuchen mit Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015

	P1 - Stollsdorf		P2 -Taucha	
	Datum	durchgeführte Arbeiten:	Datum	durchgeführte Arbeiten:
Bodenbearbeitg.	14.08.2015	Pflug 28cm tief, Einachsfräse (Agria 3400, 70 cm Arbeitsbreite) ca. 10 cm tief	28.07.2015	Pflug 25 bis 30 cm tief
Versuch	14.08.2015	11 Varianten, 44 Parzellen Blockanlage, randomisiert, 4 Wiederholungen, Parzellen: 14,8 m ² (3,3 x 4,5 m)		9 Varianten, 36 Parzellen
Düngung	14.08.2015	Düngemittel mit Einachsfräse (Agria 3400) ca. 10 cm tief eingearbeitet eine Überfahrt		2 Überfahrten
Saat	14.08.2015	Parzellendrillmaschine Hege 80 mit Doppelscheibenscharen Spinat 'Palco' F1 von Hildsamen 5 Reihen mit 30 cm Abstand pro Beet 250 kf. Samen pro m ²		
	31.08.2015	Wiederholung der Aussaat (s.o.) nach Beetfräse am 26.08.2015 und 31.08.2015		
Beikrautregulierg.	13.09.2015	Radhacke + Pendelmesser	24.08.2015	Radhacke + Pendelmesser
	01.10.2015	Radhacke + Gänsefußschar	09.09.2015	Handhacke
Ernte	22. und 23.10.2015	6 m ² pro Parzelle Handernte mit Messer Wiederholungen II bis IV bzw. I	12.10.2015	6 m ² pro Parzelle Handernte mit Messer
Nmin-Bodenproben	23.10.2015	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm	24.10.2015	zwei Tiefenstufen: 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm

3.4 Analysen

Ertragsermittlung

Die Ertragsermittlung der Futterleguminosen und der Gemüsearten erfolgte stets einheitlich. Der Trockenmasseertrag der Kultur errechnete sich aus dem auf dem Feld ermittelten FM-Ertrag je Parzelle unter der Berücksichtigung des durch Trocknung bei 105 °C ermittelten TS-Gehaltes im Spross bzw. Hypokotyl/Wurzel. Die Futterleguminosenparzellen wiesen im Jahr 2013 eine Größe von 69 m² und im Jahr 2014 eine Größe von 90 m² auf und wurden stets maschinell auf der gesamten Parzelle beerntet. Die Parzellen der Düngeversuche mit Gemüse hatten im Jahr 2013 eine Größe von 7,5 m² (Kernparzelle: 3,6 m²), im Jahr 2014 von 10,5 m² (Kernparzelle: 6 m², Rukola 2,6 m²) und im Jahr 2015 von 14,9 m²

(Kernparzelle: 6 m², Rukola 2,6 m²). Die Ernte des Spinats erfolgte stets von Hand mit einem Messer als Blattspinat, ca. 3 cm über der Terminalknospe geschnitten oder als Wurzelspinat mit maximal 1 cm Wurzelansatz. Rukola wurde im Jahr 2014 von Hand mit Messern bodennah und im Jahr 2015 mit einem Sichelmäher maschinell in einer Höhe von ca. 4 cm über der Bodenoberfläche geerntet.

Die Roten Rüben wurde 2014 und 2015 von Hand gezogen und die Blätter von Hand am Rübenkopf abgedreht. Die Ertragserfassung erfolgte je Parzelle getrennt nach Blatt und Rübe. Alle Rüben wurden erfasst und anschließend nach maximalem Durchmesser < 4 cm, 4 < x < 8 cm, 8 < x < 12 cm, >12 cm sowie nach Schadstellen sortiert und gewogen.

Inhaltsstoffanalysen der Pflanzen und Düngemittel

Die Inhaltsstoffanalyse gliederte sich zum einen in die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehaltes (C_t) und des Gesamtstickstoffgehaltes (N_t) und zum anderen in die Bestimmung der für Pflanzen essentiellen Makro- und Mikronährstoffgehalte in den Pflanzenproben. Alle für die Analyse bei 60 °C getrockneten Pflanzenproben wurden zur Aufbereitung in zwei Schritten zunächst mit einer Schneidmühle (Retsch, Typ SM 100) auf eine Partikelgröße < 8 mm und anschließend mit einer Zentrifugalmühle (Retsch, Typ ZM 200) auf eine Partikelgröße < 0,2 mm vermahlen. Zur Ermittlung des C_t- und N_t-Gehaltes wurden die Pflanzenproben mit 2,8 bis 3,2 mg TM in Zinnkapseln (3 x 6 mm) auf einer Halbmikrowaage (Mettler Toledo XA105 Dual Range, Genauigkeit ±0,01 mg) eingewogen. Die Analyse des C-Gehaltes erfolgte nach der Methode DIN ISO 10694: 1996-08 und die des N-Gehaltes nach VDLUFA Methodenbuch III, Methode 4.1.2 mit Hilfe eines Elementar-Analysators (Euro Vector S.P.A., Euro-EA 3000) an der HTW Dresden.

Die Analyse der essentiellen Makro- und Mikronährstoffgehalte in den Pflanzenproben erfolgte durch die LKS-Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service-GmbH in Lichtenwalde entsprechend der in Tab. 20 angegebenen Untersuchungsmethoden. Die Vermahlung der Pflanzenproben erfolgte identisch zu den Proben zur Bestimmung des C_t- und N_t-Gehalts.

Tab. 20 Im Spinatspross aus den Düngeversuchen der Standorte Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha ermittelte Nährstoffe im Jahr 2015, sowie die eingesetzten Untersuchungsmethoden

Pflanzennährstoffe	Untersuchungsmethode
P, K, Mg, Na, Ca, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo	Methodenbuch VDLUFA, Band III 10.8.2.
S	VDLUFA, Band III 10.1.8.2
NO ₃ ⁻	basierend auf Analysenvorschrift LQ 01/79

Die Berechnung der entzogenen Nährstoffmengen durch den Spinat erfolgte unter Berücksichtigung der ermittelten Nährstoffgehalte in Prozent der Trockenmasse und der ermittelten Sprosstrockenmasseerträge.

Scheinbare Nährstoffverwertung

Die scheinbare Ausnutzung insbesondere des mit den Düngemitteln applizierten Stickstoffs durch Spinat, Rukola und Rote Rübe wurde nach BROESHART (1974) geschätzt:

$$\text{Scheinbarer Verwertungsgrad [\%]} = \frac{\text{Aufnahme}_{\text{Düngemittel}} - \text{Aufnahme}_{\text{ngK}}}{\text{Nährstoff}_{\text{gedüngt}}} \times 100 \quad (1)$$

$\text{Aufnahme}_{\text{Düngemittel}}$ = Nährstoffaufnahme im Spross der Pflanzen der gedüngten Variante [kg ha^{-1}]

$\text{Aufnahme}_{\text{ngK}}$ = Nährstoffaufnahme im Spross der Pflanzen der nicht gedüngten Kontrolle [kg ha^{-1}]

$\text{Nährstoff}_{\text{gedüngt}}$ = gedüngte Menge Nährstoff [kg ha^{-1}]

Die Schätzung der scheinbaren Nährstoffverwertung berücksichtigt für die Kulturen Spinat und Rukola nur die durch die Pflanzen im Spross eingelagerten Nährstoffe, die scheinbare N-Verwertung der Roten Rübe berücksichtigt dagegen auch die Stickstoffeinlagerung in der Pfahlwurzel, welche üblicher Weise mit geerntet und vermarktet wird.

Bestimmung des ^{15}N -Anreicherungsgrades

Zur Bestimmung der Isotopenmassenverhältnisse ^{15}N zu ^{14}N in den eingesetzten Düngemitteln (Futterleguminosenschnittgut) und den damit gedüngten Gemüsepflanzen wurde das Pflanzenmaterial bei 60°C getrocknet und mit einer Zentrifugalmühle (Retsch, Typ ZM 200) auf eine Partikelgröße $< 0,2$ mm vermahlen. Die Einwaage erfolgte auf einer Halbmikrowaage (Mettler Toledo XA105 Dual Range, Genauigkeit $\pm 0,01$ mg) in Zinnkapseln (5 x 9 mm). Die Einwaage orientierte sich an der zur Bestimmung des Isotopenmassenverhältnisses ^{15}N zu ^{14}N optimalen N-Menge je Probe (100 $\mu\text{g N}$). Die Analyse des N-Isotopenverhältnisses erfolgte an der UC Davis, Stable Isotope Facility mit einem PDZ Europa ANCA-GSL Element Analyzer in Kombination mit dem PDZ Europa 20-20 Isotopen-Massenspektrometer (Firma Sercon Ltd., Cheshire UK) in den USA.

Berechnung der Stickstoffaufnahme und Verwertung aus der Düngung mit ^{15}N markiertem Futterleguminosenschnittgut

Der Anteil des Stickstoffes im Spross der Gemüsearten Spinat, Rukola Rote Bete sowie im Hypokotyl und der Wurzel der Roten Rübe, welcher aus dem Schnittgut der zur Saat gedüngten Futterleguminosen ($^{15}\text{N}_{FLS}$) stammte, wurde wie folgt berechnet (nach LUX 2015):

(2)

$$^{15}\text{N}_{FLS} [\%] = \frac{(\text{GM}_a - \text{GM}_{na})}{(\text{FLS}_a - \text{GM}_{na})} \times 100$$

GM_a = ^{15}N -Anreicherung im Gemüsespross/-hypokotyl mit ^{15}N -markiertem Futterleguminosenschnittgut gedüngt [atom% ^{15}N]

GM_{na} = ^{15}N -Anreicherung im Gemüsespross/-hypokotyl mit nicht ^{15}N -markiertem Futterleguminosenschnittgut [atom% ^{15}N]

FLS_a = ^{15}N -Anreicherungsgrad des gedüngten ^{15}N -markiertem Futterleguminosenschnittgutes [atom% ^{15}N]

Vom ermittelten Anreicherungsgrad an ^{15}N -Isotop im geernteten Gemüsespross/-hypokotyl und vom Anreicherungsgrad an ^{15}N -Isotop im gedüngten Futterleguminosenschnittgut mit ^{15}N -Markierung wurde jeweils der ^{15}N -Anreicherungsgrad des mit Futterleguminosenschnittgut ohne ^{15}N -Markierung gedüngten Gemüsesprosses/-hypokotyls subtrahiert. In der Düngevariante mit Stroh ohne ^{15}N -Markierung wurde damit ein Hintergrundwert bzw. ein versuchsspezifischer Basiswert für jede Wiederholung erzeugt, welcher die unter den tatsächlichen Versuchsbedingungen auftretende natürliche ^{15}N -Anreicherung im Gemüsespross/-hypokotyl berücksichtigt. Die Menge des aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut stammenden Stickstoffs (N_{GM}) berechnete sich aus der Trockenmasse des Gemüsesprosses/-hypokotyls, dem Anteil an Stickstoff in der Trockenmasse des Gemüsesprosses/-hypokotyls und dem Anteil an Stickstoff im Gemüsespross-N bzw. Rote Rübe Hypokotyl-N aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut (Formel

(3).

(3)

$$N_{GM} [\text{g}] = \text{TM}_{GM} \times N_G \times ^{15}\text{N}_{FLS}$$

TM_{GM} = Trockenmasse des Gemüsespross/-hypokotyl [g]

N_G = Anteil Stickstoff in der Trockenmasse des Gemüsespross/-hypokotyl

$^{15}\text{N}_{FLS}$ = futterleguminosenbürtiger Anteil Stickstoff im Gemüsespross

Der Anteil des durch das Gemüse aufgenommenen Stickstoffs aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut (N_{FLS}) wurde unter Einbeziehung der Menge an gedüngtem Futterleguminosenschnittgut und dem prozentualen Anteil an Stickstoff im Futterleguminosenschnittgut ermittelt (Formel (4)).

(4)

$$N_{GM} [\%] = \frac{N_{GM}}{TM_{FLS} \times N_{FLS}} \times 100$$

TM_{FLS} = Trockenmasse des gedüngten Futterleguminosenschnittgutes [g]

N_{FLS} = Anteil Stickstoff in der Trockenmasse des Futterleguminosenschnittgutes

3.6 Bodenchemische Untersuchungen

Die Untersuchungen gliedern sich in den Teil der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte der verschiedenen Böden, sowie die Untersuchungen zur Bestimmung der N_{\min} -Vorräte in den Böden der verschiedenen Standorte

Bodenanalysen

Die Analysen der Bodenproben auf den Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen wurde an der LKS-Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service-GmbH in Lichtenwalde durchgeführt. Für Böden der Versuchsstandorte wurden alle für Pflanzen essentiellen Makro- und Mikronährstoffe sowie der pH-Wert und der Humusgehalt im Boden bestimmt. Die eingesetzten Untersuchungsmethoden sind in Tab. 21 zusammengefasst.

Tab. 21: Zur Beschreibung der Böden an den Versuchsstandorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha analysierten bodenchemischen Parameter mit zugeordneten Untersuchungsmethoden

Bodenparameter	Untersuchungsmethode
pH-Wert	VdLUFA Methodenbuch I A 5.1.1
Humus	VdLUFA Methodenbuch I A 4.1.3.1
Phosphor/Kalium	VdLUFA Methodenbuch I A 6.2.1.1
Schwefel (KWA)	DIN EN ISO 11885
Magnesium	VdLUFA Methodenbuch I A 6.2.4.1
Natrium (KWA)	DIN EN ISO 11885
Calcium (KWA)	DIN EN ISO 11885
Eisen pflanzenverfügbar	VDLUFA Bd. I A 7.6.1
Mangan pflanzenverfügbar	VDLUFA Bd. I A 7.2.1
Zink (KWA)	DIN EN ISO 11885
Bor (heißwasserlöslich)	VDLUFA Bd. I A 7.1.1
Kupfer pflanzenverfügbar	VDLUFA Bd. I A 7.6.1
Molybdän pflanzenverfügbar	VDLUFA Bd. I A 7.4.1

N_{\min} -Vorrat im Boden

Die Entnahme von Bodenproben erfolgte mit Pückhauer Bohrstöcken bis in eine Tiefe von 60 cm. Diese wurden in zwei Tiefenstufen 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm getrennt. Die Proben

zur Bestimmung der N_{\min} -Menge je Tiefenstufe setzten sich in den Düngeversuchen mit Spinat und Rote Rübe aus jeweils vier Einzelproben je Tiefenstufe (0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm) und Parzelle zusammen. Die Mischproben zur Bestimmung des N_{\min} -Vorrates nach Rukola bestanden aus drei Einzelproben je Tiefenstufe und Parzelle. Die Bodenproben wurden in Kühlbehältern für den Transport zwischengelagert und bis zur Aufbereitung für die Analyse bei -18°C in Gefriertruhen tiefgefroren und aufbewahrt.

Die Aufbereitung der Bodenproben und die Analyse des pflanzenverfügbaren Stickstoffs (NO_3^- , NH_4^+) erfolgte nach DIN ISO 14256-2: 2006-12 mittels Fließinjektionsanalyse (Lachat Instruments, QuickChem 8500) an der HTW Dresden in Pillnitz. Die genutzte Extraktionslösung war eine 0,01 molare CaCl_2 -Lösung mit einer Aufwandmenge von 250 ml je 100 g feuchten Bodens.

Zur Ermittlung der Trockensubstanz einer Bodenprobe wurden jeweils ca. 90 g feuchten Bodens eingewogen (Denver Instrument SI-6002, Genauigkeit $\pm 0,01$ g) und bei 105°C im Trockenschrank bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz getrocknet. Die Berechnung der Trockensubstanz in den Bodenproben erfolgte nach (Formel(5)

$$TS_{\text{Boden}} = 1 - \frac{\text{Boden}_{\text{feucht}} - \text{Boden}_{\text{trocken}}}{\text{Boden}_{\text{trocken}}} \quad (5)$$

Die Berechnung des N_{\min} -Vorrates nach der Ermittlung der Ionenkonzentration per Fließinjektion-Verfahren erfolgte auf Grundlage der Formel (6)

$$N_{\min}[\text{kg N ha}^{-1}] = c_L \times d \times \frac{\rho}{TS_{\text{Boden}}} \times f \times S \quad (6)$$

c_L = NO_3^- und NH_4^+ -Konzentration in der Messlösung [mg l^{-1}]

d = Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]

ρ = Lagerungsdichte der beprobten Schicht [g cm^{-3}]

TS_{Boden} = Trockensubstanzgehalt des Bodens [%]

f = Ausschüttelungsverhältnis (Extraktionsmittel [ml]/ Bodeneinwaage [g])

S = Steingehalt [%]

3.7 Statistische Methoden

Die statistischen Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (SAS for Windows 9.3). Die Prüfung der Normalverteilung innerhalb der Datensätze wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Bei nicht normalverteilten Datensätze wurden diese mit einem geeigneten Verfahren (MUNZERT 1992) transformiert. Transformierte Datensätze wurden in Tabellen und Abbildung mit „n.T.“- nach Transformation, gekennzeichnet. Konnte durch geeignete Transformationen keine Normalverteilung hergestellt werden, wurden diese Datensätze in den Tabellen und Abbildungen mit „n.n.“- nicht normal verteilt gekennzeichnet. Für die Datensätze wurde jeweils eine einfaktorielle bzw. 2-faktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Mittelwertvergleiche mittels Tukey-Test für balancierte Datensätze, vorgenommen. Mittelwertvergleiche für unbalancierte Datensätze wurden mittels des Scheffé-Testes durchgeführt. Signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Varianten wurden in gezeigten Tabellen und Abbildungen mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben wiedergegeben. Alle Mittelwertvergleiche wurden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 0,05$ gerechnet. Tabellen und die graphischen Darstellungen der Ergebnisse in Diagrammen wurden mit dem Programm SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc. 2013) erstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Evaluation der Futterleguminosen

Im Jahr 2013 wurden neun Futterleguminosen getestet. Die Aussaat im Frühjahr ermöglichte ein Schnittregime mit bis zu sieben Schnitten im gleichen Jahr (Tab. 22:). Die erzielten kumulierten Trockenmasseerträge unterschieden sich signifikant. Diese lagen zwischen 37 dt TM ha⁻¹ bei der Referenzfrucht Welsches Weidelgras und 64 dt TM ha⁻¹ bei Rotklee. Mit Rotkleeschchnittgut konnte ebenfalls der höchste gewichtete N-Gehalt im Schnittgut von 3,8 % N in der Trockenmasse erzielt werden. Das daraus resultierende, niedrigste, gewichtete C/N-Verhältnis betrug 11,3 (Tab. 22). Mit den Arten Schwedenklee und Weißklee wurde Schnittgut mit im Mittel 3,7 % N und einem C/N-Verhältnis von 11,7 bzw. 11,6 geerntet. Die höchste kumulierte N-Abfuhr lag ebenfalls bei Rotklee mit 242 kg N ha⁻¹, Weißklee mit 231 kg N ha⁻¹ und Schwedenklee mit 182 kg N ha⁻¹ vor (Tab. 22:).

Tab. 22: Schnittgutertragsleistung und Qualität des Erntegutes der evaluierten Futterleguminosenarten und Welschem Weidelgras im Jahr 2013 (Feldversuch F1)

Art	Anzahl der Schnitte	kumulierter Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	gewichteter N-Gehalt [% N]	gewichtetes C/N-Verhältnis	kumulierter N-Ertrag [kg N ha ⁻¹]
Alexandrinerklee	5	49,6 b	3,1 d	13,5 cbd	153,5 bc
Gelbklee	4	37,8 c	3,2 bcd	13,4 cbd	122,2 cd
Hornklee	4	39,3 bc	3,0 d	13,9 b	118,5 cd
Luzerne	6	41,8 bc	3,2 d	13,0 cbd	134,3 c
Persischer Klee	4	49,7 b	2,9 d	14,0 cbd	145,7 bc
Rotklee	7	63,8 a	3,8 a	11,3 d	242,0 a
Schwedenklee	7	49,9 b	3,7 abc	11,7 cd	182,9 bc
Steinklee	5	42,8 bc	3,2 cd	13,0 bc	138,4 c
Weißklee	7	61,8 c	3,7 ab	11,6 bcd	231,0 a
Welsches Weidelgras	6	37,2 a	2,4 e	16,7 a	89,8 d

Die drei geeignetsten Arten hinsichtlich TM-Ertrag, N-Gehalt, C/N-Verhältnis und N-Ertrag im Schnittgut (Rotklee, Schwedenklee, Weißklee) wurden für einen weiterführenden Feldversuch zur Optimierung des Schnittregimes zur Düngemittelherstellung ausgewählt. Auf Grund der Bedeutung von Luzerne für den ökologischen Landbau sollte diese Art trotz der geringen Ertragsleistung im Jahr 2013 auch im Jahr 2014 weiter geprüft werden.

Tab. 23: Schnittgutertragsleistung und Qualität des Erntegutes der evaluierten Futterleguminosenarten im Jahr 2014 (Feldversuch F1)

Art	Anzahl der Schnitte	kumulierter Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	gewichteter N-Gehalt [% N]	gewichtetes C/N-Verhältnis	kumulierter N-Ertrag [kg N ha ⁻¹]
Luzerne	6	61,2 c	3,6 b	12,1 a	224,9 D
Rotklee	11	96,0 a	4,2 a	10,4 b	425,5 A
Schwedenklee	11	60,4 c	4,4 a	10,2 b	301,9 C
Weißklee	11	77,3 b	4,4 a	9,8 b	373,2 B

Die Saat der Futterleguminosenarten Luzerne, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee im August 2013 und ein sehr milder Winter ermöglichten es, mit der Ernte des Schnittgutes im Jahr 2014 bereits am 10. April zu beginnen. Insgesamt konnte die Ertragsleistung hierdurch im Vergleich zu 2013 deutlich gesteigert werden. Die Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee wurden 11 Mal, die Luzerne sechs Mal geerntet. Die erzielten kumulierten TM-Erträge an Schnittgut lagen zwischen 61 dt TM ha⁻¹ (Luzerne) und 96 dt TM ha⁻¹ (Rotklee) (Abb. 4, Tab. 23). Das angestrebte C/N-Verhältnis im Schnittgut von kleiner 10 konnte mit Weißklee (gewichtetes C/N-Verhältnis: 9,8) erreicht werden. Das gewichtete C/N-Verhältnis im Luzerneschnittgut war mit 12,4 signifikant höher als das der drei Kleearten mit 9,8 bis 10,4 (Abb. 5). Das C/N-Verhältnis im Schnittgut schwankte über das Jahr im Rotkleeschnittgut zwischen 9,3 und 11,9, im Weißkleeschnittgut zwischen 8,5 und 11,6, im Schwedenkleeschnittgut zwischen 9,5 und 11,3 sowie im Luzerneschnittgut zwischen 11,1 und 13,2.

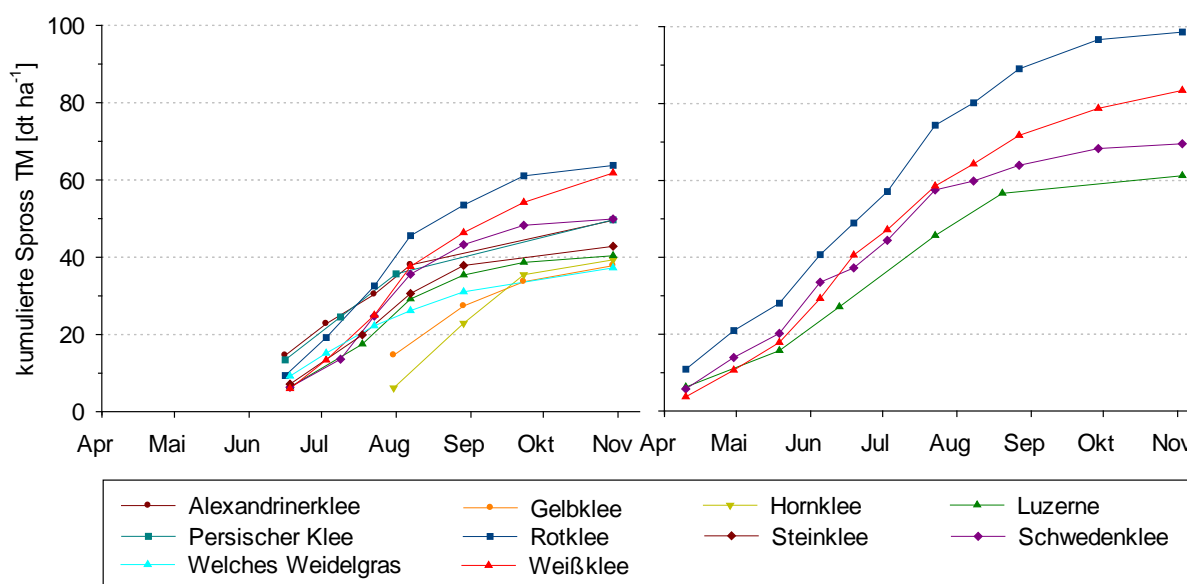


Abb. 4: Kumulierte Trockenmasseerträge der Futterleguminosenarten und des Welschen Weidelgrases im Jahr 2013 (links) und 2014 (rechts)

Die gewichteten N-Gehalte des Schnittgutes konnten im Jahr 2014 durchschnittlich um 0,5 %-Punkte im Vergleich zu 2013 gesteigert werden und lagen zwischen 3,6 % N im Luzerneschnittgut und 4,4 % N im Weißklee schnittgut. Die resultierende N-Abfuhr im Schnittgut stieg auf bis zu 225 kg N ha⁻¹ bei Luzerne und bis zu 425 kg N ha⁻¹ bei Rotklee an. Dieses bedeutete eine Steigerung in 2014 zu 2013 um bis zu 184 kg N ha⁻¹ bei Rotklee. Wie im Jahr 2013 zeigten sich die Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee unter einem bis zu 11-schürigen Schnittregime hinsichtlich TM-Ertrag, N-Gehalt, C/N-Verhältnis und N-Abfuhr als am besten geeignet für die Erzeugung hochqualitativen Schnittgutes zur Düngemittelherstellung. Luzerne zeigte in drei von vier Qualitätsparametern allerdings signifikant schlechtere Ergebnisse als Rotklee, Schwedenklee und Weißklee.

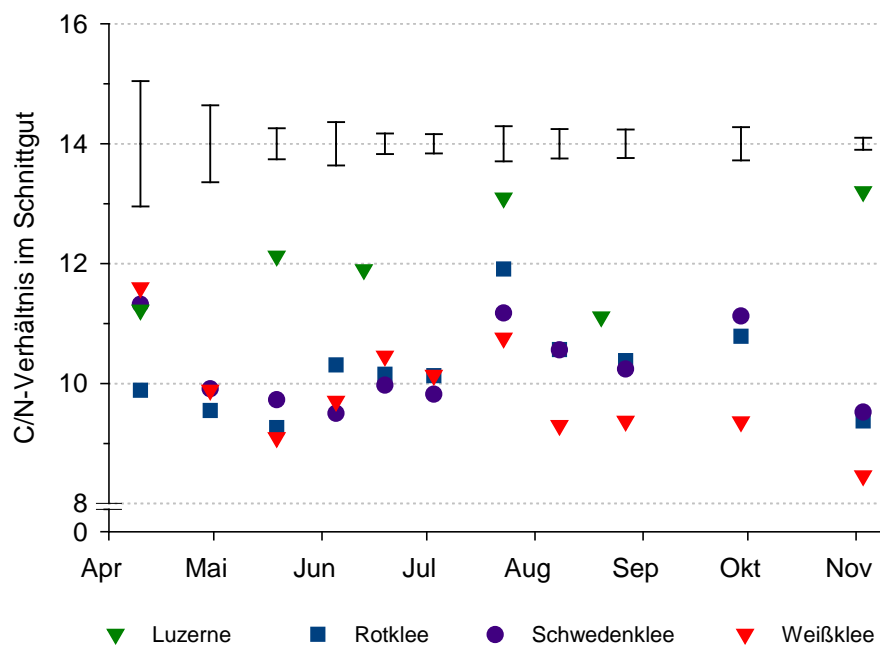


Abb. 5: C/N-Verhältnisse im Schnittgut der Leguminosen zu den jeweiligen Schnittterminen im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, für die Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee jeweils ohne Luzerne)

4.2 Prognosemodell Schnittregime

Der Ernteschnitt der Futterleguminosenarten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee erfolgte im Jahr 2014 nachdem die Pflanzen zwei bis drei neue Blätter vollentwickelt hatten, im Juni, Juli und August war der Schnittzeitpunkt nach im Mittel 14 bis 20 Tagen erreicht (Tab. 24). Der Schnitttermin am 23. Juli 2014 sollte ursprünglich 7 Tage eher erfolgen, dieses war jedoch aus arbeitstechnischen Gründen nicht möglich. Diese ungewollte Verlängerung des Schnittintervalls führte zu einem deutlichen Anstieg des TM-Ertrags der

Futterleguminosen zu diesem Termin, jedoch führte die Verlängerung auch zu einem deutlichen Anstieg des C/N-Verhältnisses im Schnittgut (Abb. 5) und einem Rückgang des N-Gehalts im Schnittgut.

Tab. 24: Witterungsdaten während des Feldversuchs zur Evaluation der Futterleguminosenarten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee im Jahr 2014 am Standort Dresden-Pillnitz (Vegetationsbeginn nach 300 °C Tagen)

Schnitt	Intervall [d]	Summe		
		Niederschlag [mm]	Bodentemperatur in 5 cm Tiefe [°C Tage]	Globalstrahlung [W/m ²]
10. Apr.	25	16	ca. 250	ca. 2900
30. Apr.	20	11	251	3178
19. Mai.	19	35	241	2653
5. Jun.	17	61	288	3487
19. Jun.	14	0	310	3245
3. Jul.	14	28	256	2589
23. Jul.	20	55	447	3976
8. Aug.	16	55	357	2643
27. Aug.	19	42	337	2740
29. Sep.	33	85	543	3153
3. Nov.	35	40	437	2552

Futterleguminosen sind Langtagpflanzen und beginnen ab ca. Ende Mai mit verstärktem Längenwachstum und der Bildung von Knospen und Blüten, diese. Diese Phase hält bei Schnittnutzung bis ca. Mitte August an. Ab Mitte August zeigen Rot- und Schwedenklee kaum mehr Längenwachstum und bleiben im Rosettenstadium. Bei Weißklee ist das Ausbleiben der Knospenbildung ab Mitte August erkennbar. Die Leguminosen wachsen dann verstärkt vegetativ.

Die Analysen der TM-Erträge und Schnittgutqualität in Abhängigkeit von der Witterung zeigen für die zwei verschiedenen Phasen (Frühjahr/ Herbst bzw. Sommer) unterschiedlich stark ausgeprägte Korrelationen, die in der Phase des generativen Wachstums deutlich höher ausfielen. Dieser Langtagphase können jedoch im Jahr 2014 nur fünf bis sieben Schnitttermine angerechnet werden. Der stärkste Zusammenhang zur Ertragsbildung beziehungsweise innerer Qualität des Schnittguts konnte zur Globalstrahlung festgestellt werden. Aus der eingeschränkten Datenmenge von 7 Schnittterminen wurde nicht versucht ein Prognosemodell zu erarbeiten. Aus diesem Grund sollen die erzielten Ergebnisse aus dem Jahr 2014 kurz dargestellt werden. Eine explizite Entwicklung eines Modells wird nicht vorgenommen. Dieses Modell ist zudem stark abhängig von der Homogenität des Bestandes

(möglichst frei von Unkräutern) und der Bestandsstabilität über die Vegetationsperiode hinweg. Speziell für die Arten Schwedenklee und Luzerne konnte 2014 ein verstärktes Durchwachsen von Quecke und Ampferarten ab Ende Juli beobachtet werden. Diese Beikräuter, insbesondere die Gräser, beeinflussen jedoch sehr stark die Qualität (C/N-Verhältnis) des Schnittguts.

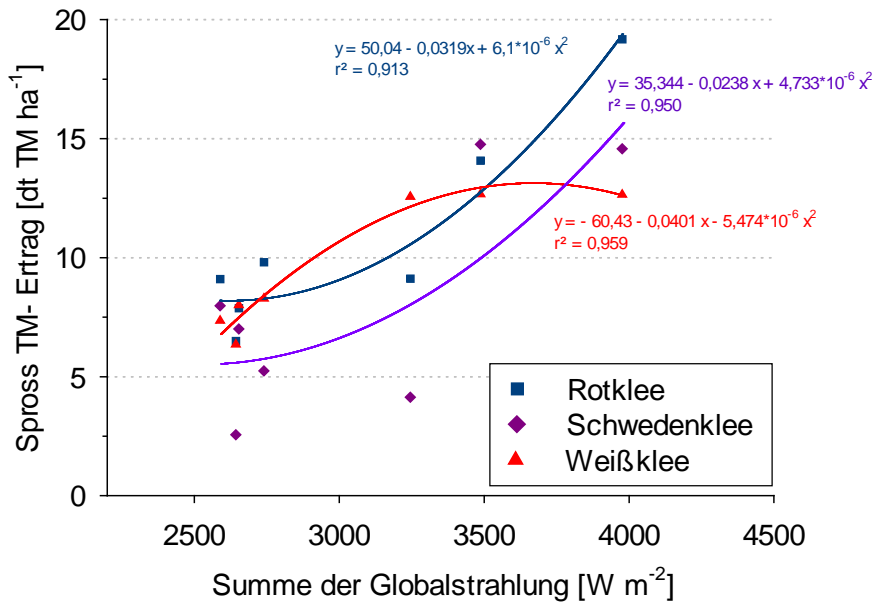


Abb. 6 Zusammenhang zwischen Summe der Globalstrahlung je Schnittintervall und dem TM-Ertrag je Schnittintervall, Zeitraum: Mai und August 2014

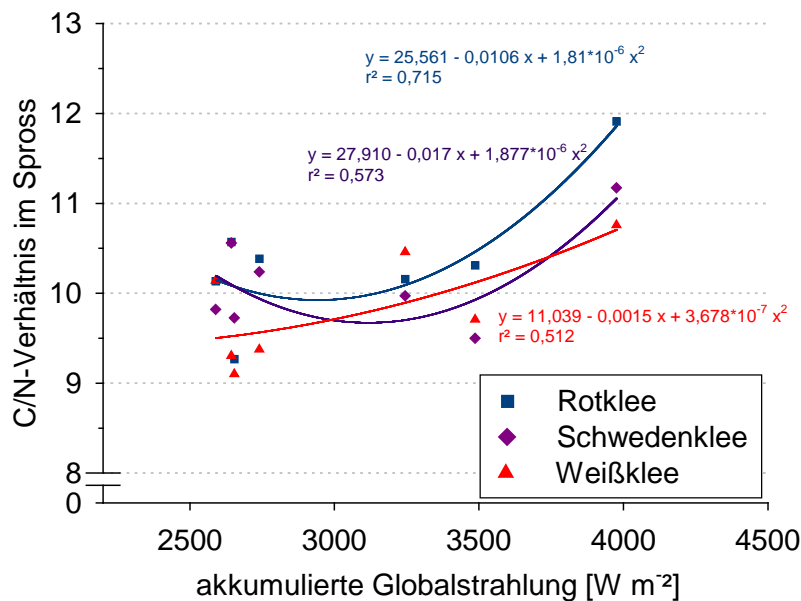


Abb. 7 Zusammenhang zwischen akkumulierten Globalstrahlung und dem C/N-Verhältnis im Schnittgut je Schnittintervall, Zeitraum Mai und August 2014

Mit zunehmender Summe der Globalstrahlung nach dem letzten Schnitt stieg der TM-Ertrag der Futterleguminosen deutlich an (Abb. 6). Bei Rotklee und Schwedenklee ließ sich dieser Zusammenhang mit einer Exponentialfunktion und vergleichsweise hohen Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,60 und 0,91 beschreiben. Der Zusammenhang zwischen der Summe der Globalstrahlung und dem C/N-Verhältnis im Spross bzw. Schnittgut ist in Abb. 7 dargestellt und drückt sich für Rotklee ebenfalls in einer Exponentialfunktion mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,71$ aus. Am geringsten ist der Zusammenhang zwischen der Summe der Globalstrahlung nach dem letzten Schnitt und dem C/N-Verhältnis im Schnittgut bei Weißklee ($r^2 = 0,51$). Dies lässt sich mit der Phänologie des Weißklee erklären. Dieser bildet keinen mit zunehmendem Wachstum und Alter verholzenden Spross aus. Das Wachstum erfolgt entlang von am Boden liegenden Stolonen, welche mit dem Schnitt nicht erfasst werden.

Der Zusammenhang zwischen TM- Ertrag und N-Gehalt im Spross bzw. Schnittgut konnte mit quadratischen Funktionen mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen von maximal 0,6 wiedergegeben werden (Abb. 8). Bei Schwedenklee ließ sich dieser Zusammenhang mit einem r^2 von 0,06 (F-Wert: 0,2585, P-Wert: 0,7792) nicht nachweisen. Der N-Gehalt im Schnittgut lag somit unabhängig vom TM-Ertrag zwischen 4,1 und 4,7 %.

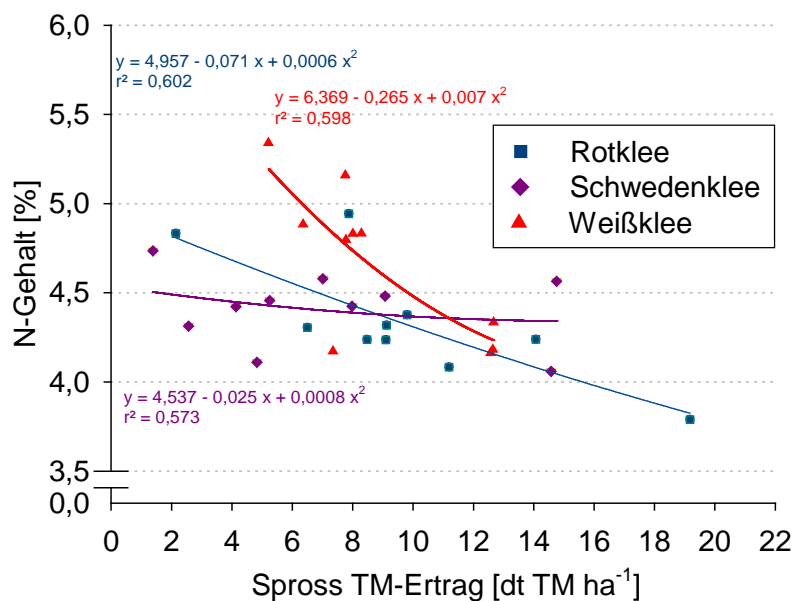


Abb. 8 Zusammenhang zwischen dem Spross TM-Ertrag von Futterleguminosen und dem N-Gehalt im Schnittgut, Zeitraum April und Oktober 2014

4.3 Stickstoffmineralisation

Die Netto-N-Freisetzung aus den verschiedenen Schnittgutpartien der Futterleguminosarten verlief zwischen Material des zweiten Schnittes zu Material des dritten und letzten Schnittes unterschiedlich. Die Netto-N-Mineralisation des zweiten Schnittes erreichte bei Alexandrinerklee, Gelbklee, Persischer Klee, Schwedenklee und Weißklee bereits nach 28 Tagen der Inkubation mit 30 bis 50 % des zugeführten N den Höhepunkt der N-Mineralisation. Gelbklee erreichte den Punkt der maximalen N-Mineralisation mit 52 % Netto-N-Mineralisation des zugeführten Stickstoffs erst nach 56 Tagen. Die Netto-N-Freisetzung aus dem Schnittgut der Arten Hornklee, Luzerne, Rotklee und Steinklee erreichte mit dem Ende des Versuchs die maximalen Werte zwischen 20 % aus Luzerneschnittgut und 33 % aus Steinkleeschnittgut. Die Dauer der Inkubation bis zum Erreichen der maximalen N-Freisetzung konnte für diese Arten nicht definiert werden, da bis zum Ende des Prüfzeitraumes noch ein Anstieg zu verzeichnen war (Abb. 9, links, Tab. A 2Tab. A 2).

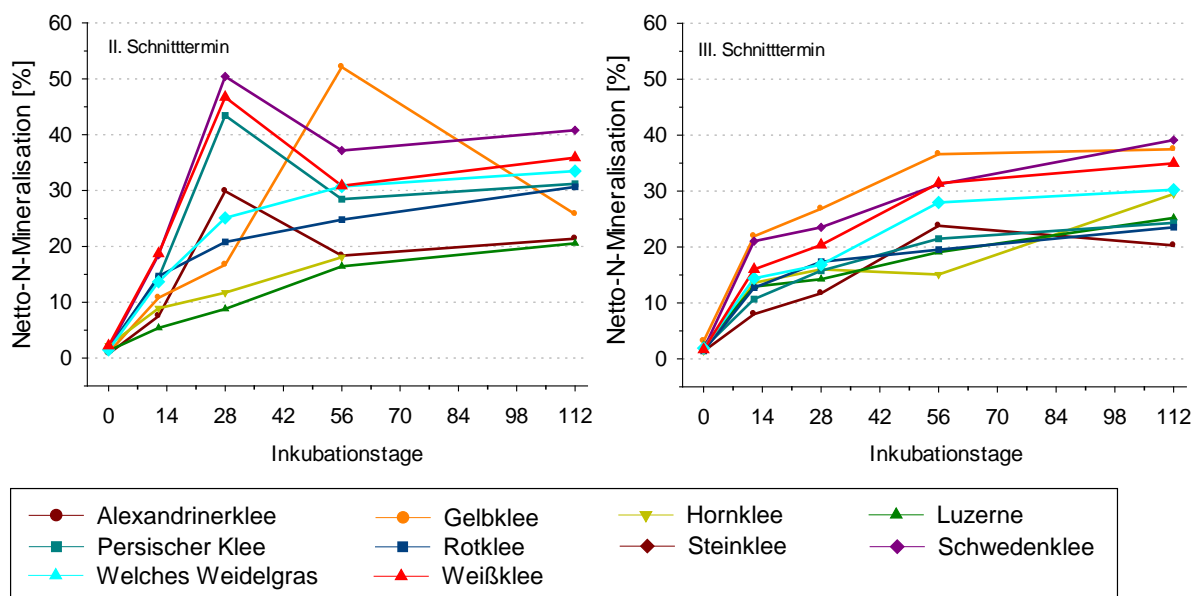


Abb. 9: Netto-N-Mineralisation aus Futterleguminosenschnittgut des zweiten (links) und dritten Schnittermins (rechts) bei einer Inkubationstemperatur von 20°C und einer N-Gabe im Schnittgut von 1 mg N je g TM Boden

Die Netto-N-Mineralisation aus dem Schnittgut des dritten Schnittermins zeigte ebenfalls, mit Ausnahme von Alexandrinerklee, keine Maximalwerte innerhalb der Inkubationsdauer von 112 Tagen. Die höchsten Werte wurden erst am Ende des Versuchs (112 Tage) mit einer Netto-N-Mineralisation in Höhe von 24 % (Rotklee) bis 39 % (Schwedenklee) gemessen (Abb. 9, rechts, Tab. A 3).

Bei den Arten Alexandrinerklee und Weißklee erreichte die Netto-N-Mineralisation aus dem Material des letzten Schnittermins die maximale Netto-N-Mineralisation in Höhe von 15 bzw.

49 % des zugeführten Stickstoffs nach 56 Tagen der Inkubation (Abb. 10, Tab. A 4). Die höchsten Werte der Arten Gelbklees, Luzerne, Rotklee, Schwedenklee und Steinklee wurden mit 34 bis 49 % zum Ende des Versuchs nach 112 Tagen gemessen.

Die zweifaktorielle Auswertung der Netto-N-Mineralisation ergab für jeden Termin der Probenahme signifikante Wechselwirkungen zwischen den Leguminosenarten und den drei Schnittterminen. So zeigte beispielsweise Alexandrinerklee des zweiten Schnitttermins nach 28 Tagen mit 30 % im Vergleich der Arten die vierthöchste Netto-N-Mineralisation. Das Schnittgut der anderen zwei Schnitttermine zeigte jedoch die niedrigste N-Mineralisation. Weißklee des letzten Schnitttermins zeigte nach 56 Tagen mit ca. 50 % die höchste Netto-N-Mineralisation aller Arten. Die N-Freisetzung aus dem Weißklee des zweiten und letzten Schnitttermins lag dagegen um 30 % und somit unter der N-Freisetzung aus dem Schnittgut von Gelb- und Schwedenklee. Die anderen Arten zeigen eine ähnlich variable Netto-N-Mineralisation zwischen den Schnittterminen, die auf Grund der unterschiedlichen C/N-Verhältnisse im Schnittgut auch keine vollständig einheitliche Ausgangslage darstellte.

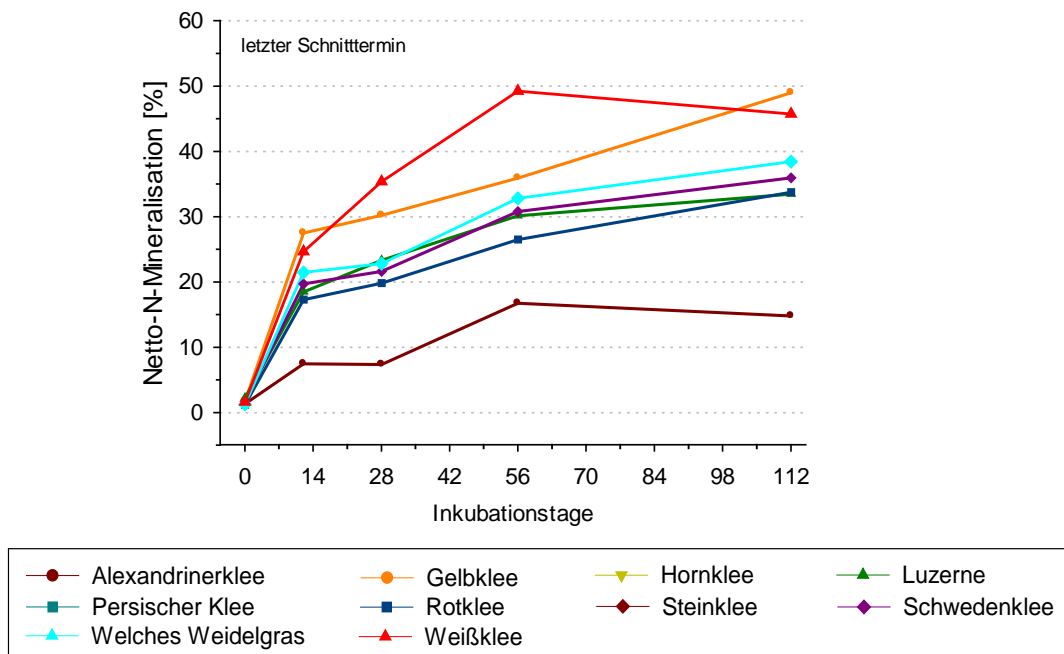
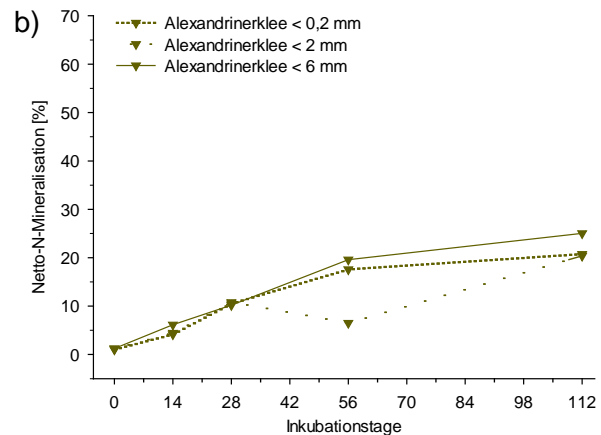
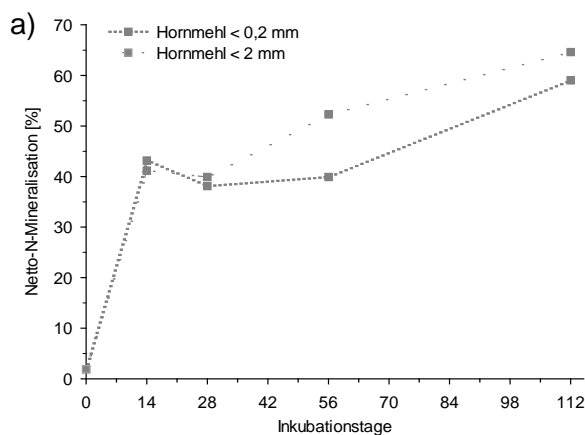
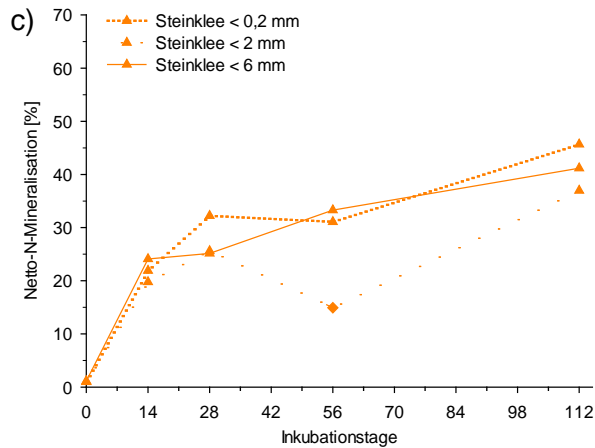


Abb. 10: Netto-N-Mineralisation aus Futterleguminosenschnittgut des letzten Schnitttermins bei einer Inkubationstemperatur von 20°C und einer N-Gabe im Schnittgut von 1 mg N je g TM Boden

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss der Partikelgröße des Schnittgutes der Leguminosenarten Alexandrinerklee, Steinklee, Weißklee und als Referenzmaterial Hornmehl exemplarisch auf die Netto-N-Mineralisation untersucht. Das Schnittgut des Alexandrinerkleees wies die geringste Netto-N-Mineralisation in allen drei Varianten über die

gesamte Inkubationsdauer auf. Die höchste N-Nettomineralisation wurde nach 112 Tagen mit 20 bis 25 % der zugeführten N-Menge ermittelt. Zu allen Beprobungsterminen mit einer Ausnahme nach 28 Inkubationstagen wurden in der Variante Alexandrinerklee mit Partikeln kleiner 6 mm die höchste Netto-N-Mineralisation bestimmt. Nur nach 56 Inkubationstagen unterschieden sich die Varianten mit Partikeln < 0,2 mm und < 2 mm mit 7 bzw. 18 % Netto-N-Mineralisation des zugeführten Stickstoffs deutlich (Abb. 12 ,Tab. A 5). Die Netto-N-Mineralisation aus dem Schnittgut des Steinklees war deutlich höher und erreichte nach 112 Tagen das Maximum. Diese lagen bei 27 und 41 % Netto-N-Mineralisation des zugeführten Stickstoffs. Bei Steinklee ließ sich kein direkter Zusammenhang zwischen Netto-N-Mineralisation und der Partikelgröße feststellen. Nach 14 und 56 Tagen wiesen die Partikel < 6 mm die höchste die Partikel < 0,2 mm nach 28 und 112 Tagen die höchste N-Nettomineralisation auf. Die Variante mit einer Partikelgröße von < 2 mm wies zu allen Beprobungsterminen die geringste Netto-N-Mineralisation auf. Nur nach 28 Tagen erreichte diese Variante mit 25,5 % des zugeführten Stickstoffs eine Netto-N-Mineralisation der Variante < 6 mm.





d)

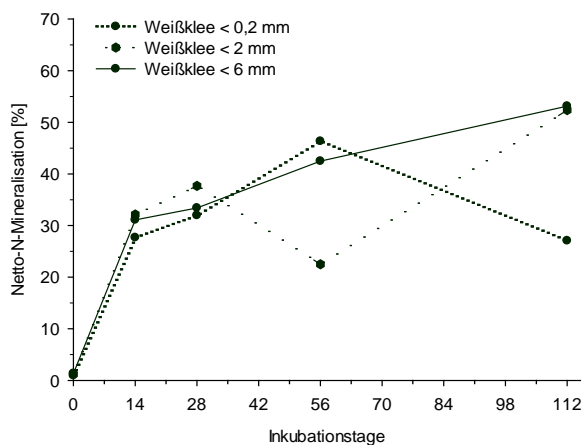


Abb. 11 Einfluss der Inkubation (bei 20°C, 70% WK) auf die Netto-N-Mineralisation aus Hornmehl (a), Alexandrinerklee (b), Steinklee (c) und Weißklee (d) in verschiedenen Vermahlungsstufen

Das Weißkleeschnittgut zeigte die höchste Netto-N-Mineralisation des Schnittgutes aller geprüften Leguminosenarten nach 14 Tagen Inkubation. Die Werte lagen zwischen 28 % in der Variante < 0,2 mm und 32 % des zugeführten Stickstoffs in der Variante < 2 mm. Den kontinuierlichste Netto-N-Mineralisation zeigte die Variante < 6 mm, die höchste Netto-N-Mineralisation wurde bei Weißklee zum Ende des Versuchs nach 112 Tagen mit 53 % des zugeführten Stickstoffs gemessen. Die Varianten mit den Prüfgliedern < 2 mm und < 0,2 mm zeigten nach 28 bzw. 56 Tagen zwischenzeitliche Höhepunkte in der N-Freisetzung, diese sanken jedoch im Anschluss um 11 bis 15 %-Punkte wieder ab. Die höchste Netto-N-Mineralisation der Variante < 2 mm wurde mit 52 % nach 112 Tagen und der Variante < 0,2 mm mit 46 % des zugeführten Stickstoffs nach 56 Tagen bestimmt.

Auffällig war außerdem der gleichmäßige Verlauf der Netto-N-Freisetzung aus dem Schnittgut aller Leguminosenarten in der Vermahlungsstufe mit Partikeln < 6 mm. Der Anstieg war unterschiedlich steil, die N-Freisetzung jedoch zu keinem Termin rückläufig. In der Vermahlungsstufe mit Schnittgutpartikeln < 2 mm gingen die Werte des mineralisierten Stickstoff aus Schnittgut aller drei Futterleguminosenarten zum Termin nach 56

Inkubationstagen zurück. Der Rückgang lag in allen Varianten zwischen 58 und 60 % der nach 28 Inkubationstagen mineralisierten N-Menge aus dem Schnittgut. Der anschließende Anstieg des mineralisierten Stickstoffs aus dem Schnittgut bei den Weißklee und Steinklee zum letzten Beprobungstermin betrug 133 bzw. 148 % der mineralisierten N-menge, die zum Zeitpunkt 56 Tage vorlag. Bei Alexandrinerklee lag die Netto-N-Mineralisation nach 112 Inkubationstagen mit einem entsprechenden Anstieg um 213% noch deutlicher über dem Wert, der nach 56 Tagen gemessen wurde. Die N-Freisetzung aus dem Schnittgut der Leguminosenarten in der Vermahlungsstufe < 0,2 mm kann nicht einheitlich beschrieben werden, da diese zum Teil gegenläufig verliefen.

Die zweifaktorielle Auswertung zu den Probennahmeterminen zeigte zum Termin nach 14 und 112 Tagen Wechselwirkungen zwischen den Futterleguminosenarten und den verschiedenen Partikelgrößen, obwohl in diesem Versuch die C/N-Verhältnisse des Schnittgutes innerhalb einer Leguminosenart einheitlich waren. Nach 28 und 56 Tagen gab es keine signifikanten Wechselwirkungen. Weißklee zeigte jeweils zu beiden Terminen gegenüber Steinklee und Alexandrinerklee die signifikant höchste N-Freisetzung aus dem applizierten Schnittgut. Der in vermahlenem Schnittgut des Alexandrinerklees enthaltene Stickstoff wurde am langsamsten freigesetzt. Nach 28 Tagen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten der Vermahlungsstufen, nach 56 Tagen zeigten jedoch die Varianten der Vermahlungsstufe mit Partikeln kleiner zwei Millimeter gegenüber den Stufen mit Partikeln < 6 mm und < 0,2 mm eine signifikant niedrigere Netto-N-Mineralisation.

Die Wechselwirkungen können neben der Leguminosenart und der Vermahlungsstufe zusätzlich ihre Ursache in den unterschiedlichen C/N-Verhältnissen im Schnittgut der Futterleguminosenarten haben. Nach 14 Tagen lagen signifikante Wechselwirkungen (F-Wert: 3,13; P-Wert: 0,029) zwischen Leguminosenart und Vermahlungsstufe vor. Am stärksten variabel fiel die N-Freisetzung aus dem Schnittgut in der Vermahlungsstufe mit Partikeln < 2 mm aus. Die N-Mineralisation aus Weißkleeschnittgut war in dieser Vermahlungsstufe am höchsten und für die N-Mineralisation aus Steinklee und Alexandrinerkleeschnittgut lagen die Werte nur zwischen den anderen zwei Vermahlungsstufen. Die Differenzierung der Netto-N-Mineralisation zwischen den Vermahlungsstufen des Schnittgutes war über die Leguminosenarten nicht einheitlich. So zeigte Alexandrinerklee nahezu gleiche Werte der N-Freisetzung aus dem Schnittgut in den Vermahlungsstufen mit Partikeln < 0,2 mm und < 2 mm (4,1 bzw. 4,5 % Freisetzung des zugeführten Stickstoffs). Die Netto-N-Mineralisation aus Weißkleeschnittgut war dagegen in den Vermahlungsstufen mit Partikeln < 2 mm und < 6 mm mit 32 bzw 31 % Freisetzung der zugeführten N-Menge nahezu gleich hoch.

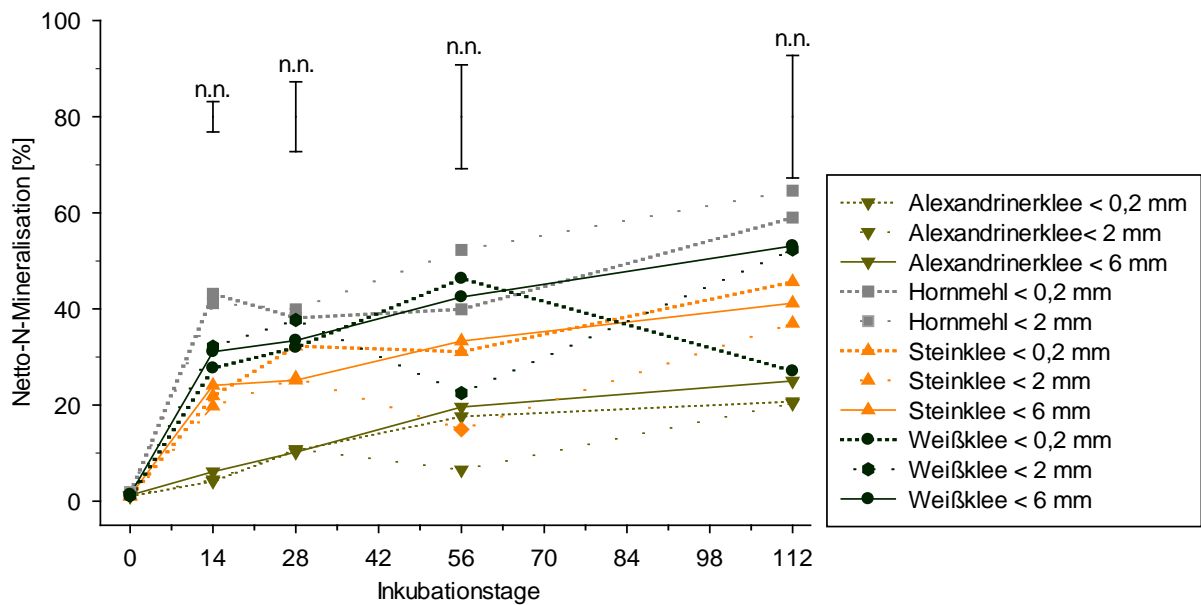


Abb. 12 Einfluss der Inkubation (bei 20°C, 70% Wasserhaltekapazität) auf die Netto-N-Mineralisation aus Hornmehl, Alexandrinerklee, Steinklee, Weißklee und in verschiedenen Vermahlungsstufen (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$, n.n.- Daten nicht normalverteilt)

Nach 112 Tagen der Inkubation fiel insbesondere die Netto-N-Mineralisation aus Weißkleeschchnittgut der Vermahlungsstufe < 0,2 mm auf. Diese lag um 48 bzw. 49 % unter den Werten der anderen zwei Vermahlungsstufen. Eine derart hohe Abweichung einer Vermahlungsstufe zeigten die Ergebnisse der Arten Steinklee und Alexandrinerklee nicht. Zusätzlich war keine eindeutige Differenzierung der Netto-N-Mineralisation zwischen den Vermahlungsstufen erkennbar. Das niedrige C/N-Verhältnis im Weißkleeschchnittgut (8,8) und die sehr feine Vermahlung (< 0,2 mm) könnten zur höchsten Netto-N-Mineralisation aller Arten innerhalb von 56 Inkubationstagen geführt haben. Ursache des niedrigen N-Mineralisationswertes nach 112 Inkubationstagen könnte die kurzfristige Festlegung des freien Stickstoffs in einer sich zu stark entwickelnden Mikrobenmasse gewesen sein. Der Wert muss jedoch hinterfragt werden, da er eine sehr große Streuung mit einer Standardabweichung von $s = 19,1$ aufwies.

Bei dem geprüften Schnittgut der Leguminosenarten (ohne Hornmehl) zeigte sich hinsichtlich Partikelgröße kein eindeutiger Zusammenhang zur Netto-N-Mineralisation. Die lineare Regressionsanalyse (F -Wert: 0,0558, P -Wert: 0,820) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,0079 für diesen Zusammenhang unterstrich die Beobachtungen.

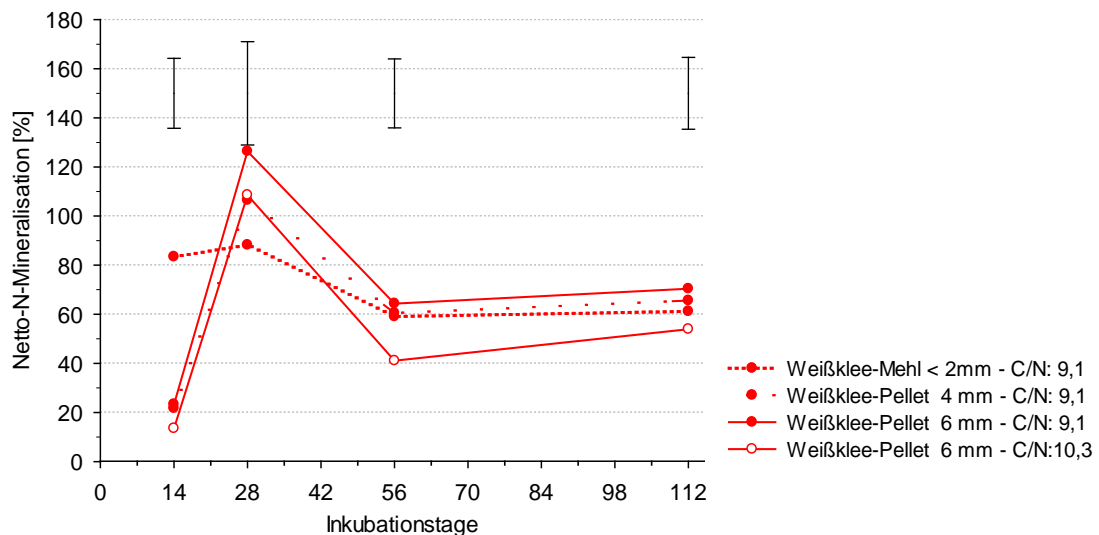


Abb. 13: Netto-N-Mineralisation aus Weißkleepellets und -mehl bei einer Inkubationstemperatur von 20°C (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

In einem dritten Inkubationsversuch wurde der Einfluss der Pelletierung des Leguminosenschnittgutes auf Netto-N-Mineralisation untersucht. Die Ergebnisse zeigten nach 14 Tagen einen signifikanten Unterschied zwischen inkubiertem Weißkleemehl mit 83 % N-Freisetzung und allen Pelletvarianten mit 13 bis 23 % Netto-N-Mineralisation der zugeführten N-Menge (Abb. 13). Im weiteren Versuchsverlauf konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt werden, jedoch führte die Mehlarvariante bei gleichem C/N-Verhältnis im inkubierten Material mit 59 bis 88 % N-Netto-Mineralisation die niedrigsten Werte der Netto-N-Mineralisation. Die 6 mm Pellet-Variante (C/N: 9,1) war über den Versuchsverlauf ab dem Tag 28 durch die höchste N-Freisetzung von maximal 126 % der zugeführten N-Menge gekennzeichnet. Der gleiche Verlauf der Netto-N-Mineralisation war ab dem Tag 28 in der Variante 4 mm Pellet mit um 4 bis 20 %-Prozentpunkte geringerer N-Freisetzung zur 6 mm Variante zu beobachten. Trotz eines höheren C/N-Verhältnisses von 10,3 im Pflanzenmaterial einer weiteren Variante Weißklee-Pellets mit 6 mm Durchmesser konnte hier eine maximale Netto-N-Mineralisation von 109 % der zugeführten N-Menge ermittelt werden. Dieser Wert lag nach 28 Tagen leicht über den Ergebnissen der Variante mit 4 mm Pellets. Im weiteren Versuchsverlauf sank die N-Freisetzung der 6 mm Pellet Variante mit einem C/N-Verhältnis von 10,3 im Pflanzenmaterial mit 41 bzw. 54 % auf die niedrigsten Werte aller Varianten des Versuchs nach 56 Inkubationstagen. Der maximale Wert der Netto-N-Mineralisation war in alle Varianten bereits nach 28 Tagen erreicht und wies in diesem Versuch sehr hohe Netto-N-Mineralisationswerte von zum Teil über 100 % der zugeführten N-Menge auf, was auf einen Priming-Effekt durch die Mineralisation des Weißkleeschnittgutes hindeutete. Die Ergebnisse deuten bei gleichem C/N-Verhältnis des inkubierten Materials auf einen Zusammenhang

zwischen Pelletgröße und maximaler Netto-N-Freisetzung hin. Dabei war die Netto-N-Mineralisation aus 6 mm Weißklee-Pellets mit einem C/N-Verhältnis von 10,3 im Schnittgut zeitweise (nach 28 Inkubationstagen) zu 4 mm Weißklee-Pellets mit einem C/N-Verhältnis von 9,1 im Weißklee-Schnittgut gleich hoch.

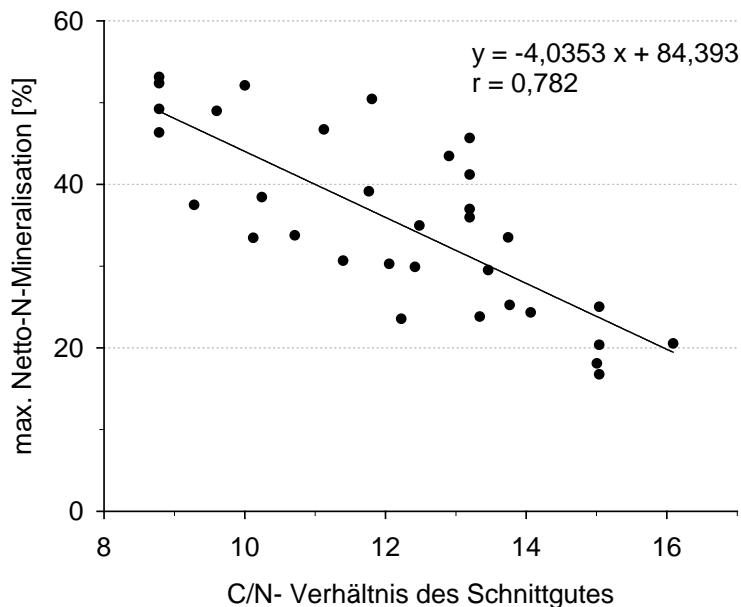


Abb. 14: Zusammenhang zwischen C/N-Verhältnis des organischen Materials und der maximalen Netto-N-Mineralisation nach 112 Tagen bei 20°C (Datengrundlage: erster und zweiter Inkubationsversuch; lineare Regression: F-Wert: 50,41, P-Wert: <0,0001)

Ursprüngliches Ziel war die Inkubation von Schnittgut aller geprüften Leguminosenarten mit einem C/N-Verhältnis von kleiner 10. Das zum Zeitpunkt des Mineralisationsversuchs verfügbare und eingesetzte Schnittgut wies C/N-Verhältnisse zwischen 8,8 und 16,1 auf. Setzt man das C/N-Verhältnis des inkubierten Schnittgutes und die maximal gemessene Netto-N-Mineralisation der zwei ersten Inkubationsversuche in einen Zusammenhang, so ließ sich ein negativer Zusammenhang zwischen dem C/N-Verhältnis des Schnittgutes und der Netto-N-Mineralisation nach 112 Tagen Inkubation mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,782$ ermitteln (Abb. 14).

4.4 Pelletierte Düngemittel

Der in Abschnitt 4.3 Stickstoffmineralisation beschriebene Zusammenhang zwischen Pelletgröße und Netto-N-Mineralisation des Futterleguminosenschnittgutes zeigte sich auch im Feldversuch.

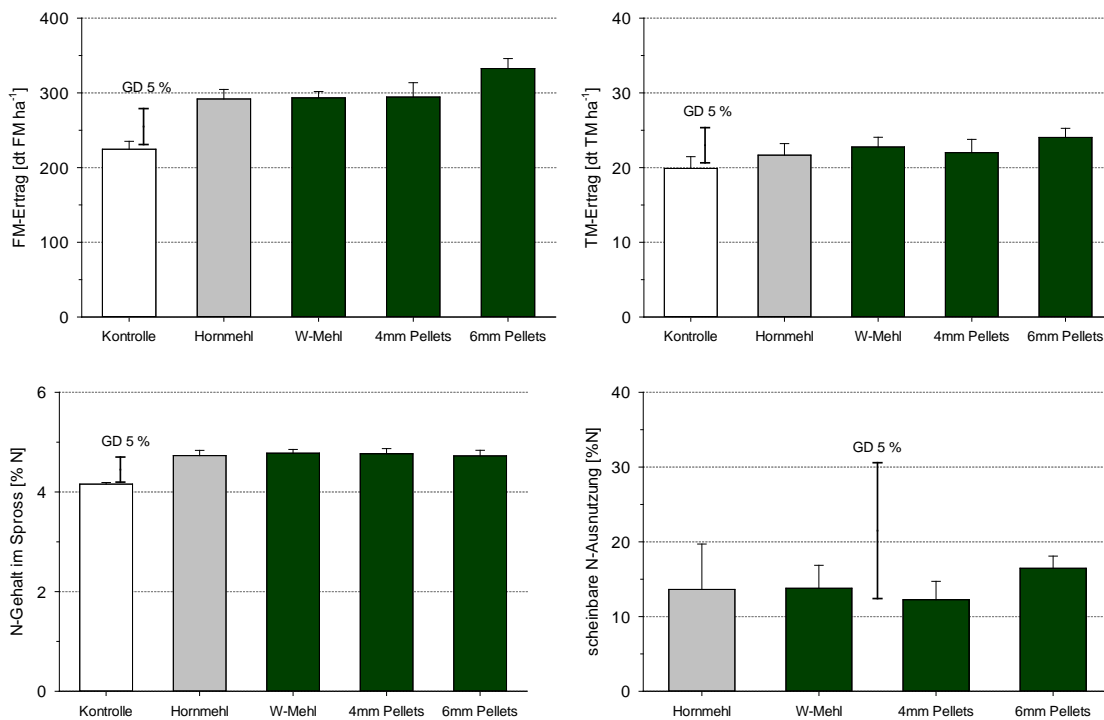


Abb. 15: Einfluss von Hornmehl, Weißkleemehl und pelletiertem Weißklee auf Frisch- (a) bzw. Trockenmassertrag (b) und N-Aufnahme (c) des Spinats sowie N-Gehalt im Spinat (d) und die scheinbare N-Verwertung (e) des gedüngten Stickstoffs durch Spinat im Jahr 2014, (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz von 5%)

So konnte mit 6 mm großen Weißkleepellets ein höherer Spinat Frischmasseertrag erzielt werden als mit Weißkleemehl gleicher Zusammensetzung. Die Spinat FM-Erträge nach Düngung von Weißkleemehl und 4 mm Weißkleepellets waren mit 294 dt FM ha⁻¹ in beiden Fällen gleich hoch. Der gedüngte Spinat erzielte zur nicht gedüngten Kontrolle signifikant höhere FM-Erträge. Die Ergebnisse der TM-Erträge des Spinates spiegelten die Ergebnisse der Frischmasseerträge des Spinates wider, zeigten jedoch nun keinen signifikanten Unterschied mehr zur nicht gedüngten Kontrolle. Die scheinbare Stickstoff-Verwertung in im Herbst gesäten Spinat lag zwischen 12 % (Variante: 4 mm Pellet) und 16 % der gedüngten N-Menge (Variante: 6 mm Pellet). Die erhöhte N-Aufnahme durch Spinat führte jedoch nicht zu erhöhten N-Gehalten im Spinat. Durch eine zweite Spinaternte im November stieg die N-Verwertung aus den Weißkleedüngemitteln auf 17 bis 20 % des gedüngten Stickstoffs an (Abb. 15).

4.5 Pflanzenverträglichkeit

Alle Keimversuche zur Beurteilung der Pflanzenverträglichkeit zeigten eine keimhemmende Wirkung des vermahlenden Leguminosenschnittgutes auf Samen der Kresse. Im ersten

Versuch wurde das Leguminosenschnittgut auf Filterpapier getestet. Trotz der geringen Aufwandmenge von 0,2 g TM je Petrischale mit 50 Kresse Samen (entspricht 3,1 dt TM ha⁻¹) war beim geprüften Leguminosenschnittgut aller drei Schnitttermine der Futterleguminosen eine signifikant keimhemmende Wirkung ersichtlich (Abb. 16). Das vermahlene Schnittgut des Gelbklees und Schwedenklees des zweiten Schnitttermines wirkte auf die Keimung der Samen besonders hemmend, so dass nur 38 % bzw. 32 % der Kressesamen keimten. Deutlich war auch der erhöhte Anteil der nicht gekeimten Samen beim Schnittgut des Hornklees (16 %), des Schwedenklees (25 %) und des Steinklees (18 %).

Das Schnittgut des dritten Schnitttermins zeigte ein inhomogeneres Bild. So führte Schwedenklee-Schnittgut zu einem nahezu totalen Ausfall der Keimung (7 %) und Schnittgut des Steinklees zeigte eine minimale Wirkung (Keimung: 91 %). Die Keimung der Kresse nach Zugabe der anderen Düngemittel lag zwischen 32 % bei Gelbklee-Schnittgut und 75 % bei Schnittgut des Persischen Klees.

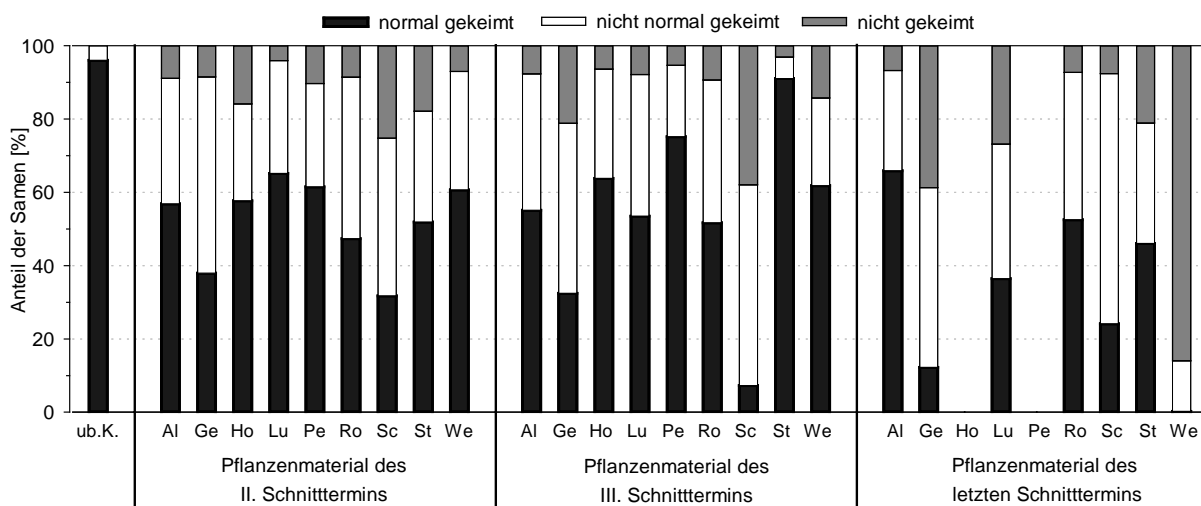


Abb. 16: Keimversuche mit Kresse auf Filterpapier unter Zugabe von 0,2 g TM vermahlenem Leguminosenschnittguts je Petrischale mit 50 Samen (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc-Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee)

Das Schnittgut des letzten Schnitttermins hatte mit im Mittel 31 % gekeimter Samen der Kresse eine signifikant stärkere keimhemmende Wirkung als das Material des zweiten und dritten Schnittes (je 51 %). Besonders hervor trat im letzten Schnitt die keimhemmende Wirkung des Gelb- und Weißklees mit 12,3 bzw. 0,2 % gekeimter Samen. Auch der Anteil nicht gekeimter Samen war bei Zufuhr des Mehles dieser Leguminosenarten mit 39 und 86 % am höchsten. Schwedenklee-Schnittgut bewirkte eine besonders hohe Zahl anormal gekeimter Samen (68 %).

Die zweifaktorielle Auswertung des Keimtests mit Kresse auf Filterpapier zeigte signifikante Wechselwirkungen zwischen den Leguminosenarten und den Schnittterminen. Insbesondere Steinkleeschnittgut des zweiten und letzten Schnitttermins hatte mit 52 bzw. 46 % normal gekeimter Samen nur eine mittlere keimhemmende Wirkung auf die Kresse. Das Steinkleeschnittgut des dritten Schnitttermins zeigte dagegen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (96 % normal gekeimte Samen) nahezu keine keimhemmende Wirkung (91 % normal gekeimte Samen). Im Gegensatz dazu wirkte das Schnittgut des Schwedenklee des III. Schnitttermins mit nur 7 % gekeimter Samen besonders keimhemmend. Das Schnittgut der anderen Schnitttermine hatte eine niedrigere, im Vergleich der Arten jedoch mit 32 und 24 % gekeimter Samen relativ hohe keimhemmende Wirkung. Das Weißklee schnittgut des letzten Schnitttermins zeigte eine, im Vergleich zu den anderen Schnittterminen, besonders starke keimhemmende Wirkung auf die Kressesamen. Es keimten nur weniger als ein Prozent der Samen normal.

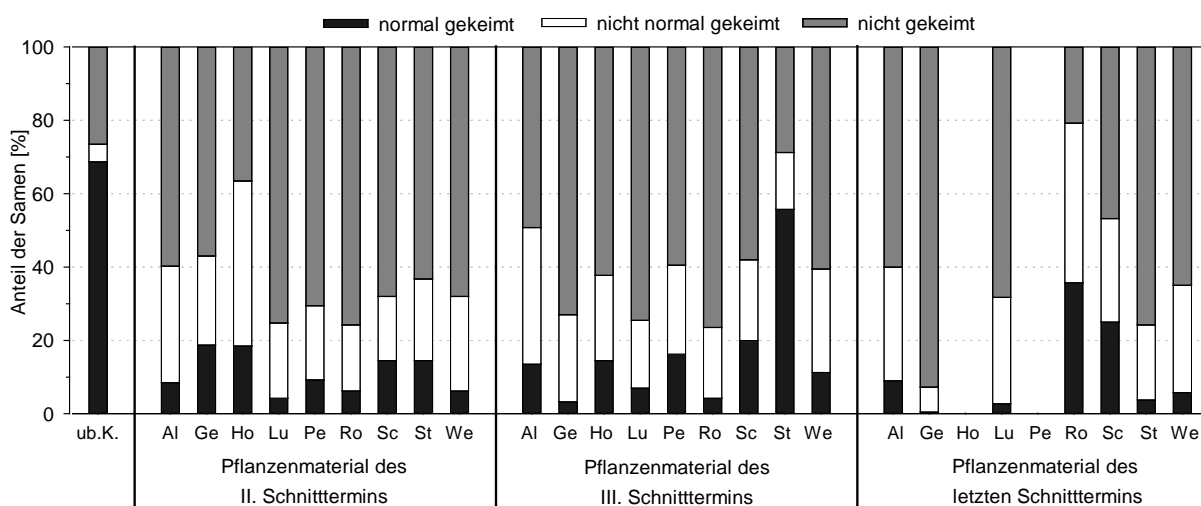


Abb. 17: Keimung von Kressesamen in Boden unter Zugabe von 39 bis 80 mg TM Schnittgut je g TM Boden als vermahlene Schnittgut eingearbeitet in die obersten 2 cm Boden (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc- Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee, Ho und Pe des letzten Schnitttermins nicht getestet)

Im einem Keimversuch auf Erde (Mutterboden) wurde eine Zugabe von 39 bis 80 mg TM vermahlenem Leguminosenschnittgut je g Boden (gesamt: 190 g Boden je Gefäß) durchgeführt, was einer Zugabe von 117 bis 240 dt TM ha⁻¹ und einer Düngung von 600 kg N ha⁻¹ mit einer Einarbeitung in den obersten 2 cm Boden entsprach und über diesen Weg simuliert werden sollte. Diese simulierte Schnittguteinarbeitung entsprach dem ein- bis zweifachen Jahresaufwuchs von Rotklee und stellt bei einer N-Freisetzung aus dem im

Schnittgut von 40 % eine verfügbare N-Menge von etwa 240 kg ha⁻¹ dar. Der Anteil nicht gekeimter Samen fiel dadurch in allen Varianten nochmals höher als im Keimversuch auf Filterpapier aus (Abb. 17). Jedoch auch die Samen der unbehandelten Kontrolle zeigten in Boden nur eine Keimfähigkeit von 69 %.

Die Keimfähigkeit der Kressesamen unter Zugabe von Leguminosenschnittgut des zweiten Schnitttermins bewegte sich zwischen der Zugabe von Weißklee und Rotklee mit 6 % gekeimter Samen und der Zugabe von Gelbklee sowie Hornklee mit je 19 % normal gekeimter Samen.

Steinklee-Schnittgut des dritten Schnitttermins stach gegenüber den anderen Leguminosenvarianten des gleichen Termins mit einer besonders geringen keimhemmenden Wirkung hervor, 56 % der Kressesamen keimten hier normal. Einen sehr kleinen Anteil normal gekeimter Kressesamen zeigte die Zugabe des Schnittgutes des Gelbklees und Rotklee des dritten Schnitttermins (3 % bzw. 4 %).

Fünf der sieben Varianten mit Pflanzenmaterial des letzten Schnittes wiesen einen Anteil normal gekeimter Samen von unter 10 % auf. Nur die Zugabe des Schnittgutes des Rotklee des letzten Schnittes führte mit 35 % gekeimter Samen zu einer signifikant geringere keimhemmende Wirkung.

Die zweifaktorielle Auswertung des Keimtests mit Kresse in Boden zeigte signifikante Wechselwirkungen zwischen den Leguminosenarten und den Schnittterminen. Steinkleeschnittgut des dritten Schnitttermins fiel, wie im Keimversuch auf Filterpapier, durch eine überdurchschnittliche hohe Zahl normal gekeimter Samen (56 %) im Vergleich zu den anderen Leguminosenarten des dritten Schnitttermins (3 bis 20 % normal gekeimter Samen) und zum Steinkleeschnittgut der anderen Schnitttermine mit 15 bzw. 4 % normal gekeimter Samen auf. Weiter viel die besonders starke keimhemmende Wirkung der Zugabe von Gelbkleeschnittgut des letzten Schnitttermins mit 0,5 % gekeimter Samen der Kresse auf. Das Gelbkleeschnittgut des letzten Schnitttermins zeigte die stärkste keimhemmende Wirkung aller Gelbkleevarianten, die stärkste keimhemmende Wirkung der Materialien des letzten Schnitttermins und des gesamten Versuchs.

Die stärkere keimhemmende Wirkung des Schnittgutes des letzten Schnitttermins könnte auf eine Anreicherung an sekundären Inhaltsstoffen im Leguminosenschnittgut des im Herbst geernteten Materials zurückzuführen sein. Der Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen ist jedoch im Schnittgut weder qualitativ noch quantitativ untersucht worden.

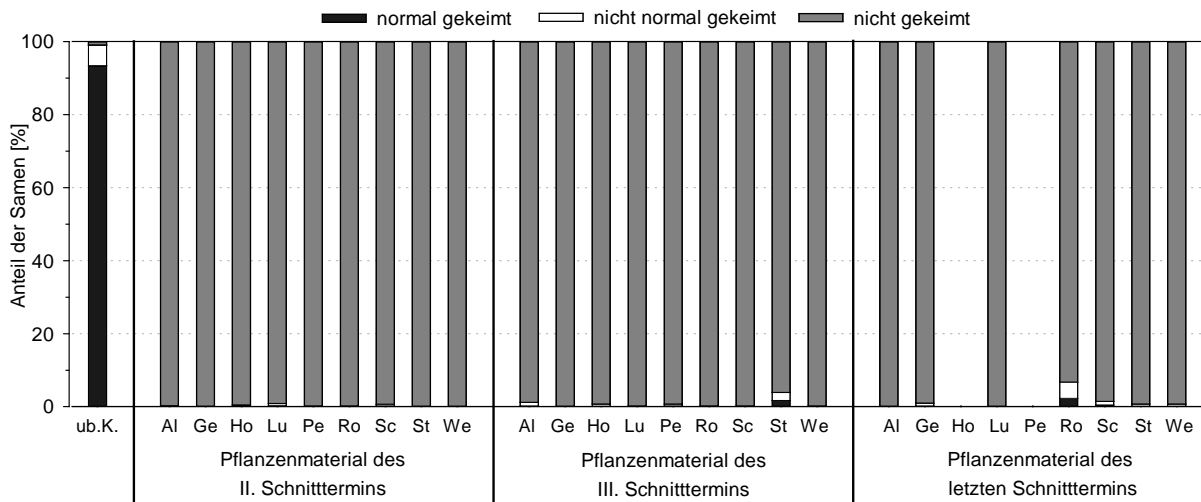


Abb. 18: Keimung von Kressesamen in Sand unter Zugabe von 39 bis 80 mg TM Schnittgut, je g TM Boden als vermahlene Schnittgut eingearbeitet in die obersten 2 cm (Abkürzungen: ub.K.- unbehandelte Kontrolle, Al- Alexandrinerklee, Ge- Gelbklee, Ho- Hornklee, Lu- Luzerne, Pe- Persischer Klee, Ro- Rptklee, Sc-Schwedenklee, St- Steinklee, We- Weißklee), (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.)

Ein weiterer Keimversuch wurde in Analogie zu dem Keimversuch mit Boden angelegt. Ein Gramm Sand wurde mit 39 bis 80 mg TM-Leguminosenschnittgut (entspricht einer Gabe von 117 bis 240 dt TM ha⁻¹) vermischt. Die Ergebnisse des Keimversuchs zeigten jedoch einen Totalausfall bzw. eine 100 %ige Keimhemmung, bei gleichzeitig 93 prozentiger Keimung der Kressesamen in der unbehandelten Kontrolle (Abb. 18). Die Varianten mit vermahlenem Steinkleeschnittgut des zweiten Schnitttermins (1,7 % normal gekeimte Samen) und Rotkleeschnittgut des letzten Schnitttermins (2,3 % normal gekeimte Samen) zeigten die höchsten Ergebnisse normal gekeimter Samen gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Die Unterschiede zwischen den mit vermahlenem Futterleguminosenschnittgut behandelten Varianten waren jedoch nicht signifikant.

Eine Keimhemmung der eingesetzten Futterleguminosen-Düngemittel konnte im Jahr 2015 auch in einem Feldversuch mit Spinat beobachtet werden. Der Feldaufgang des Spinats wurde nicht bonitiert, jedoch war eine geringere Bestandsdichte auf den mit Weißkleepellets gedüngten Parzellen im Vergleich zu Parzellen mit Weißkleemehl und Hornmehl als Düngemittel erkennbar. In diesem Versuch erfolgte die Saat des Spinats unmittelbar auf die Düngemittelausbringung und Einarbeitung. In allen anderen Feldversuchen lag eine Karenzzeit von mindestens 7 Tagen zwischen Düngemittelausbringung und Aussaat der Kulturpflanze, um den Effekt der Keimhemmung möglichst zu vermeiden. Hier war eine Keimhemmung visuell nicht festzustellen.

4.6 Einfluss von Futterleguminosendüngemitteln auf die Ertragsbildung

Spinat – 2014 (F5)

Die FM-Erträge des Spinats lagen in diesem Versuch im Jahr 2014 in allen gedüngten Varianten mit mehr als 495 dt ha⁻¹ deutlich über dem Ertrag der nicht gedüngten Kontrolle mit 439 dt ha⁻¹ (Abb. 19, Tab. A 6). Zum Zeitpunkt der Ernte stand der Spinat in allen Varianten in Vollblüte und war qualitativ nicht mehr vermarktungsfähig. Den höchsten FM-Ertrag erzielte der mit Schwedenklee (Düngestufe I) gedüngte Spinat (566 dt ha⁻¹). Die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern waren jedoch nicht signifikant.

Die zweifaktorielle Auswertung des Versuchs zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und der Höhe der Stickstoffgabe. Das Düngemittel Schwedenklee zeigte über beide Dünge­stufen mit 547 dt ha⁻¹ den höchsten FM-Ertrag im Vergleich zu Hornmehl mit dem niedrigsten FM-Ertrag von 514 dt ha⁻¹ (Tab. A 7). Die FM-Erträge der Prüfglieder lagen, entgegengesetzt zur Höhe der Dünge­gabe, in Dünge­stufe I über denen der Dünge­stufe II. Die Unterschiede zwischen den Düngemitteln und zwischen der Höhe der Dünge­mittelgabe (Dünge­stufen) waren nicht signifikant.

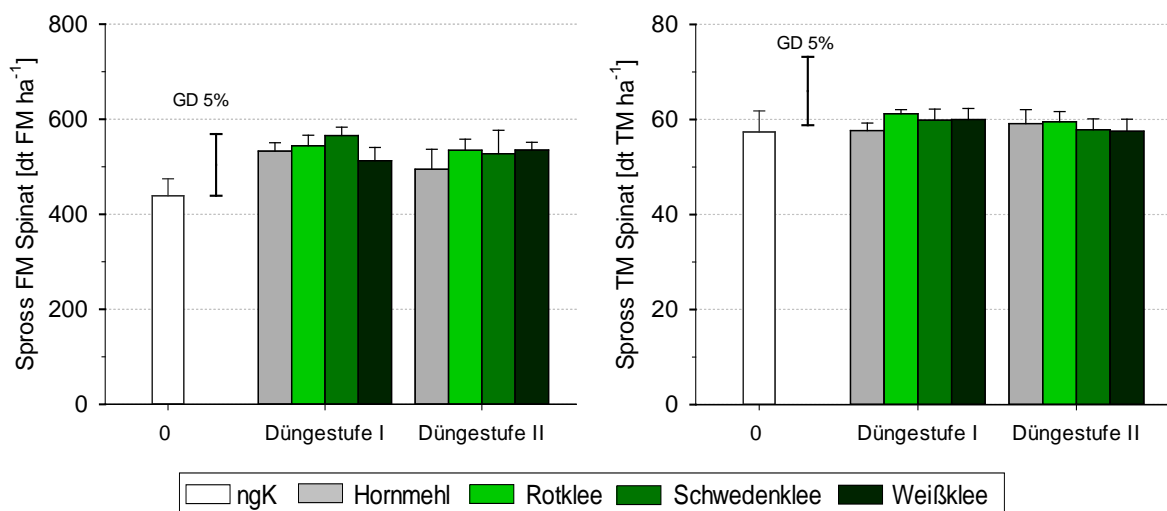


Abb. 19: Einfluss der Art und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die resultierenden Sprosserträge des gedüngten Spinats unterschieden sich nicht signifikant von der nicht gedüngten Kontrolle. Die Erträge lagen zwischen 57 dt TM ha⁻¹ und 61 dt TM ha⁻¹. Die zweifaktorielle Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede weder für die

Düngemittel noch die Dünge­stufen. Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren vor.

Rukola nach Spinat- 2014, (F5)

Die Pflanzen der Folgekultur Rukola waren zum Zeitpunkt der Ernte in allen Varianten im Zustand der Vollblüte und dadurch nicht mehr vermarktungsfähig.

Die Sprosserträge des Rukola aller zur Vorkultur gedüngten Varianten außer den Varianten Hornmehl und Weißklee in Dünge­stufe I lagen signifikant über denen der nicht gedüngten Kontrolle mit 179 dt FM ha⁻¹. Die signifikant höchsten Sprosserträge wiesen die Varianten mit Rotklee und Weißklee in Dünge­stufe II mit 300 dt FM ha⁻¹ auf (Abb. 20 links, Tab. A 6).

Die zweifaktorielle Auswertung der Daten ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngemitteln mit 248 dt FM ha⁻¹ (Düngung von Hornmehl) bis 276 dt FM ha⁻¹ (Düngung von Rotklee). Die Höhe der Düngemittelgabe zur Vorkultur Spinat hatte jedoch einen signifikanten Einfluss auf den FM-Ertrag des Rukola (Tab. A 7). Der Ertrag des Rukola in Dünge­stufe II lag 46 dt FM ha⁻¹ über dem Ertrag der Dünge­stufe I. Die Auswertung zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen Düngemitteln und Dünge­stufen.

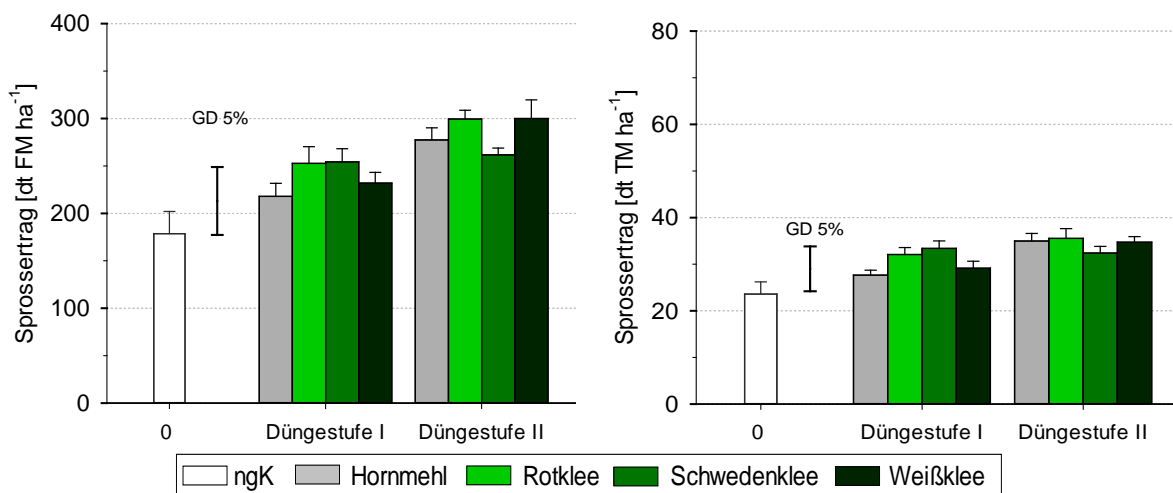


Abb. 20: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Rukola als zweite Folgekultur nach der Düngung am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die resultierenden TM-Erträge des Rukola unterschieden sich signifikant. Von der nicht gedüngten Kontrolle mit 23,6 dt TM ha⁻¹ unterschieden sich die zur Vorkultur mit

Schwedenklee (Düngestufe I) und Hornmehl, Rotklee und Weißklee (Düngestufe II) gedüngten Varianten signifikant mit TM-Erträgen in Höhe von 33 bis 36 dt TM ha⁻¹ (Abb. 20, rechts, Tab. A 6)

Die zweifaktorielle Aswertung zeigte nur für den Faktor Düngestufe signifikante Ergebnisse. Die TM-Erträge der Düngestufe II waren mit 34 dt TM ha⁻¹ signifikant höher ausgefallen als die TM-Erträge der Düngestufe I (31 dt TM⁻¹). Es lag keine Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe vor (Tab. A 7).

Spinat- und Rukola- (Versuch F5) 2014

Die Berechnung der Gesamterträge an Frischmasse über die beiden Kulturen Spinat und Rukola mit einer Kulturzeit von insgesamt 106 Tagen zeigte signifikante Unterschiede zwischen allen gedüngten Varianten (745 bis 835 dt FM ha⁻¹) außer den Varianten Hornmehl und Weißklee (Düngestufe I) und der nicht gedüngten Kontrolle (618 dt FM ha⁻¹, Tab. A 6). Die zweifaktorielle Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede. Auch lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen vor (Tab. A 7).

Die Gesamterträge an Trockenmasse für Spinat und Rukola zeigten Werte zwischen 81 dt TM ha⁻¹ in der nicht gedüngten Kontrolle und maximal 94 dt TM ha⁻¹ in der Variante Hornmehl in Düngestufe II. Die Unterschiede waren allerdings nicht signifikant (Tab. A 6).

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Sowohl zwischen den Düngemitteln mit 90 dt TM ha⁻¹ (Düngemittel Hornmehl) bis max. 94 dt TM ha⁻¹ (Düngemittel Rotklee) als auch zwischen den Düngestufen (Tab. A 7). Eine signifikante Wechselwirkung konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Rote Rübe- RÜBE- 2014, (Versuch F5)

Im Düngeversuch mit Rote Rübe im Jahr 2014 konnten signifikante Steigerungen des FM-Ertrages der Rüben durch Düngung in den Varianten Schwedenklee (964 dt FM ha⁻¹) und Weißklee (1063 dt FM ha⁻¹) der Düngestufe II gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle (725 dt FM ha⁻¹) erzielt werden (Abb. 21 links, Tab. A 8).

Die zweifaktorielle Auswertung ergab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe. Innerhalb des Faktors Düngemittel unterschieden sich jedoch Hornmehl (834 dt FM ha⁻¹) und Weißklee (961 dt FM ha⁻¹) signifikant (Tab. A 9).

Auch die Höhe der Düngemittelgabe hatte einen signifikanten Einfluss auf den FM-Ertrag der Rüben.

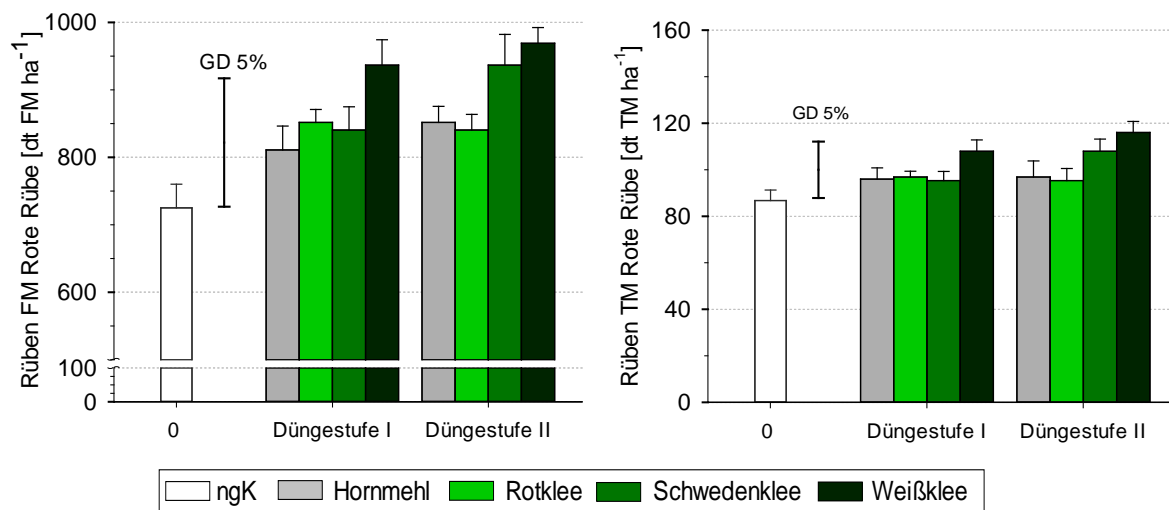


Abb. 21: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Rüben-FM-Ertrag (links) und den Rüben-TM-Ertrag (rechts) der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rote Rübe- BLATT 2014, (Versuch F5)

Der FM-Ertrag der Rübenblätter war in den gedüngten Varianten um mindestens 4 bis 19 dt FM ha⁻¹ zur nicht gedüngten Kontrolle mit 89 dt FM ha⁻¹ erhöht (Abb. 22 links, Tab. A 12). Signifikant waren die Unterschiede nur zwischen den Varianten nicht gedünzte Kontrolle (89 dt FM ha⁻¹) und Schwedenklee Düngestufe I (91 dt FM ha⁻¹) zu Weißklee der Düngestufe II (116 dt FM ha⁻¹).

Die zweifaktorielle Auswertung der Blatt-FM-Erträge zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe. Nur der Faktor Düngestufe hatte einen signifikanten Einfluss auf den FM-Ertrag der Rüben. Dieser nahm durch die erhöhte Nährstoffgabe in Düngestufe zwei um 62 dt FM ha⁻¹ zu (Tab. A 13).

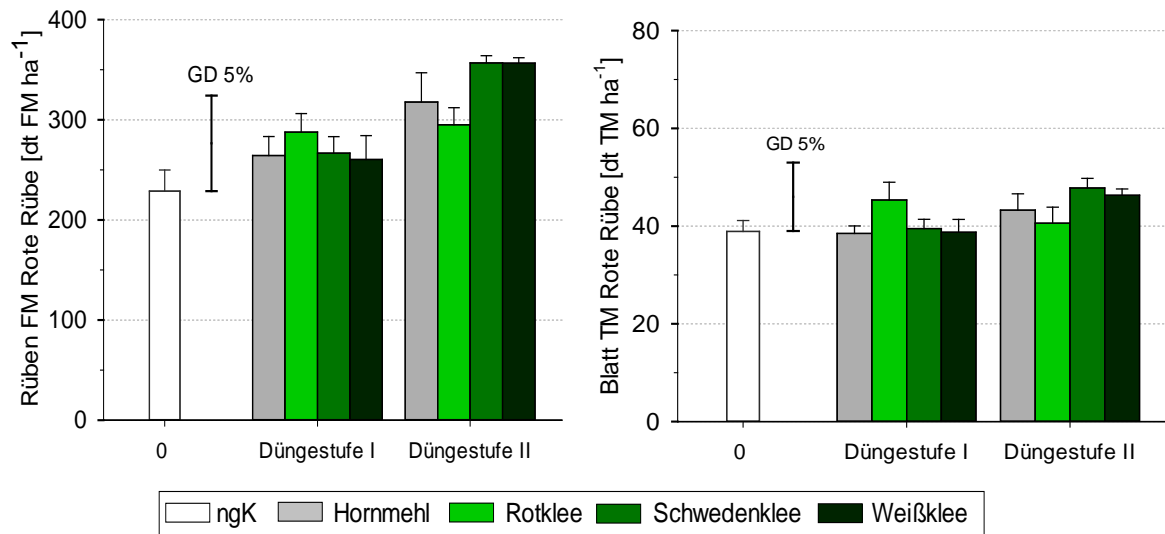


Abb. 22: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Blatt-FM-Ertrag (links) und den Blatt-TM-Ertrag (rechts) von Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Resultate aus der Bestimmung der Blatt-TM-Erträge zeigten weder in der einfaktoriellen noch in der zweifaktoriellen Auswertung signifikante Unterschiede zwischen den Düngemittelarten und -stufen (Abb. 22 rechts, Tab. A 12, Tab. A 13). Die Erträge lagen zwischen 39 dt TM ha⁻¹ in der nicht gedüngten Kontrolle und den Varianten Hornmehl und Weißklee der Düngestufe I und maximal 48 dt TM ha⁻¹ in der Variante Schwedenklee der Düngestufe zwei. Die TM-Erträge konnten durch eine höhere Düngemittelgabe in Düngestufe II gegenüber der Düngestufe I um ca. 4 dt TM ha⁻¹ gesteigert werden. Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe vor.

Rote Rübe- Rübe + BLATT- 2014, (Versuch F5)

Der Gesamtertrag an Frischmasseertrag der Roten Rübe konnte durch die Düngemittel gesteigert werden, insbesondere alle Varianten der Düngestufe II (1175 bis 1420 dt FM ha⁻¹) unterschieden sich signifikant von der nicht gedüngten Kontrolle (954 dt FM ha⁻¹) (Tab. A 12).

Die zweifaktorielle Auswertung erbrachte eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe (Tab. A 13). Insbesondere die mit Schwedenklee gedüngten Roten Rüben zeigten in Düngestufe I im Vergleich zu den anderen Düngemitteln den niedrigsten FM-Ertrag und in Düngestufe zwei den zweithöchsten Ertrag. Das Düngemittel Hornmehl dagegen erzielte in beiden Düngestufen jeweils den niedrigsten und

das Düngemittel Weißklee jeweils den höchsten Gesamt-FM-Ertrag an Roter Rübe. Das Düngemittel Rotklee folgte in beiden Dünge­stufen jeweils auf das Düngemittel Hornmehl mit dem zweitniedrigsten FM-Ertrag.

Die Ergebnisse des Gesamtertrags an Trockenmasse der Roten Rübe zeigten Ertragssteigerungen mit steigender Düngemittelgabe. Die Erträge lagen zwischen 11 und 46 dt TM ha⁻¹ über dem TM-Ertrag der nicht gedüngten Kontrolle, die 186 dt TM ha⁻¹ erreichte. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren nicht signifikant, auch die zweifaktorielle Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen. Die mit dem Düngemittel Weißklee gedüngte Rote Bete zeigte mit 156 dt TM ha⁻¹ den höchsten TM-Ertrag, Hornmehl mit 149 dt TM ha⁻¹ dagegen den niedrigsten. Der Gesamtertrag an Trockenmasse der Rote Rübe lag in den Varianten der Dünge­stufe zwei mit 156 dt TM ha⁻¹ 9 dt TM ha⁻¹ über dem mittleren Ertrag Dünge­stufe I. Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen.

Spinat- 2015 (Versuch F7)

Der Spinat wies in allen Varianten gelbe Blätter auf. Die Blattfarbe des Spinats der Variante Hornmehl Dünge­stufe zwei war auffällig intensiv grün, wogegen der Spinat aller anderen Varianten eine maigrüne Blattfarbe zeigte. Die FM-Erträge an Spinat lagen in diesem Versuch in allen gedüngten Varianten mit mehr als 316 dt ha⁻¹ mindestens 108 dt ha⁻¹ und damit signifikant über dem Ertrag der nicht gedüngten Kontrolle mit 208 dt ha⁻¹ (Abb. 23, Tab. A 10). Jede Steigerung der Düngemittelgabe bewirkte einen Anstieg des FM-Ertrages, so erzielte der mit Futterleguminosenschnittgut gedüngte Spinat in Dünge­stufe I ca. 390 dt FM ha⁻¹ und in Dünge­stufe II 474 bis 490 dt FM ha⁻¹. Die Spinaterträge nach Düngung von Hornmehl blieben in beiden Dünge­stufen hinter denen der Düngung mit Futterleguminosenschnittgut zurück.

Die zweifaktorielle Auswertung des Versuchs zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und der Höhe der Düngemittelgabe. Das Düngemittel Hornmehl führte über beide Dünge­stufen mit 327 dt FM ha⁻¹ zum signifikant niedrigsten FM-Ertrag des Spinates gegenüber der Düngung mit Futterleguminosen mit 436 bis 441 dt FM ha⁻¹ (Tab. A 11). Die FM-Erträge lagen in Dünge­stufe II mit 447 dt ha⁻¹ signifikant über denen der Dünge­stufe I (374 dt ha⁻¹).

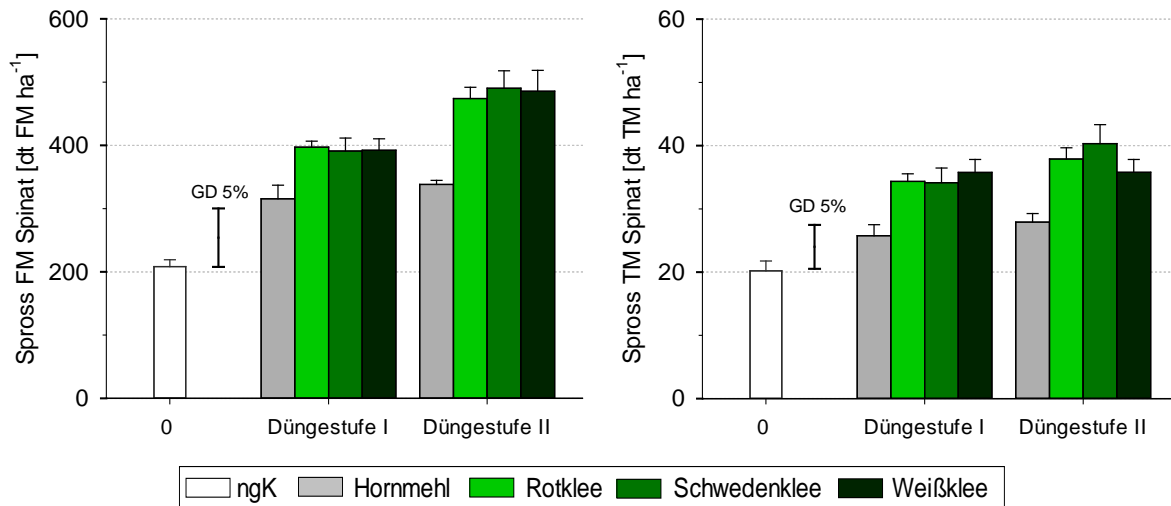


Abb. 23: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die resultierenden Sprosserträge an Trockenmasse des Spinats der mit Futterleguminosen gedüngten Parzellen unterschieden sich signifikant von der nicht gedüngten Kontrolle. Die TM-Erträge des mit Hornmehl gedüngten Spinates zeigten in beiden Dünge­stufen keinen signifikanten Ertragszuwachs gegenüber der Kontrolle. Die TM-Erträge lagen zwischen 20 dt ha⁻¹ in der nicht gedüngten Kontrolle und 40 dt ha⁻¹ in der Variante mit Schwedenklee der Dünge­stufe II (Abb. 23 rechts, Tab. A 10).

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe. Der TM-Ertrag des mit dem Düngemittel Hornmehl (27 dt ha⁻¹) gedüngten Spinates fiel jedoch signifikant niedriger aus als die TM-Erträge des Spinats nach Düngung von Futterleguminosenschnittgut (36 bis 37 dt ha⁻¹). Auch die höhere Düngemittelgabe in Dünge­stufe zwei bewirkte einen signifikanten TM-Ertragsanstieg auf 36 dt ha⁻¹ gegenüber der Dünge­stufe I mit 33 dt ha⁻¹ (Tab. A 11)

Rukola nach Spinat- 2015 (Versuch F7)

Die Pflanzen der zweiten Folgekultur Rukola nach der Düngung waren zum Zeitpunkt der Ernte in allen Varianten im Zustand der Vollblüte und dadurch nicht mehr vermarktungsfähig. Die Kulturzeit war geprägt von Wassermangel und großer Hitze in der Hauptwachstumsphase, was zu Verbrennungen der Blätter und zum Teil zum Ausfall einzelner Pflanzen führte.

Die zur Vorkultur Spinat applizierten Düngemittel bewirkten auch in der zweiten Folgekultur Rukola Ertragssteigerungen. In allen Varianten außer in den Varianten Rotklee und

Hornmehl der Dünge­stufe I waren die FM-Erträge der zweiten Folgekultur Rukola signifikant um mindestens 27 dt ha⁻¹ gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle gesteigert worden. In Dünge­stufe I zeigte das Düngemittel Hornmehl mit 69 dt ha⁻¹ den niedrigsten FM-Ertrag an Spinat und in Dünge­stufe II mit 107 dt ha⁻¹ den höchsten FM-Ertrag des Spinats aller gedüngten Varianten (Abb. 24, Tab. A 10).

Die zweifaktorielle Auswertung der Daten ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngemitteln mit FM-Erträgen zwischen 82 dt FM ha⁻¹ (Rotklee) bis 90 dt FM ha⁻¹ (Schwedenklee). Die Höhe der Düngemittelgabe zur Vorkultur Spinat hatte jedoch einen signifikanten Einfluss auf den FM-Ertrag des Rukola. Der FM-Ertrag in Dünge­stufe II lag 27 dt ha⁻¹ über dem FM-Ertrag des Rukola der Dünge­stufe I (74 dt ha⁻¹) Die zweifaktorielle Auswertung zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen (Tab. A 11).

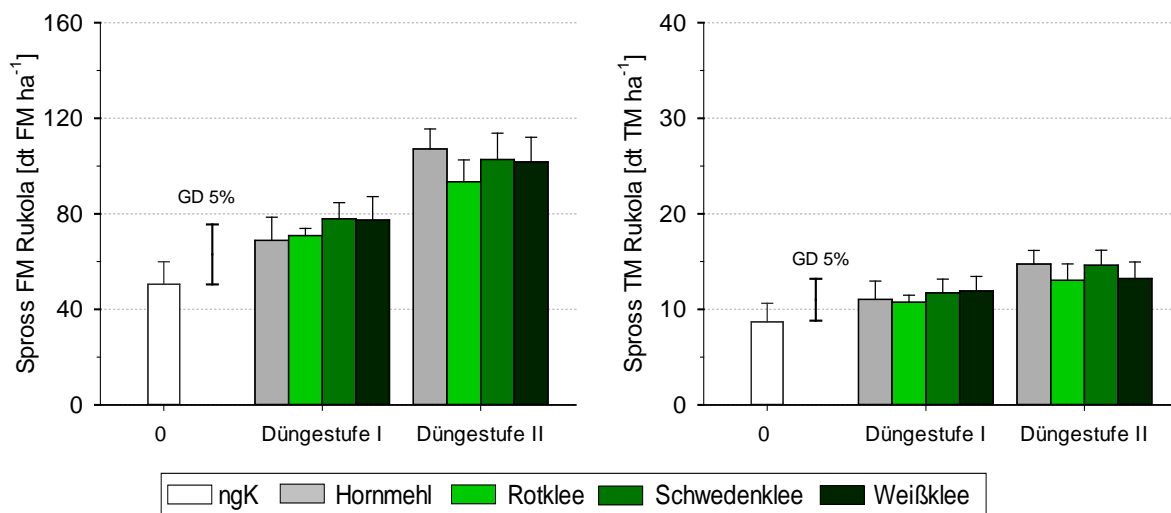


Abb. 24: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Rukola als zweite Folgekultur nach der Düngung am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Spinat und Rukola- 2015, (F7)

Die Berechnung der Gesamterträge an Frischmasse über die beiden Kulturen Spinat und Rukola mit einer Kulturzeit von insgesamt 171 Tagen zeigte signifikante Unterschiede zwischen allen gedüngten Varianten (384 bis 593 dt ha⁻¹) und der nicht gedüngten Kontrolle (259 dt ha⁻¹) (Tab. A 10).

Die zweifaktorielle Auswertung ergab ebenfalls signifikante Ergebnisse. Die FM-Erträge der mit Hornmehl gedüngten Varianten zeigten mit 415 dt ha⁻¹ einen signifikant niedrigeren FGesamtertrag gegenüber den Gesamterträgen an Frischmasse der mit

Futterleguminosenschnittgut gedüngten Varianten mit 518 bis 531 dt ha⁻¹ (Tab. A 11). Die höhere Düngemittelgabe in Düngestufe II bewirkte auch einen mit 548 dt FM ha⁻¹ signifikant höheren Gesamtertrag gegenüber dem Gesamtertrag der Düngestufe I (448 dt FM ha⁻¹).

Es konnte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen nachgewiesen werden.

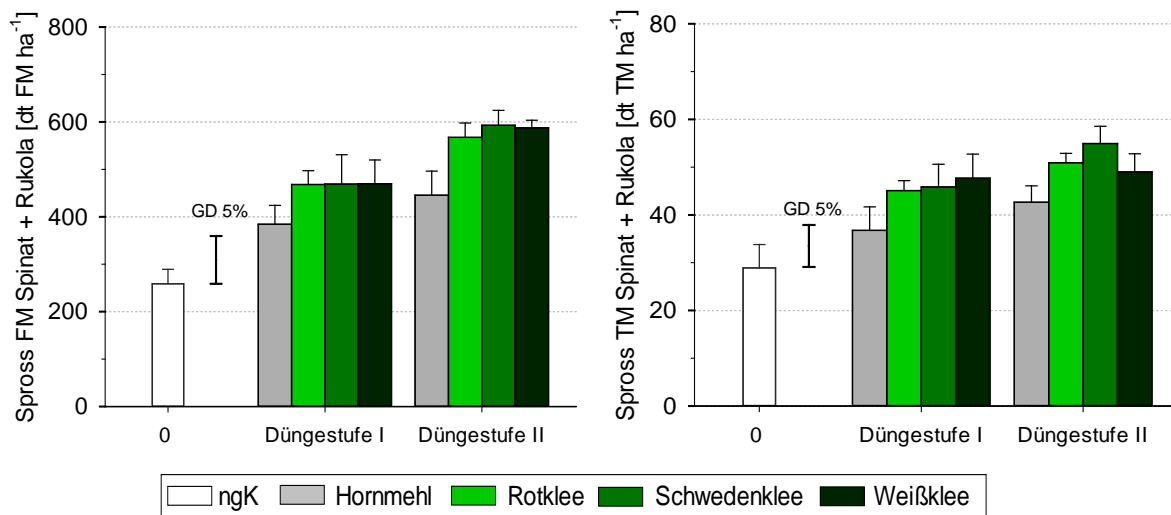


Abb. 25: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Gesamt-FM-Ertrag (links) und den Gesamt-TM-Ertrag (rechts) von Spinat plus Rukola als zweite Folgekultur nach der Düngung des Spinates am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Gesamterträge an Trockenmasse des Spinats und Rukolas zeigten Werte zwischen 29 dt ha⁻¹ in der nicht gedüngten Kontrolle und maximal 55 dt ha⁻¹ nach der Düngung von Schwedenklee in Düngestufe II. Die Unterschiede der Gesamterträge an Trockenmasse der nicht gedüngten Kontrolle waren zu allen gedüngten Varianten (29 dt ha⁻¹), außer nach der Düngung von Hornmehl in der Düngestufe I (37 dt ha⁻¹) signifikant (Abb. 25, Tab. A 10).

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte ebenfalls signifikanten Unterschiede sowohl zwischen den Gesamterträgen an Trockenmasse nach Düngung von Hornmehl mit 40 dt ha⁻¹ Spinat plus Rukola und den Futterleguminosenschnittgut mit 48 bis 50 dt ha⁻¹ Spinat plus Rukola, als auch zwischen den Düngestufen (Tab. A 11). Eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren konnten nicht nachgewiesen werden.

Rote Rübe- RÜBE- 2015 (Versuch F7)

Im Düngeversuch mit Rote Bete im Jahr 2015 konnten signifikante Steigerungen des FM-Ertrags der Rüben durch Düngung in allen Varianten gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle (619 dt ha⁻¹) erzielt werden (Abb. 26 links, Tab. A 12: FM- und TM-Erträge von Rote Rübe, Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)). Der Ertragsunterschied zur nicht gedüngten Kontrolle war in allen Varianten mit mindestens 234 dt FM ha⁻¹, außer nach Düngung von Hornmehl in der Düngestufe I signifikant. Den höchsten FM-Ertrag erzielten die mit Weißklee in Düngestufe II gedüngten Rüben mit 999 dt ha⁻¹.

Die zweifaktorielle Auswertung ergab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe. Innerhalb des Faktors Düngemittel waren die maximalen Unterschiede zwischen Hornmehl (801 dt FM ha⁻¹) und dem Düngemittel Rotklee (894 dt FM ha⁻¹) ebenfalls nicht signifikant (Tab. A 13). Die Höhe der Düngemittelgabe hatte einen signifikanten Einfluss auf den FM-Ertrag der Rüben. Der Rübenertrag in Düngestufe I lag mit 826 dt FM ha⁻¹ ca. 75 dt FM ha⁻¹ unter dem Rübenertrag der Düngestufe II.

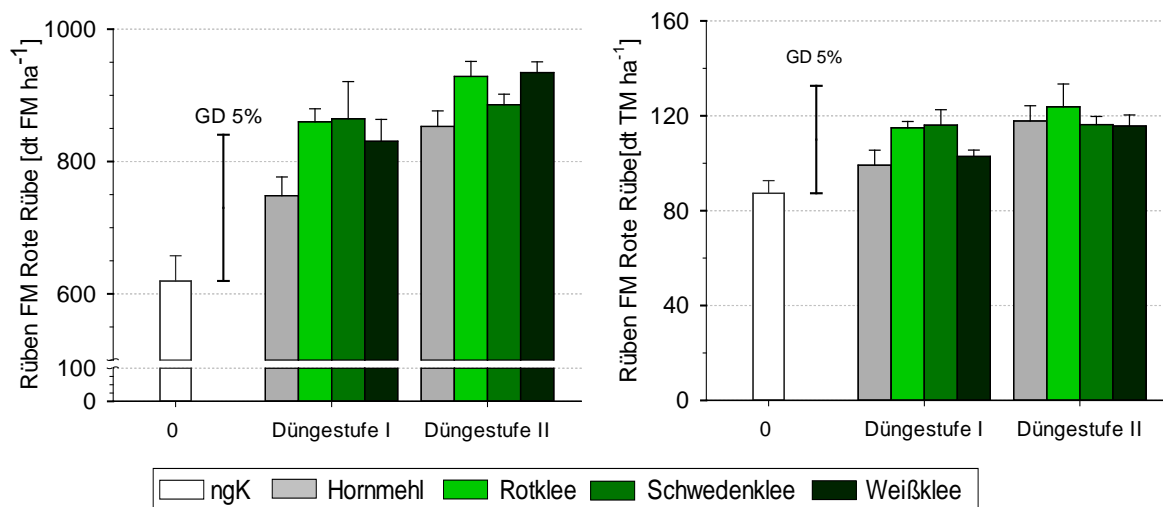


Abb. 26: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Rüben-FM- Ertrag (links) und den Rüben-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Der Einsatz der Düngemittel führte zu um maximal 43 dt TM ha⁻¹ gesteigerten Rübenerträgen gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle mit 87 dt TM ha⁻¹ (Abb. 26 rechts, Tab. A 12). Die Unterschiede in der Ertragssteigerung zur nicht gedüngten Kontrolle waren in den Varianten mit den Düngemitteln Rotklee und Schwedenklee in beiden Düngestufen und mit dem Düngemittel Weißklee in Düngestufe II signifikant.

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte Hornmehl als das Düngemittel mit die niedrigsten Rüben-TM-Ertrag (107 dt ha^{-1}) im Vergleich zur Düngung von den Futterleguminosenschnittgut mit einem Rübenenertrag von 115 bis $117 \text{ dt TM ha}^{-1}$. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Tab. A 13). Auch die Ertragssteigerung von Düngestufe I mit $100 \text{ dt TM ha}^{-1}$ zu Düngestufe II mit $106 \text{ dt TM ha}^{-1}$ um 6 dt TM ha^{-1} war nicht signifikant.

Rote Rübe- BLATT- 2015, (Versuch F7)

Die Düngemittelgabe steigerte neben dem Rübenenertrag auch den Blattertrag der Roten Rübe in allen gedüngten Varianten. Die Blatterträge an Frischmasse waren in allen gedüngten Varianten, außer den Varianten mit Hornmehl und mit Weißklee in Düngestufe I, signifikant höher als der FM-Ertrag an Blatt der nicht gedüngten Kontrolle. Der höchste Blatt-FM-Ertrag war in Düngestufe I der mit Schwedenklee (182 dt ha^{-1}) und in Düngestufe II der mit Weißklee (218 dt ha^{-1}) gedüngten Roten Rübe zu finden (Abb. 27 links, Tab. A 12).

Die zweifaktorielle Auswertung der Blatterträge an Frischmasse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngemitteln, jedoch lag die Blatt-FM der mit Hornmehl gedüngten Roten Rübe mit 176 dt ha^{-1} fast 20 dt ha^{-1} unter den Blatterträgen der mit Futterleguminosenschnittgut gedüngten Rote Rübe (Tab. A 13). Die Roten Rüben der Düngestufe II wiesen mit $168 \text{ dt FM ha}^{-1}$ die signifikant höheren Blatterträge zur Düngestufe I mit $210 \text{ dt FM ha}^{-1}$ auf.

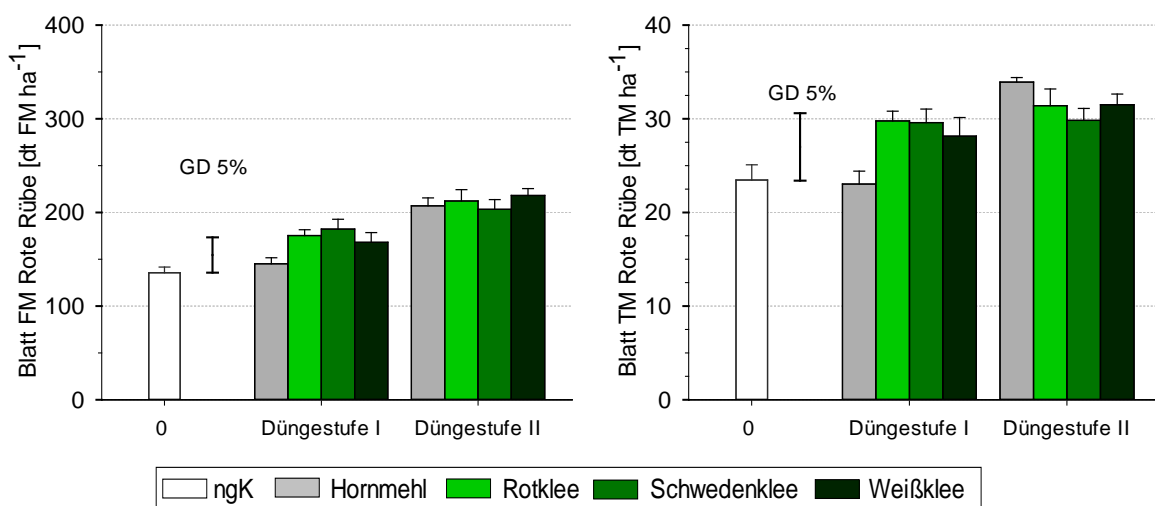


Abb. 27: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Blatt-FM-Ertrag (links) und den Blatt-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die resultierenden TM-Ertrag der Rote Rübe an Blattmasse wurden durch die Gabe der Futterleguminosenschnittgut und Hornmehl in Düngestufe II deutlich gesteigert. Die mit Hornmehl, Rotklee und Weißklee in Düngestufe II gedüngten Rüben zeigten mit 31 bis 34 dt ha⁻¹ signifikant höhere TM-Erträge an Blattmasse als die nicht gedüngte Kontrolle und die mit Hornmehl in Düngestufe I gedüngte Rote Rübe mit 23 bzw. 23,5 dt ha⁻¹ (Abb. 27, Tab. A 12).

Die zweifaktorielle Auswertung der TM-Erträge an Blattmasse zeigte eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe. So war der TM-Ertrag an Blattmasse nach Düngung von Schwedenklee in beiden Düngestufen nahezu gleich (29,6 bzw. 29,8 dt FM ha⁻¹), die mit Hornmehl gedüngten Rüben wiesen in Düngestufe I den geringsten Blattertrag und in Düngestufe II den höchsten TM-Ertrag an Blattmasse auf (Tab. A 13).

Rote Rübe- Rübe plus BLATT- 2015, (Versuch F7)

Der Gesamtertrag der Roten Rübe (Blat und Rübe) war in allen gedüngten Varianten, außer in der Variante mit Hornmehl in Düngestufe I (894 dt FM ha⁻¹) zur nicht gedüngten Kontrolle mit 755 dt FM ha⁻¹ signifikant höher ausgefallen. Die höchsten Gesamterträge an Frischmasse erzielten die mit Schwedenklee in Düngestufe I (1090 dt ha⁻¹) und die mit Weißklee in Düngestufe II (1218 dt ha⁻¹) gedüngten Roten Rüben. In beiden Düngestufen führte jeweils die Düngung mit Hornmehl zum niedrigsten FM-Ertrag (Abb. 28 links, Tab. A 12).

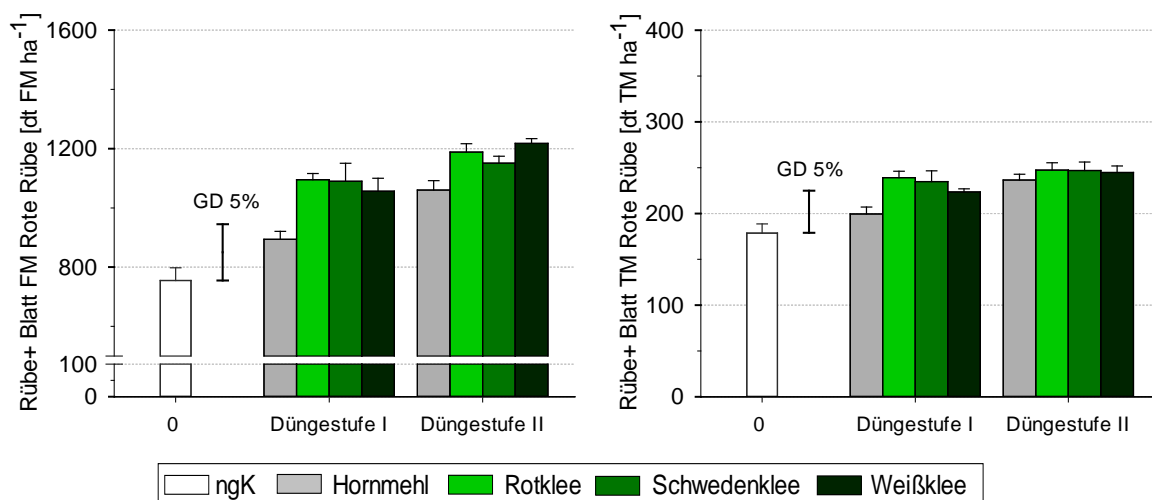


Abb. 28: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Gesamt-FM-Ertrag (links) und den Gesamt-TM-Ertrag (rechts) von Roter Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die zweifaktorielle Auswertung der Gesamterträge an Frischmasse der Roten Rübe zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe. Die Düngung von Hornmehl (977 dt FM ha⁻¹) und Rotkleeschnittgut (1078 dt FM ha⁻¹) unterschieden sich signifikant in der Bildung an Gesamtertrages (Tab. A 13). Die Steigerung der Düngemittelgabe von Dünge­stufe I zu Dünge­stufe II führte mit 1108 dt FM ha⁻¹ zu einem signifikant höheren Gesamt- Ertrag.

Die Gesamterträge an Trockenmasse der Roten Rübe waren in allen gedüngten Varianten um mindestens 20 dt ha⁻¹ höher als in der nicht gedüngten Kontrolle (Abb. 28, Tab. A 12). Alle gedüngten Varianten, außer Hornmehl und Weiß­klee in Dünge­stufe I, zeigten zur nicht gedüngten Kontrolle signifikant höhere TM-Gesamterträge der Roten Rübe. In beiden Dünge­stufen erzielten die mit Rotklee und Schwedenklee gedüngten Rüben die höchsten Erträge.

Eine zweifaktorielle Auswertung konnte trotz einer Ertragsdifferenz von 15 bis 18 dt TM ha⁻¹ zwischen dem Düngemittel Hornmehl und den Düngemitteln aus Futterleguminosenschnittgut keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngemitteln nachgewiesen werden (Tab. A 13). Die Steigerung im Gesamtertrag von Dünge­stufen I zu Dünge­stufe I waren, wie die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe, nicht signifikant.

Spinat- Stollsdorf- 2015, (P1)

Der Spinat wies zum Zeitpunkt der Ernte in allen Varianten eine vermarktungsfähige Qualität auf. Alle, zumeist acht Blätter einer Pflanze waren sattgrün und inklusive Blattstiel ca. 15 cm lang.

Der FM-Ertrag an Spinat der gedüngten Varianten lag zwischen 74 und 165 dt ha⁻¹ und somit mindestens 9 dt ha⁻¹ über dem FM-Ertrag der nicht gedüngten Kontrolle (Abb. 29 links, Tab. A 14). Die FM-Erträge des mit Weiß­klee und Weiß­klee-Pellets und mit Rotklee in Dünge­stufe zwei gedüngten Spinats lagen signifikant über denen der nicht gedüngten Kontrolle (65 dt ha⁻¹).

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte Hornmehl (77 dt FM ha⁻¹) als das Düngemittel mit der signifikant schlechtesten Düngewirkung gegenüber Weiß­klee und Weiß­klee-Pellet (145 bzw. 140 dt FM ha⁻¹) mit der signifikant besten Düngewirkung auf den Ertrag von Spinat (Tab. A 15). Es trat keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe auf.

Auch die TM-Erträge an Spinat zeigten die Düngewirkung der Düngemittel. Die Erträge lagen in Düngestufe I zwischen 8 dt TM ha⁻¹ (Hornmehl) und 13 dt TM ha⁻¹ (Weißklee-Pellet) und in Düngestufe II zwischen 8 dt TM ha⁻¹ (Hornmehl) und 16 dt TM ha⁻¹ (Weißklee). Die Varianten mit Weißklee und Weißklee-Pellet in Düngestufe I sowie die Varianten mit Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet in Düngestufe II wiesen signifikant höhere TM-Erträge des Spinats auf als die die nicht gedüngte Kontrolle mit 6,7 dt ha⁻¹ (Abb. 29 rechts, Tab. A 14). Die höhere Düngemittelgabe von Hornmehl und Maltaflor in Düngestufe II führte in diesem Versuch zu keiner Steigerung des TM-Ertrags an Spinat. Die Erträge blieben nahezu konstant bei 8 bzw. 10 dt TM ha⁻¹.

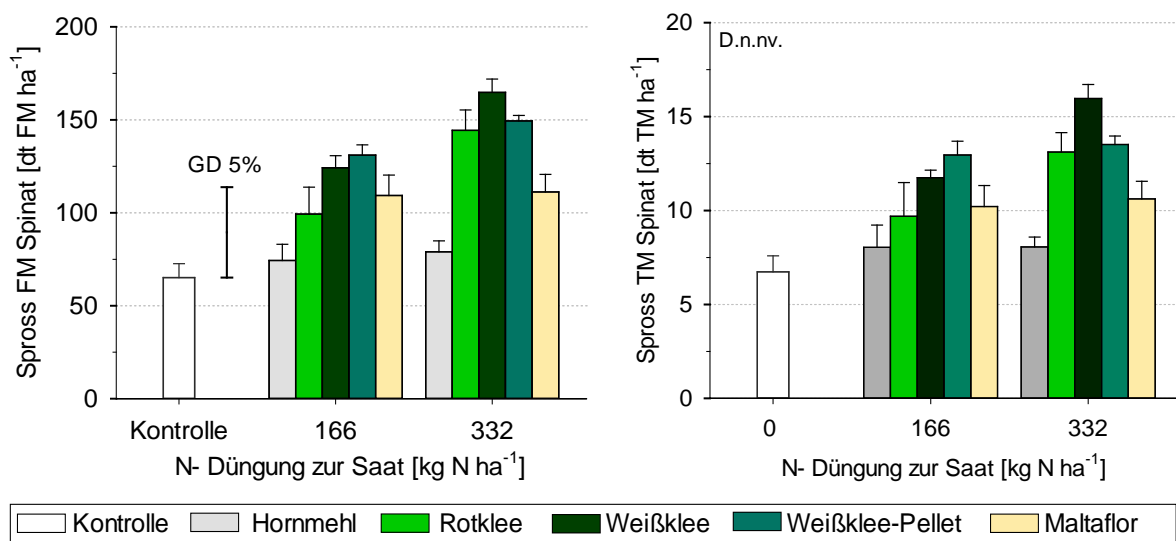


Abb. 29: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, D.n.n.v.: Daten nicht normal verteilt)

Die zweifaktorielle Auswertung erbrachte signifikant höhere TM-Erträge des Spinats unter Einsatz der Futterleguminosendüngemittel im Vergleich zu Hornmehl (Tab. A 15). Die Spinat-TM-erträge nach Düngung von Weißklee unterscheiden sich signifikant von den TM-Erträgen der beiden Handelsdüngemittel Hornmehl und Maltaflor. Die höhere Aufwandmenge an Düngemittel in Düngestufe II führte zu signifikant höheren TM-Erträgen des Spinats im Vergleich zu Düngestufe eins.

Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe vor.

Spinat- Taucha- 2015, (Versuch P2)

Die Größe des Spinates am Standort Taucha zum Zeitpunkt der Ernte entsprach den Anforderungen an Spinat für die industrielle Weiterverarbeitung. In allen Varianten zeigte der Spinat gelbe Blätter. Nur der Spinat in den Varianten mit einer Hornmehldüngung hatte die gewünschte sattgrüne, zum Teil ins Blaue verlaufende Farbe der Blätter.

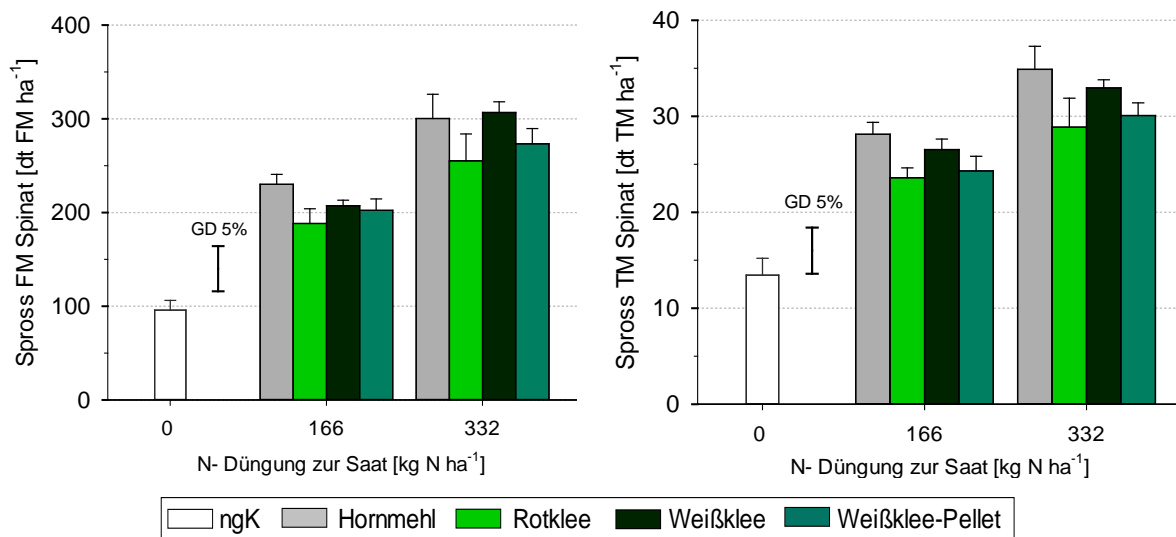


Abb. 30: Einfluss des Düngemittels und der Höhe der Düngung auf den Spross-FM-Ertrag (links) und den Spross-TM-Ertrag (rechts) von Spinat am Standort Taucha bei Leipzig im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

In diesem Versuch führte der Einsatz der getesteten Düngemittel stets zu einer deutlichen Steigerung der FM-Erträge des Spinats. Alle gedüngten Varianten wiesen einen zur nicht gedüngten Kontrolle (96 dt FM ha⁻¹) signifikant höheren Ertrag an Spinat auf (Abb. 30 links, Tab. A 14). In Düngestufe I wies die Varianten mit Hornmehl (230 dt FM ha⁻¹) und in Düngestufe II die Variante mit Weißklee (307 dt FM ha⁻¹) die höchsten Erträge auf. Die Varianten mit Rotklee zeigten dagegen in beiden Düngestufen jeweils die niedrigsten Erträge (188 bzw. 255 dt FM ha⁻¹).

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte einen signifikanten Unterschied in der Wirkung zwischen den Düngemitteln Hornmehl und Weißklee mit 265 bzw. 257 dt FM ha⁻¹ auf den Ertrag des Spinats sowie einen niedrigeren Spinatertrag nach Düngung von Rotklee (222 dt FM ha⁻¹). Durch die höhere Düngemittelgabe stieg der FM-Ertrag des Spinates in den Varianten der Düngestufe II signifikant auf 284 dt FM ha⁻¹ gegenüber den mittleren Ertrag des Spinats in Düngestufe I mit 207 dt FM ha⁻¹. Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe (Tab. A 15).

Der Einsatz der Düngemittel führte auch zu höheren TM-Erträgen des Spinates. Alle gedüngten Varianten trugen zu einem signifikant höheren TM-Ertrag des Spinates gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle bei (13 dt ha^{-1}) (Abb. 30 rechts, Tab. A 14). In beiden Dünge­stufen wiesen die Varianten mit Hornmehl die höchsten TM-Erträge des Spinates auf (28 bzw. 35 dt ha^{-1}). Nach Düngung von Rotklee­schnittgut zeigte sich dagegen in beiden Dünge­stufen mit 24 bzw. 29 dt ha^{-1} ein niedrigerer TM-Ertrag des Spinats.

Die zweifaktorielle Auswertung der TM-Erträge des Spinats zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe (Tab. A 15). Die Düngemittel Hornmehl (32 dt TM ha^{-1}) und Weißklee (30 dt TM ha^{-1}) führten gegenüber dem Düngemittel Rotklee­schnittgut (26 dt TM ha^{-1}) signifikant höhere Erträge des Spinats. Die Steigerung der Düngemittelgabe von Dünge­stufe I zu Dünge­stufe II führte zudem zu signifikant höheren Erträgen an Spinat (32 dt TM ha^{-1}).

4.7 Stickstoffverwertung

Die Berechnung der scheinbaren N-Verwertung basieren auf der Ermittlung der Trockenmasseerträge und der N-Gehalte im Erntegut. Auf Grund der umfangreichen Ergebnisse und dem vordergründigen Interesse an der N-Verwertung wird auf die nähere Beschreibung der N-Gehalte im Erntegut, sowie der N-Aufnahme durch die jeweilige Kultur verzichtet. Die N-Aufnahme durch Spinat, Rukola, und Rote Bete in den Versuchen der Jahre 2014 und 2015 kann im Anhang (Tab. A 16 bis Tab. A 21) eingesehen werden

Scheinbare N-Verwertung

Die neun Erhebungen zur scheinbaren N-Verwertung durch Gemüse aus gedüngtem Leguminosenschnittgut entstammen insgesamt aus sechs Feldversuchen in den Jahren 2013 bis 2015. Die Ergebnisse werden im Folgenden chronologisch nach Jahren wiedergegeben.

Spinat– Dresden-Gohlis- 2014 (Versuch F5)

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte eine nicht signifikant unterschiedliche mittlere, scheinbare N-Verwertung durch Spinat in Dünge­stufe I von 31% des gedüngten N und in Dünge­stufe II von im Mittel 36% (Tab. A 23).

In Dünge­stufe I wies der mit dem Düngemittel Hornmehl gedüngte Spinat die niedrigste (24%) und der mit dem Düngemittel Weißklee gedüngte Spinat die höchste scheinbare N-Verwertung (37%) auf (Abb. 31, Tab. A 22). In Dünge­stufe II waren die Ergebnisse konträr zu Dünge­stufe I. Der gedüngte Stickstoff im Schnittgut des Rotklee­schnittgutes wurde am geringsten mit 27% , der aus Hornmehl am stärksten mit 47% durch den Spinat verwertet.

Die scheinbare N-Verwertung des durch Rotklee-Schnittgut zugeführten Stickstoffs war in beiden Dünge­stufen gleich hoch (27 %), die bei Weißklee war in der Dünge­stufe I mit 37 % höher als in Dünge­stufe II mit 33 %. Die Ausnutzung des durch Schwedenklee und Hornmehl zugeführten Stickstoffs war in Dünge­stufe II um 6 bzw. 21 %-Punkte höher als in Dünge­stufe I. Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Dünge­mittel Rotklee mit der niedrigsten (27 %) und dem Dünge­mittel Schwedenklee mit der höchsten N-Verwertung (38 %). Es lag ebenso keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Dünge­mitteln und den Dünge­stufen vor.

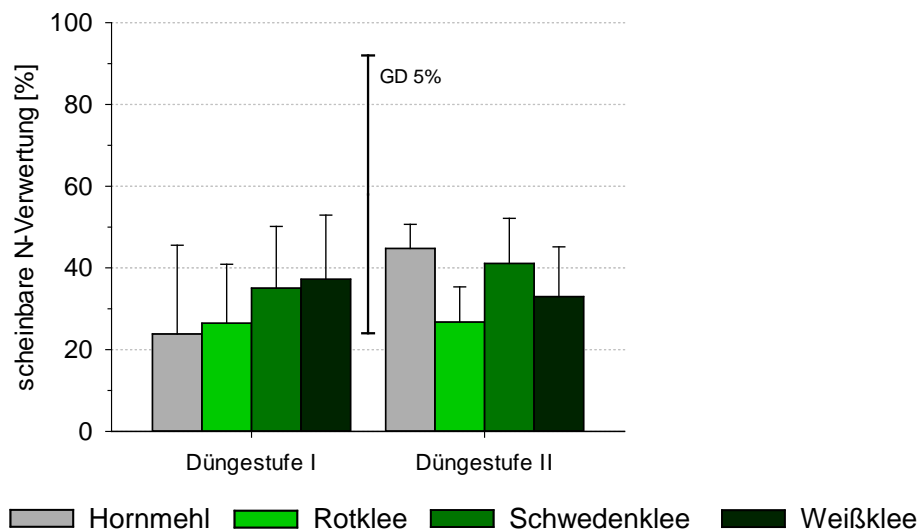


Abb. 31: Scheinbare Stickstoff-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014

Die mittlere N-Verwertung der Dünge­mittel durch Spinat blieb in allen Fällen hinter der zur Bemessung der gedüngten Stickstoffmenge angenommenen N-Verwertung in Höhe von 40 % zurück.

Rukola nach Spinat- Dresden-Gohlis- 2014 (Versuch F5)

Die Dünge­mittel wiesen in der Folgekultur Rukola eine scheinbare N-Verwertung zwischen 10 % bis 21 % auf (Abb. 17). Es lagen allerdings keine signifikanten Unterschiede in der Wirkung zwischen den Dünge­mitteln vor. Die Werte der scheinbaren N-Verwertung lagen in Dünge­stufe I zwischen 15 % (Hornmehl) und 27 % (Schwedenklee). In Dünge­stufe II zeigte Weißklee mit 23 % die höchste Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs im Vergleich zu Schwedenklee mit dem niedrigsten Wert aller Prüf­glieder von 16 % (Abb. 32, Tab. A 22).

Die Unterschiede in der N-Verwertung zwischen den Varianten der Höhe der applizierten Dünge­mittel waren mit maximal 3 %-Punkten nicht signifikant. Der Stickstoff im gedüngten Hornmehl führte in der zweiten Folgefrucht zur niedrigsten N-Verwertung mit 18 % des

gedüngten Stickstoffs. Die Düngemittel Rotklee und Schwedenklee wiesen mit jeweils 21 % die höchste N-Verwertung auf. Die Düngemittel der Düngestufe I und Düngestufe II wiesen eine gleichhohe scheinbare Stickstoff-Verwertung von 21 % auf. Die Unterschiede zwischen den Düngestufen waren nicht signifikant. (Tab. A 23). Es zudem lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren vor.

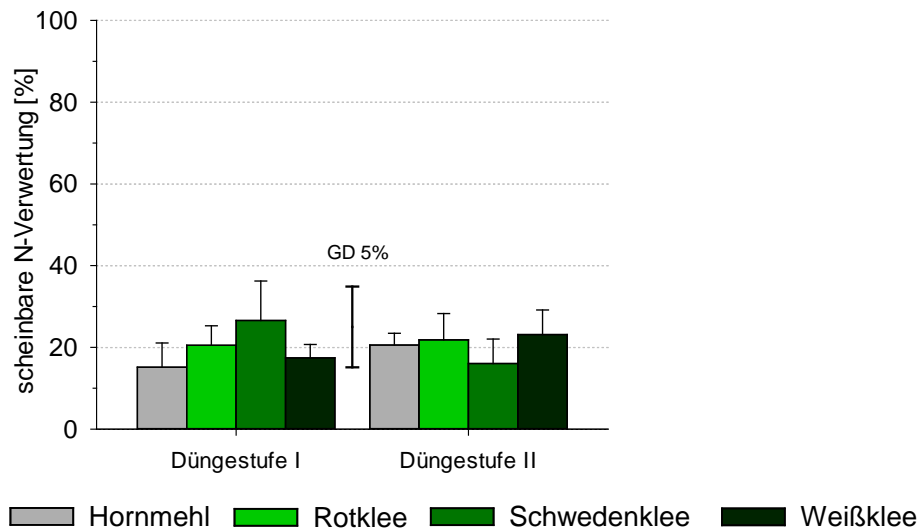


Abb. 32: Scheinbare N-Verwertung des zu Spinat gedüngten Stickstoffs durch die zweite Folgefrucht Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Tukey, $\alpha < 0,05$, n.s.)

Rukola + Spinat- Dresden-Gohlis- 2014 (Versuch F5)

Die scheinbare Verwertung des gedüngten Stickstoffs in der Summe über zwei Früchte Spinat und Rukola lag in Düngestufe I zwischen 39 % (Hornmehl) und 62 % (Schwedenklee) und in Düngestufe II zwischen 49 % (Rotklee) und 65 % (Hornmehl). Die Unterschiede zwischen den acht Prüfgliedern waren allerdings nicht signifikant (Abb. 33, Tab. A 22).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse wies zwischen dem Düngemittel Schwedenklee mit der höchsten scheinbaren N-Verwertung von 59 % durch den gedüngten Spinat und Rotklee mit der niedrigsten scheinbaren N-Verwertung von 48 % keine signifikanten Unterschiede auf (Tab. A 23). Die Düngestufen eins und zwei mit einer scheinbaren N-Verwertung der gedüngten N-Menge in Höhe von 51 bzw. 57 % unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander. Die scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge über zwei Kulturen (Spinat und Rukola) lag mit 51 bis 67 %.

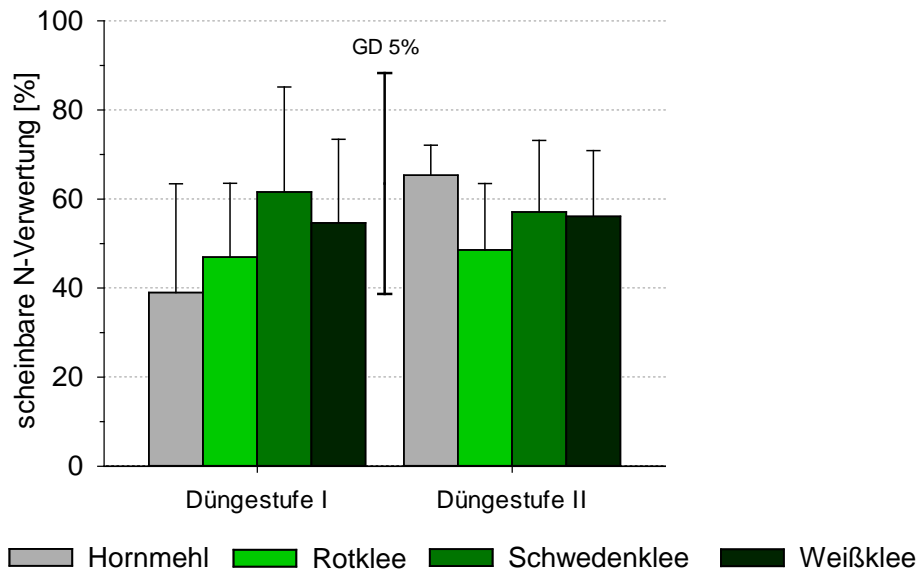


Abb. 33: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge durch Spinat einschließlich der zweiten Folgefrucht Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014

Rote Rübe- Dresden-Gohlis- 2014 (Versuch F5)

Die N-Verwertung der gedüngten N-Mengen durch die Rote Rübe (Rübe + Blatt) zeigte in der niedrigen Düngestufe Werte zwischen den Düngemitteln Schwedenklee mit 22 % und Weißklee mit 69 %. In Düngestufe II lag die N-Verwertung durch Spinat zwischen 46 % des gedüngten Stickstoffs aus Rotklee und 75 % aus Weißklee (Abb. 34, Tab. A 22).

Die mittlere N-Verwertung der gedüngten N-Menge in der Düngestufe I betrug 46 % und lag somit 16 %-Punkte unter der N-Verwertung aus den Düngemitteln in der Düngestufe II, die bei 62 % lag (Tab. A 22).

Dabei lag die mittlere scheinbare N-Verwertung der Düngemittel zwischen 44 % bei Schwedenklee und 73 % bei Weißklee. Die Unterschiede zwischen den Düngemitteln und der Höhe der Düngung in der N-Verwertung waren sowohl in der einfaktoriellen als auch in der zweifaktoriellen Auswertung nicht signifikant. Es lag zudem keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen vor.

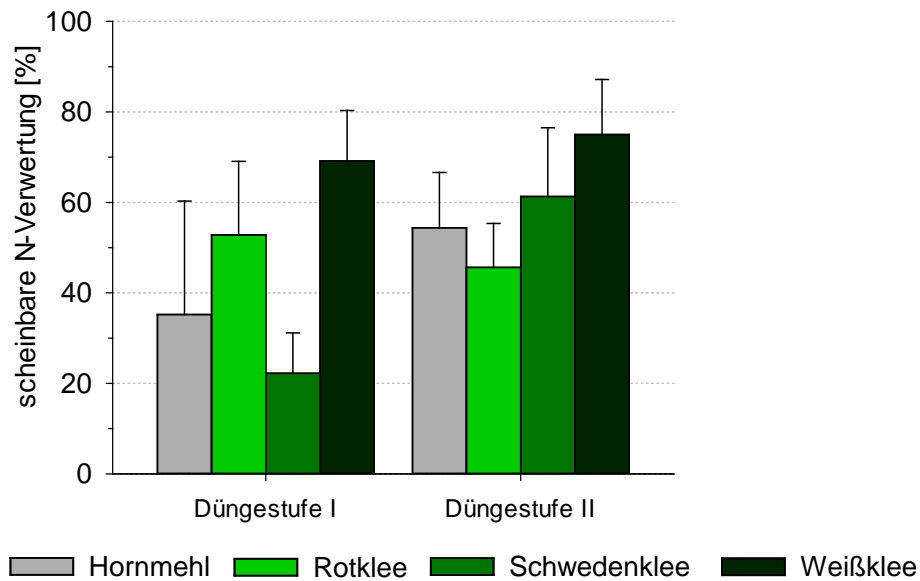


Abb. 34: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Daten nicht normalverteilt; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.)

Spinat- Dresden-Pillnitz- 2014 (Versuch F4)

Die N-Verwertung des im Herbst etablierten Düngeversuchs mit Weißkleepellets in Spinat ist bereits in Abschnitt 4.4 Pelletierte Düngemittel beschrieben worden. Die N-Verwertung des vor der Saat applizierten Stickstoffs lag bei maximal 20 % aus 6 mm Weißkleepellets.

Spinat- Dresden-Gohlis- 2015, (Versuch F7)

In Dünge­stufe I wurde der über Hornmehl gedüngte Stickstoff am geringsten (28,4 %), der des Weißklee am stärksten ausgenutzt (40%) (Abb. 35, Tab. A 24). In Dünge­stufe II führte ebenfalls die Zufuhr von Stickstoff über Hornmehl mit 24 % zur geringsten scheinbaren N-Verwertung und Schwedenklee zur höchsten (33 %) aller geprüften Düngemittel.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Düngemittel Hornmehl mit der niedrigsten N-Verwertung von 26 % und dem Düngemittel Schwedenklee mit der höchsten N-Verwertung von 35 % (Tab. A 25). Die scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs lag in Dünge­stufe I im Mittel bei 35 % und somit signifikant über der N-Verwertung aus den Düngemitteln der Dünge­stufe II mit im Mittel 28 %.

Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Dünge­stufe vor.

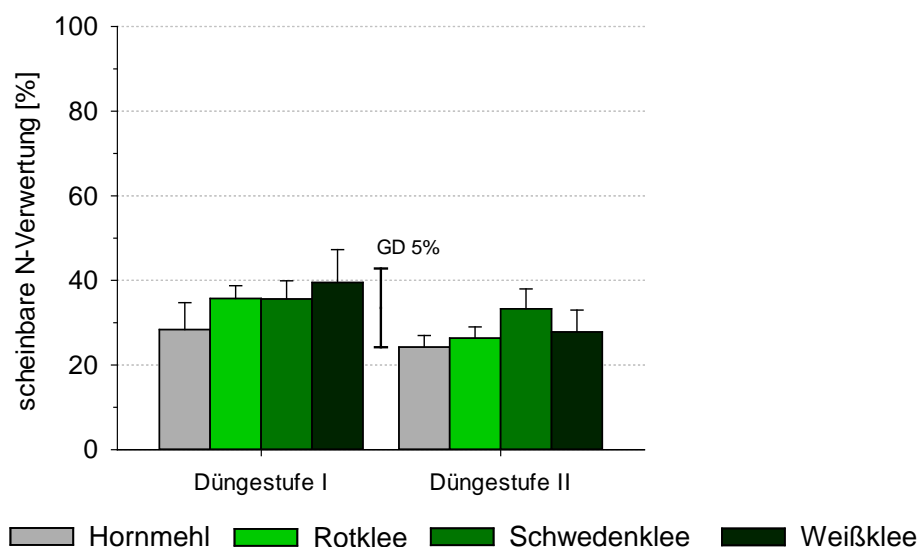


Abb. 35: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz-GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$, n.s.)

Rukola nach Spinat- Dresden-Gohlis- 2015, (Versuch F7)

Die Prüfglieder der Folgekultur Rukola (zweite Folgekultur nach der Düngung) wiesen eine scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs in Höhe von 6 bis 13 % auf. Es lagen allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern vor. Die Werte der scheinbaren N-Verwertung durch Rukola lagen in Dünge­stufe I zwischen den Varianten Hornmehl und Rotklee mit je 7 % und der Variante Weißklee mit 9 %. In Dünge­stufe II zeigte der Spinat in der Variante Hornmehl mit 13 % die höchste N-Verwertung des gedüngten

Stickstoffs gegenüber der Variante Rotklee mit dem niedrigsten Wert von 6 % (Abb. 36, Tab. A 24).

Die Unterschiede in der N-Verwertung zwischen den Varianten des Faktors Düngemittel waren mit maximal 3 %-Punkten nicht signifikant (Hornmehl 10 %, Rotklee 7 %, Tab. A 25).

Düngestufe II wies mit 8,8 % eine um im Mittel 1 %-Punkt höhere N-Verwertung als Düngestufe I mit 7,8 % auf. Die Unterschiede waren allerdings nicht signifikant. Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen.

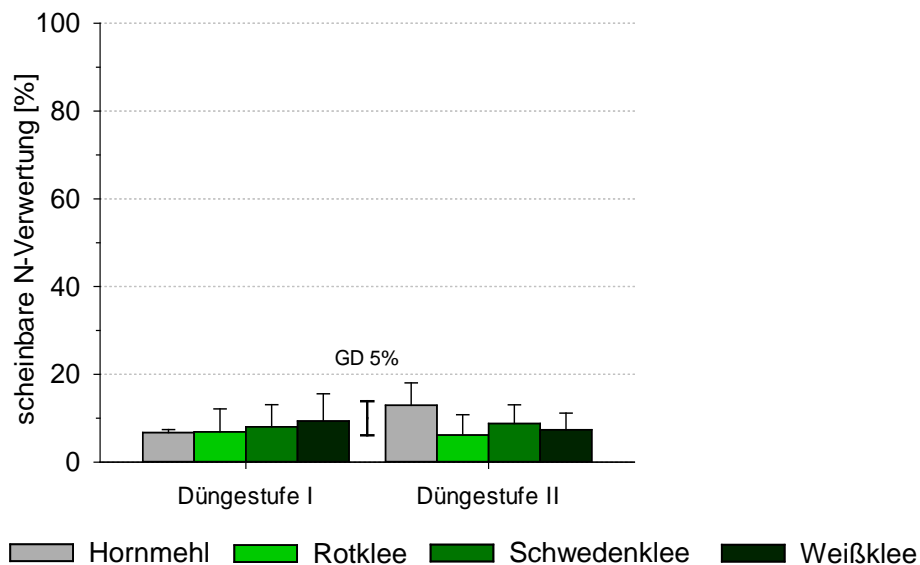


Abb. 36: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Rukola als Folgekultur nach Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rukola + Spinat- Dresden-Gohlis- 2015 (Versuch F7)

Die Summe der Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat und Rukola lag im Jahr 2015 zwischen 33 % (Rotklee, Düngestufe II) und maximal 49 % (Weißklee, Düngestufe I). Die scheinbare N-Verwertung wies in Düngestufe I Werte zwischen 35 % (Variante Hornmehl) und 49 % (Variante Weißklee) auf. Die N-Verwertung in der Düngestufe II lag zwischen der Variante Rotklee mit 33 % und der Variante Schwedenklee mit 42 %. Die Unterschiede der scheinbaren N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat waren zwischen den acht Prüfgliedern allerdings nicht signifikant (Abb. 36, Tab. A 24)

Die zweifaktorielle Auswertung ergab zwischen dem Düngemittel Schwedenklee mit der höchsten N-Verwertung von 43 % und dem Düngemittel Hornmehl mit der niedrigsten N-Verwertung von 36 % keine signifikanten Unterschiede. Die Düngestufen I und II mit einer N-Verwertung von 43 bzw. 37 % unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander

(Tab. A 25). Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen hinsichtlich der scheinbaren Verwertung des gedüngten Stickstoffs.

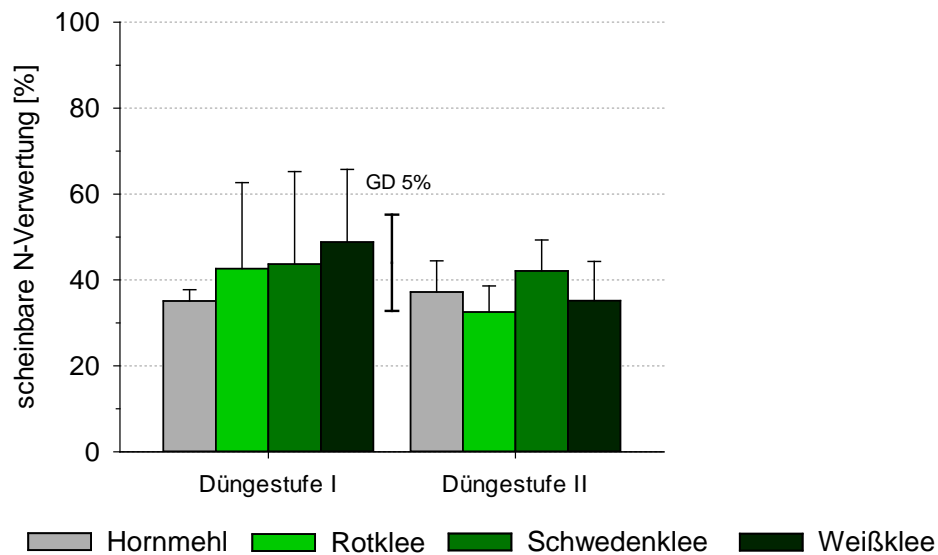


Abb. 37: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat sowie dessen Folgekultur Rukola im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rote Rübe- RÜBE + LAUB- Dresden-Gohlis- 2015, (Versuch F7)

Die scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Menge durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) zeigte in der Düngestufe I Werte zwischen den Varianten Weißklee mit 43 % und der Variante Schwedenklee mit 64 %. Die Werte der scheinbaren N-Verwertung lagen in Düngestufe II zwischen 42 % in der Variante Weißklee und 46 % in der Variante Hornmehl (Abb. 38, Tab. A 24). Die mittlere scheinbare N-Verwertung durch die Roten Rüben aus der gedüngten N-Menge betrug in Düngestufe I 57 % und lag 13 %-Punkte über der scheinbaren N-Verwertung in Düngestufe II mit 44% (Tab. A 25) Die mittlere scheinbare N-Verwertung aus den applizierten Düngemitteln lag zwischen 42 % in der Variante mit Weißklee und jeweils 54 % in allen anderen Düngemittelvarianten. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe hinsichtlich der N-Verwertung.

Die ermittelte scheinbare N-Verwertung der Roten Rübe aus den Leguminosen-Düngemitteln überstieg in allen Varianten die zur Kalkulation des N-Düngebedarfs angenommene scheinbare N-Verwertung von 40 %.

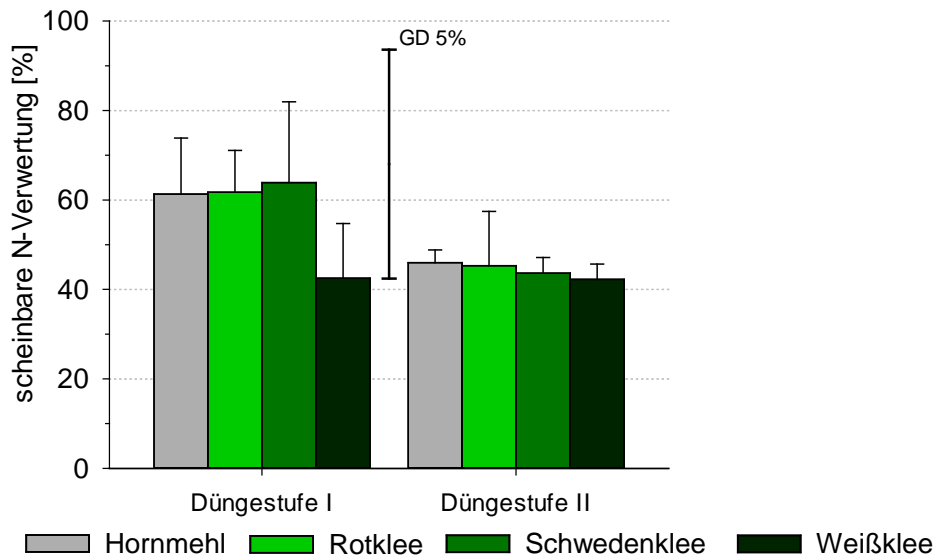


Abb. 38: Scheinbare N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Spinat- Stollsdorf- 2015, (Versuch P1)

Die scheinbare N-Verwertung durch Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 wies sowohl in der einfaktoriellen Auswertung als auch in der zweifaktoriellen Auswertung signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bzw. Düngemitteln und Düngestufen auf. In Düngestufe I (166 kg N ha^{-1} zur Saat) lagen die Werte der scheinbaren N-Verwertung zwischen 5 % aus Hornmehl und 18 % aus Weißklee-Pellets. Der Spinat zeigte auch in der Variante mit Hornmehl in Düngestufe II (332 kg N ha^{-1} zur Saat) mit 3% die geringste scheinbare N-Verwertung aus dem zur Saat gedüngten Stickstoff. Die höchste scheinbare N-Verwertung in Düngestufe II zeigte der Spinat in der Variante Weißklee mit 14 % (Abb. 39 links, Tab. A 26).

Die zweifaktorielle Auswertung wies die Düngemittel Weißklee und Weißklee-Pellet mit der signifikant höchsten scheinbaren N-Verwertung (14 %) gegenüber dem Düngemittel Hornmehl (4 %) aus (Tab. A 27). Aus allen geprüften Futterleguminosen-Düngemitteln zeigte der Spinat eine höhere scheinbare N-Verwertung als aus den organischen Handelsdüngemitteln Hornmehl und Maltaflor. Die scheinbare N-Verwertung war in Düngestufe I (12 %) signifikant höher als in Düngestufe II (9 %). Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen hinsichtlich der N-Verwertung

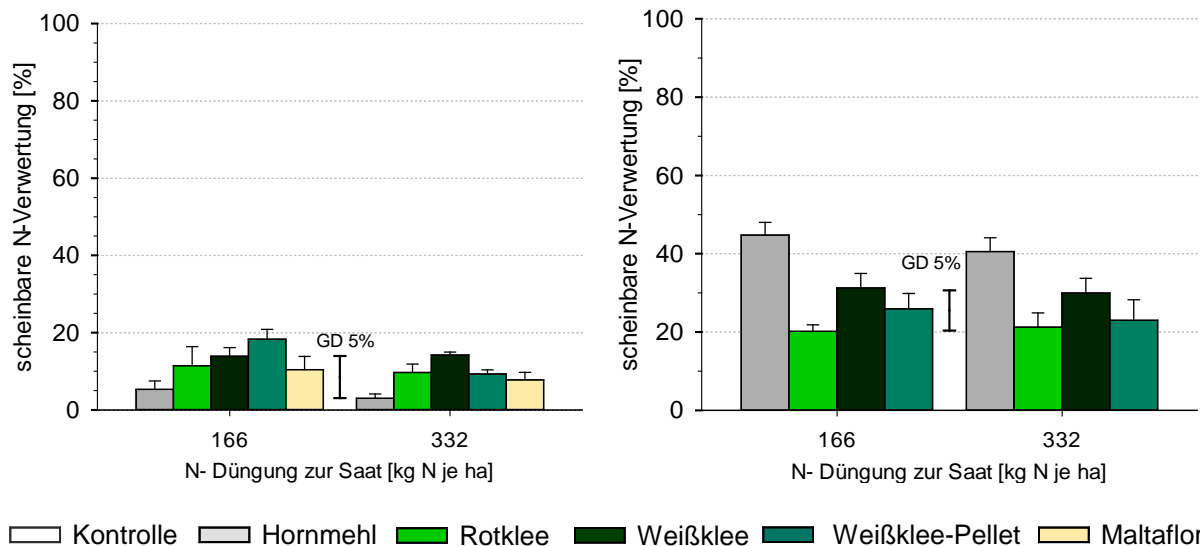


Abb. 39: Scheinbare N-Verwertung der gedüngten N-Mengen durch Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (links) und am Standort Taucha im Jahr 2015 (rechts); (GD: Grenzdifferenz; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Spinat Taucha- 2015, (Versuch P2)

Die Auswertung der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 ergab ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen der Höhe der Düngung und den Düngemitteln. Der mit Rotklee gedüngte Spinat wies sowohl in Dünge­stufe I (166 kg N ha⁻¹ zur Saat) als auch in Dünge­stufe II (332 kg N ha⁻¹ zur Saat) mit 20 bzw. 21 % die niedrigsten Werte der scheinbaren N-Verwertung auf. Der mit Hornmehl gedüngte Spinat konnte mit 45 % bzw. 41 % in beiden Dünge­stufen den gedüngten Stickstoff am besten verwerten (Abb. 39 rechts, Tab. A 26.).

Das Düngemittel Hornmehl zeigte mit 43 % die signifikant höchste scheinbare N-Verwertung durch Spinat gefolgt vom mit Weißklee gedüngten Spinat (31 %) sowie den Varianten Weißklee-Pellet (25 %) und dem Düngemittel Rotklee (20 %) aus dem der Spinat den Stickstoff signifikant am schlechtesten verwerten konnte (Tab. A 27). Nur Hornmehl wies eine scheinbare N-Verwertung in Höhe des ursprünglich zur Kalkulation des N-Düngebedarfs angesetzten Wertes von 40 % auf.

Die scheinbare N-Verwertung war in Dünge­stufe I mit 31 % nur 2 %-Punkte höher als in Dünge­stufe II, die Unterschiede waren zudem nicht signifikant. Es lag ebenso keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen vor.

N-Verwertung nach ¹⁵N–Aufnahme

Es standen aus den Versuchen nur Daten vom Standort Dresden-Gohlis aus dem Jahr 2015 zur Verfügung. Die Stickstoff-Verwertung wurde im Jahr 2015 direkt mit Hilfe ¹⁵N-angereicherten Düngemitteln in den Kulturen Spinat, Rukola als Folgekultur nach Spinat und Rote Rübe ermittelt.

Spinat

Die N-Verwertung vor der Saat gedüngten Stickstoffs durch den Spinat lag in Düngestufe I zwischen der Variante Rotklee mit 20 % und der Variante Schwedenklee mit 30 %. In Düngestufe II wies wie in Düngestufe I die Variante Rotklee mit 25 % die niedrigste N-Verwertung auf. Die Variante Schwedenklee zeigte auch in Düngestufe II mit 27 % die höchste N-Verwertung (Abb. 40 links, Tab. A 28)

In der zweifaktorielle Auswertung wies die Düngung von Schwedenklee und Weißklee mit 29 bzw. 27 % eine signifikant höhere N-Verwertung durch den Spinat aus als die Düngung mit Rotklee (22 %). Der Unterschied in der N-Verwertung zwischen den Düngestufen war mit 1,5 %-Punkten allerdings nicht signifikant (Tab. A 29). Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Düngemittel und Düngestufe vor.

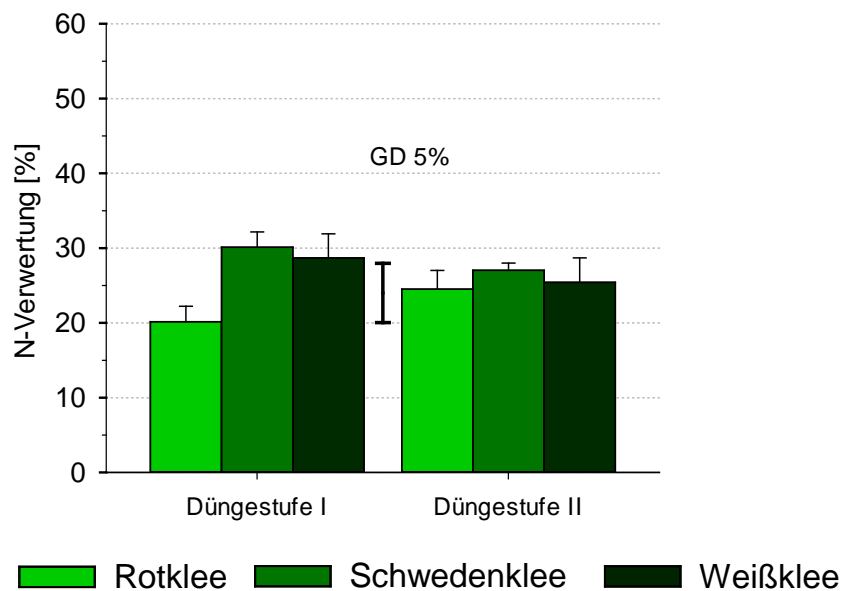


Abb. 40: N-Verwertung nach ¹⁵N-Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemittel durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rukola

Die N-Verwertung lag in Dünge­stufe I zwischen 4 % (Variante Rotklee) und 6 % (Variante Weißklee). In Dünge­stufe II zeigte ebenfalls die Variante Rotklee die niedrigste (5 %) und die Varianten Schwedenklee und Weißklee die höchste N-Verwertung (7 %) (Abb. 41 links, Tab. A 28).

Der Unterschied in der N-Verwertung zwischen den Düngemitteln Rotklee (4,6 %) und Weißklee (6,5 %) war signifikant. Die N-Verwertung in den Dünge­stufen I und II war nicht signifikant unterschiedlich (Tab. A 29).

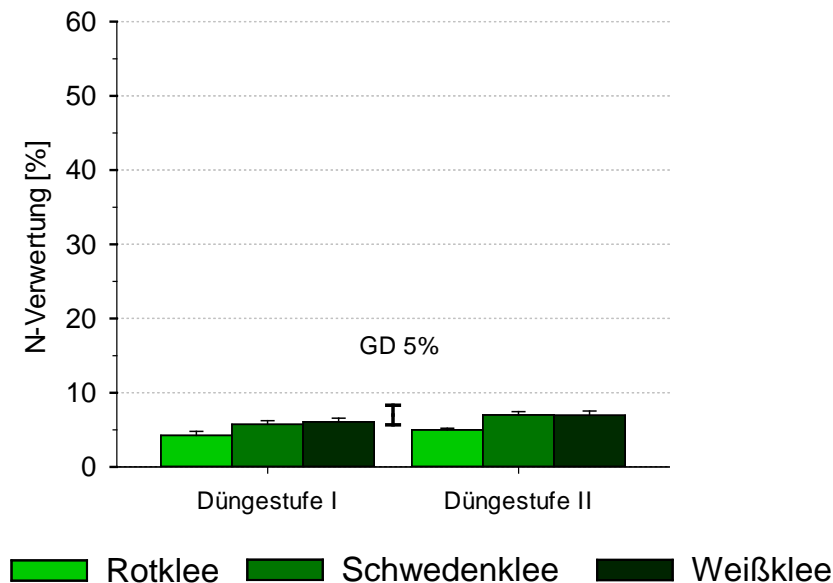


Abb. 41: N-Verwertung nach ^{15}N -Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemitteln durch Rukola als zweite Folgekultur am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Spinat + Rukola

In der Summe der N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Spinat und Rukola erreichte die Dünge­stufe I Werte zwischen 24 % (Variante Rotklee) bis 36 % (Variante Schwedenklee) und in Dünge­stufe II zwischen 29 % (Variante Rotklee) und 34 % (Variante Schwedenklee). Die N-Verwertung des gedüngten Schnittgutes von Schwedenklee und Weißklee lag in Dünge­stufe I und II signifikant höher als die N-Verwertung der Variante Rotklee in Dünge­stufe I (Abb. 42, Tab. A 28).

Das Düngemittel Rotklee führte mit 27 % zu einer signifikant niedrigeren N-Verwertung als die Düngemittel Schwedenklee mit 35 % und Weißklee mit 34 %. Die Dünge­stufen I und II unterschieden sich in der N-Verwertung mit 32 bzw. 33 % nicht signifikant voneinander (Tab. A 29).

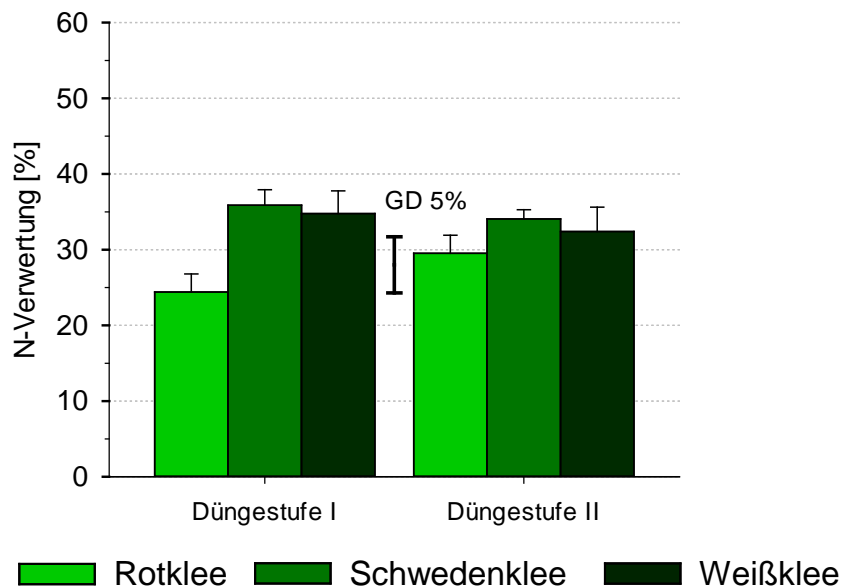


Abb. 42: N-Verwertung nach ¹⁵N-Markierung aus den zur Saat applizierten Düngemitteln durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rote Rübe- RÜBE + BLATT

Die N-Verwertung der Roten Rübe (Rübe und Blatt) lag in Dünge­stufe I zwischen 30 % in der Variante Schwedenklee und 33 % in der Variante Rotklee. Die Werte in Dünge­stufe II waren mit 33 % (Variante Schwedenklee) bis 35 % (Variante Rotklee) etwas höher. Die Unterschiede waren nicht signifikant (Abb. 43, Tab. A 28). Die zweifaktorielle Auswertung der N-Verwertung zeigte weder signifikante Unterschiede zwischen den Düngemitteln noch zwischen den Dünge­stufen. Das Düngemittel Rotklee wies mit 34 % die höchste N-Verwertung im Vergleich zu den Düngemitteln Schwedenklee und Weißklee mit jeweils einer N-Verwertung von 32 % auf (Tab. A 29). Die Rote Rübe konnte in Dünge­stufe I 31 % des gedüngten Stickstoffs nutzen, in Dünge­stufe II 32 %.

In allen Kulturen, d.h. Spinat, Rukola und Rote Rübe lagen die Ergebnisse der N-Verwertung, die mittels ¹⁵N ermittelt wurden, unter den Werten der scheinbaren N-Verwertung. Nur die ermittelten Ergebnisse der N-Verwertung für die Blätter der Roten Rübe in Dünge­stufe II ergaben höhere Werte als die Ergebnisse der scheinbaren N-Verwertung. Die ermittelten Ergebnisse aus den Isotopenmarkierungen zeigten in keiner der untersuchten Kulturen eine N-Verwertung von ≥ 40 %, was dem ursprünglichen Kalkulationswert für die Düngemittelbedarfsermittlung entsprach. Die höchste N-Verwertung (30 %) erzielte Spinat, welcher mit Schwedenklee der Dünge­stufe I gedüngt wurde. Rote Rübe

konnte aus Rotklee schnittgut in Düngestufe II den höchsten Anteil des gedüngten Stickstoffs nutzen, die Ausnutzung betrug hier 26 %.

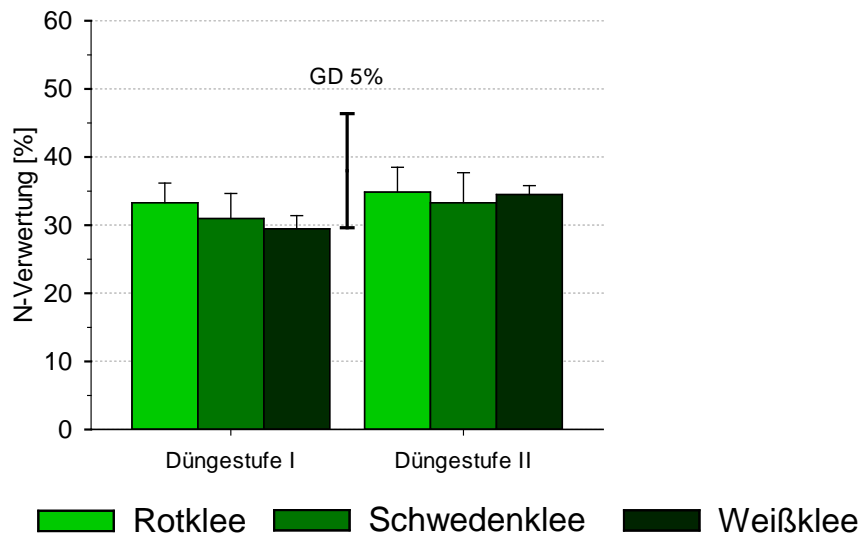


Abb. 43: N-Verwertung nach ^{15}N -Markierung der zur Saat gedüngten Düngemittel durch Rote Rübe (Rübe + Blatt) am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz- GD; Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Auf Grund der relativ großen Differenzen zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren zur Bestimmung der N-Verwertung aus den Düngemitteln, galt es zu prüfen, ob die scheinbare N-Verwertung und die N-Verwertung ermittelt mittels ^{15}N -Markierung der Düngemittel in einem Zusammenhang stehen. Dieser Zusammenhang zwischen der scheinbaren N-Verwertung und der N-Verwertung aus ^{15}N -Markierung wurde für jedes Futterleguminosendüngemittel einzeln und für alle Futterleguminosendüngemittel gemeinsam auf einen linearen Zusammenhang hin geprüft. Datengrundlage bildeten die Ergebnisse der N-Verwertung aus den Düngeversuchen des Jahres 2015 am Standort Dresden-Gohlis.

Die drei Düngemittelarten führten zu unterschiedlichen Ergebnissen. So korrelierte die scheinbare N-Verwertung des Düngemittels Rotklee am deutlichsten mit der N-Verwertung ermittelt über ^{15}N -Markierung. Der Korrelationskoeffizient lag bei Rotklee bei 0,85. Der lineare Zusammenhang zwischen den beiden Verfahren zur Bestimmung der N-Verwertung aus dem gedüngten Stickstoff lag bei den Düngemitteln Schwedenklee und Weißklee mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,74 bzw. 0,72 etwas geringer.

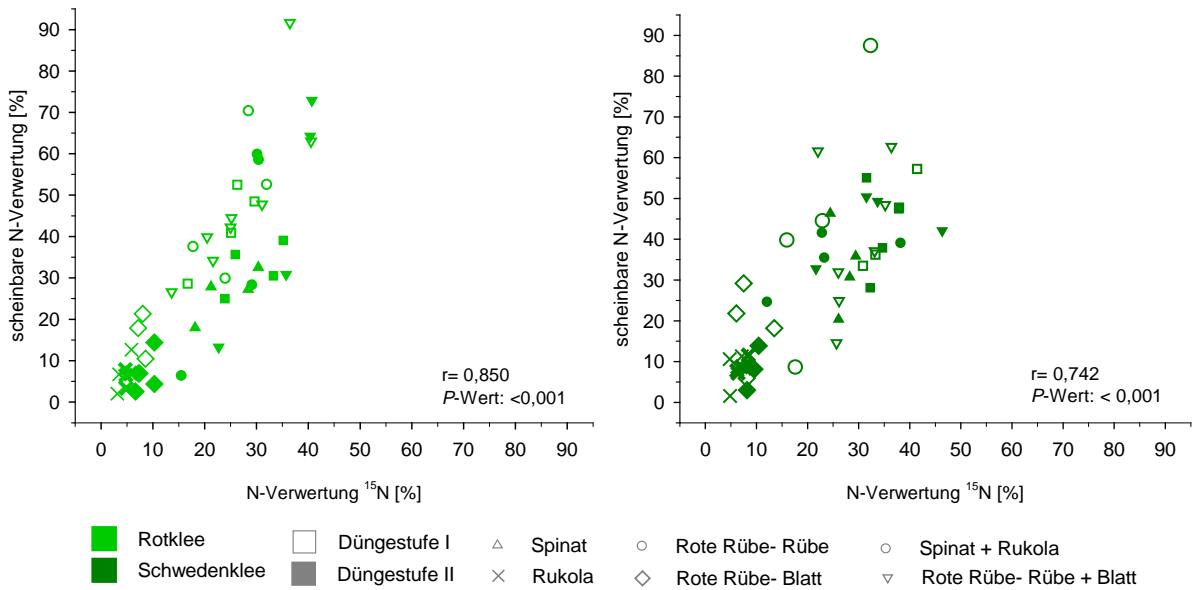


Abb. 44: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ^{15}N -Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus den Futterleguminosen-Düngemittel Rotklee (links) und Schwedenklee (rechts) jeweils in zwei Düngestufen (je $n = 48$)

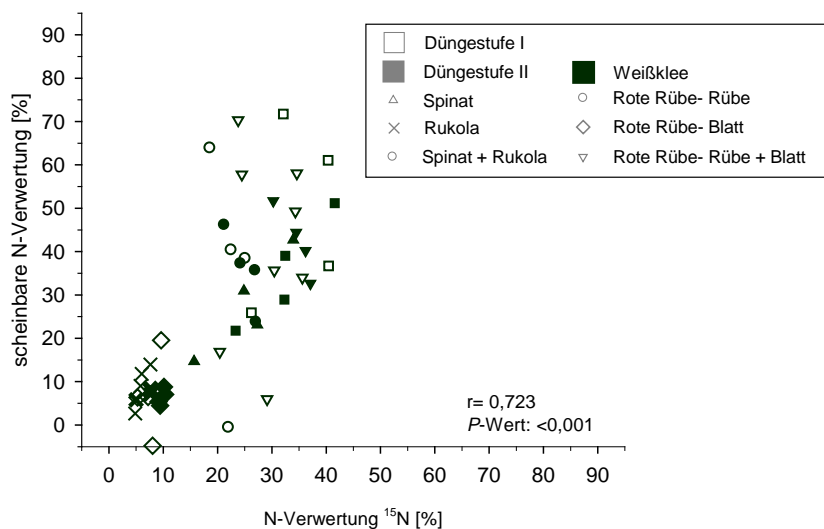


Abb. 45: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ^{15}N -Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus dem Futterleguminosen-Düngemittel Weißklee in zwei Düngestufen ($n = 48$)

In der gemeinsamen Betrachtung der drei Futterleguminosen-Düngemittel ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen der scheinbaren N-Verwertung und der N-Verwertung, die über die ^{15}N -Markierung aus den Düngemitteln ermittelt wurde, mit einem Korrelationskoeffizient von 0,77. Dieser Zusammenhang verdeutlicht eine Überschätzung der N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch Gemüse bei Bestimmung der N-Verwertung über die N-Mehraufnahme in den gedüngten Parzellen gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle. Wird im Umkehrschluss ein Kilogramm Stickstoff scheinbar aus dem Düngemittel

verwertet, so entstammten tatsächlich (N-Verwertung ermittelt mittels ^{15}N -Markierung) je nach Düngemittel nur 0,63 kg N (Rotklee) bis 0,78 kg N (Weißklee) aus dem applizierten Stickstoff. Der Differenzbetrag des durch das Gemüse aufgenommenen Stickstoffs wurde vermutlich durch eine verstärkte N-Mineralisation aus dem Boden zur Verfügung gestellt. Die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut in Gemüse führt somit offenbar zu einem Priming-Effekt der N-Mineralisation im Boden.

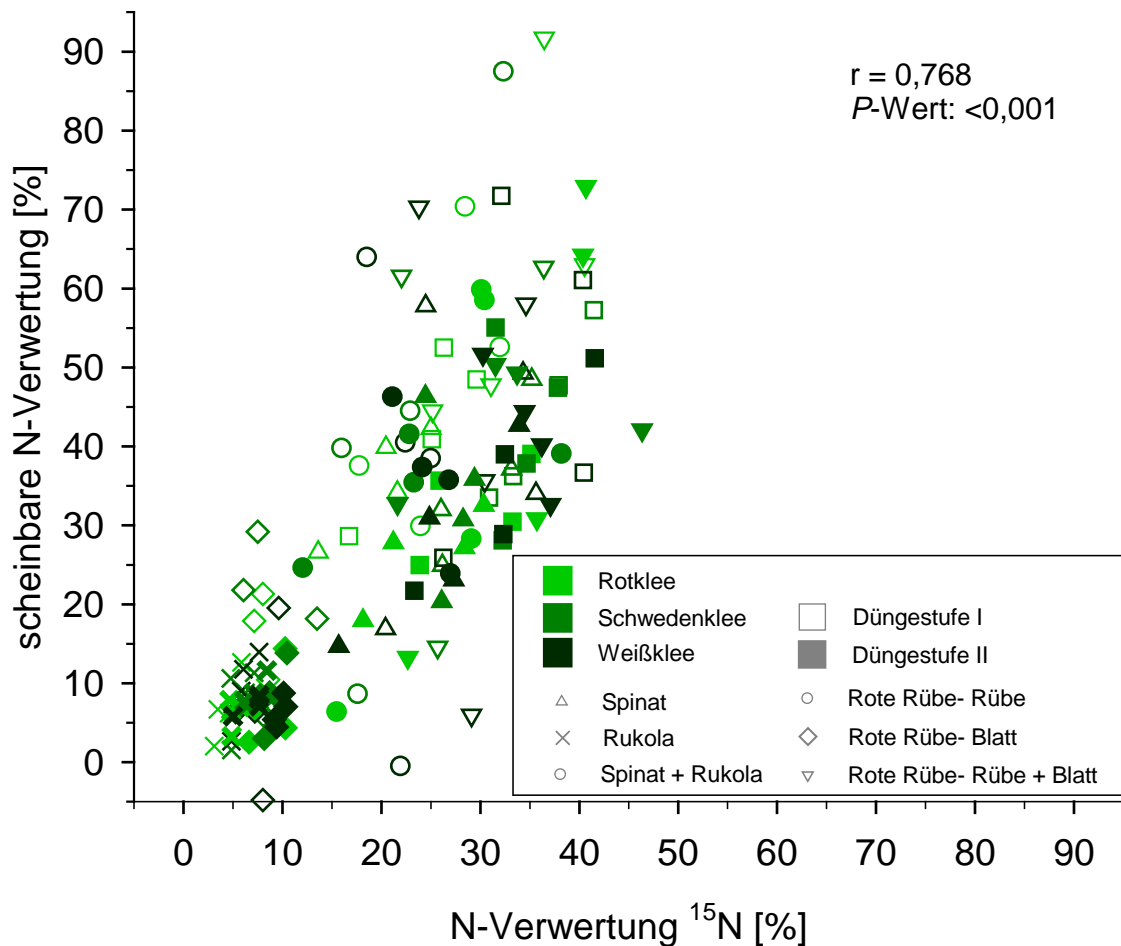


Abb. 46: Korrelation zwischen der N-Verwertung mittels ^{15}N - Markierung und der scheinbaren N-Verwertung durch Spinat, Rukola und Rote Rübe aus den zur Saat gedüngten Futterleguminosenschnittgut-Rotklee, Schwedenklee und Weißklee in jeweils zwei Düngestufen ($n = 144$) Ergebnisse vom Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015

Anteil des zur Saat gedüngten Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Spross-N der gedüngten Kulturpflanze

Spinat

Der durch den Spinat aufgenommene Stickstoff aus den Düngemitteln bildete Anteile des Gesamtstickstoffs im Spross des Spinates zwischen 26 und 42 % in Dünge­stufe I und zwischen 50 und 53 % in Dünge­stufe II (Abb. 47, Tab. A 28). Der Stickstoffanteil im Spross aller Varianten in Dünge­stufe zwei war signifikant höher als der N-Anteil in den Varianten Rotklee und Weißklee in Dünge­stufe I.

Die zweifaktorielle Auswertung der Ergebnisse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen dem niedrigsten N-Anteil im Spinatspross aus dem Düngemittel Rotklee (38 %) und dem höchsten N-Anteil im Spross des Spinats aus dem Düngemittel Schwedenklee (47 %). Der N-Anteil aus den Düngemitteln am Gesamtstickstoff im Spinat wurde ebenfalls durch die Höhe der gedüngten Stickstoffmenge (Dünge­stufe) signifikant beeinflusst. Der N-Anteil im Spross lag in Dünge­stufe II um acht Prozentpunkte signifikant höher als in Dünge­stufe I (Tab. A 31). Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren vor.

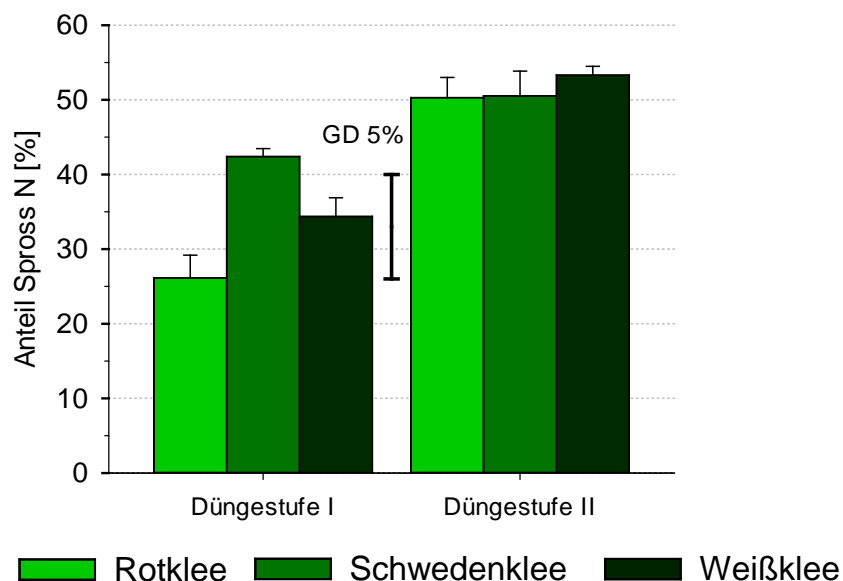


Abb. 47 Einfluss der Düngung auf den düngebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Spross des gedüngten Spinats am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rukola (Folgekultur nach Spinat)

Der Rukola konnte nur vier bis sieben Prozent des gedüngten Stickstoffs aufnehmen, doch dieser Stickstoff bildete einen Anteil am Gesamtstickstoff im Spross des Rukolas in Höhe von 17 bis 39 %. Der düngebürtige N-Anteil im Spross war in allen Varianten der Dünge­stufe

II mit 32 bis 39 % signifikant höher als in den Varianten der Dünge­stufe I mit 17 bis 22 % (Abb. 48, Tab. A 30).

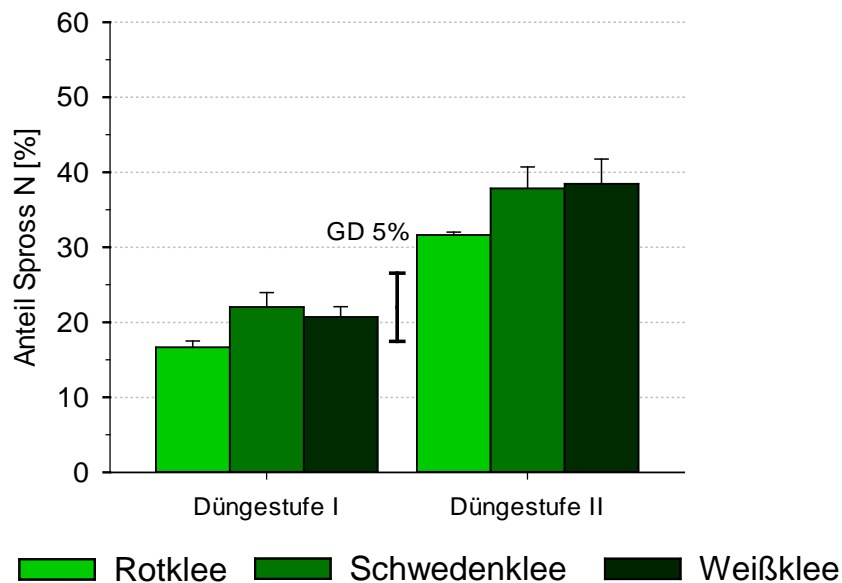


Abb. 48: Einfluss der Art und der Höhe der Dünge­ung auf den dünge­bürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Spross des gedünge­ten Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte die Dünge­mittel Schwedenklee und Weißklee mit den signifikant höchsten dünge­bürtigen Anteilen am Gesamtstickstoff im Spross des Rukola gegenüber dem dünge­bürtigen Anteil aus Rotklee (Tab. A 31). Die höhere Nährstoffgabe in Dünge­stufe II führte zu einem signifikant höheren dünge­bürtigen Anteil am Gesamtstickstoff (25 %) im Spross des Rukolas im Vergleich zum Anteil in Dünge­stufe I (20 %). Es war keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Dünge­mitteln und Dünge­stufen zu verzeichnen.

Rote Rübe- RÜBE

Die Anteile des aus den applizierten Dünge­mitteln aufgenommenen Stickstoffs am Gesamtstickstoff in den Rüben der Roten Rübe betragen zwischen 21 und 44 % (Abb. 49, Tab. A 30). Die dünge­bürtigen Anteile am Gesamtstickstoff waren in allen Varianten der Dünge­stufe I signifikant kleiner als in allen Varianten der Dünge­stufe II ausgefallen. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den der Dünge­ung von Rotklee- (29 %) und Schwedenkleeschnittgut (34 %). Die höhere Nährstoffgabe in Dünge­stufe I ließ den dünge­bürtigen Anteil am Gesamtstickstoff in den Rüben signifikant um ca. fünf Prozentpunkte im Vergleich zu den Anteilen in Dünge­stufe I (24 %) ansteigen (Tab. A 31).

Es zeigte sich keine signifikante Wechselwirkung zwischen den geprüften Düngemitteln und der Höhe der Düngung.

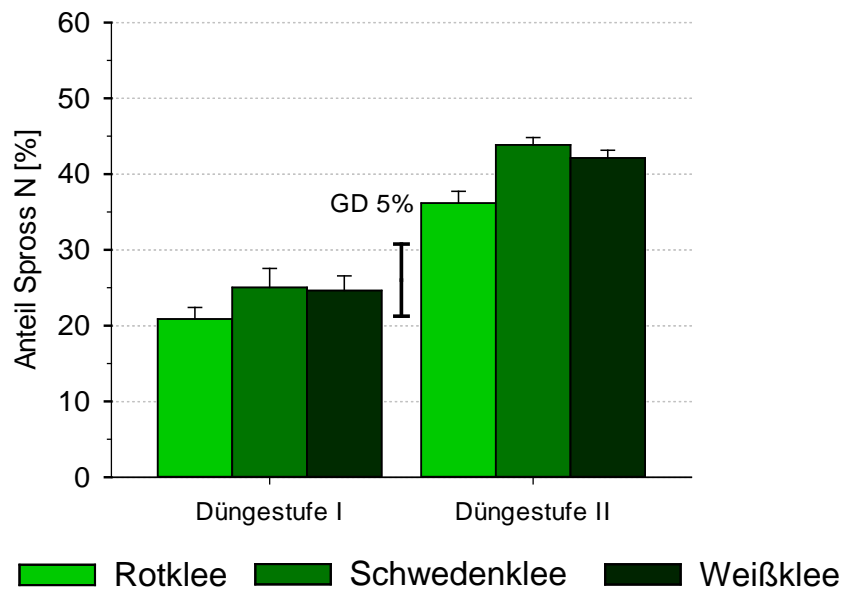


Abb. 49: Einfluss der Art und Höhe der Düngung auf den düngebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff in der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Rote Rübe- BLATT

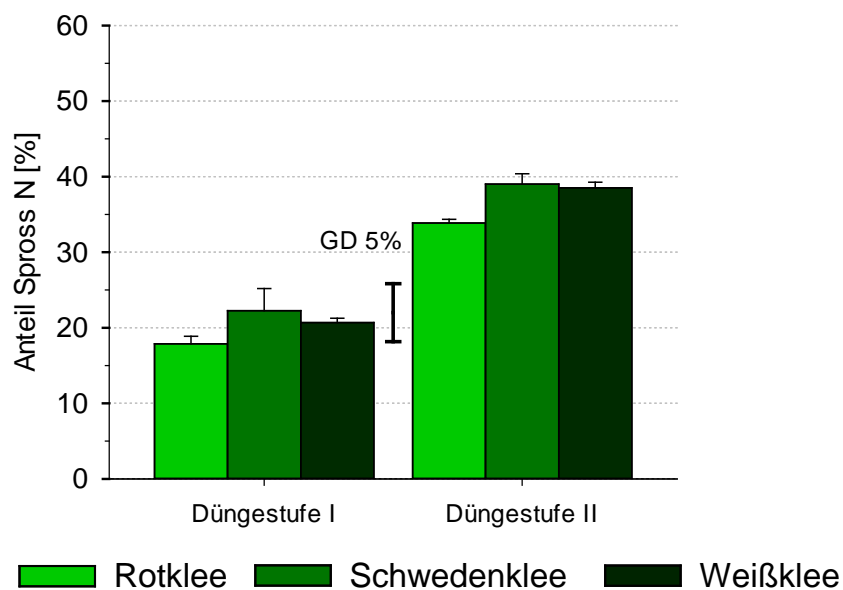


Abb. 50: Einfluss der Art und Höhe der Düngung auf den düngebürtigen Anteil am Gesamtstickstoff im Rübenblatt (rechts), Standort Dresden-Gohlis 2015; (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz (GD); Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Der durch die Rote Rübe im Blatt akkumulierte Stickstoff aus den Düngemitteln bildete Anteile am Gesamtstickstoff im Blatt zwischen 18 und 22 % in Dünge­stufe I und zwischen 34 und 39 % in Dünge­stufe II. Der dünge­bürtige Anteil Stickstoff im Rügenblatt im Mittel aller Düngemittel in Dünge­stufe II war signifikant höher als der Anteil nach der Dünge­ung von Rotklee- und Weißklee­schnittgut in Dünge­stufe I (Abb. 50, Tab. A 30.)

Die zweifaktorielle Auswertung der Ergebnisse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen dem niedrigsten dünge­bürtigen N-Anteil im Spross des Spinats aus Rotklee (38 %) und dem höchsten N-Anteil Schwedenklee (47 %). Der N-Anteil aus den Düngemitteln am Gesamtstickstoff im Spross des Spinats wurde ebenfalls durch die Höhe der gedüngten Stickstoffmenge signifikant beeinflusst. Der dünge­bürtige N-Anteil im Spross war in Dünge­stufe II um acht Prozentpunkte signifikant höher als in Dünge­stufe I (Tab. A 31). Es lag keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren vor.

4.8 N_{\min} -Vorrat im Boden nach der Ernte

Die N_{\min} -Vorräte im Boden wurden stets unmittelbar nach der Ernte der jeweils zu untersuchenden Kultur in zwei Tiefenstufen, d.h. 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm, erfasst. Im Jahr 2014 waren die N_{\min} -Vorräte im Boden am Standort Dresden-Gohlis sehr niedrig. Der höchste Wert lag nach Spinat in der Variante Hornmehl in Dünge­stufe II mit $46 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ vor (Tab. A 32). Die Dünge­stufen unterschieden sich in beiden Tiefenstufen signifikant voneinander. Mit $20 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ je Tiefenstufe (insgesamt: $40 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$) in Dünge­stufe II fielen diese dennoch vergleichsweise niedrig aus (Tab. A 33). Nach Rukola, die zweite Folgekultur nach der Dünge­ung, lagen maximal $35 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 60 cm) in der Variante Schwedenklee in Dünge­stufe II vor. Der N_{\min} -Vorrat im Boden der gedüngten Parzellen lag somit maximal $7 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 60 cm) über dem Vorrat der nicht gedüngten Kontrollparzellen. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte einen signifikanten Unterschied im N_{\min} -Vorrat im Boden in der Tiefenstufe 0 bis 30 cm zwischen den Düngemitteln Weißklee mit $15 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ und Schwedenklee mit $22 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$. Es konnte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen festgestellt werden.

Nach der Ernte der Roten Rübe konnte im Boden der nicht gedüngten Kontrolle ein N_{\min} -Vorrat im Boden von $19 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 60 cm) bestimmt werden (Tab. A 32). Die Variante mit Rotklee, Dünge­stufe II hinterließ mit $33 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 60 cm) den höchsten N_{\min} -Vorrat im Boden. Die Unterschiede waren nicht signifikant. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte ebenso keine signifikanten Unterschiede zwischen den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Applikation der verschiedenen Düngemittel (22 bis $29 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in 0 bis 60 cm) und Dünge­stufen ($24,7$ bis $25,8 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in 0 bis 60 cm). Es trat keine signifikante Wechselwirkung auf (Tab. A 33).

Im Jahr 2015 waren die N_{\min} -Vorräte im Boden nach den Kulturen Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis höher. Die applizierten N-Mengen zur Saat waren jedoch ebenfalls größer. Nach Spinat wurden im Boden der nicht gedüngten Kontrolle $21 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 30 cm) ermittelt (Tab. A 34). In den Varianten der Düngestufe I lagen die N_{\min} -Mengen im Boden zwischen 19 und $27 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$. In Düngestufe II (0 bis 30 cm) waren die Mengen mit mindestens $43 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ fast doppelt so hoch wie im Boden der nicht gedüngten Kontrolle. Die Düngung von Hornmehl führte mit $69 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ zum signifikant höchsten N_{\min} -Vorrat im Boden. Somit wiesen alle Varianten in Düngestufe zwei den gewünschten Mindestvorrat an N_{\min} von $40 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ für eine vermarktungsfähige Spinatqualität auf (LABER 2009). Die zweifaktorielle Auswertung zeigte einen deutlichen, aber nicht signifikanten Unterschied zwischen den N_{\min} -Mengen im Boden nach Düngung von Hornmehl mit $48 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ und den Futterleguminosen-Düngemitteln mit 34 bis $38 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (Tab. A 35). Im Mittel der Düngemittel der Düngestufe II lag mit $55 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ ein signifikant höherer N_{\min} -Vorrat im Boden vor als nach geringerer Düngung (Stufe I) mit $24 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (0 bis 30 cm). Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen Düngemitteln und den Düngestufe. In der zweiten Tiefenstufe (30 bis 60 cm) lagen die N_{\min} -Vorräte im Boden zwischen 14 und $21 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$. Es konnten weder in der einfaktoriellen, noch in der zweifaktoriellen Auswertung signifikante Unterschiede ermittelt werden, noch lag eine signifikante Wechselwirkung vor (Tab. A 34, Tab. A 35).

Nach Rukola der zweiten Folgekultur nach der Düngung konnten zwischen $13 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ im Boden (0 bis 30 cm) der nicht gedüngten Kontrolle und maximal $22 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ in der mit Hornmehl, Düngestufe II, gedüngten Variante keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (Tab. A 34). Die zweifaktorielle Auswertung der N_{\min} -Vorräte im Boden nach Applikation der verschiedenen Düngemittel zeigte mit 16 bis $19 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ keine signifikanten Unterschiede. Der N_{\min} -Vorrat im Boden im Mittel der Düngestufe II war im Mittel um $5 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ signifikant höher als in Düngestufe I mit $15 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ (Tab. A 35). Die zweite Tiefenstufe (30 bis 60 cm) wies auch signifikante Unterschiede im N_{\min} -Vorrat des Bodens zwischen den Prüfgliedern auf. Der mit Hornmehl in Düngestufe zwei gedüngte Boden zeigte mit $25 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ einen signifikant höheren N_{\min} -Vorrat als der Boden der nicht gedüngten Kontrolle ($9 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$) und der Boden der Varianten mit Hornmehl ($12 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$) und mit Rotklee ($13 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$) in Düngestufe I (Tab. A 34).

Auch in 30 bis 60 cm Tiefe war die höhere Nährstoffgabe (Düngestufe II) durch einen signifikant höheren N_{\min} -Vorrat im Boden mit $19 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ zu $13 \text{ kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$ der Düngestufe I messbar (Tab. A 35). Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen.

Nach Rote Rübe konnten nur sehr geringe N_{min}-Mengen im Boden gemessen werden. So lagen die Werte in der Tiefenstufe 0 bis 30 cm zwischen 14 und 18 kg N_{min} ha⁻¹ und in der Tiefenstufe 30 bis 60 cm nur noch zwischen 5 und 10 kg N_{min} ha⁻¹ (Abb. 51, Tab. A 34). Die ein- und zweifaktorielle Auswertung zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den N_{min}-Vorräten der Prüfglieder im Boden (Tab. A 35). Es konnten ebenso keine signifikante Wechselwirkung sowohl in der Tiefenstufe 0 bis 30 cm als auch in 30 bis 60 cm festgestellt werden.

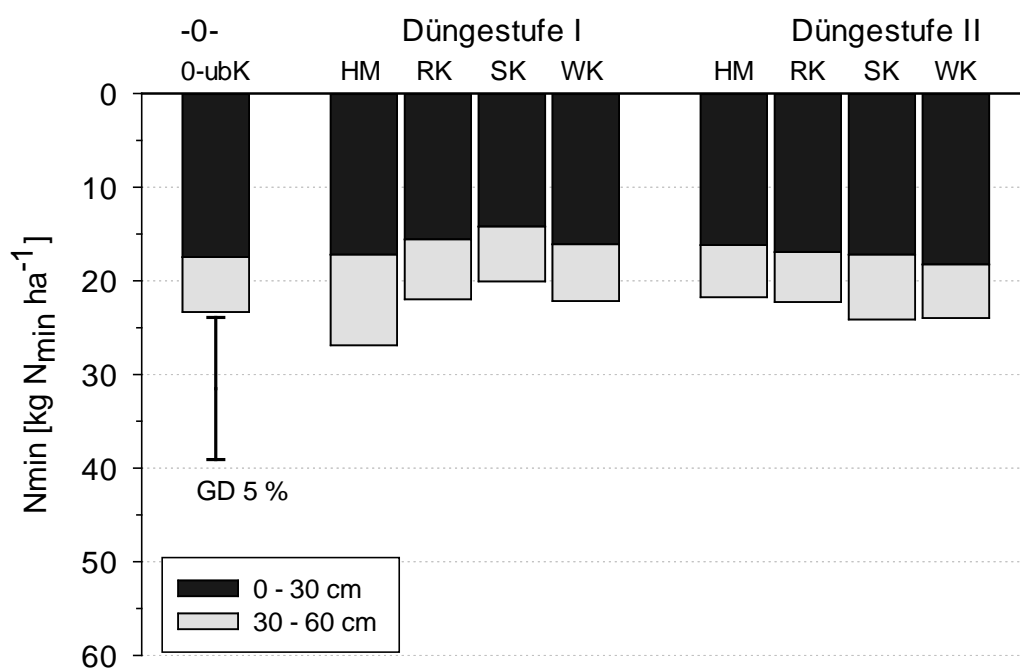


Abb. 51: Einfluss der Art und Höhe der Düngung zur Saat auf den N_{min}-Vorrat im Boden nach der Ernte der Roten Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalkenkennzeichen die Grenzdifferenz- GD für den N_{min} in 0 bis 60 cm Boden, Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)

Der im August 2015 gesäte und im Oktober 2015 geerntete Spinat hinterließ zum Teil sehr hohe N_{min}-Vorräte im Boden (Abb. 52). Am Standort Stollsdorf wurde der Spinat erst am 31. August 2015 gesät und somit für eine Ernte entsprechend der Düngekalkulation 14 Tage zu spät.

In der Tiefenstufe 0 bis 30 cm zeigte die N_{min}-Vorrat im Boden der nicht gedüngten Kontrolle mit 40 kg N_{min} ha⁻¹ den niedrigsten Wert (Tab. A 36). Die signifikant höchsten N_{min}-Vorräte im Boden zeigten die mit den Düngemitteln Hornmehl und Maltaflor gedüngten Böden in Düngestufe II (233 bzw. 236 kg N_{min} ha⁻¹). Die zweifaktorielle Auswertung zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede im N_{min}-Vorrat im Boden der mit Hornmehl (193 kg N_{min}

ha⁻¹) und Maltaflor (169 kg N_{min} ha⁻¹) gedüngten Böden zu denen mit den Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngten Böden (91 bis 102 kg N_{min} ha⁻¹). Die Böden in den Varianten der Düngestufe II zeigten einen signifikant höheren N_{min}-Vorrat (168 kg N_{min} ha⁻¹) als die Böden der Düngestufe I (91 kg N_{min} ha⁻¹). Es lag zudem in der Tiefenstufe 0 bis 30 cm keine Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen vor (Tab. A 37).

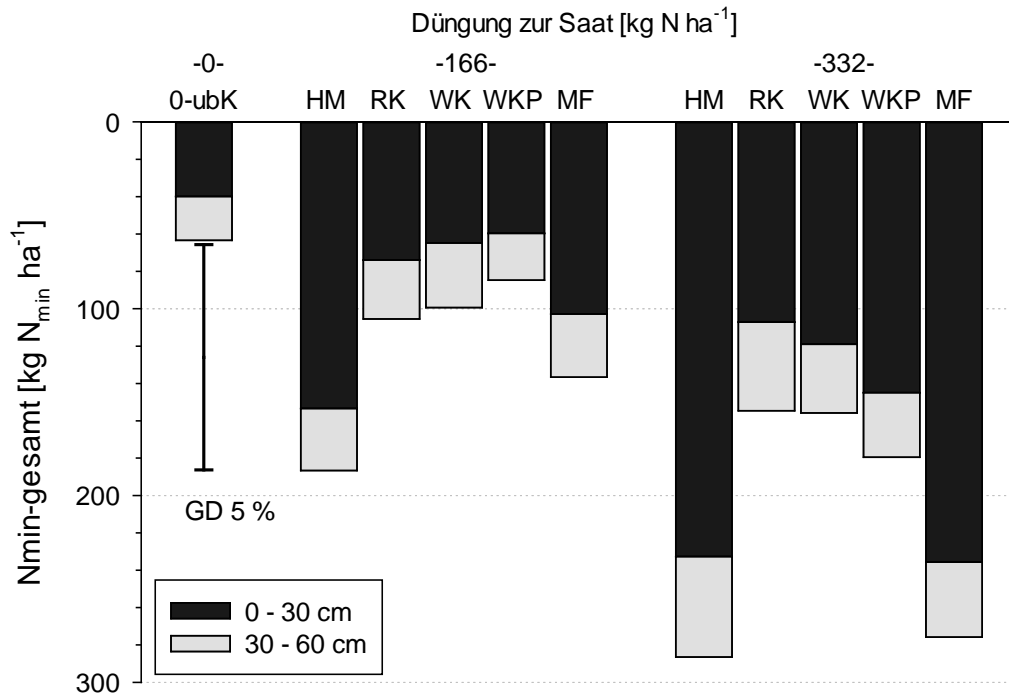


Abb. 52: Einfluss der Art und Höhe der N-Düngung zur Saat von Spinat auf den N_{min}-Vorrat im Boden nach der Ernte des Spinats am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalkenkennzeichen die Grenzdifferenz- GD für N_{min} in 0 bis 60 cm Boden, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Im Unterboden (30 bis 60 cm) lagen die N_{min}-Mengen zwischen 23 kg N_{min} ha⁻¹ im Boden der nicht gedüngten Kontrolle und 54 kg N_{min} ha⁻¹ im mit Hornmehl in Düngestufe zwei gedüngten Boden (Abb. 52, Tab. A 36). Die Unterschiede waren nicht signifikant. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den N_{min}-Mengen (30 bis 44 kg N_{min} ha⁻¹) in den mit verschiedenen Düngemitteln gedüngten Böden (Tab. A 37). Der Unterschied des N_{min}-Vorrates zwischen den Böden der Düngestufe I (32 kg N_{min} ha⁻¹) und II (43 kg N_{min} ha⁻¹) war mit 11 kg N_{min} ha⁻¹ dagegen signifikant. Es konnten keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen festgestellt werden.

Der ebenfalls im Oktober 2015 geerntete Spinat am Standort Taucha bei Leipzig hinterließ geringere N_{min}-Vorräte im Boden als der Spinat am Standort Stollsdorf. Der Spinat in

Taucha wurde allerdings am 14. August 2015 gesät werden und konnte auf Grund einer höheren Wärme- und Globalstrahlungssumme höhere FM- und TM-Erträge bilden.

Im Boden (0 bis 30 cm) der nicht gedüngten Kontrolle sowie den Varianten Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet der Düngestufe I wurden mit 15 bis 24 kg N_{\min} ha⁻¹ die signifikant niedrigsten Nmin-Vorräte gegenüber den Nmin-Mengen im Boden der Düngung mit Hornmehl (Düngestufe II) mit 92 kg N_{\min} ha⁻¹ gemessen (Tab. A 36). In den Parzellen der Variante Hornmehl, Düngestufe I und Hornmehl, Weißklee und Weißklee-Pellet der Düngestufe II lagen die Nmin-Werte in 0 bis 30 cm Tiefe über 40 kg N_{\min} ha⁻¹ und somit gab es in diesen Parzellen im Boden die Voraussetzung für eine hohe vermarktungsfähige Qualität des Spinats.

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte, dass die Nmin-Vorräte des mit Hornmehl gedüngten Boden (69 kg N_{\min} ha⁻¹) signifikant über denen aller drei mit Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngten Böden mit 24 bis 32 kg N_{\min} ha⁻¹ lagen (Tab. A 37). Die doppelte Düngemittelgabe zur Saat spiegelte sich in höheren Nmin-Mengen im Boden nach der Spinaternte wieder. Der Nmin-Vorrat der Böden in Düngestufe II war mit 52 kg N_{\min} ha⁻¹ fast doppelt so hoch wie in den Böden der Düngestufe I mit 26 kg N_{\min} ha⁻¹. Der Unterschied war zudem signifikant. Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen.

Im Unterboden (30 bis 60 cm) lag der Nmin-Vorrat im Boden der nicht gedüngten Kontrolle mit 7 kg N_{\min} ha⁻¹ am niedrigsten im Vergleich zu der Nmin-Menge im Boden der Variante mit Hornmehl in Düngestufe II mit 16 kg N_{\min} ha⁻¹ (Tab. A 36). Dieses war nicht signifikant. Auch in der zweifaktoriellen Auswertung konnten nur zwischen den Düngestufen signifikante Unterschiede (6 kg N_{\min} ha⁻¹) statistisch sichert werden (Tab. A 37). Die Düngemittel verursachten mit 10 bis 14 kg N_{\min} ha⁻¹ niedrige, jedoch nicht signifikante Nmin-Mengen im Unterboden (30 bis 60 cm).

4.10 Aufnahme und Verwertung weiterer Nährstoffe aus Futterleguminosenschnittgut

Die Futterleguminosen-Düngemittel Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets stimmten in der Nährstoffzusammensetzung und der gedüngten Nährstoffmenge stark überein (Abb. 53, Tab. A 38). Nur die Molybdängabe mit dem Düngemittel Weißkleepellet war um mehr als 100 % höher als die der anderen Futterleguminosen-Düngemittel (Abb. 54). Die mit den Düngemitteln Hornmehl und Maltaflor zur Saat gedüngten Nährstoffmengen unterschieden sich je nach Nährelement erheblich von denen der Futterleguminosen-Düngemittel.

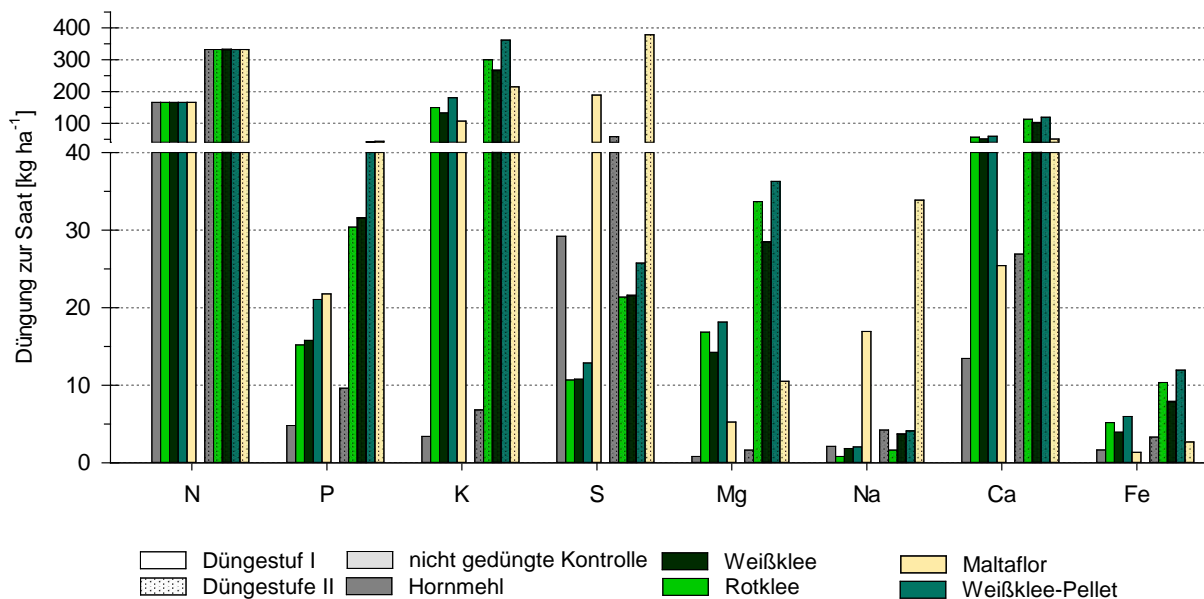


Abb. 53: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngte Makronährstoffmengen an den Standorten Stollsdorf (P1) und Taucha (P2, kein Maltaflor) im August 2016

Mit dem Hornmehl wurden die Nährstoffe Kalium, Magnesium, Mangan, Bor und Kupfer in einer Menge von unter 10 % der zur Saat mit den Futterleguminosen-Düngemitteln gegebenen Nährstoffmengen gedüngt. Die über Hornmehl gedüngten Nährstoffmengen an Schwefel, Natrium und Zink überstiegen dagegen die Nährstoffgabe mit den Futterleguminosen-Düngemitteln. Die mit Maltaflor gedüngten Nährstoffmengen stimmten mit denen der Futterleguminosen-Düngemittel stärker überein, allerdings überstiegen die gedüngten Mengen an Schwefel und Natrium die der Futterleguminosen-Düngemittel um bis zu 1653 bzw. 1076%.

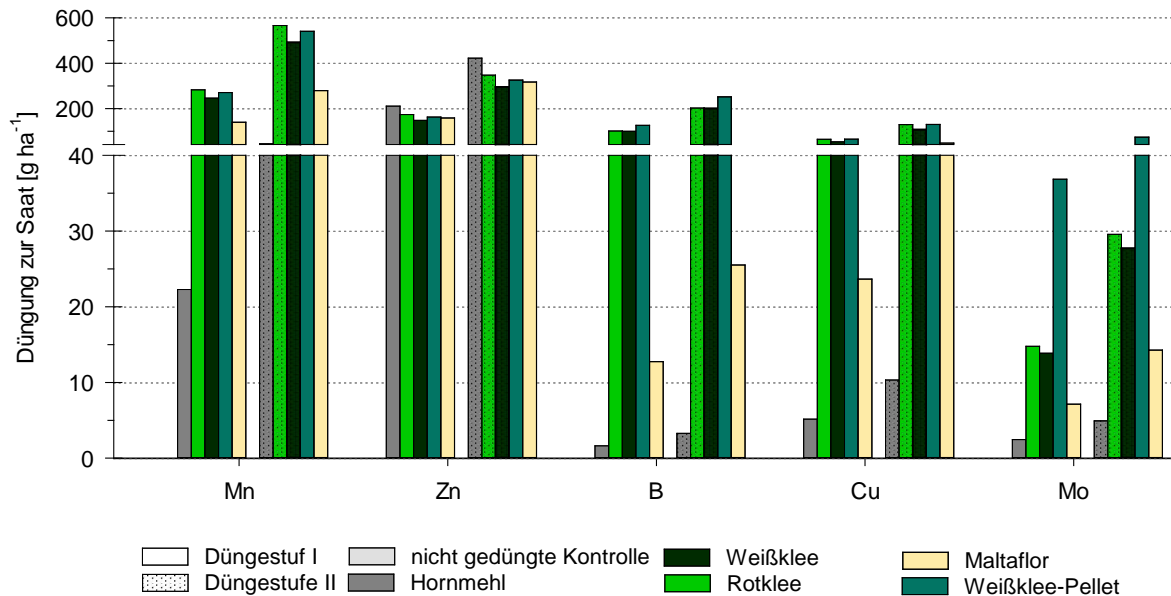


Abb. 54: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngte Mikronährstoffmengen an den Standorten Stollsdorf (P1) und Taucha (P2, kein Maltaflor) im August 2016

Die Untersuchungen zur Wirkung der Düngemittel in Bezug auf alle zur Saat gedüngten Nährstoffe erfolgte 2015 in den Düngeversuchen mit Spinat an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha. Im Folgenden sind die Nährstoffgehalte im Erntegut (Spinat Spross), die Nährstoffaufnahme sowie die scheinbare Nährstoffverwertung durch die Pflanzen an den drei Standorten gesondert dargestellt. Eisen zählt zu den Mikronährstoffen, ist jedoch in den Darstellungen auf Grund des Gehalts und der Aufnahmemengen den Makronährstoffen zugeordnet.

Die scheinbare Nährstoffverwertung berechnet sich aus der zur Saat gedüngten Nährstoffmenge und der Nährstoffmehraufnahme des gedüngten Spinates im Vergleich zur nicht gedüngten Kontrolle. Die zur Saat gedüngte Menge Stickstoff war für alle Düngemittel gleich. Die mit den Düngemitteln zusätzlich gedüngten Nährstoffe variierten allerdings auf Grund der unterschiedlichen Nährstoffzusammensetzung der Düngemittel.

Dresden- Gohlis

Nährstoffgehalte in Spinat am Standort Dresden-Gohlis

Die Nährstoffgehalte des Spinates unterschieden sich zwischen Varianten der nicht gedüngten Kontrolle und den gedüngten Varianten für die Makronährstoffe N, K, S, Mg, Na und Ca (Abb. 55, Tab. A 39). Die Düngung führte bei den Elementen N, K, S, Mg und für Ca

zum Teil zu einem Anstieg der Nährstoffgehalte im Spinat. Die P-Gehalte und die Ca-Gehalte (Futterleguminosen-Düngemittel) waren durch eine Düngung zur Saat im Spinatspross niedriger. Der Fe-Gehalt im Spinat wurde durch eine Eisendüngung in Form von Hornmehl und Futterleguminosen-Düngemittel zur Saat des Spinats nicht signifikant beeinflusst.

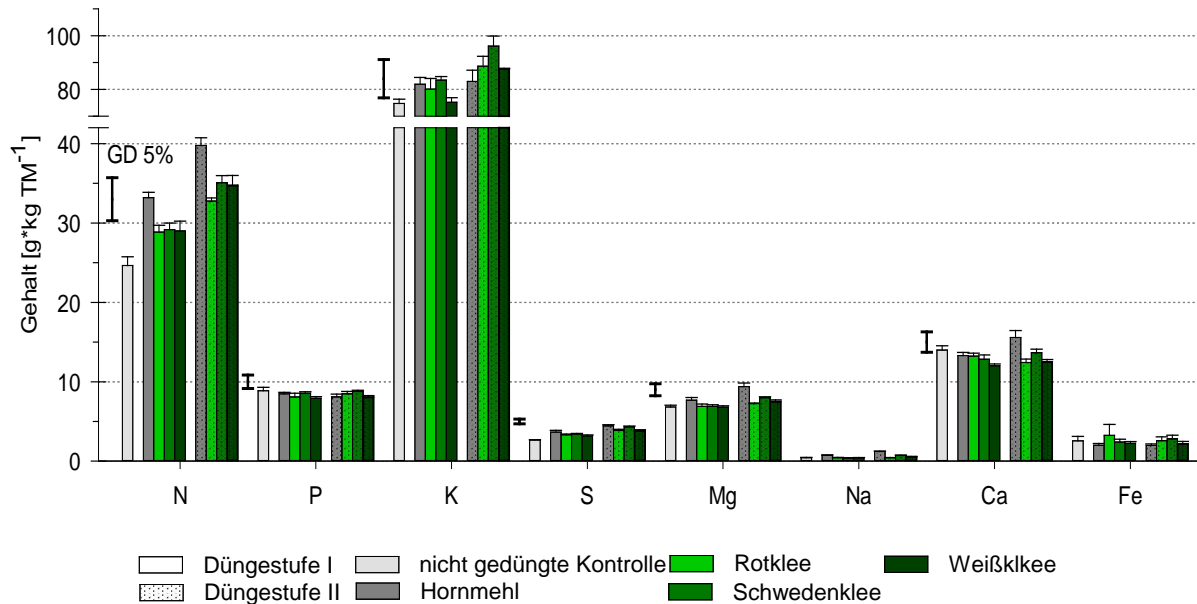


Abb. 55: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

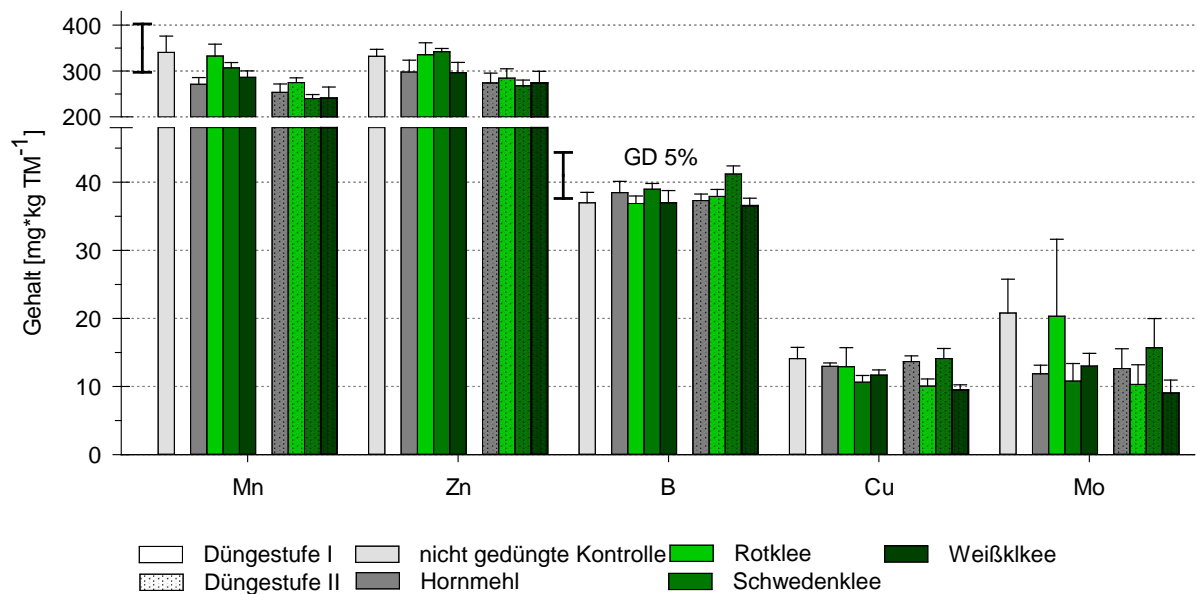


Abb. 56: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Mikronährstoffgehalte im Spinat zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern. Tendenziell waren die Gehalte der Nährstoffe Mn, Zn, Cu, und Mo im Spinat der gedüngten Varianten im Vergleich zu den Gehalten im nicht gedüngten Spinat geringer (Abb. 56, Tab. A 39). Die zweifaktorielle Auswertung zeigte keine Unterschiede zwischen den Düngemitteln, jedoch waren der Mn- und der Zn-Gehalt im Spinat der höheren Düngestufe II signifikant geringer im Vergleich zu Düngestufe I. Es lagen keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen Düngemitteln und Düngestufen vor.

Nährstoffaufnahme durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis

Durch die Düngung zur Saat war die Nährstoffaufnahme des Spinates für alle Makronährstoffe außer Eisen im Vergleich zu dem nicht gedüngten Spinat höher. Der nicht gedüngte Spinat zeigte bei allen Nährstoffen die signifikant niedrigste Nährstoffaufnahme (Abb. 57, Tab. A 40). Die zweifaktorielle Auswertung zeigte bei Hornmehl die signifikant geringste Nährstoffaufnahme hinsichtlich der Elemente N, P, K, S, M und Ca. Am Standort Dresden-Gohlis war die Nährstoffaufnahme durch Spinat in Düngestufe II zu Düngestufe I bei allen Elementen außer Natrium (signifikante Wechselwirkung) und Eisen signifikant höher.

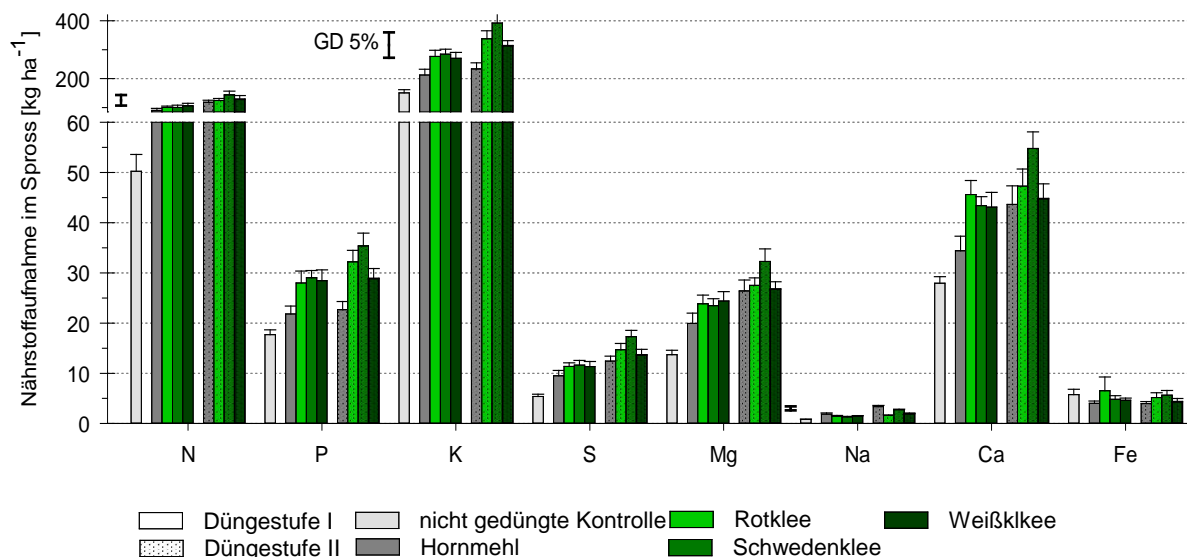


Abb. 57: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Es lag nur eine Wechselwirkung zwischen Düngemittel und Dünge­stufe für das Element Natrium vor. Die Natriumaufnahme des mit Hornmehl und Schweden­klee gedüngten Spinats stieg von Dünge­stufe I zu Dünge­stufe II deutlich stärker an als die Na-Aufnahme des mit Rotklee und Weißklee gedüngten Spinats.

Die Mikronährstoffaufnahme des Spinats zeigte zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede (Abb. 58, Tab. A 40). Auch die zweifaktoriellen Auswertungen zeigten keine Unterschiede zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen. Ausnahme bildete die Mn-Aufnahme auf Grund einer signifikanten Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen. Der Rückgang der Mn-Aufnahme des mit Schweden­klee und Weißklee gedüngten Spinats war in Dünge­stufe II deutlicher stärker ausgeprägt als der bei den Düngemitteln Rotklee und Hornmehl. Bei den Elementen Zn, B, Cu, Mo lagen keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen vor.

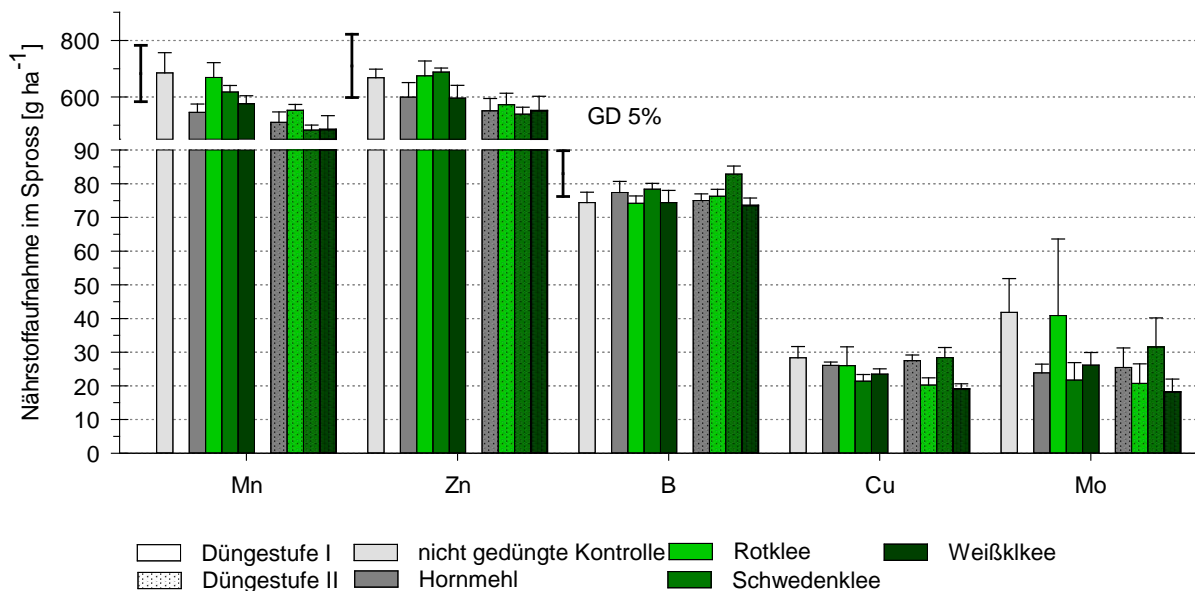


Abb. 58: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schweden­klee und Weißklee gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Obgleich nicht vorhandener signifikanter Unterschiede, waren Tendenzen in der Wirkung der Düngemittel erkennbar. So war die Aufnahme der Mikronährelemente Mn, Zn und zum Teil, der Mikronährelemente Cu und Mo durch Spinat in den gedüngten Varianten im Vergleich zu Spinat der nicht gedüngten Kontrolle, geringer.

Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat gedüngten Nährstoffe durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis

Die scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat zeigte für alle Makronährstoffe außer Eisen eine positive Verwertung und sowie signifikante Unterschiede zwischen den Varianten der Makronährstoffe außer hinsichtlich Phosphor und Eisen (Abb. 59, Tab. A 41). Der Spinat verwertete in Dünge­stufe I aus allen Düngemitteln Kalium zu über 100 % der gedüngten Menge. Phosphor und Magnesium wurden vom Spinat zu über 50 % aus den zur Saat gedüngten Nährstoffmengen genutzt. Die zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren Nährstoffverwertung durch Spinat zeigte einen signifikanten Rückgang der Nährstoffverwertung von Dünge­stufe I zu Dünge­stufe II für die Elemente K, S und Mg. Für die Elemente N, P sowie Ca ist ein tendenzieller Rückgang der scheinbaren Nährstoffverwertung durch Spinat mit Höhe der Zufuhr erkennbar.

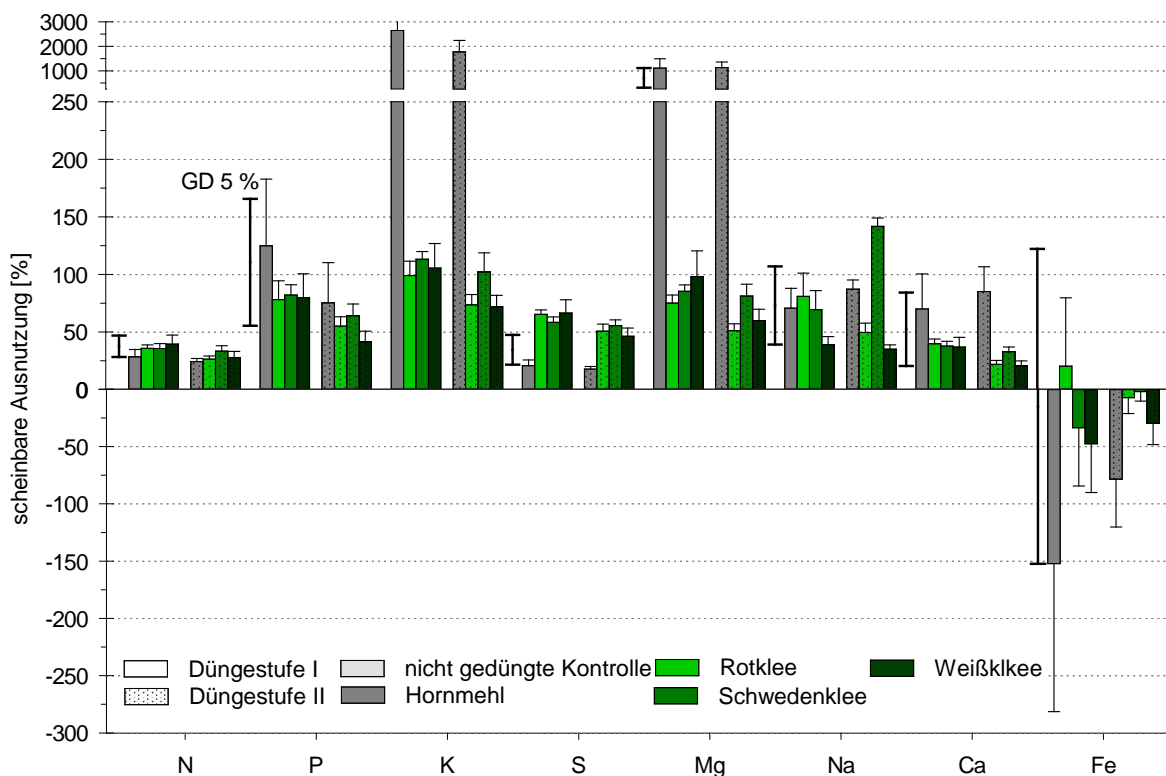


Abb. 59: Scheinbare Makronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Nur die zweifaktorielle Auswertung bei Natrium zeigte eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Düngemitteln und den Dünge­stufen. Spinat verwertete Natrium aus dem Hornmehl und Schwedenklee in Dünge­stufe II zu einem höheren Anteil als in Dünge­stufe I.

Die scheinbare Verwertung von Natrium aus gedüngtem Rotklee war dagegen in Düngestufe II geringer und die Na-Verwertung des Spinats aus Weißklee blieb trotz einer höheren Düngegabe in Düngestufe II nahezu konstant.

Nur bei drei der fünf untersuchten Mikroelemente zeigte der Spinat in einzelnen Düngevarianten positive Verwertungsraten aus den zur Saat gedüngten Mikronährstoffmengen. Spinat konnte Kupfer mit 0,05 % aus Schwedenklee in Düngestufe II und Zink aus Rotklee und Schwedenklee jeweils der Düngestufe I mit 5 bzw. 12 % verwerten. (Tab. A 41). Die scheinbare Bor-Verwertung durch Spinat aus Hornmehl überstieg mit 268 % in Düngestufe I die zur Saat gedüngte Menge, Die Unterschiede zwischen den Nährstoffverwertungen waren bei keinem der Mikronährstoffe signifikant. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte die signifikant niedrigste Mangan-Verwertung und die signifikant höchste Bor-Verwertung des Spinats aus Hornmehl im Vergleich zu den anderen Düngemitteln. Es lagen bei keiner Auswertung eine signifikante Wechselwirkung zwischen Düngemittel und Düngeufen vor.

Standort Stollsdorf

Nährstoffgehalte im Spinat am Standort Stollsdorf

Unterschiede zwischen den einzelnen Nährstoffen fielen insbesondere bei Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Eisen auf. Die Nährstoffgehalte im Spinat der nicht gedüngten Kontrolle waren bei diesen Elementen deutlich höher als in allen gedüngten Varianten (Abb. 60, Tab. A 42). Bei den Elementen P, K, Mg, Ca und Fe waren diese Unterschiede signifikant, zum Teil waren die Gehalte im Spinat der nicht gedüngten Kontrolle um 100 % höher als die des gedüngten Spinats (P, Ca).

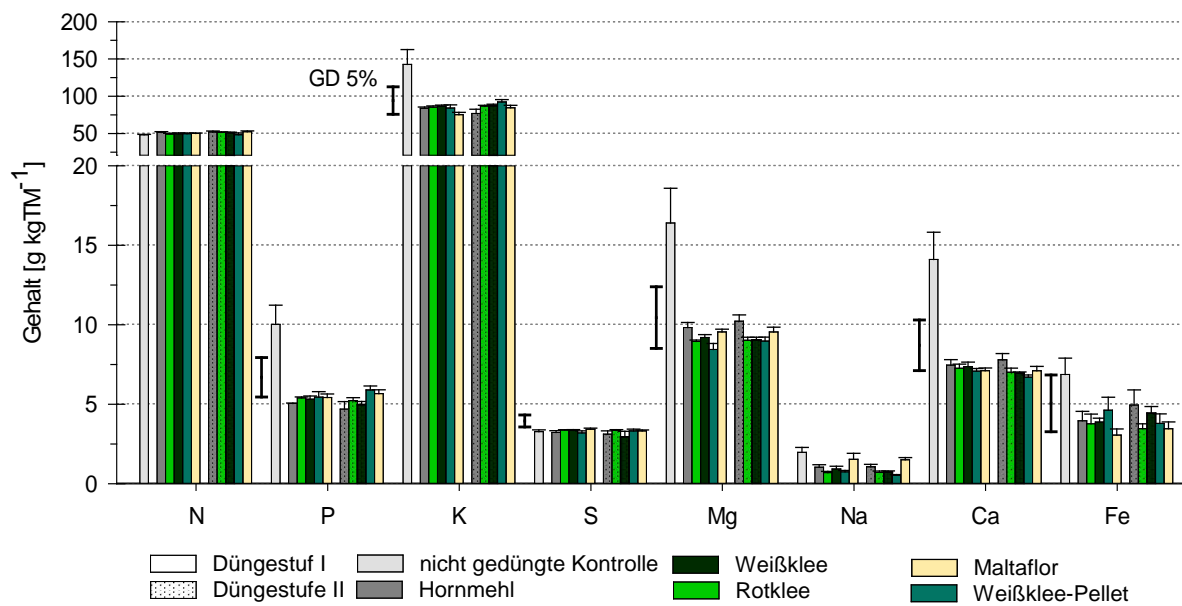


Abb. 60: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Mikronährstoffgehalte im Spinat der nicht gedüngten Kontrolle waren ebenfalls höher als die Gehalte im Spinat der gedüngten Varianten, bei Kupfer, Mangan, Zink und Bor waren diese Unterschiede auch signifikant (Abb. 61, Tab. A 42). Die Mikronährstoffgehalte im Spinat der gedüngten Varianten wiesen nur Werte zwischen 32 und 70 % der Gehalte im Spinat der nicht gedüngten Kontrolle auf.

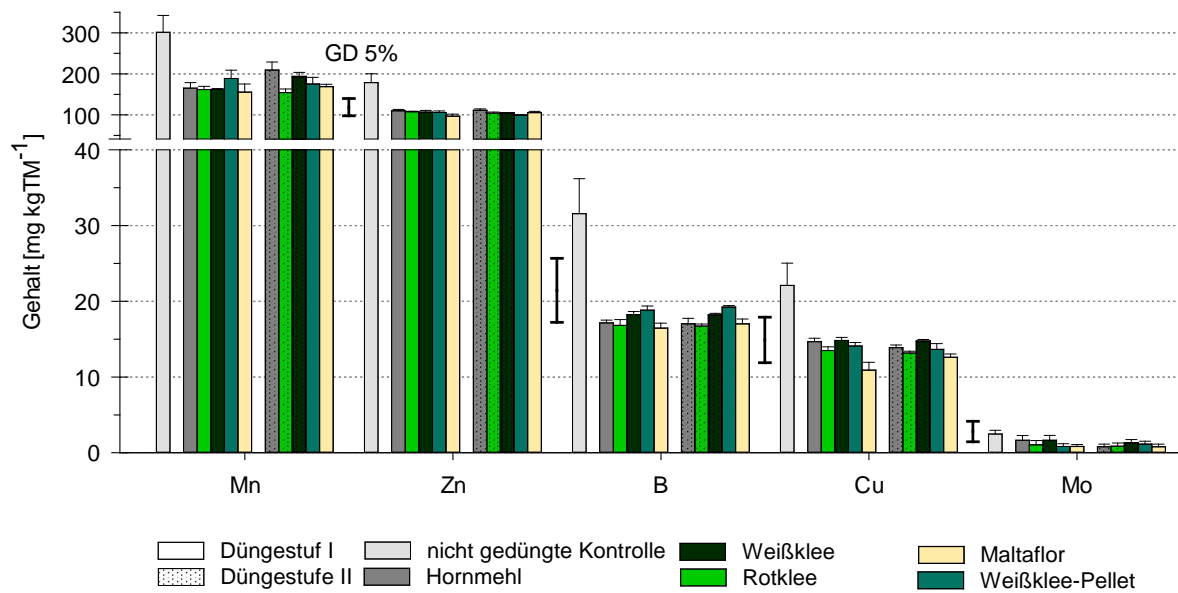


Abb. 61: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Nährstoffaufnahme durch Spinat am Standort Stollsdorf

Durch die zur Saat gegebene Düngung wurden nicht bei allen Düngemitteln und Nährstoffe höhere Nährstoffaufnahmen durch Spinat im Vergleich zur nicht gedüngten Kontrolle gemessen (Abb. 62, Tab. A 43). Stickstoff und Schwefel waren die einzigen Nährstoffe, deren Aufnahme in allen gedüngten Varianten angestiegen war. Der mit Hornmehl, Rotklee und Maltaflor gedüngte Spinat zeigte obgleich höherer TM-Erträge geringere Nährstoffaufnahmen bei Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Natrium als der Spinat der nicht gedüngten Kontrolle. Nur der mit Maltaflor gedüngte Spinat realisierte eine gegenüber der Kontrolle höhere Natriumaufnahme. Die Düngemittel Weißklee und Weiklee-Pellets führten insbesondere bei den Elementen Kalium und Magnesium zu erhöhten Aufnahmen durch den Spinat im Vergleich zur nicht gedüngten Kontrolle.

Die Mikronährstoffaufnahme des Spinats war in den gedüngten Varianten ebenfalls reduziert (Abb. 63, Tab. A 43). Die Mikronährstoffaufnahme des Spinats der gedüngten Varianten war bei den Elementen Mn, Zn, B, Cu mit 45 bis 72 % der Mikronährstoffaufnahme der nicht gedüngten Kontrolle signifikant geringer.

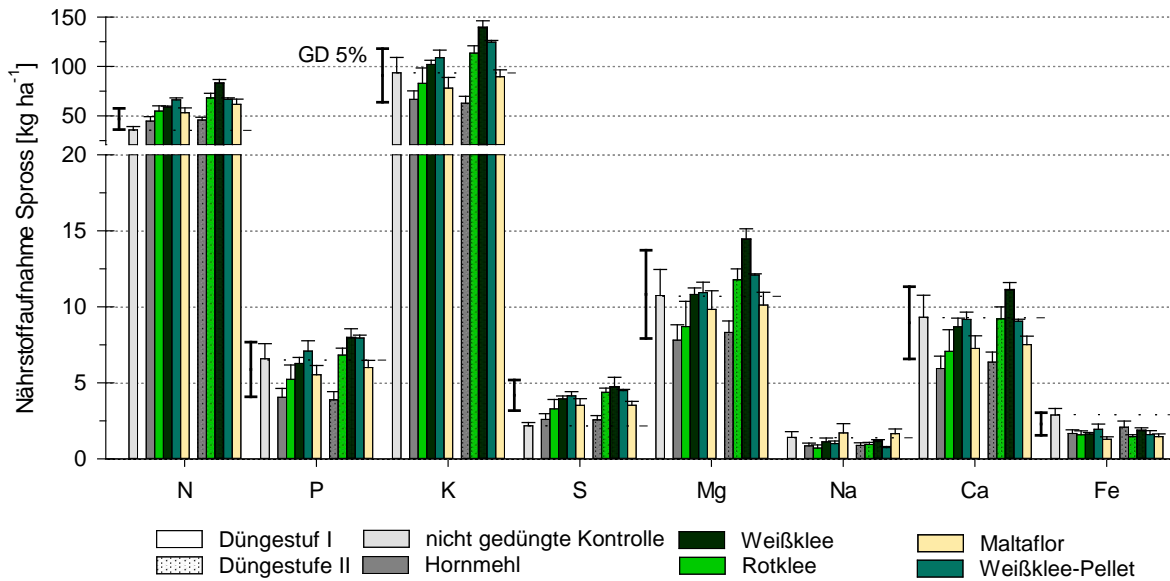


Abb. 62: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellets und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdiffenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

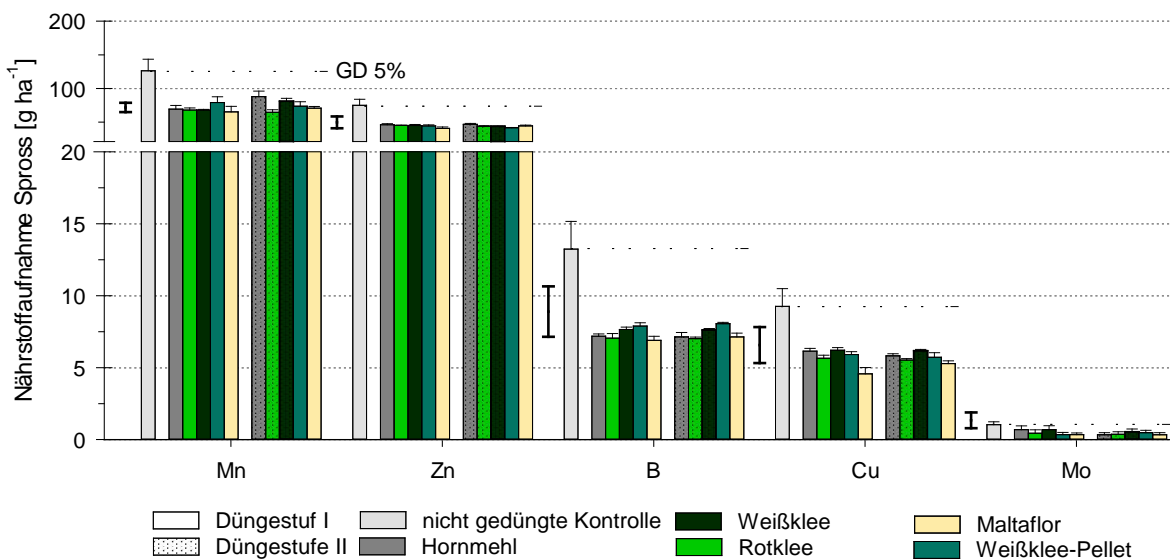


Abb. 63: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdiffenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat gedüngten Nährstoffe durch Spinat am Standort Stollsdorf

Der mit den Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngte Spinat zeigte bei den Nährstoffen N, P, K, S und Mg eine positive scheinbare Verwertung zwischen 0,5 und 34 % der zur Saat gedüngten Nährstoffe (Tab. A 44). Der mit den Düngemitteln Hornmehl und Maltaflor gedüngte Spinat zeigte dagegen nur bei den Nährelementen N und S eine positive Nährstoffverwertung. Die Unterschiede der scheinbaren Makronährstoffverwertung waren bei N, P, Ca, S, Fe signifikant. Die Nährstoffe aus Weißklee und Weißklee-Pellets wurden durch den Spinat am besten verwertet.

Die scheinbare Verwertung der gedüngten Mikronährstoffe war in allen gedüngten Varianten negativ. Die scheinbare Verwertung der mit den Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngten Mikronährstoffe lag zwischen -1,5 und -23 %. Trotz einer Mikronährstoffdüngung nahm der Spinat weniger Mikronährstoff als in der nicht gedüngten Kontrolle auf. Besonders auffällig sind die hohen negativen Verwertungsraten bei den Mikronährstoffen Mn, B, Cu und Mo der Düngemittel Hornmehl und Maltaflor. Die zur Saat gedüngte Menge an Mikronährstoffen war mit diesen Düngemitteln geringer, als die mit den Futterleguminosen-Düngemittel gedüngte Menge an Mikronährstoffen. Die Unterschiede in der scheinbaren Mikronährstoffverwertung durch Spinat waren bei Mn, Zn, B und Cu signifikant.

Taucha

Nährstoffgehalte im Spinat am Standort Taucha

Am Standort in Taucha konnte nur der Gehalt an Stickstoff im Spinat durch eine Düngung bei allen vier Düngemitteln, zum Teil signifikant, erhöht werden. Für den Kaliumgehalt traf diese Steigerung ebenfalls zu, Ausnahme bildete hier der mit Hornmehl in Düngestufe I gedüngte Spinat (Abb. 64, Tab. A 45).

Das Düngen mit Hornmehl führte außerdem zu zum Teil signifikant höheren Schwefel-, Magnesium-, Natrium- und Calciumgehalten im Spinat im Vergleich zum Spinat aus der nicht gedüngten Kontrolle. Die Wirkung aller Düngemittel führte zu signifikant niedrigeren P-Gehalten im Spinat. Die Ca-Gehalte im Spinat gingen durch eine Düngung mit Futterleguminosen-Düngemitteln deutlich, in Düngestufe II sogar signifikant im Vergleich zu den Gehalten im Spinat der nicht gedüngten Kontrolle zurück. Der Ca-Gehalt im mit Hornmehl gedüngten Spinat waren gegenüber Spinat der nicht gedüngten Kontrolle in Düngestufe II jedoch signifikant höher.

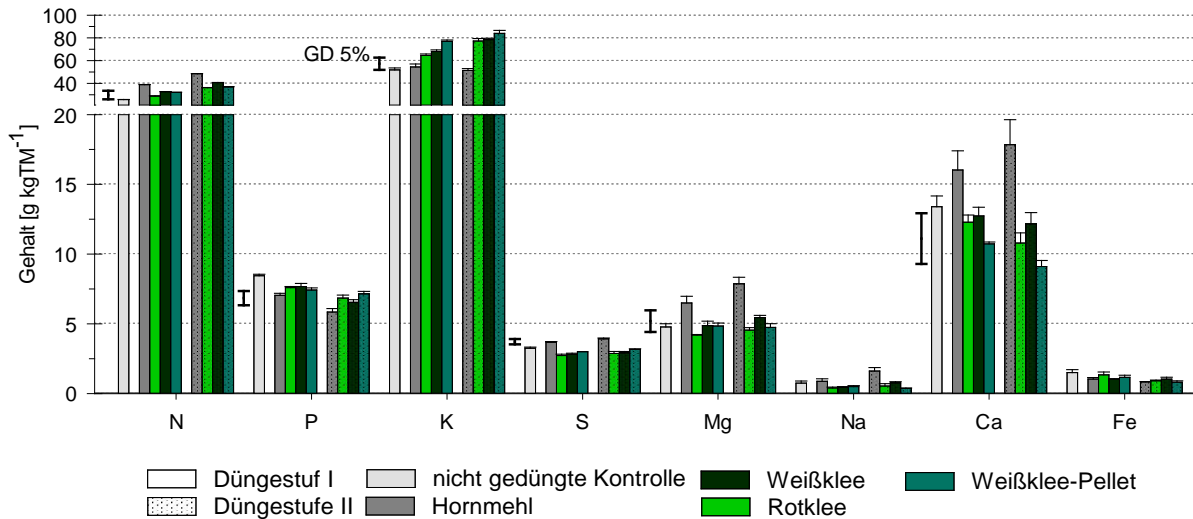


Abb. 64: Makronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Düngung mit Futterleguminosen-Düngemitteln führte zu einem teilweisen Rückgang der Mangangehalte im Spinat. Die Mn-Gehalte in mit Hornmehl gedüngten Spinat waren dagegen in Düngestufe II sogar leicht höher als die Gehalte im nicht gedüngten Spinat (Abb. 65, Tab. A 45).

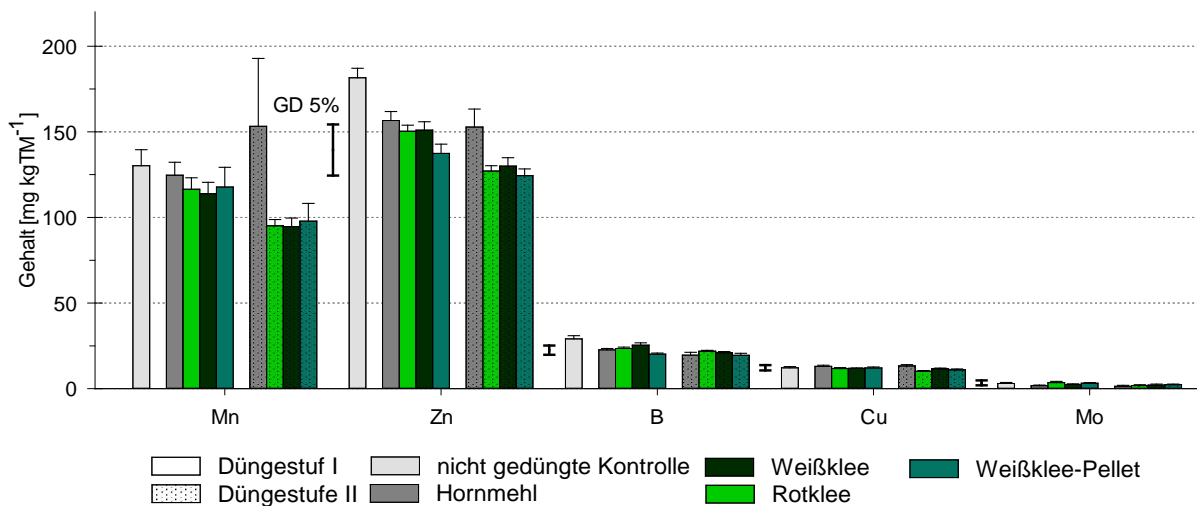


Abb. 65: Mikronährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Zink- und Borgehalte waren im Spinat aller gedüngten Varianten deutlich, zum Teil signifikant geringer. Die Kupfergehalte im mit Hornmehl gedüngten Spinat lagen über demdes nicht gedüngten Spinats der Kontrolle, die Cu-Gehalte des mit Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngten Spinats waren dagegen geringer. Der Unterschied zwischen den

Düngemitteln Hornmehl und Rotklee (Düngestufe II) war signifikant. Die Molybdängehalte im Spinat zeigten keine deutlichen Unterschiede zwischen den Düngevarianten.

Eine zweifaktorielle Auswertung zeigte den signifikanten Rückgang der Nährstoffgehalte bei P, Na, Mg, Fe und B im Spinat von Düngestufe I zu Düngestufe II. Die Nährstoffgehalte S und Zn stiegen dagegen durch eine erhöhte Nährstoffgabe im Spinat signifikant an. Es gab jeweils keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen Düngemittel und Düngestufe.

Nährstoffaufnahme durch den Spinat am Standort Taucha

Die Nährstoffaufnahme in der Spinattrockenmasse war in allen gedüngten Varianten bei allen Makronährstoffen erhöht. Diese erhöhten Nährstoffaufnahmen durch Spinat in den gedüngten Varianten im Vergleich zur Kontrolle waren bei allen Nährelementen außer Eisen signifikant (Abb. 66, Tab. A 46). Die höhere Nährstoffgabe führte ebenfalls bei allen Makronährstoffen außer Eisen zu höheren Nährstoffaufnahmen des Spinats. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte bei Hornmehl die signifikant höchste Nährstoffaufnahme für N, K, und S durch den Spinat (keine signifikante Wechselwirkung vorhanden). Eine signifikante Wechselwirkung war jeweils bei der Nährstoffaufnahme von Mg, Na und Ca zwischen den Düngemitteln und den Düngestufen vorhanden. So stieg die Mg- und Ca-Aufnahme durch Spinat nach Applikation von Weißklee-Pellets nicht äquivalent im Vergleich zu den anderen Düngemitteln in Düngestufe II im Vergleich zur Düngestufe I an. Die Natrium-Aufnahme durch Spinat aus dem Hornmehl stieg von Düngestufe I zu Düngestufe II um über 100 % Prozent ($3,14 \text{ kg ha}^{-1}$), die Aufnahme aus dem Weißklee-Pellets ging trotz höherer Nährstoffgabe zur Saat in Düngestufe II um 8 % leicht zurück ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$). Die Eisenaufnahme des Spinats war in allen gedüngten Varianten geringer als die Fe-Aufnahme durch Spinat in der nicht gedüngten Kontrolle. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Die zweifaktorielle Auswertung zeigte jedoch eine signifikant niedrigere Fe-Aufnahme durch den Spinat in Düngestufe II im Vergleich zu Düngestufe I (keine signifikante Wechselwirkung vorhanden).

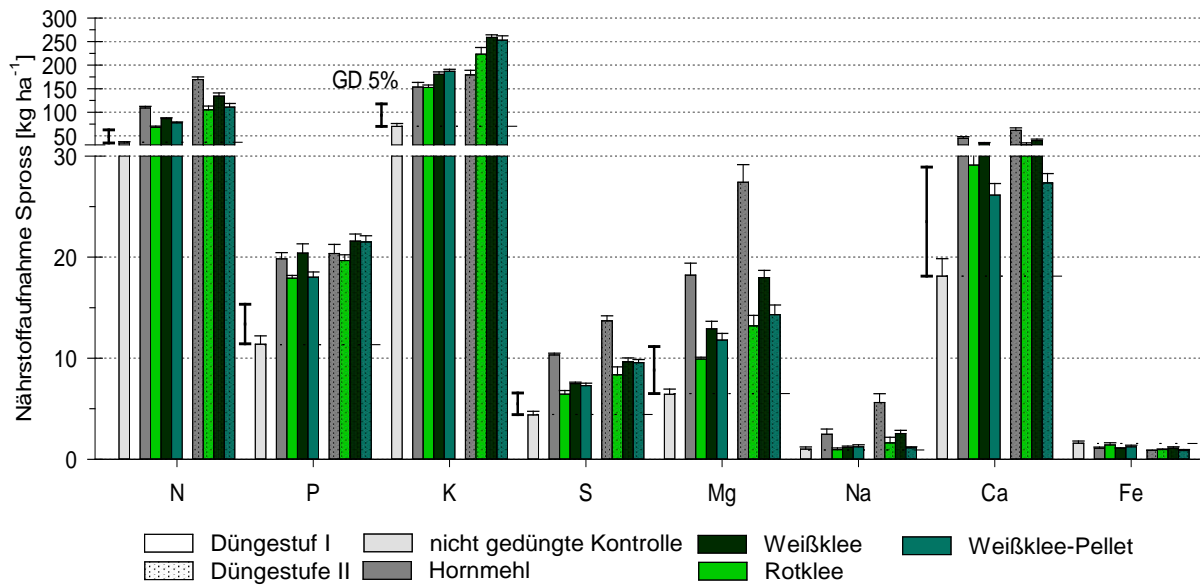


Abb. 66: Makronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Mikronährstoffaufnahme durch Spinat wurde ebenfalls durch die Düngung hinsichtlich der Nährstoffe Zn, B und Cu signifikant beeinflusst (Abb. 67, Tab. A 46). Die Aufnahme der untersuchten Mikronährstoffe durch Spinat nahm durch den Einsatz aller Düngemittel im Vergleich zur Mikronährstoffaufnahme des nicht gedüngten Spinats ab. Eine Ausnahme bildete der mit Hornmehl gedüngte Spinat. Dieser konnte in Düngestufe II ca. 24 g mehr Mangan und 1 g mehr Kupfer je Hektar als der nicht gedüngte Spinat aufnehmen.

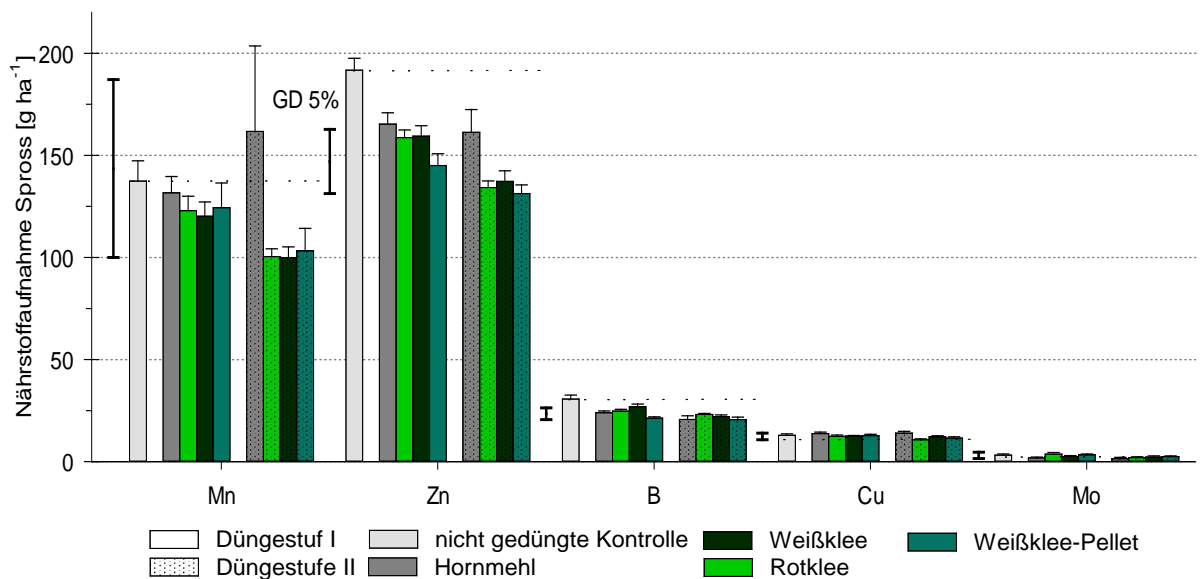


Abb. 67: Mikronährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die zweifaktorielle Auswertung zeigte einen signifikanten Rückgang der Zn- und Cu Aufnahme des Spinats von Dünge­stufe I zu Dünge­stufe II (keine signifikante Wechselwirkung gegeben). Der mit Hornmehl gedüngte Spinat nahm die signifikant höchsten Mengen an Zink und Kupfer auf. Die Dünge­ung mit Weiß­klee führte hingegen zu den signifikant höchsten Aufnahmen an Bor durch den Spinat.

Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat gedüngten Nährstoffe durch Spinat am Standort Taucha

Die scheinbare Nährstoffverwertung aller Makronährstoffe war am Standort Taucha positiv, Ausnahmen bildeten die Nährstoffe Natrium und insbesondere Eisen. Die höchsten scheinbaren Verwertungsraten zeigte der mit dem Düngemittel Hornmehl gedüngte Spinat, bei den Elementen N, P, K, Mg, Na und Ca waren diese die signifikant höchsten (Abb. 68, Tab. A 47). Bei P, K, Mg, Na und Ca lagen die Werte der scheinbaren Verwertung durch den Spinat über 100% der gedüngten Nährstoffmenge. Die Nährstoffverwertung aus Weiß­klee zeigte im Vergleich der drei Futterleguminosen-Düngemittel bei allen Elementen außer Na und Fe die höchsten scheinbaren Verwertungsraten. Der Spinat verwertete Kalium aus allen Düngemitteln im Vergleich zu den anderen Elementen am besten. Die scheinbare Verwertung lag zwischen 51 und 2451 % der gedüngten Kaliummenge.

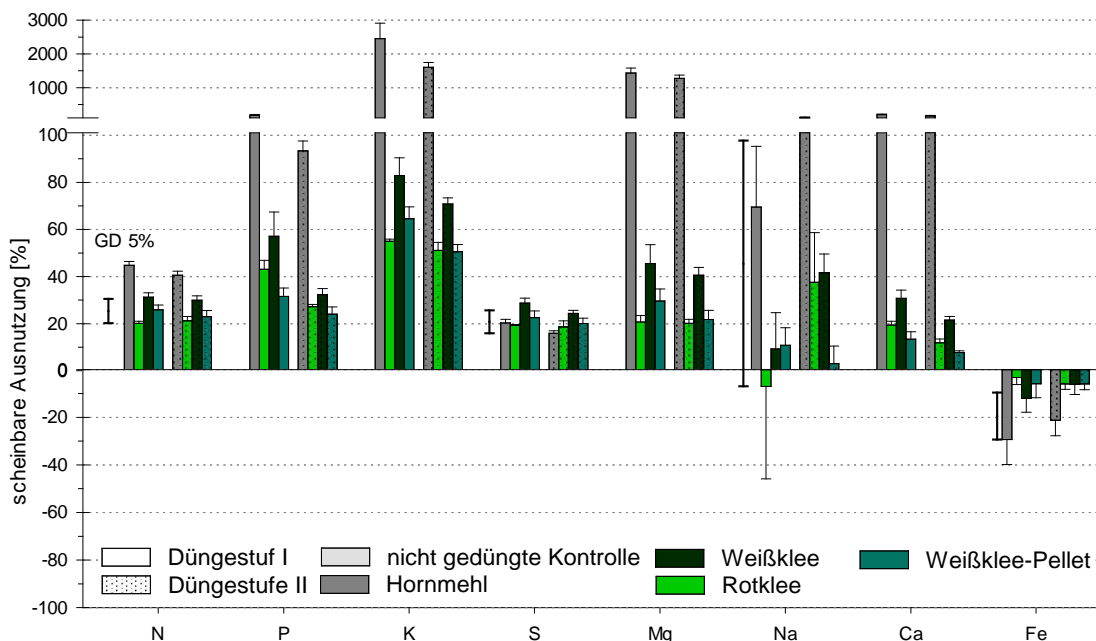


Abb. 68: Scheinbare Makronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rot­klee, Weiß­klee und Weiß­klee-Pellets gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Spinat, welcher mit den Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngt wurde, konnte Eisen am besten verwerten. Die dennoch negative Nährstoffverwertung von Eisen durch Spinat zeigte zwischen den Varianten signifikante Unterschiede.

Mit Hornmehl gedüngter Spinat verwertete in Düngestufe II 55 % des zur Saat gedüngten Mangans und 16 % des Kupfers bzw. 10 % in Düngestufe I (

Abb. 69, Tab. A 47).

Die anderen mit den Düngemitteln zur Saat gedüngten Mikronährstoffe wurden offensichtlich nicht durch den Spinat verwertet. Die höchste negative scheinbare Mikronährstoffverwertung zeigte mit Futterleguminosen-Düngemitteln gedüngter Spinat bei Zink und Mangan. Der mit Hornmehl gedüngte Spinat verwertete Bor und Mo sehr schlecht. Die Unterschiede zwischen den Düngemitteln in der scheinbaren Mikronährstoffverwertung des Spinats waren bei den Elementen Zn, B, Cu und Mo signifikant.

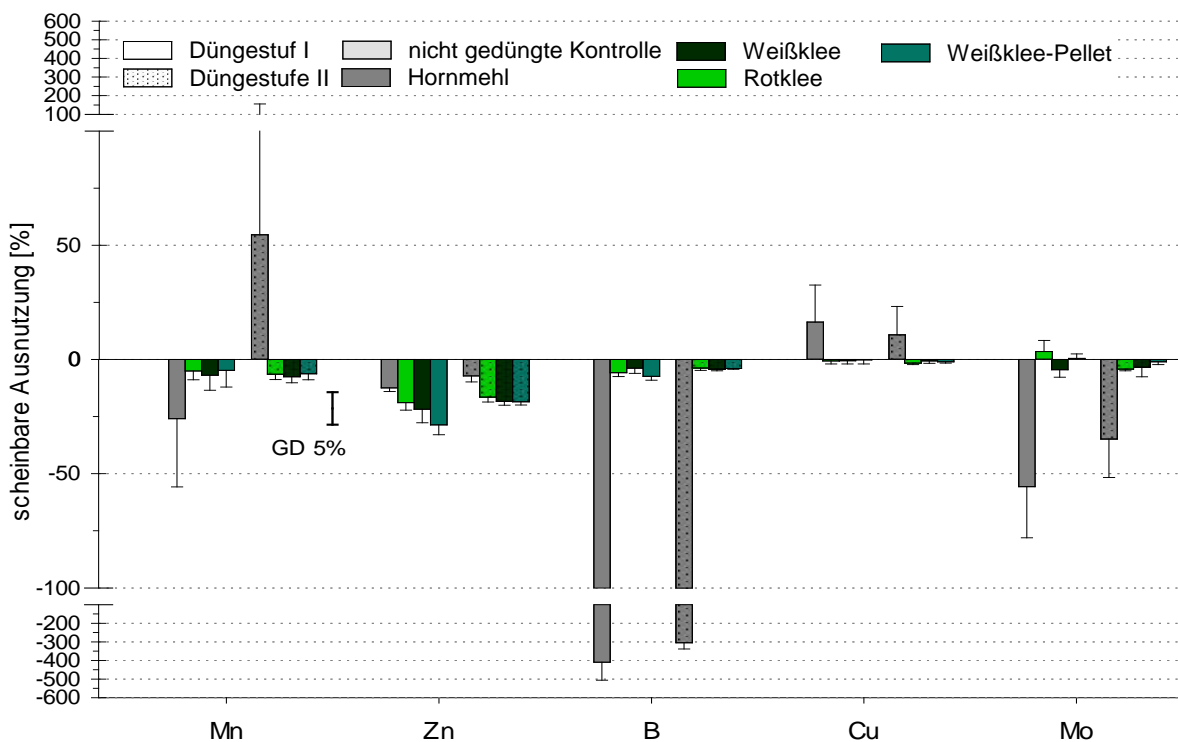


Abb. 69: Scheinbare Mikronährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellets gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Fehlerbalken kennzeichnen die Grenzdifferenz: GD, Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Die Erhebung der Nährstoffgehalte im Spinat sowie der Nährstoffaufnahme an drei Standorten im Jahr 2015 hat deutlich gezeigt, dass die Makronährstoffgehalte an den Standorten Dresden-Gohlis und Taucha deutlich und am Standort Stollsdorf bei den Elemente N und S durch eine Düngung mit Futterleguminosen gesteigert werden konnten. Die Düngung sowohl mit Hornmehl als auch mit den Futterleguminosen führte an keinem

Standort zu einem höheren P-Gehalt im Spross des Spinats. Tendenziell führte die Düngung sogar zu geringeren P-Gehalten. Der Zuwachs des Spinatertrags führte jedoch an allen Standorte zu höheren, teilweise signifikant höheren Makronährstoffaufnahmen des Spinats. Die Düngung des Spinates mit Futterleguminosen-Düngemitteln führte in den allermeisten Fällen zu geringeren Mikronährstoffgehalten im Spinat und zu geringeren Mikronährstoffaufnahmen sowie zu negativen scheinbaren Mikronährstoffverwertungsraten durch den Spinat.

5 Diskussion

5.1 Evaluation der Futterleguminosenarten

Ziel der Feldversuche war es, Futterleguminosenarten dahingehend zu evaluieren, dass sie bei häufigem Schnitt ein C/N-Verhältnis im Schnittgut von ≤ 10 aufweisen sollten, und gleichzeitig ein hoher Stickstoffgehalt und maximaler TM-Ertrag über das Schnittgut zu erzielen. Im Schnittgut der ausgewählten Arten Rotklee, Schwedenklee und Weißklee konnten N-Gehalte von 4,7 bis 5,3 % in der TM einzelner Schnitttermine erreicht werden. Durch das enge Schnittregime konnten die N-Gehalte im Vergleich zu Futterzwecken genutzter Kleeaufwüchse um 0,6 bis 3,7 %-Punkte bzw. um 36 bis 231 % gesteigert werden (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014). LIND (2013) beschrieb Steigerungen des gewichteten Proteingehalts in Rotklee um 35 bis 51 % bei einer Verkürzung des Schnittintervalls von 6 auf 2 Wochen. Die im Jahr 2014 erzielten Stickstoffgehalte im Schnittgut entsprachen den Gehalten in Samen von Körnerleguminosen, die, geschrotet, etablierte organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau darstellen. Die N-Gehalte lagen leicht über denen von Erbsenschroten (ca. 3,5 %) und leicht unter den N-Gehalten von Lupinenschroten (ca. 5 bis 6 %), sie entsprachen den N-Gehalten von Ackerbohnschroten mit ca. 4 bis 5 % (BRAIG 2009). Gemessen am N-Gehalt ist es deshalb mittels der hier geprüften Futterleguminosen erstmals möglich, ein zu etablierten organischen Handelsdüngemitteln vergleichbares Produkt aus Futterleguminosenschnittgut, insbesondere Rotklee, Weißklee und Schwedenklee zu erzeugen.

Im Jahr 2013 konnte das gesetzte Ziel eines C/N-Verhältnisses ≤ 10 im Schnittgut nur zu den Schnittterminen im September und Oktober für die Arten Gelbklee und Weißklee erreicht werden. Im Jahr 2014 konnte dieses Ziel mit Rotklee, Schwedenklee und insbesondere mit Weißklee (gewichtetes C/N-Verhältnis 9,8) erreicht werden (Tab. 6). Das C/N-Verhältnis wurde zum einen durch den Schnittintervall, die Witterung und Jahreszeit sowie durch den Anteil an Beikräutern im Bestand beeinflusst. Die annualen Beikräuter im Bestand führten im Schnittgut von Rotklee, Schwedenklee und Weißklee des ersten Schnitts in 2013 und 2014 zu C/N-Verhältnissen über 12,5 bzw. 11 (Abb. 5). Ab Mitte Juni reagierten die Leguminosenarten auf die Langtagbedingungen und bildeten Blütenknospen aus. Diese Entwicklung dauerte im Juli nur 3 Wochen und führte zu C/N-Verhältnissen im Schnittgut zwischen 10,8 bis 11,9. Ein erhöhter Anteil des Stängels und insbesondere monokotyler Beikräuter im Schnittgut korreliert direkt mit dem C/N-Verhältnis und beeinflusst dadurch die Eignung des Futterleguminosenschnittguts als Düngemittel.

Die kumulierten Trockenmasseerträge an Schnittgut im Jahr 2013 betragen maximal 62 dt ha⁻¹ und blieben somit weit hinter den Erwartungen zurück. Dies war in erster Linie auf die

Frühjahrssaat und den späten Erntebeginn zurückzuführen. Unter ungünstigen Bedingungen (Bodentextur) beschreibt LIND (2013) jedoch ebenfalls reduzierte Trockenmasseerträge eines Rotklee-grasgemenges bei einem 14-tägigen Schnittregime von 60,4 dt ha⁻¹. Die im Jahr 2014 mit 11 Schnitten erzielten Trockenmasseerträge der Arten Rotklee und Weißklee von 96 bzw. 77 dt TM ha⁻¹ entsprechen den Angaben von KAHNT (2008) für Rotklee und Weißklee bei viermaligem Schnitt. Die TM-Erträge je Schnitt lagen stets unter 20 dt TM ha⁻¹ und zu 9 von 11 Schnittterminen zwischen 4 und 11 dt TM ha⁻¹. Tests im Jahr 2015 zeigten die technischen Herausforderungen für die Ernte und Aufnahme dieser geringen Menge Schnittguts auf dem. Die Ernte der Futterleguminosen erfolgte im Versuch mit einem Schlegelmulchsystem mit direkter Auffangeinrichtung des Schnittguts. Da bei praxisüblichen Ernteverfahren mit Bröckelverlusten durch Wenden und Aufnehmen des Schnittguts und während der Feldtrocknung zwischen 8 bis 15 % zu rechnen ist, sind diese Verluste von den im Versuch erzielten Ertragsleistungen der Futterleguminosen einzukalkulieren.

Die zwei Arten Rotklee und Weißklee zeigten in beiden Jahren jeweils die besten Ergebnisse. So konnten mit Rotklee die quantitativ höchsten TM- und N-Erträge mit dem Schnittgut erzielt werden.. Das Weißkleeschnittgut wies dagegen stets ein niedrigeres C/N-Verhältnis auf und somit eine höhere Qualität. Weißklee wird sich deshalb im Vergleich zu Rotklee besser als Ausgangsmaterial für ein Düngemittel eignen, da er weniger schnell altert und dadurch eine höhere Nutzungselastizität in Bezug auf den Anstieg des C/N-Verhältnisses im Spross aufweist. Die praktische Nutzung des Schnittguts erfordert jedoch eine präzise abgestimmte Erntetechnik, da die TM-Erträge von Weißklee im Mittel nur 7 dt ha⁻¹ betragen.

Der innovative Ansatz des Forschungsvorhabens mit einem engen Schnittregime (bis zu 11 Schnitte) junges, stickstoffreiches Futterleguminosenschnittgut zum Einsatz als Düngemittel zu gewinnen, konnte erstmals auf einem solch hohen Niveau erreicht werden. TM-Erträge zwischen 77 und 96 dt TM ha⁻¹ für Weißklee und Rotklee mit einem gewichteten C/N-Verhältnis von 9,8 bis 10,4 und durchschnittlichen N-Gehalten von 4,2 bis 4,4 % im Schnittgut waren bisher nicht nachgewiesen.

5.2 Stickstoffmineralisation

Der Zusammenhang zwischen dem C/N-Verhältnis im organischen Düngemittel und der N-Freisetzung aus diesem wurde schon in anderen Arbeiten beschrieben. Für die vorliegenden Untersuchungen konnte ein linearer Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizient von $r = 0,78$ in einem Bereich zwischen einem C/N-Verhältnis von 8,8 bis 16,1 zur Höhe der Netto-N-Mineralisation aus dem Schnittgut nachgewiesen werden. Entsprechend dieser

Funktion betrug die Netto-N-Mineralisation bei 20°C und 70 % Feldkapazität aus dem Futterleguminosenschnittgut bei einem C/N-Verhältnis von 10 ca. 44 % innerhalb von 28 bis 56 Tagen. Die gemessenen Werte lagen zwischen 33 und 52 % des Düngemittel-N aus Futterleguminosenschnittgut. MÖLLER & SCHULTHEIß (2014) gaben eine logarithmische Funktion ($y = -30,8 \ln(x) + 101$) für den Zusammenhang C/N-Verhältnis und der N-Freisetzung in Feld-, Gefäß- und Inkubationsversuchen für eine nicht näher definierte Temperatur wieder. Die entsprechende N-Freisetzung bei einem C/N-Verhältnis im Futterleguminosenschnittgut von 10 beträgt 30,1 % mit einer Streuung von ca. 5 bis 50 %, d.h. es fiel je nach C/N-Verhältnis im Schnittgut sehr unterschiedlich aus. Mit einer linearen Regression von $y = -4,23x + 71,77$ beschreibt LABER (2013) den Zusammenhang zwischen C/N-Verhältnis und N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngemitteln, die ein C/N-Verhältnis von kleiner 9 aufwiesen. Daraus errechnet sich eine Netto-N-Mineralisation von 29,47 % aus organischer Substanz mit einem C/N-Verhältnis von 10. Nach neueren Berechnungen von LABER (2016) errechnet sich eine Netto-N-Mineralisation von 46,2 bzw. 48,7 % für ein Düngemittel mit einem C/N-Verhältnis von 10. Die verschiedenen Regressionen bauen auf unterschiedlichen Bebrütungstemperaturen zwischen 8 und 25 °C sowie unterschiedlichen Böden auf, dabei findet die Bodenart, die Nährstoffverhältnisse im Boden, der Gehalt an organischer Substanz sowie die mikrobielle Aktivität des Bodens keinen Eingang in die Berechnung.

Die niedrigere N-Freisetzungsraten für Rotklee bei gleichem C/N-Verhältnis im Schnittgut, könnten mit höheren Lignin Konzentrationen in den Zellwänden im Vergleich zu Weißklee (BUXTON & HORNSTEIN 1984) und dem durch KIRCHMANN & BERGQVIST (1988) für Weißklee nachgewiesenen negativen Zusammenhang zwischen dem Ligningehalt im Schnittgut und der N-Mineralisation erklärt werden.

Im durchgeführten Inkubationsversuch mit Pellets aus Weißkleemehl wurde nach 28 Tagen eine Netto-N-Freisetzung von 107 bis 126 % der zugeführten N-Menge gemessen. Diese Ergebnisse einer N-Freisetzung von über 100 % der zugegeben N-Menge (Priming-Effekt) stehen konträr zu den Ergebnissen der ersten zwei Inkubationsversuche. Einen Priming-Effekt konnten MÜLLER & VON FRAGSTEIN UND NIEMDORFF (2003) in einem Freilanddüngerversuch ebenfalls nachweisen. 105 bis 127 % des mit den Handelsdüngemitteln Rizinusschrot und Gelbe Lupine gedüngten organischen gebundenen Stickstoffs wurden im brachliegenden Boden mikrobiell umgesetzt.

5.3 Pflanzenverträglichkeit

Vermahlendes Schnittgut aller getesteten Leguminosenarten und Schnitttermine zeigte eine keimhemmende Wirkung, insbesondere das Schnittgut von Schwedenklee und Gelbklee erwies sich von allen drei Schnittterminen als signifikant keimhemmend auf Kressesamen. Bei erhöhter Aufwandmenge von 39 bis 80 mg TM Schnittgut je g Boden war die keimhemmende Wirkung des Schnittguts aller Schnitttermine und Leguminosenarten signifikant. Für Körnerleguminosenschrote sowie Rapsextraktionsschrot als Düngemittel zur Saat ausgebracht sind ebenfalls keimhemmende Wirkungen ermittelt worden. Auch für die Düngemittel Rizinusschrot, Maltaflor, Vinasse und Blaue Lupine beschreiben ENGELMANN et al. (2008) einen geringeren Feldaufgang von Spinat nach einer Düngung zur Saat. Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe der Pflanzen beziehungsweise Zerfallsprodukte sind häufig genannte Ursachen. Pflanzenarten reagieren jedoch sehr unterschiedlich auf die keimhemmende Wirkung eines Düngemittels (RÜHRER et al. 2004). Auf Grund der heterogenen Wirkung des vermahlenden Futterleguminosenschnittguts einer Art in den Keimtests ist deshalb anhand der hier ermittelten Ergebnisse eine mindestens 7 tägige Karenzzeit nach der Ausbringung und Einarbeitung in den Boden bis zur Saat der Gemüsekultur zu empfehlen.

So zeigten eigene Beobachtungen im Feld, dass keine signifikante Reduzierung des Feldaufgangs von Spinat und Rote Bete nach einer Wartezeit von 7 bis 14 Tagen nach Ausbringung und Einarbeitung eines vermahlenden Futterleguminosenschnittguts verschiedener Arten zu verzeichnen war.

5.4 Einfluss von Futterleguminosendüngemitteln auf die Ertragsbildung

In allen Düngeversuchen führte der Einsatz von Futterleguminosenschnittgut als Düngemittel zum Anstieg der FM- und Trockenmasseerträge der gedüngten Gemüsekultur. Im Jahr 2013 waren die Ertragssteigerungen, bedingt durch geringere Mengen gedüngten Stickstoffs, geringer als im Jahr 2014. Das Schnittgut der drei verschiedenen Futterleguminosenarten unterschied sich in allen Düngeversuchen nur geringfügig in der Wirkung auf den Frischmasse und Trockenmasseertrag. Nur am Standort Taucha im Jahr 2015 konnten mit Spinat signifikante Unterschiede zwischen Rotklee- und Weißklee-Schnittgut ermittelt werden. Weißklee-Schnittgut führte zu einem Mehrertrag bei Spinat von 16 % an Frischmasse bzw. 13 % an Trockenmasse gegenüber gedüngtem Rotklee-Schnittgut.

Spinat

Die Ertragssteigerungen an Spross-Frischmasse lagen bei Spinat zwischen 19 und 25 % im Jahr 2014 und zwischen 110 und 112 % am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015. Der Einfluss der Düngung mit Futterleguminosenschnittgut auf die zweite Folgekultur Rukola war in den Jahren 2014 und 2015 fast gleich. Die Frischmasseerträge stiegen um 49 bis 55 % im Jahr 2014 und um 40 bis 55 % im Jahr 2015 an. Die Spinat Trockenmasseerträge stiegen durch die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut nicht im gleichen Maße an. Im Jahr 2014 betrug der TM-Ertragszuwachs 2 bis 5 % und im Jahr 2015 69 bis 77 %. Die Düngeversuche an den Standorten Stollsdorf und Taucha zeigten Ertragssteigerungen an Spinatfrischmasse von 87 bis 122 % bzw. 131 % bis 168 %. Der Mehrertrag an Schnittgut-Trockenmasse durch Düngung von Futterleguminosenschnittgut stieg auf 69 bis 106 % am Standort Stollsdorf und auf 95 bis 121 % am Standort Taucha. Diese hohe Steigerung der Erträge durch eine Düngung am Standort Taucha gegenüber der nicht gedüngten Kontrolle könnte mit der Einarbeitung des Strohs der Vorfrucht Winterweizen und der damit verbundenen Stickstoffimmobilisierung erklärt werden. Der Strohertrag der Vorfrucht lag bei ca. 50 dt TM ha⁻¹ und hat vermutlich nach Schätzungen von LABER (2009) ca. 35 kg N ha⁻¹ gebunden. Die N-Aufnahme des nicht gedüngten Spinats war mit 35 bzw. 36 kg N ha⁻¹ an den Standorten Stollsdorf und Taucha fast gleich hoch, obwohl die Wärmesumme des Bodens (5 cm) um ca. 230 °d und die Niederschlagsmenge um ca. 18 mm am Standort Taucha höher und die Kulturdauer um 7 Tage länger war.

Die Erträge des im Frühjahr ausgesäten Spinats waren meist höher als die Erträge des im August gesäten Spinats. Ursache dafür könnte die späte Saat des Spinats im Jahr 2015 in Taucha (14.08.2015) und Stollsdorf (31.08.2015) und die damit verbundene geringere Wärmesumme bzw. Summe der Globalstrahlung, die dem Spinat bis zur Ernte zur Verfügung stand. Denn der am 10.08.2014 am Standort Dresden-Pillnitz gesäte Spinat zeigte einen höheren Ertrag (nicht gedüngte Kontrolle 225 dt FM ha⁻¹) als der am Spinat 16.04.2015 am Standort Taucha (nicht gedüngte Kontrolle 208 dt FM ha⁻¹) gesäte Spinat. In diesem Fall ist insbesondere die Wärmesumme mit 950°Cxd um 70°Cxd höher, die Summe der Globalstrahlung jedoch wie bei allen Versuchen mit Aussaat im August niedriger (6240 zu 103.500 Wh m⁻²) gewesen.

Rukola

Die zweite Folgekultur, nach der Düngung, Rukola, zeigte im Jahr 2014 und 2015 Ertragssteigerungen der Frischmasse zwischen 44 bzw. 40 und 55 %. Die absoluten Erträge waren im Jahr 2015 trotz höherer gedüngter N-Mengen zur Vorkultur und längerer Kulturzeit geringer als im Jahr 2014. Ursache dafür war eine sehr heiße und trockene

Witterungsperiode in der Hauptwachstumszeit mit Temperaturen von über 35 °C und die fehlende Möglichkeit zu berechnen.

Rote Rübe

Im Folgenden soll der Einfluss einer Düngung von Roter Rübe auf deren FM- und TM-Ertrag beschrieben werden. Die zugrunde gelegten Daten beziehen sich ausschließlich auf den Rübenertrag, da dieser Teil des Rübenertrags vermarktungsrelevant ist. Trotz der höheren gedüngten N-Menge waren die Rübenerträge der mit Futterleguminosenschnittgut gedüngten Varianten im Jahr 2015 (Tab. A 8, Tab. A 12) gleichhoch bis teilweise niedriger als im Jahr 2014. Jedoch auch der Rübenertrag in der nicht gedüngten Kontrolle war um ca. 100 dt FM ha⁻¹ niedriger, dies zeigte sich in einer höheren Ertragssteigerung der gedüngten Varianten im Vergleich zum Jahr 2014. Die Rote Rübe reagierte auf eine Düngung mit Futterleguminosenschnittgut im Jahr 2014 mit ähnlichen Ertragszuwächsen wie der Spinat im gleichen Jahr. Diese lagen im Mittel zwischen 20 % nach Düngung von Rotkleeschnittgut und 32,5 % nach Düngung von Weißkleeschnittgut. Die TM-Erträge reagierten mit Steigerungen zwischen 14 und 27 % im Vergleich zur nicht gedüngten Kontrolle. Im Jahr 2015 waren die Ertragssteigerungen im Vergleich zum Vorjahr größer, im Vergleich zu den Ertragszuwächsen von Spinat im Jahr 2015 jedoch viel geringer. Die Rote Rübe reagierte sehr einheitlich auf die drei verschiedenen Varianten der Düngung mit Futterleguminosenschnittgut mit im Mittel einem Ertragsanstieg von 41 bis 44 %. Die TM-Erträge reagierten mit ca. 31 bis 34 % Ertragszuwachs im Vergleich zum Ertrag der nicht gedüngten Kontrolle.

5.5 N-Verwertung

Die N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs durch die Gemüsekultur ist unter anderem abhängig von der Mineralisationsgeschwindigkeit des Düngemittels, der Bodentemperatur, der Feuchtigkeit im Boden, der N-Bedürftigkeit der Kultur, dem Nmin-Vorrat im Boden, dem Zeitpunkt der Düngung sowie der Kulturdauer (ELERS 2003). Alle diese Parameter beeinflussen die N-Verwertung aus dem Düngemittel und führen dadurch zu einer großen Streuung der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen.

Die eigenen Ergebnisse zeigten scheinbare N-Verwertungen aus gedüngtem Futterleguminosenschnittgut durch Spinat zwischen 27 und 40 % bei Saat Mitte April. ENGELMANN et. al. (2008) ermittelten für Ende April gesäten Spinat eine N-Verwertung von ca. 19 % aus vor der Saat mit je 124 kg N ha⁻¹ gedüngtem Schrot der Blauen Lupine und 21 % aus Maltaflor. SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN (2011) erzielten mit Rotkleeschnittgut

(C/N-Verhältnis von 13) eine N-Verwertung durch Blumenkohl von 27 % und mit Luzerneschnittgut (C/N-Verhältnis von 10 und 12) eine N-Verwertung durch Grünkohl von 33 % bzw. Blumenkohl von 39 %.

Die Folgekultur Rukola konnte noch einmal abhängig von der Witterung und der Wasserverfügbarkeit 7 bis 27 % des zur Saat von Spinat gedüngten Stickstoffs verwerten. Die zwei Kulturen Spinat und Rukola zeigten 2014 nach insgesamt 106 Tagen Kulturzeit mit 48 bis 59 % eine ungefähr gleich hohe scheinbare N-Verwertung wie Rote Rübe nach 124 Tagen Kulturzeit mit 44 bis 73 % scheinbarer N-Verwertung aus Futterleguminosenschnittgut. Im Jahr 2015 konnte die Rote Rübe mit einer scheinbaren N-Verwertung von 42 bis 54 % aus dem Futterleguminosenschnittgut in 130 Tagen Kulturzeit im Mittel 10 % mehr gedüngten Stickstoff verwerten als die zwei Kulturen Spinat und Rukola mit zusammen 171 Tagen Kulturzeit. RILEY et. al. (2003) gaben für Rote Rübe eine scheinbare N-Verwertung von 8 % aus einer 4 Wochen nach der Saat ausgebrachten und eingearbeiteten Rotkleemulchmasse von 660 dt FM (ca. 280 kg N ha⁻¹). Die scheinbare N-Verwertung der Roten Rübe lag im Jahr 2015 in Düngestufe II ca. 13 %-Punkte unter der scheinbaren N-Verwertung in Düngestufe I (57 % N-Verwertung). Im Vorjahr (2014) stieg jedoch die scheinbare N-Verwertung der Roten Rübe durch eine höhere Menge gedüngten Stickstoffs zur Saat in Düngestufe II um 16 %-Punkte auf 62 % an. Die geringere scheinbare N-Verwertung der Roten Rübe in Düngestufe II im Jahr 2015 könnte ihre Ursache in der Aufspaltung der N-Gabe in zwei Portionen; zur Saat und 4 Wochen nach der Saat haben. Mit der Aufspaltung ging eine verkürzte Mineralisationszeit der zweiten Düngegabe bis zur Rübenernte einher. Außerdem konnte die zweite Düngegabe nicht so tief mit der Handhacke eingearbeitet werden wie die erste Gabe mit der Beetfräse. Eine flachere Einarbeitung bedeutet eine schnellere Austrocknung des Bodens und somit eine gebremste bis unterbrochene N-Mineralisation des in der zweiten Gabe gedüngten Stickstoffs. Dieses scheint nicht die alleinige Ursache gewesen zu sein, da die gleichen Verhältnisse zwischen Düngestufe I und II im Jahr 2014 und 2015 auch bei Spinat beobachtet werden konnten. Die höhere Gabe Stickstoff in Düngestufe II führte im Jahr 2014 zu einem Anstieg der scheinbaren N-Verwertung um 6 %-Punkte und im Jahr 2015 zu einem Rückgang um 7 %-Punkte. Die gedüngte Menge Stickstoff in Form von Futterleguminosenschnittgut zu Spinat betrug im Jahr 2014 in Düngestufe I 110 kg N ha⁻¹ und in Düngestufe II 168 kg N ha⁻¹. Im Jahr 2015 wurden in Düngestufe I 141 kg N ha⁻¹ und in Düngestufe II 281 kg N ha⁻¹ zur Saat von Spinat gedüngt. Die N-Menge in Düngestufe II wurde mit 150 % des N-Bedarfs und einer Verwertung von 50 % (2014) und 40 % (2015) berechnet. Die freigesetzte Stickstoffmenge (N_{min}-Vorrat im Boden) und die N-Mehraufnahme aus dem gedüngten Futterleguminosenschnittgut lag genau auf dem für die Düngestufe kalkulierten Niveau von 112 kg N ha⁻¹ verfügbaren Stickstoffs. Somit war der Spinat, gleiches gilt für die Rote Rübe,

in Düngestufe II über das Optimum zwischen Ertragssteigerung und N-Düngeaufwand hinaus mit Stickstoff versorgt, wodurch die scheinbare Verwertung des gedüngten Stickstoffs auch zurückging. Die N-Verwertung aus dem ^{15}N -markierten Futterleguminosenschnittgut war dagegen im Jahr 2015 in Düngestufe I und II gleich hoch, beziehungsweise zeigten die Ergebnisse einen minimalen Anstieg der N-Verwertung von 1,5 %-Punkte durch Spinat und 0,5 %-Punkte durch Rote Rübe von Stufe I zu Stufe II. Die N-Verwertung nach ^{15}N -Aufnahme gab stets eine niedrigere N-Verwertung gegenüber der scheinbaren N-Verwertung wieder. Daraus lässt sich ableiten, dass die Differenz zwischen N-Verwertung ermittelt mittels ^{15}N -markiertem Düngemittel und der scheinbaren N-Verwertung aus einer durch die N-Düngung verstärkten N-Mineralisation aus dem N-Vorrat des Bodens kommen musste. Die Gabe einer höheren N-Menge in Düngestufe II konnte jedoch die N-Freisetzung aus dem N-Vorrat des Bodens nicht im gleichen Verhältnis aktivieren wie die N-Menge in Düngestufe I.

In den Inkubationsversuchen wurden N-Freisetzungen aus Futterleguminosenschnittgut mit einem C/N-Verhältnis von 10 zwischen 30 und 50 % des applizierten Stickstoffs binnen 8 Wochen (56 Tagen) gemessen. Die im Feldversuch an Spinat ermittelte scheinbare N-Verwertung zeigt, dass die Kultur Spinat mit einer kurzen Kulturdauer von ca. 55 bis 60 Tagen in etwa die Menge mineralisierten Stickstoffs aus den Futterleguminosen auch aufnehmen kann. Gleiches gilt für die Gemüsekultur Rote Rübe mit einer Kulturzeit von ca. 125 Tagen. Die Rote Rübe konnte bei Düngung vor der Saat und vier Wochen nach der Saat (Düngestufe II) den aus den Düngemitteln mineralisierten Stickstoff aufnehmen, worauf auch die geringen Nmin-Vorräte im Boden von unter 25 kg N ha^{-1} nach der Ernte hindeuten.

5.6 Nährstoffaufnahme Spinat

Die Düngung mit jungem Futterleguminosenschnittgut, bedeutet eine Düngung mit allen essenziellen Pflanzennährstoffen, welche die Futterleguminose in einer typischen Kombination für vegetatives Wachstum bereits einmal aufgenommen hat. Voraussetzung dafür ist die vollwertige Versorgung des Bodens am Wachstumsstandort der Futterleguminose, um Ungleichgewichte bereits in der Nährstoffversorgung dieser zu vermeiden.

An allen drei Standorten wurde im Jahr 2015 vermahlenes Futterleguminosenschnittgut eingesetzt, welches stets ein C/N-Verhältnis ≤ 10 hatte. Ausnahme bildeten die Weißklee-Pellets mit einem C/N-Verhältnis von ca. 13. Die Düngung führte nicht automatisch zu gesteigerten Nährstoffgehalten im Spinat. Die verschiedenen Arten gedüngten Futterleguminosenschnittguts führten bei Spinat zu ähnlichen Gehalten, Aufnahmen und Verwertungen der Nährstoffe. Das Handelsdüngemittel Hornmehl führte zu einer anderen Nährstoffdynamik in Spinat. So waren die Ca-, Mg-, Na-Gehalte in mit Hornmehl gedüngtem Spinat an allen 3 Standorten stets höher, zum Teil signifikant höher, als in den mit Futterleguminosenschnittgut gedüngten Varianten. Obwohl die mit Hornmehl gedüngten Nährstoffmengen an Ca und Mg nur ca. 24 bzw. 5 % der mit dem Futterleguminosenschnittgut gedüngten Mengen entsprachen. Die mit Hornmehl gedüngte Na-Menge war ca 34 % höher als mit Futterleguminosenschnittgut.

Eine Phosphatdüngung, sowohl mit Hornmehl als auch mit Futterleguminosenschnittgut führte an allen Standorten zu niedrigeren P-Gehalten im Spinatspross. Insbesondere an den Standorten Stollsdorf und Taucha waren die P-Gehalte in mit Hornmehl gedüngtem Spinat am niedrigsten, am Standort Taucha signifikant. Trotz eines Phosphorgehalts von 1,9 mg je 100 g Boden (Versorgungsstufe A) des Bodens am Standort Stollsdorf führte eine organische P-Düngung in Höhe von 5 bis 53 kg P ha⁻¹ zu keiner Steigerung der P-Gehalte im Spinatspross. Auch die Steigerung der P-Menge von Düngestufe I zu Düngestufe II hatte keinen Effekt, am Standort Taucha führte diese Steigerung der Nährstoffgabe zum einem signifikanten Rückgang des P-Gehalts im Spinat. In ähnlichen Düngeversuchen mit jungem Luzerne- und Rotklee schnittgut (C/N-Verhältnis 10 bzw 13) in Blumenkohl und Grünkohl konnten die P-Gehalte ebenfalls nicht signifikant gesteigert werden (SORENSEN & THORUP-KRISTENSEN 2011)

Die eingesetzten Düngemittel führten nur an den Standorten Dresden-Gohlis und Taucha zum Anstieg der K-Gehalte im Spinatspross. Am Standort Stollsdorf führte die Düngung mit Hornmehl, Maltaflor und Futterleguminosenschnittgut zu einem signifikanten Rückgang der K-Gehalte in gedüngtem Spinatspross auf im Mittel 60 % der K-Gehalte in nicht gedüngtem Spinat. Obwohl auch die K-Gehalte des Bodens mit 6,2 mg K je 100 g Boden in die

Versorgungsstufe B eingeordnet werden. Das gedüngte Futterleguminosengut führte an allen Standorten, mit Ausnahme von Weißkleechnittgut am Standort Dresden-Gohlis, im Vergleich zu Hornmehl und Maltaflor zu höheren K-Gehalten im Spinatspross. Eine höhere Nährstoffgabe von bis zur 53-fachen K-Menge in den Düngemitteln aus Futterleguminosenschnittgut, im Vergleich zu Hornmehl, erhöhte die K-Gehalte an allen Standorten. Spinat gilt als sehr Kaliumbedürftig und reagiert nach ALT et. al. (1999) auf eine Kaliumdüngung mit einer Ertragssteigerung von bis zu 170 %.

Die Mikronährstoffgehalte im Spinatspross konnten durch eine Düngung mit Hornmehl oder Futterleguminosenschnittgut nicht systematisch über beide Dünge­stufen und die drei Standorte hinweg gesteigert werden. Tendenziell waren die Mikronährstoffgehalte in gedüngtem Spinat an allen drei Standorten niedriger, am Standort Stollsdorf für alle Mikronährstoffe signifikant. Trotz der mit Hornmehl geringen Mengen gedüngten Cu, Mn, B und Mo, wies der mit Hornmehl gedüngte Spinat die zum Teil signifikant höchsten Gehalte an Kupfer, Mangan und Zink auf.

Die Aufnahme von Makronährstoffen, gleichzusetzen mit dem Entzug von Makronährstoffen durch das Erntegut, war an allen Standorten durch eine Düngung mit Futterleguminosenschnittgut, am Standort Stollsdorf zum Teil nur in Dünge­stufe II, im Vergleich zur Nährstoffaufnahme von nicht gedüngtem Spinat erhöht. An den Standorten Dresden-Gohlis und Taucha führte eine Düngung mit Hornmehl mit Ausnahme der Nährstoffe Phosphor und Kalium zu den höchsten Makronährstoffaufnahmen. Am Standort Stollsdorf führte die Düngung mit Weißkleechnittgut, ebenfalls mit Ausnahme des Nährstoffs P, zu den höchsten Makronährstoffaufnahmen. Die Mikronährstoffaufnahme war an den drei Standorten nicht einheitlich. Am Standort Stollsdorf war die Mikronährstoffaufnahme durch nicht gedüngten Spinat am höchsten, am Standort Taucha bestätigte sich dies nur für die Mikronährstoffe Zink, Bor und Eisen und am Standort Dresden-Gohlis nur für die Elemente Mangan und Molybdän.

5.7 Scheinbare Verwertung der gedüngten Nährstoffe durch Spinat

Die scheinbare Nährstoffverwertung von Spinat der zur Saat mit Hornmehl und Futterleguminosenschnittgut gedüngten Mengen ist zwischen den Düngemitteln mit Ausnahme von Stickstoff, auf Grund der unterschiedlichen gedüngten Mengen nicht vergleichbar. Ungeachtet dessen lässt sich an der scheinbaren Nährstoffverwertung ablesen, in welchem Maß die gedüngte Menge des Nährstoffs den Entzug durch die Gemüsekultur ausgleicht. Die Bemessung der gedüngten Menge Futterleguminosenschnittgut am Stickstoffgehalt des Schnittguts und des N-Bedarfs von Spinat, unter Beachtung einer

geschätzten N-Verwertung von 40 %, hat den Nährstoffentzug aller gemessenen Nährelemente durch Spinat an allen Standorten ausgeglichen. Eine Ausnahme bildete die K-Verwertung durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis, diese lag für die Düngemittel Schwedenklee- und Weißklee-Schnittgut in Düngestufe I und auch für Schwedenklee-Schnittgut in Düngestufe II über 100 %. Somit hat der Spinat den zusätzlichen Bedarf an Kalium aus dem Bodenvorrat gedeckt.

Die Düngung von Spinat mit Hornmehl konnte den Nährstoffentzug insbesondere an Magnesium und Kalium zum Teil auch an Phosphor und Calcium nicht ausgleichen. Am Standort Dresden-Gohlis hat der mit Hornmehl gedüngte Spinat zusätzlich bis ca. 225 kg Kalium, bis zu 25 kg Magnesium und Calcium aus dem Bodenvorrat aufgenommen. Der zusätzliche, durch das Düngemittel Hornmehl, nicht ausgeglichene Nährstoffentzug für Kalium war am Standort Taucha etwas niedriger und lag bei bis zu 170 kg.

Die niedrige Verwertung der gedüngten Nährstoffe durch Spinat am Standort Stollsdorf lag sicher an einer zu späten Saat und einer für den geernteten Ertrag zu hohen Düngegabe.

Die Ergebnisse der Nährstoffverwertung zeigen eine im Vergleich zu Hornmehl harmonischere und den Nährstoffentzug ausgleichende Düngung von Spinat mit vermahlenem Schnittgut von Rotklee, Schwedenklee und Weißklee.

5.8 Ökonomische Bewertung

Die ökonomische Bewertung der Herstellungskosten eines Düngemittels aus Futterleguminosenschnittgut ist von sehr vielen Faktoren abhängig speziell von der verfügbaren Trocknungstechnik. Ohne zusätzliche technische Trocknung steigt die Gefahr 35 % und mehr der hochwertigen Nährstoffe durch Bröckelverluste während der Feldtrocknung und Bergung zu verlieren.

Die Trocknung angewelkten Schnittguts in Grünguttrocknungsanlagen mit fossilen Energieträgern kostete im Jahr 2016 ca. 150 € je Tonne TM (15 € dtTM^{-1}). Der Einsatz von Wärmepumpentechnik bzw. Biogasabwärme in einer Ballentrocknungsanlage kann nach Angaben von SCHIERACK (2015) den Preis je dt TM Schnittgut auf ca. 6,50 bzw. 3,93 € absenken. Einen bedeutenden Einfluss auf die Trocknungskosten haben der Strompreis und die Möglichkeit für die Nutzung der Abwärme den Bonus der Kraft-Wärmekopplung aus Biogasanlagen zu erhalten. Die Berechnungen von SCHIERACK (2015) basierten auf den im Forschungsvorhaben erhobenen TM-Erträgen von Rotklee und Weißklee, sowie den Nährstoffgehalten im Schnittgut.

Weitere eigene Tests im Jahr 2015 verdeutlichten die Herausforderungen junges Futterleguminosenschnittgut (Weißklee) mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 60 % in

geeignete Rundballen zu pressen. Trotz einer Pressung mit Weichkern (Rundballenpresse: John Deere 590) war es nicht möglich den Rundballen in einer Rundballenrocknungsanlage mit Biogasabwärme (Firma. Climair) bei einer Luftstromtemperatur von ca. 40 °C zu trocknen. Die große Herausforderung bestand darin, dass strukturarme Weißklee schnittgut in Rundballen mit einer Pressdichte von ca. 110 kg TM je m³ zu pressen. Der Testballen hatte eine zu hohe Pressdichte von ca. 325 kg TM je m³.

Der resultierende Preis je Kilogramm Stickstoff wird neben den Kosten der Trocknung zusätzlich stark durch die Kosten der Nährstoffrückführung für Phosphat und Kalium beeinflusst. Die Ergebnisse von SCHIERACK (2015) geben für pelletiertes Futterleguminosenschnittgut Kosten von 5,10 bis 6,25 € je Kilogramm Düngemittel-N für eine Trocknung in Rundballen mit Biogasabwärme wieder. Eigene Test im Jahr 2016 deuten auf einen Stickstoffpreis von ca. 7 bis 8 € je kg N. Diese Kosten entsprechen dem Einkaufspreis für Hornmehl (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014). In den Kosten für das Düngemittel aus Futterleguminosenschnittgut von ca. 5,10 bis 8 € je kg N ist ein Wert von ca. 1,50 € für die Nährstoffe P, K und Ca enthalten. Diese Kosten müssen für eine bedarfsgerechte Düngung von Gemüse bei Einsatz von Hornmehl auf dessen Einkaufspreis aufgeschlagen werden, da Hornmehl vergleichsweise wenig P, K, und Ca enthält.

Werden die Kosten für die Ausbringung eines Düngemittels nur nach dem Stickstoffgehalt im berechnet, so ist für Hornmehl, auf Grund des höheren N-Gehalts, mit ca. der Hälfte der Ausbringungskosten im Vergleich zu Düngemitteln aus Futterleguminosenschnittgut zu kalkulieren (MÖLLER & SCHULTHEIß 2014). Die Kosten für die Ausbringung von Düngemitteln aus Futterleguminosenschnittgut, berechnet nach dem Stickstoffgehalt, sind somit vergleichbar mit dem Ausbringungskosten für Ackerbohenschrot.

6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Mit den Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass es mit den beiden Futterleguminosenarten Rotklee und Weißklee möglich ist ein stickstoffreiches Düngemittel mit einem gewichteten N-Gehalt von $\geq 4,2\%$ und einem C/N-Verhältnis von ≤ 10 zu gewinnen. Ausreichend Niederschlag in der Hauptwachstumszeit von Mai bis August begünstigen TM-Erträge der Futterleguminosen von ca. 70 bis 100 dt TM ha⁻¹. Voraussetzung für die Eignung des Futterleguminosenschnittguts zur Düngung von Gemüse ist die Realisierung eines engen Schnittregimes mit Schnittintervallen im Sommer von ca. zwei Wochen, sowie eine fein abgestimmte Ernte- und Trocknungstechnik für Grüngut. Rotklee- und Weißklee-Schnittgut, von beschriebener Qualität, lässt sich in praxisüblichen Pelletpressen zu einem streufähigen Düngemittel verarbeiten.

Eine Trocknung des angewelkten Schnittguts in Rundballentrocknungsanlagen erfordert Rundballen mit einer Pressdichte von maximal 110 kg TM m⁻³. Das Pressen von Rundballen mit einer Pressdichte von maximal 110 kg TM m⁻³ stellte, auf Grund der Struktur des jungen Futterleguminosenschnittguts von Rot- und Weißklee eine Herausforderung dar, die in eigenen Tests mit Weißklee-Schnittgut nicht die gewünschte vollständige Trocknung des Ballens in einer Ballentrocknungsanlage zur Folge hatte

Wird das Düngemittel in den Boden eingearbeitet und feucht gehalten, so ist mit einer N-Freisetzung von 30 bis 50 % innerhalb von 8 Wochen zu rechnen. Das in diesem Projekt entwickelte Düngemittel kann erfolgreich zum Düngen von Gemüse eingesetzt werden. Die in Feldversuchen ermittelte N-Verwertung aus Futterleguminosenschnittgut durch Spinat in einer Kulturzeit von ca. 55 bis 60 Tagen entsprach bei Saat im April 30 bis 40 % der zur Saat gedüngten N-Menge. Der Folgekultur Rukola konnten ca. 10 bis 20 % der zur Vorkultur gedüngten N-Menge angerechnet werden. Rote Rübe konnte in einer Kulturzeit von 125 Tagen ca. 50 bis 60 % der zur Saat gedüngten N-Menge verwerten. Das Düngemittel sollte nicht direkt zur Saat ausgebracht und eingearbeitet werden, um reduzierte Feldaufgänge zu vermeiden. Eine Karenzzeit von mind. einer Woche zwischen Ausbringung und Aussaat der Gemüsekultur zur ist zu empfehlen.

Unter Beachtung der N-Verwertung bei der Berechnung der Düngegabe führte der Einsatz der entwickelten Düngemittel in über 80 % der Düngeversuche zu äquivalenten, zum Teil höheren, Erträgen im Vergleich zu Hornmehl.

Eine sehr späte Düngung im Jahr, gegen Ende August, wird nicht empfohlen. Eine Düngung von 166 kg N ha⁻¹ in einem Düngeversuch Mitte August, mit anschließender Aussaat von Spinat Ende August, führte Ende Oktober zu N_{min}-Werten im Boden von 100 kg N_{min} ha⁻¹ in einer Tiefe von 0 bis 60 cm.

Erfolgte die Berechnung der Nährstoffgabe nach N-Bedarf der Kultur, sowie dem N-Gehalt im Düngemittel so konnte, der Bedarf an Makro- und Mikronährstoffen von Spinat in Feldversuchen des Projektes durch die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut, unter einer Ausnahme, vollständig gedeckt werden. An einem Standort lag der Kaliumentzug durch Spinat um 2 bis 13 %-Punkte über der gedüngten K-Menge zur Saat. Für die Nährelemente N, P, Mg; S, Na, Ca, Mn, Zn, B, Cu, Mo lag die Aufnahme durch Spinat stets unter 100% der zur Saat gedüngten Menge. Die Netto-Nährstoffzufuhr speziell der Grundnährstoffe sollte in die Nährstoffbilanzierung einfließen.

Die Eigenschaften und die entsprechende Handhabung des entwickelten Düngemittels sind vergleichbar mit dem im ökologischen Landbau etablierten Handelsdüngemittel aus Ackerbohenschrot. Das pelletierte Düngemittel kann mit praxisüblicher Technik ausgebracht (z.B. Kastenstreuer) und in das Saat- bzw. Pflanzbett eingearbeitet werden (z.B. Beetfräse).

7 Geplante und erreichte Ziele

Das Vorhaben konnte, wie geplant umgesetzt, werden. Das Ziel ein aus dem System des Ökologischen Landbaus stammendes stickstoffreiches Düngemittel auf Basis von Futterleguminosen zu entwickeln, ist erfolgreich erreicht worden. Es konnte somit ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, welches ermöglicht ein ökologisch erzeugtes Düngemittel aus dem Ökologischen Landbau, für den Ökologischen Landbau zu produzieren.

Die in den Feldversuchen erhobenen Daten reichten jedoch nicht aus, um den Praktikern des ökologischen Landbaus ein einfaches Kalkulationsmodell zur Berechnung des optimalen Schnitzeitpunktes für die Ernte der Futterleguminosen an die Hand geben zu können. An dieser Stelle besteht zur Entwicklung eines Kalkulationsschemas weiterer Forschungsbedarf. Das Ziel, den Einfluss einer Düngung zur Saat von Rote Rübe auf eine Folgekultur auf Ertrag und N-Verwertung, konnte 2014 und 2015 auf Grund sehr inhomogener Bestände der Folgekultur Rukola nach Überwinterung nicht erfolgreich untersucht werden.

Weiterführende Fragen betreffen:

1. Die Evaluierung verschiedener Rotklee- und Weißkleearten hinsichtlich TM-Ertrag, N-Ertrag und N-Freisetzung zur Gewinnung des Schnittguts als Düngemittel
2. Technische Entwicklung und Erprobung eines nachhaltigen und ökonomischen Ernte- und Trocknungsverfahrens für sehr junges, strukturarmes Schnittgut
3. Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zum Einsatz von Futterleguminosendüngemitteln mit der Bewässerung im geschützten Anbau

8 Zusammenfassung

Im ökologischen Gemüsebau werden hohe Nährstoffmengen benötigt, um qualitativ hochwertiges Gemüse zu produzieren. Der Nährstoffbedarf kann bisher nicht ausreichend durch ökologisch erzeugte Düngemittel gedeckt werden. Zum Einsatz kommen überwiegend organische Reststoffe aus der konventionellen Landwirtschaft. An dieser Stelle setzte das Forschungsvorhaben mit dem Ziel an, ein stickstoffreiches Düngemittel aus Futterleguminosenschnittgut für den ökologischen Gemüsebau zu entwickeln und in Spinat und Rote Rübe zu erproben. Es sollte junges Schnittgut mit einem C/N-Verhältnis von ≤ 10 geerntet werden, welches nach Einarbeitung in den Boden schnell mineralisiert.

Die Untersuchungen gliederten sich in vier Teile. Im ersten Teil der Arbeit wurden in Feldversuchen im Jahr 2013 auf dem Versuchsfeld der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden am Standort Pillnitz zehn Futterleguminosen Arten hinsichtlich der TM-Erträge, N-Erträge sowie das C/N-Verhältnis im Schnittgut bei hoher Schnitthäufigkeit mit bis zu sieben Schnitten evaluiert. Die vier geeignetsten Arten Rotklee, Schwedenklee, Weißklee und Luzerne wurden für weitere Untersuchung des Folgejahres (2014) ausgewählt. Erneut wurde die Schnittgutertragsleistung sowie die innere Qualität (N-Gehalt, C/N-Verhältnis) der Futterleguminosen bei einem Schnittregime mit bis zu 11 Schnitten untersucht. Mit Rotklee und Weißklee konnten die signifikant höchsten TM-Erträge mit 77 bzw. 96 dt TM ha⁻¹ und die niedrigsten gewichteten C/N-Verhältnisse im Schnittgut von 10,4 bzw. 9,8 erzielt werden.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde die Pflanzenverträglichkeit des Futterleguminosenschnittguts der im Jahr 2013 evaluierten Futterleguminosenarten geprüft. Die Untersuchungen erfolgten in Form von Keimtests mit Kresse auf Filterpapier, Sand und Boden unter der Zugabe von vermahlenem Schnittgut. Die Tests zeigten eine zum Teil erhebliche keimhemmende Wirkung des vermahlenden Schnittgutes der zehn Arten, wobei die Wirkung nahezu unabhängig vom Schnitttermin zu verzeichnen war.

Das im Jahr 2013 und 2014 gewonnene Futterleguminosenschnittgut wurde zusätzlich auf seine N-Mineralisation in drei verschiedenen Inkubationsversuchen bei 20°C über eine Dauer von 112 Tage untersucht. Es wurde jeweils die Geschwindigkeit sowie die Höhe der N-Freisetzung in Abhängigkeit von der Futterleguminosenart, dem Schnitttermin, dem C/N-Verhältnis im Schnittgut, dem Vermahlungsgrad bzw. einer Pelletierung des Schnittgutes geprüft. Es konnte ein enger negativer Zusammenhang zwischen dem C/N-Verhältnis im Schnittgut und der Geschwindigkeit und Höhe der Netto-N-Mineralisation ermittelt werden. Bei einem C/N-Verhältnis von ca. 10 im Schnittgut wurden innerhalb von 4 bis 8 Wochen ca. 35 bis 50 % des im Schnittgut enthaltenen organisch gebundenen Stickstoffs mineralisiert.

Das Pressen des vermahlenden Schnittguts führte im Inkubationsversuch zu einer langsameren, jedoch nach 28 Tagen zu einer in Teilen höheren N-Mineralisation der gepressten 6 mm Pellets im Vergleich zum nicht verpressten Material. Die höhere N-Mineralisation aus zu Pellets gepresstem Schnittgut bestätigte sich auch in einem Düngeversuch mit Spinat durch höhere Erträge und eine höhere N-Aufnahme des Spinats im Freilandexperiment. Die Unterschiede waren jedoch weder im Bebrütungsversuch noch im Feldversuch signifikant.

Im dritten Teil der Arbeit wurde die Düngewirkung des Futterleguminosenschnittguts auf den Ertrag, die N-Aufnahme, die scheinbare N-Verwertung, die N-Verwertung mittels ¹⁵N markiertem Schnittgut sowie die Nährstoffversorgung und Aufnahme durch Spinat und Rote Rübe untersucht. Getestet wurde vermahlendes Schnittgut von Rotklee, Schwedenklee, Weißklee, Weißklee-Pellets sowie Hornmehl und Maltaflor in zwei Düngegraden jeweils in Feldversuchen mit einer ungedüngten Kontrolle zum Vergleich. Die Versuche wurden an drei verschiedenen Standorten (Dresden-Gohlis, Stollsdorf Gemeinde Königfeld, Taucha bei Leipzig) auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Böden in den Jahren 2014 bzw. 2015 durchgeführt.

Die Frisch- und Trockenmasseerträge des Spinats wurden durch den Einsatz des Futterleguminosenschnittguts als Düngemittel an allen Standorten signifikant gesteigert. Die Steigerungen der FM-Erträge bei Spinat lagen zwischen ca. 20 % im Jahr 2014 und bis zu 120 % im Jahr 2015. Die FM-Erträge der Roten Rübe stiegen durch eine Düngung mit Futterleguminosenschnittgut im Jahr 2014 um ca. 20 bis 30 % und im Jahr 2015 um ca. 43 %. Auch die Folgekultur Rukola reagierte auf die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut zur Vorkultur Spinat durch einen Anstieg der FM-Erträge um im Mittel 49 %. Die scheinbare N-Verwertung der zur Saat gedüngten N-Menge durch Spinat war bei Aussaat im April mit im Mittel 33 % höher als bei Aussaat im August mit 13 bis 25 %. Rote Rübe konnte im Mittel im Jahr 2014 54 % und im Jahr 2015 50 % der mit Futterleguminosenschnittgut zur Saat gedüngten N-Menge verwerten. Die Bestimmung der N-Verwertung mit ¹⁵N markiertem Futterleguminosenschnittgut im Jahr 2015 zeigte bei Spinat mit ca. 26 % und Rote Rübe mit ca. 33 % stets geringere Werte als die scheinbare N-Verwertung. Dieses Ergebnis deutet auf einen Priming-Effekt der N-Mineralisation im Boden durch einer Einarbeitung von Futterleguminosenschnittgut hin.

Der vierte Teil des Forschungsvorhabens widmete sich der Untersuchung der Nährstoffaufnahme und Verwertung der zur Saat gedüngten weiteren Nährstoffe aus den Düngemitteln durch Spinat. Die im Jahr 2015 in den Düngeversuchen an den Standorten Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha gewonnenen Spinatproben wurden auf alle Makro-

und Mikronährstoffgehalte hin untersucht. Die Ergebnisse der drei Standorte fielen sehr verschieden aus. Die Nährstoffgehalte im Spinatspross konnten insbesondere bei Kalium durch die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut gesteigert werden. Die Düngung von Spinat mit Hornmehl führte trotz der geringsten Nährstoffgabe zur Saat zu den höchsten Ca- und Mg-Gehalten im Spinatspross. Eine P-Düngung mit Futterleguminosenschnittgut von bis zu 53 kg ha⁻¹ führte zu keinem Anstieg der P-Gehalte im Spinatspross, obwohl der Boden die Versorgungsstufe A aufwies. Die Düngung mit Hornmehl führte dagegen stets zu niedrigeren P-Gehalten im Spinatspross im Vergleich zu mit Futterleguminosenschnittgut gedüngtem Spinat. Mit der Düngung von Futterleguminosenschnittgut konnte ein Kaliumentzug in Höhe von 338 kg K ha⁻¹ durch Spinat vollständig ausgeglichen werden.

Die Makronährstoffaufnahme im Spinatspross wurde allerdings durch die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut stets gesteigert. Die Mikronährstoffaufnahme wurde dagegen durch eine Düngung, bis auf wenige Ausnahmen, reduziert.

Der Makro- und Mikronährstoffentzug des Spinats konnte durch die Düngung mit Futterleguminosenschnittgut vollständig ausgeglichen werden. Die höchsten Nährstoffverwertungsraten wurden mit maximal 82 % für P, 80 % für K (Dresden-Gohlis z.T. über 100 %), 66 % S, 40 % Ca und 98 % für Mg durch Spinat ermittelt.

Das Ziel der Entwicklung eines ökologisch erzeugten Düngemittels konnte erreicht werden. Es steht somit ein Verfahren zur Verfügung: ein regional erzeugbares stickstoffreiches organisches Düngemittel auf Basis von Futterleguminosen zu erzeugen und erfolgreich einzusetzen

9 Literaturverzeichnis

- ALT, D., LADEBUSCH, H. & O. MELZER, 1999: long-term trial with amounts of phosphorus, potassium, and magnesium applied to vegetable crops. *ActaHortic.* 506.2
- B & S, 2009: Technische und ökonomische Gesichtspunkte bei der Errichtung einer Ballentrocknungsanlage, Vortrag Unternehmensberatung und Schulung für den ländlichen Raum GmbH am 08.12.2009 in Bayreuth.
- BRAIG, M., 2009: Organische Handelsdünger, In: George, E. & R. Egbahl (Hrsg.), *Ökologischer Gemüsebau- Handbuch für Beratung und Praxis.* Bioland Verlag, Mainz, 2.Aufl., 36
- BROCK, C., WILBOIS, K.-P., BECKER, K., FISCHINGER, S., SPIEGEL, A.-K., SPORY, K., WILLIGES, U., ZERGER, U. & G. LEITHOLD, (Hrsg.) 2011: Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis- Ergebnisse der Dialogworkshops bei der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 15.-18.März 2011, Giessen
- BROESHART, H., 1974: Quantitative measurement of fertilizer uptake by crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22(1974), 245-254.
- BUXTON, D. R. & J. S. HORNSTEIN, 1984: Cell-Wall Concentration and Components in Stratified Canopies of Alfalfa Birdsfoot Trefoil, and Red Clover. *Crop Science*, 26 (1), 180-184
- EEG 2012: Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG 2012. http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/47585.php, eingesehen am 16.09.2011.
- ELERS, B., 2003: Stickstoffmanagement im Ökologischen Gemüsebau. *Landinfo*, (4), 74-76
- ENGELMANN, P., SCHEU-HELGERT, M., SCHUBERT, W., RASCHER, B. & A. VON MANSBERG, 2008: Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und Verlängerung der Anbausaison. Projekt:03OE031, www.orgprints.org
- FEUSTEL, I., GOTTSCHLICH, A., JURK, S., KURZE, T. (2009): Planung des Anbaus, der Erntetechnologie sowie Gestaltung der Trocknungsanlage zur Luzernehalbheutrocknung in der Koberland e.G. Niederalbertsdorf. Projektbericht Fakultät Landbau/Landespflege, HTW Dresden.
- KAHNT, G., 2008: Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. DLG Verlag, Frankfurt a.M., 125

- KIRCHMANN, H. & R. BERGQVIST, 1989: Carbon and nitrogen mineralization of white clover plants (*Trifolium repens*) of different age during aerobic incubation with soil. Z. Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde 152, S. 281-286
- LABER, H. 2003: Düngung. In: George, E & Eghbal, R. (Hsrg.): Ökologischer Gemüsebau-Handbuch für Beratung und Praxis; 1.Aufl., Bioland Verlag; Mainz
- LABER, H. 2009: Düngung In: George, E. & R. Egbahl (Hrsg.): Ökologischer Landbau - Handbuch für Beratung und Praxis, 2.Aufl., Bioland Verlags GmbH, Mainz
- LABER, H., 2013: Zügiger Umsatz bei vielen der im Brutversuch getesteten organischen Handelsdünger. Versuche im deutschen Gartenbau, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz
- LABER, H., 2016: N- und S-Mineralisation von Gemüse-Ernterückständen variiert deutlich. Versuche im Deutschen Gartenbau 2016, Gemüsebau. www.hortigate.de
- LIND, P., 2013: Schnittintervall und Schnitthöhe: Einfluss auf Ertragsbildung und Qualität von Klee grasbeständen. In: Köpke, U. (Hrsg.): Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, Bd. 38, 50-51
- LÜTKE-BESSELMANN, K., FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P., 1999: Nährstoffversorgung ökologischer Gemüsebaubetriebe – eine Bestandsaufnahme. In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau „Vom Rand zur Mitte“, H. Hoffmann & S. Müller (Hrsg.), Verlag. Dr. Köster, Berlin, 266-269.
- LUX, G., 2015: Einfluss organischer Düngung auf Ertrag, symbiotische N₂-Fixierung und Nährstoffaufnahme von Saatplatterbse (*Lathyrus sativus* L.), Ackerbohne (*Vicia faba* L.) und Rotklee (*Trifolium pratense* L.) sowie auf Ertrag eines nachfolgenden Winterweizens (*Triticum aestivum* L.), Dissertation, Berlin, 29-30.
- MICHEL, E., SCHMIDT, F., GNIECHWITZ, J., CREDO, M., VOIGT, A., 2011: Pflanzenbauliche Umstrukturierung zur nachhaltigen und gewinnorientierten Wirtschaftsweise des landwirtschaftlichen Betriebes „Michael Steglich“. Projektbericht Planungsprojekt Ökologischer Landbau, Fakultät Landbau/Landespflege, HTW Dresden.
- MÖLLER, K. & U. SCHULTHEIß, 2014: Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau, Charakterisierung und Empfehlung für die Praxis, Verlag KTBL, Darmstadt, 206
- MÜLLER, T., v. FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P., 2004: Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüsebau. Abschlussbericht des Vorhabens 02OE169.
- MÜLLER, T., v. FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P., 2005: Vegetabile Düngemittel: I. N-Umsatz im Boden bei Inkubationsexperimenten und in Feldversuchen. 205-208.

- RÜHRER, J., FRIEDEL, J. K. & B. FREYER, 2004: Vegetabile Dünger in der Anzucht von Salbei (*Salvia off.*) und Liebstöckel (*Levisticum off.*) im Ökologischen Landbau, Tagungsband zur Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen 2004, Jena, 7.-9. Sept
- SCHIERACK, C., 2015: Verfahrensbeschreibung zur Herstellung von Futterleguminosen-Düngepellets und deren ökonomische Bewertung. Masterarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät Landbau/ Umwelt/ Chemie, 2015
- SORENSEN, J. N. & K. THORUP-KRISTENSEN, 2011: Plant-based fertilizers for organic vegetable production. J.Plant Nutr. Soil Science, 174, 321-332
- V. FRAGSTEIN UND NIEMSDORFF, P., Müller, T., 2005: Vegetabile Düngemittel: II. Auswirkung auf Ertrag und N-Aufnahme von Radieschen und Weißkohl. 209-212.
- WILBOIS, K.-P., SCHMIDTKE, K. 2009: Bodenfruchtbarkeit verbessern: geeignete Strategien für den Ökologischen Landbau erforschen – Managementempfehlungen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit in ökologischen Marktfruchtbetrieben. In: Forschung im Bundesprogramm Ökologischer Landbau – Schwerpunkt: Bodenfruchtbarkeit “-Einhefter in der Zeitschrift Ökologie und Landbau 152, Heft 4/2009, 7-10.

10 Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Tab. 25: Übersicht aller im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen zum Projekt

Jahr	Veranstaltung	Ort	Art der Veröffentlichung
2015	58. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V.	Braunschweig	Vortrag, Beitrag Tagungsband
2015	Fachexkursion des Arbeitskreis ökologischer Gemüsebau, Gäa e.V., unter der Leitung von Frau Ines Franz	Dresden	Vortrag, Versuchsbegehung
2015	Fachseminar Ökologischer Gemüsebau, Gäa e.V., Bioland	Wilsdruff	Vortrag
2016	Fachseminar Ökologischer Gemüsebau, Gäa e.V., Bioland	Wilsdruff	Vortrag
2016	Kongress "Hülsenfrüchte - Wegweiser für eine nachhaltige Landwirtschaft", BLE	Berlin	Poster, Beitrag Tagungsband
09/2016	Artikel: „Gemüse mit Leguminosen fütterm“	Bioland Fachmagazin	

11 Anhang

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tab. A 1: Untersuchungsparameter und –methoden für die Bodennährstoffgehalte in den Oberböden (0 bis 30cm) der Standorte Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015	138
Tab. A 2: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des zweiten Schnitttermins im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$).....	138
Tab. A 3: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des dritten Schnitttermins im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältniss im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$).....	139
Tab. A 4: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des letzten Schnitttermins der jeweiligen Art im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)	139
Tab. A 5: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut ausgewählter Futterleguminosenarten und Hornmehl im Jahr 2013 in Abhängigkeit des C/N-Verhältnisses im Schnittgut, sowie der Partikelgröße des vermahlenden Schnittguts (C/N-Verhältnisse im Schnittgut: Alexandrinerklee 15,0, Steinklee 13,2, Weißklee 8,8 und Hornmehl 3,1), Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)	140
Tab. A 6: Sprosserträge an FM und TM von jeweils Spinat, Rukola und der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	140
Tab. A 7: Zweifaktorielle Auswertung von FM- und TM-Erträgen von Spinat, Rukola (nach Spinat) und der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	141
Tab. A 8: FM und TM-Erträge von Rote Rübe, Standort Dresden- Gohlis 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	142
Tab. A 9: Zweifaktorielle Auswertung von FM und TM-Erträgen der Roten Rübe, Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	142

Tab. A 10:FM- und TM-Sprosserträge von jeweils Spinat, Rukola und Gesamterträge an FM und TM der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	143
Tab. A 11:Zweifaktorielle Auswertung von FM- und TM-Erträgen von Spinat, Rukola (nach Spinat) und Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	143
Tab. A 12:FM- und TM-Erträge von Rote Rübe, Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	144
Tab. A 13:Zweifaktorielle Auswertung der FM- und TM-Erträge von Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	144
Tab. A 14:FM- und TM-Sprosserträge von Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	145
Tab. A 15:Zweifaktorielle Auswertung der FM- und TM-Erträge von Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	145
Tab. A 16:N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur, Summe der N-Aufnahme Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	146
Tab. A 17:Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur sowie Summe der N-Aufnahme von Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	146
Tab. A 18:N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur und Summe der N-Aufnahme von Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	147
Tab. A 19:Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur und Summe der N-Aufnahme Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	147
Tab. A 20:N-Aufnahme im Spross durch Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	148
Tab. A 21:Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	148

Tab. A 22:Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	149
Tab. A 23:Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2014 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	149
Tab. A 24:Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	150
Tab. A 25:Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	150
Tab. A 26:Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge zur Saat in Düngeversuchen mit Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	151
Tab. A 27:Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge zur Saat in Düngeversuchen mit Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	151
Tab. A 28: Mit Hilfe einer ^{15}N -Markierung bestimmte N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs in den Kulturen Spinat und Rukola als zweite Folgekultur und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	152
Tab. A 29: Zweifaktorielle Auswertung der mit Hilfe einer ^{15}N -Markierung bestimmten N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs in den Kulturen Spinat und Rukola als zweite Folgekultur und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	152
Tab. A 30:Mit Hilfe einer ^{15}N -Markierung bestimmte Anteil des gedüngten Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Spross von Spinat und Rukola (als zweite Folgekultur) und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	153
Tab. A 31:Zweifaktorielle Auswertung des mit Hilfe einer ^{15}N -Markierung bestimmten Anteil des gedüngten Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Spross von Spinat	

und Rukola (als zweite Folgekultur) und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	153
Tab. A 32: Einfluss des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	154
Tab. A 33: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	154
Tab. A 34: Einfluss des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	155
Tab. A 35: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	155
Tab. A 36: Einfluss des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	156
Tab. A 37: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*	156
Tab. A 38: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngte Nährstoffmengen in Düngestufe II an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015	157
Tab. A 39: Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	158
Tab. A 40: Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)	159
Tab. A 41: Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten	

Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	160
Tab. A 42:Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee- Pellet und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	161
Tab. A 43:Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee- Pellet und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$).....	162
Tab. A 44: Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey- Test, $\alpha < 0,05$).....	163
Tab. A 45:Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee- Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha <$ $0,05$)	164
Tab. A 46:Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey- Test, $\alpha < 0,05$).....	165
Tab. A 47:Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey- Test, $\alpha < 0,05$).....	166

Tab. A 1: Untersuchungsparameter und –methoden für die Bodennährstoffgehalte in den Oberböden (0 bis 30cm) der Standorte Dresden-Gohlis, Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015

Bodenparameter	Untersuchungsmethode
pH-Wert	VdLUFA Methodenbuch I A 5.1.1
Humus	VdLUFA Methodenbuch I A 4.1.3.1
Phosphor	VdLUFA Methodenbuch I A 6.2.1.1
Kalium	VdLUFA Methodenbuch I A 6.2.1.1
Schwefel	DIN EN ISO 11885
Magnesium	VdLUFA Methodenbuch I A 6.2.4.1
Natrium	DIN EN ISO 11885
Calcium	DIN EN ISO 11885
Eisen	VDLUFA Bd. I A 7.6.1
Mangan	VDLUFA Bd. I A 7.2.1
Zink	DIN EN ISO 11885
Bor	VDLUFA Bd. I A 7.1.1
Kupfer	VDLUFA Bd. I A 7.6.1
Molybdän	VDLUFA Bd. I A 7.4.1

Tab. A 2: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des zweiten Schnitttermins im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)

Inkubationstage		0 Tage ^{n.T.} *	14 Tage	28 Tage ^{n.n.} *	56 Tage ^{n.n.}	112 Tage ^{n.T.}
Leguminosenart	C/N-Verhältnis	Netto-N-Mineralisation [%]				
Luzerne	16,1	1,3 cd	5,4 f	8,8 d	16,4 d	20,5 a
Rotklee	11,4	1,5 c	14,7 abc	20,8 bcd	24,8 bcd	30,7 ab
Weißklee	11,1	2,2 a	18,7 a	46,7 a	30,9 bc	35,9 b
Persischer Klee	12,9	1,9 b	14,4 abc	43,5 a	28,4 bcd	31,2 ab
Alexandrinerklee	12,4	0,8 d	7,5 ef	29,9 b	18,4 cd	21,4 a
Schwedenklee	11,8	1,7 bc	18,5 ab	50,4 a	37,2 b	40,8 b
Steinklee	13,7	1,5 c	13,7 bcd	25,1 bc	30,7 bc	33,5 ab
Hornklee	15,0	2,2 a	8,9 def	11,7 d	18,1 cd	30,2 ab
Gelbklee	14,1	1,0 c	10,8 cde	16,7 cd	52,1 a	25,8 ab

^{n.T.}- nach Transformation; ^{n.n.}- Daten nicht normalverteilt; *- Tukey-Test, $\alpha < 0,05$

Tab. A 3: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des dritten Schnitttermins im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältniss im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Inkubationstage C/N- Verhältnis	Netto-N-Mineralisation [%]				
		0 Tagen*	14 Tage	28 Tage ^{n.n.}	56 Tage ^{n.n.}	112 Tage
Luzerne	13,8	2,4 b	12,9 cd	14,2 d	19,1 n.s.	25,2 bc
Rotklee	12,2	1,4 d	12,8 cd	17,4 cd	19,6	23,6 bc
Weißklee	12,5	1,7 cd	16,0 abc	20,4 bc	31,4	35,0 ab
Persischer Klee	14,1	1,9 c	10,7 cd	15,8 cd	21,5	24,3 bc
Alexandrinerklee	13,3	1,4 d	8,0 d	11,7 d	23,8	20,3 c
Schwedenklee	11,8	1,8 cd	21,0 ab	23,5 ab	31,2	39,1 a
Steinklee	12,1	2,0 c	14,4 bcd	16,8 cd	28,0	30,3 abc
Hornklee	13,5	1,4 d	13,6 cd	16,0 cd	15,1	29,5 abc
Gelbklee	9,3	3,2 a	21,9 a	26,9 a	36,6	37,5 a

^{n.n.}- Daten nicht normalverteilt; *- Tukey-Test, $\alpha < 0,05$

Tab. A 4: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut verschiedener Futterleguminosenarten des letzten Schnitttermins der jeweiligen Art im Jahr 2013 in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis im Schnittgut, Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)

Leguminosenart	Inkubationstage C/N- Verhältnis	Netto-N-Mineralisation [%]				
		0 Tage ^{n.T.}	14 Tage	28 Tage ^{n.n.}	56 Tage ^{n.n.}	112 Tage
Luzerne	10,1	2,2 a	18,5 ab	23,3 bc	30,1 ab	33,5 c
Rotklee	10,7	1,2 c	17,3 b	19,8 c	26,5 ab	33,8 c
Weißklee	8,8	1,6 a	24,7 ab	35,4 a	49,2 a	45,7 ab
Persischer Klee	-	-	-	-	-	-
Alexandrinerklee	15,0	1,9 ab	7,5 c	7,4 d	16,7 b	14,8 d
Schwedenklee	13,2	1,7 abc	19,7 ab	21,6 c	30,8 ab	36,0 bc
Steinklee	10,2	1,3 bc	21,5 ab	22,8 bc	32,8 ab	38,4 bc
Hornklee	-	-	-	-	-	-
Gelbklee	9,6	1,7 abc	27,5 a	30,2 ab	35,9 ab	49,0 a

^{n.T.}- nach Transformation; ^{n.n.}- Daten nicht normalverteilt

Tab. A 5: Netto-N-Mineralisation aus Schnittgut ausgewählter Futterleguminosenarten und Hornmehl im Jahr 2013 in Abhängigkeit des C/N-Verhältnisses im Schnittgut, sowie der Partikelgröße des vermahlenden Schnittguts (C/N-Verhältnisse im Schnittgut: Alexandrinerklee 15,0, Steinklee 13,2, Weißklee 8,8 und Hornmehl 3,1), Inkubation bei 20°C, N-Gabe: 1 mg N je g TM Boden (Scheffe-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Leguminosenart	Inkubationstage Partikel- größe [mm]	Netto-N-Mineralisation [%]				
		0 Tage ^{n.T.} *	14 Tage ^{n.n.} *	28 Tage ^{n.n.} *	56 Tage ^{n.n.}	112 Tage ^{n.n.}
Weißklee	< 0,2	1,0 c	27,66 bc	32,0 ab	46,35 a	27,1 cd
Alexandriner	< 0,2	1,0 c	4,153 e	10,5 d	17,58 de	20,7 d
Steinklee	< 0,2	1,0 c	21,9 cd	32,2 ab	31,07 abcd	45,7 abcd
Hornmehl	< 0,2	1,9 a	43,18 a	38,1 ab	39,92 abc	59,0 ab
Weißklee	< 2	1,2 bc	32,15 b	37,7 ab	22,49 bcde	52,4 abc
Alexandriner	< 2	1,2 bc	4,461 e	10,8 cd	6,508 e	20,4 d
Steinklee	< 2	1,0 c	19,76 d	25,6 ab	14,93 de	37,0 bcd
Hornmehl	< 2	1,9 a	41,19 a	39,9 a	52,29 a	64,6 a
Weißklee	< 6	1,3 b	31,09 b	33,4 ab	42,48 ab	53,1 ab
Alexandriner	< 6	1,241 bc	6,141 e	10,18 d	19,59 cde	25,02 d
Steinklee	< 6	1,127 bc	24,09 cd	25,15 bc	33,3 abcd	41,19 abcd

^{n.T.}- nach Transformation; ^{n.n.}- Daten nicht normalverteilt

Tab. A 6: Sprosserträge an FM und TM von jeweils Spinat, Rukola und der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat		Rukola (nach Spinat)		Spinat + Rukola	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Kontrolle	0	439 n.s.	57,4 n.s.	179 c	23,6 b	618 b	81,0 n.s.
Hornmehl	I	533	57,7	218 bc	27,6 ab	751 ab	85,3
Rotklee	I	544	61,2	253 ab	32,1 ab	797 a	93,3
Schwedenklee	I	566	59,9	254 ab	33,4 a	820 a	93,2
Weißklee	I	513	60,0	232 abc	29,1 ab	745 ab	89,1
Hornmehl	II	495	59,1	278 ab	35,0 a	772 a	94,1
Rotklee	II	535	59,5	300 a	35,5 a	834 a	95,1
Schwedenklee	II	528	57,9	262 ab	32,4 ab	789 a	90,3
Weißklee	II	535	57,6	300 a	34,7 a	835 a	92,3

Tab. A 7: Zweifaktorielle Auswertung von FM- und TM-Erträgen von Spinat, Rukola (nach Spinat) und der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Spinat		Rukola (nach Spinat)		Spinat + Rukola	
	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Hornmehl	514 n.s.	58,4 n.s.	248 n.s.	31,3 n.s.	762 n.s.	89,7 n.s.
Rotklee	540	60,4	276	33,8	762	94,2
Schwedenklee	547	58,9	258	32,9	805	91,7
Weißklee	524	58,8	266	31,9	790	90,7
Düngestufe						
Düngestufe I	539 n.s.	59,7 n.s.	239 b	30,6 b	778 n.s.	90,2 n.s.
Düngestufe II	523	58,5	285 a	34,4 a	808	92,9

*- Keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Dünge­stufe

Tab. A 8: FM und TM-Erträge von Rote Rübe, Standort Dresden- Gohlis 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Rübe		Blatt		Rübe + Blatt	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Kontrolle	0	725 c	86,8 b	229 b	38,9 n.s.	954 d	186,9 n.s.
Hornmehl	I	811 bc	96,0 ab	264 ab	38,5	1075 dc	204,1
Rotklee	I	829 bc	96,2 ab	288 ab	45,3	1117 bcd	204,4
Schwedenklee	I	805 bc	90,8 b	267 ab	39,5	1071 cd	198,0
Weißklee	I	858 bc	103,3 ab	260 b	38,8	1119 bcd	212,4
Hornmehl	II	857 bc	96,8 ab	318 ab	43,3	1175 bc	205,5
Rotklee	II	915 abc	106,5 ab	295 ab	40,6	1210 abc	218,5
Schwedenklee	II	964 ab	105,8 ab	357 a	47,8	1321 abc	214,3
Weißklee	II	1063 a	116,0 a	357 a	46,3	1420 a	233,5

Tab. A 9: Zweifaktorielle Auswertung von FM und TM-Erträgen der Roten Rübe, Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	Rübe		Blatt		Rübe + Blatt	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Hornmehl		834 b	96,9 n.s.	291 n.s.	40,9 n.s.	1229 n.s.	149,3 n.s.
Rotklee		872 ab	102,0	291	43,0	1239	153,1
Schwedenklee		884 ab	99,0	312	43,7	1281	151,5
Weißklee		961 a	109,8	309	42,5	1300	155,8
Düngestufe							
Düngestufe	I	826 b	95,8 b	270 b	40,5 n.s.	1195 b	148,7 n.s.
Düngestufe	II	959 a	108,8 a	332 a	44,4	1334 a	156,0

*- keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 10: FM- und TM-Sprosserträge von jeweils Spinat, Rukola und Gesamterträge an FM und TM der Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat		Rukola (nach Spinat)		Spinat + Rukola	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Kontrolle	0	208 e	20,2 c	50 d	8,7 b	259 d	28,9 d
Hornmehl	I	316 d	25,7 c	69 cd	11,0 ab	384 c	36,8 cd
Rotklee	I	397 bcd	34,4 ab	71 cd	10,7 ab	468 bc	45,1 bc
Schwedenklee	I	391 cd	34,1 ab	78 bc	11,7 ab	469 bc	45,9 ab
Weißklee	I	392 cd	35,8 a	77 bc	11,9 ab	470 bc	47,7 ab
Hornmehl	II	338 d	27,9 bc	107 a	14,7 a	446 c	42,7 bc
Rotklee	II	474 abc	37,9 a	93 abc	13,0 ab	568 ab	50,9 ab
Schwedenklee	II	490 a	40,3 a	103 ab	14,6 a	593 a	55,0 a
Weißklee	II	486 ab	35,8 a	102 ab	13,2 a	587 a	49,0 ab

Tab. A 11: Zweifaktorielle Auswertung von FM- und TM-Erträgen von Spinat, Rukola (nach Spinat) und Summe von Spinat und Rukola am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat		Rukola (nach Spinat)		Spinat + Rukola	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Hornmehl		327 b	26,8 b	88,0 n.s.	12,9 n.s.	415 b	39,7 b
Rotklee		436 a	36,1 a	82,2	11,9	518 a	48,0 a
Schwedenklee		441 a	37,2 a	90,4	13,2	531 a	50,4 a
Weißklee		439 a	35,8 a	89,6	12,6	529 a	48,4 a
Düngestufe							
Düngestufe	I	374 b	32,5 b	73,8 b	11,4 b	448 b	43,9 b
Düngestufe	II	447 a	35,5 a	101,3 a	13,9 a	548 a	49,4 a

*- keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 12: FM- und TM-Erträge von Rote Rübe, Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Rübe		Blatt		Rübe + Blatt	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Kontrolle	0	619 c	87,3 b	136 e	23,5 b	755 c	178,7 c
Hornmehl	I	748 bc	99,2 ab	145 de	23,0 b	894 bc	199,5 bc
Rotklee	I	920 ab	123,0 a	175 bcd	29,8 ab	1095 a	239,2 ab
Schwedenklee	I	908 ab	121,9 a	182 abcd	29,6 ab	1090 a	234,9 ab
Weißklee	I	888 ab	110,1 ab	168 cde	28,2 ab	1056 ab	223,5 abc
Hornmehl	II	853 ab	117,8 ab	207 ab	33,9 a	1060 ab	236,6 ab
Rotklee	II	976 a	130,3 a	212 ab	31,4 a	1189 a	247,4 a
Schwedenklee	II	948 a	124,4 a	203 abc	29,8 ab	1151 a	247,0 a
Weißklee	II	999 a	123,8 a	218 a	31,5 a	1218 a	244,8 ab

Tab. A 13: Zweifaktorielle Auswertung der FM- und TM-Erträge von Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	Rübe		Blatt		Rübe + Blatt	
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]*	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Hornmehl		801 n.s.	107,1 n.s.	176 n.s.	28,48 * ^s	977 b	216,6 .
Rotklee		894	115,1	194	30,59	1078 a	231,5
Schwedenklee		875	116,8	193	29,71	1056 ab	234,9
Weißklee		883	114,6	193	29,83	1076 ab	231,9
Düngestufe							n.s
Düngestufe	I	826 b	110,1 n.s.	168 b	27,64	983 b	220,2 .
Düngestufe	II	901 a	116,7	210 a	31,67	1108 a	236,7

^{n.n.}- Daten nicht normalverteilt; ^s - Scheffe-Test; *^s- signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Düngestufe

*- keine signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 14: FM- und TM-Sprosserträge von Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Standort:		-Stollsdorf-		-Taucha-	
Düngemittel	Düngestufe	Spinat			
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Kontrolle	0	65,2 e	6,7 d	95,8 f	13,4 f
Hornmehl	I	74,3 e	8,0 cd	230,2 cde	28,1 cde
Rotklee	I	99,3 cde	9,7 bcd	188,4 e	23,6 e
Weißklee	I	124,3 abcd	11,7 abc	207,3 de	26,5 cde
Weißklee-Pellet	I	131,0 abc	13,0 abc	202,3 e	24,3 de
Maltaflor	I	109,3 bcde	10,2 abcd	-	-
Hornmehl	II	79,0 cde	8,1 bcd	300,3 ab	34,9 a
Rotklee	II	144,3 abc	13,1 abc	255,2 bcd	28,9 bcd
Weißklee	II	164,8 a	16,0 a	306,8 a	33,0 ab
Weißklee-Pellet	II	149,5 ab	13,5 ab	273,4 abc	30,1 abc
Maltaflor	II	111,2 bcde	10,6 abcd	-	-

Tab. A 15: Zweifaktorielle Auswertung der FM- und TM-Erträge von Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Standort:		-Stollsdorf-		-Taucha-	
Düngemittel	Düngestufe	Spinat			
		FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]	FM- Ertrag [dt FM ha ⁻¹ n.n.]	TM- Ertrag [dt TM ha ⁻¹]
Hornmehl		76,7 c	8,1 c	265,3 a	31,5 a
Rotklee		121,8 ab	11,4 ab	221,8 b	26,2 c
Weißklee		144,5 a	13,9 a	257,0 a	29,7 ab
Weißklee-Pellet		140,3 a	13,2 ab	237,9 ab	27,2 bc
Maltaflor		110,3 b	10,4 bc	-	-
Düngestufe					
Düngestufe	I	107,7 b	10,5 b	207,1 b	25,6 b
Düngestufe	II	129,8 a	12,3 a	283,9 a	31,7 a

n.n.- nicht normalverteilt; *- keine signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 16: N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur, Summe der N-Aufnahme Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	N-Aufnahme im Spross [kg N ha ⁻¹]			Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	
Kontrolle	0	128,2 c	50,5 b	178,7 c	194,5 e
Hornmehl	I	149,1 bc	63,8 ab	212,9 bc	227,4 cde
Rotklee	I	157,2 abc	73,0 ab	230,2 abc	256,3 bcde
Schwedenklee	I	166,6 abc	79,7 a	246,2 ab	220,5 de
Weißklee	I	167,2 abc	68,8 ab	236,1 abc	251,5 bcde
Hornmehl	II	206,7 a	86,6 a	293,3 a	296,2 abc
Rotklee	II	173,0 abc	87,1 a	260,2 ab	276,6 abcd
Schwedenklee	II	197,1 ab	77,4 ab	274,5 ab	304,7 ab
Weißklee	II	183,5 abc	89,3 a	272,8 ab	329,3 a

Tab. A 17: Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur sowie Summe der N-Aufnahme von Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	N-Aufnahme im Spross [kg N ha ⁻¹]			Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	
Hornmehl		177,9 n.s.	75,2 n.s.	253,1 n.s.	264,3 n.s.
Rotklee		165,1	80,1	245,2	268,0
Schwedenklee		181,8	78,5	260,4	263,8
Weißklee		175,4	79,1	254,4	291,1
Düngestufe					
Düngestufe	I	160,0 b	71,3 b	231,4 b	237,6 b
Düngestufe	II	190,1 a	85,1 a	275,2 a	303,8 a

keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Dünge-
stufe

Tab. A 18: N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur und Summe der N-Aufnahme von Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	N-Aufnahme im Spross [kg N ha ⁻¹]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Kontrolle	0	50,2 d	24,3 e	74,5 d	139,9 b
Hornmehl	I	90,1 c	31,9 de	122,0 c	213,5 ab
Rotklee	I	100,5 bc	34,0 cde	134,5 bc	232,5 a
Schwedenklee	I	100,3 bc	35,6 cde	136,0 bc	235,7 a
Weißklee	I	105,8 bc	37,5 cde	143,2 bc	203,6 ab
Hornmehl	II	118,4 abc	53,4 a	171,8 ab	250,3 a
Rotklee	II	124,4 abc	41,7 bcd	166,0 ab	275,8 a
Schwedenklee	II	143,9 a	49,1 ab	193,0 a	270,8 a
Weißklee	II	128,5 ab	45,0 abc	173,5 ab	266,6 a

Tab. A 19: Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat, Rukola als zweite Folgekultur und Summe der N-Aufnahme Spinat und Rukola sowie durch Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	N-Aufnahme im Spross [kg N ha ⁻¹]			
		Spinat	Rukola nach Spinat*	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Hornmehl		98,6 a		141,3 a	199,8 b
Rotklee		111,9 b		149,7 b	227,5 ab
Schwedenklee		121,0 ab		163,4 ab	243,3 a
Weißklee		114,4 b		155,7 ab	245,0 a
Düngestufe					
Düngestufe	I	97,3 b		132,1 b	219,3 n.s.
Düngestufe	II	125,7 a		173,0 a	238,5

keine signifikanten Wechselwirkungen: Düngemittel x Düngestufe

* signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 20: N-Aufnahme im Spross durch Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat	
		N-Aufnahme [kg N ha ⁻¹]	
Standort:		-Stollsdorf- n.n.	-Taucha-
Kontrolle	0	35,9 e	34,8 f
Hornmehl	I	44,7 de	109,1 bc
Rotklee	I	54,9 bcde	68,3 e
Weißklee	I	58,9 bcd	86,6 cde
Weißklee- Pellet	I	66,2 abc	77,8 de
Maltaflor	I	53,2 bcde	-
Hornmehl	II	45,9 cde	169,4 a
Rotklee	II	68,0 ab	105,3 cd
Weißklee	II	83,0 a	134,2 b
Weißklee- Pellet	II	66,7 abc	111,1 bc
Maltaflor	II	61,6 abcd	-

n.n.- nicht normalverteilt

Tab. A 21: Zweifaktorielle Auswertung der N-Aufnahme im Spross durch Spinat an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat	
		N-Aufnahme [kg N ha ⁻¹]	
Standort:		-Stollsdorf-	-Taucha-
Hornmehl		45,3 c	139,3 a
Rotklee		61,5 ab	86,8 c
Weißklee		71,0 a	110,4 b
Weißklee-Pellet		66,5 ab	94,4 bc
Maltaflor		57,4 bc	-
Düngestufe			
Düngestufe	I	55,6 b	85,5 b
Düngestufe	II	65,1 a	130,0 a

keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 22: Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	scheinbare N-Verwertung [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Hornmehl	I	23,8 n.s.	15,2 n.s.	39,0 n.s.	35,2 n.s.
Rotklee	I	26,5	20,5	47,0	52,8
Schwedenklee	I	35,0	26,6	61,6	22,2
Weißklee	I	37,2	17,4	54,6	69,2
Hornmehl	II	44,8	20,6	65,3	54,4
Rotklee	II	26,8	21,8	48,6	45,6
Schwedenklee	II	41,1	16,0	57,1	61,3
Weißklee	II	33,0	23,1	56,1	75,0

Tab. A 23: Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2014 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	scheinbare N-Verwertung [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Hornmehl		34,3 n.s.	17,9 n.s.	52,2 n.s.	48,4 n.s.
Rotklee		26,6	21,2	47,8	52,1
Schwedenklee		38,1	21,3	59,4	44,2
Weißklee		35,1	20,3	55,4	72,6
Faktor: Düngestufe					
Düngestufe	I	30,6 n.s.	19,9	50,6 n.s.	45,8 n.s.
Düngestufe	II	36,4	20,4	56,8	62,0

*Keine signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 24: Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	scheinbare N-Verwertung [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Hornmehl	I	28,4 n.s.	6,7 n.s.	35,1 n.s.	61,3 n.s.
Rotklee	I	35,7	6,9	42,6	61,8
Schwedenklee	I	35,6	8,1	43,7	63,9
Weißklee	I	39,5	9,4	48,8	42,5
Hornmehl	II	24,2	12,9	37,2	46,0
Rotklee	II	26,4	6,2	32,5	45,3
Schwedenklee	II	33,3	8,8	42,1	43,6
Weißklee	II	27,8	7,4	35,2	42,2

Tab. A 25: Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge durch Spinat und Rukola als zweite Folgekultur sowie Rote Rübe in Düngeversuchen am Standort Dresden- Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	scheinbare N-Verwertung [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
Hornmehl		26,3 n.s.	9,8 n.s.	36,1 n.s.	53,7 n.s.
Rotklee		31,0	6,5	37,6	53,5
Schwedenklee		34,5	8,4	42,9	53,8
Weißklee		33,7	8,4	42,0	42,4
Düngestufe					
Düngestufe	I	34,8 a	7,8 n.s.	42,6 n.s.	57,4 n.s.
Düngestufe	II	27,9 b	8,8	36,7	44,3

*Keine signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 26: Scheinbare N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge zur Saat in Düngeversuchen mit Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	scheinbare N-Verwertung [%]	
	-Stollsdorf-	-Taucha-
Hornmehl I	5,3 bc	44,8 a
Rotklee I	11,5 abc	20,2 d
Weißklee I	13,9 abc	31,2 bc
Weißklee-Pellet I	18,3 a	25,9 cd
Maltaflor I	10,4 abc	- -
Hornmehl II	3,0 c	40,5 ab
Rotklee II	9,7 abc	21,2 d
Weißklee II	14,2 ab	30,0 cd
Weißklee-Pellet II	9,3 abc	23,0 cd
Maltaflor II	7,8 abc	- -

Tab. A 27: Zweifaktorielle Auswertung der scheinbaren N-Verwertung aus der gedüngten N-Menge zur Saat in Düngeversuchen mit Spinat am Standort Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	scheinbare N-Verwertung [%]	
	-Stollsdorf-	-Taucha-
Hornmehl	4,2 b	42,7 a
Rotklee	10,6 ab	20,7 c
Weißklee	14,1 a	30,6 b
Weißklee-Pellet	13,8 a	24,5 c
Maltaflor	9,1 ab	- -
Düngestufe		
Düngestufe I	11,9 a	30,5 n.s.
Düngestufe II	8,8 b	28,7

* Keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 28: Mit Hilfe einer ¹⁵N-Markierung bestimmte N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs in den Kulturen Spinat und Rukola als zweite Folgekultur und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Spinat	Rukola nach Spinat	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe)	Rote Rübe (Blatt)	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)
		N-Verwertung [%]					
Rotklee	I	20,2 b	4,3 b	24,4 b	25,5 n.s.	7,8 n.s.	33,3 n.s.
Schwedenklee	I	30,1 a	5,7 ab	35,9 a	22,2	8,8	31,0
Weißklee	I	28,7 a	6,1 ab	34,8 a	22,0	7,5	29,5
Rotklee	II	24,5 ab	5,0 ab	29,5 ab	26,3	8,6	34,9
Schwedenklee	II	27,0 ab	7,0 a	34,1 a	24,1	9,2	33,3
Weißklee	II	25,4 ab	7,0 a	32,4 a	24,7	9,8	34,5

Tab. A 29: Zweifaktorielle Auswertung der mit Hilfe einer ¹⁵N-Markierung bestimmten N-Verwertung des gedüngten Stickstoffs in den Kulturen Spinat und Rukola als zweite Folgekultur und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Faktor: Düngemittel		Spinat	Rukola nach Spinat ^{n.T.}	Spinat + Rukola	Rote Rübe (Rübe)	Rote Rübe (Blatt)	Rote Rübe (Rübe+ Blatt)	
		N-Verwertung [%]						
Rotklee		22,3 b	4,6 b	27,0 b	25,9 n.s.	8,2 n.s.	34,1 n.s.	
Schwedenklee		28,6 a	6,4 ab	35,0 a	23,1	9,0	32,1	
Weißklee		27,1 a	6,5 a	33,6 a	23,4	8,6	32,0	
Faktorstufe								
Düngestufe	I	26,3 n.s.	5,4 n.s.	31,7 n.s.	23,2 n.s.	8,0 n.s.	31,3 n.s.	
Düngestufe	II	27,8	5,6	33,4	23,5	8,3	31,8	

^{n.T.}-nach Transformation, * keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Dünge-
stufe

Tab. A 30: Mit Hilfe einer ¹⁵N-Markierung bestimmte Anteil des gedüngten Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Spross von Spinat und Rukola (als zweite Folgekultur) und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	Anteil Düngemittel-N am Spross-N [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat	Rote Rübe (Rübe)	Rote Rübe (Blatt)
Rotklee	I	26,1 c	16,7 b	20,9 b	17,9 b
Schwedenklee	I	42,4 ab	22,0 b	25,0 b	22,3 b
Weißklee	I	34,4 bc	20,7 b	24,6 b	20,7 b
Rotklee	II	50,3 a	31,6 a	36,2 a	33,9 a
Schwedenklee	II	50,5 a	37,8 a	43,8 a	39,0 a
Weißklee	II	53,3 a	38,5 a	42,1 a	38,5 a

Tab. A 31: Zweifaktorielle Auswertung des mit Hilfe einer ¹⁵N-Markierung bestimmten Anteil des gedüngten Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Spross von Spinat und Rukola (als zweite Folgekultur) und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Faktor: Düngemittel		Anteil Düngemittel-N am Spross N [%]			
		Spinat	Rukola nach Spinat ^{n.n.}	Rote Rübe (Rübe) ^{n.n.}	Rote Rübe (Blatt) ^{n.n.}
Rotklee		38,2 b	24,1 b	28,5 b	25,9 b
Schwedenklee		46,5 a	29,9 a	34,4 a	30,6 a
Weißklee		43,8 ab	29,6 a	33,4 ab	29,6 ab
Faktor: Dünge- stufe					
Dünge- stufe	I	34,3 b	19,8 b	23,5 b	20,3 b
Dünge- stufe	II	42,4 a	24,8 a	28,6 a	25,6 a

^{n.n.}: Daten nicht normalverteilt; *keine signifikante Wechselwirkung Düngemittel x Dünge-
stufe

Tab. A 32: Einfluss des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dünge- stufe	N_{\min} [kg N ha ⁻¹]					
		Spinat		Rukola (nach Spinat)		Rote Rübe	
Tiefenstufe		0 bis 30 cm	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}	0 bis 30 cm ^{n.T.}	30 bis 60 cm ^{n.T.}
Kontrolle	0	19,2 n.s.	12,3 ab	19,3 n.s.	8,6 n.s.	13,9 n.s.	5,1 n.s.
Hornmehl	I	15,8	13,9 ab	17,6	7,7	26,0	4,8
Rotklee	I	13,8	12,4 ab	17,2	8,9	20,6	3,5
Schwedenklee	I	13,7	9,9 b	21,4	6,9	19,3	4,0
Weißklee	I	15,4	11,1 ab	16,3	9,1	15,2	4,9
Hornmehl	II	24,9	21,5 ab	17,8	14,0	16,0	4,4
Rotklee	II	17,8	14,3 ab	21,9	6,6	27,8	5,5
Schwedenklee	II	18,7	20,3 ab	22,2	12,3	14,8	6,5
Weißklee	II	17,9	24,3 a	14,3	15,7	24,0	3,7

^{n.T.}- nach Transformation

Tab. A 33: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2014; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dünge- stufe	N_{\min} [kg N ha ⁻¹]					
		Spinat		Rukola (nach Spinat)		Rote Rübe	
Tiefenstufe		0 bis 30 cm ^{n.T.}	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}	0 bis 30 cm ^{n.T.}	30 bis 60 cm ^{n.n.}
Hornmehl		20,3 n.s.	17,7 n.s.	17,7 ab	10,8 n.s.	21,0 n.s.	5,0 n.s.
Rotklee		15,8	13,3	19,5 ab	7,8	24,2	4,5
Schwedenklee		16,2	15,1	21,8 a	9,6	17,1	5,3
Weißklee		16,7	17,7	15,3 b	12,4	19,6	4,3
Düngestufe							
Düngestufe	I	15 b	11,8 b	18,1 n.s.	8,2 n.s.	20,3 n.s.	4,5 n.s.
Düngestufe	II	20 a	20,1 a	19,0	12,2	20,7	5,0

^{n.T.}- nach Transformation; ^{n.n.}- nicht normalverteilt, *- keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Düngestufe

Tab. A 34: Einfluss des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel	Dügestufe	N_{\min} [kg N ha ⁻¹]					
		Spinat		Rukola (nach Spinat)		Rote Rübe	
Tiefenstufe		0 bis 30 cm ^{n.T.}	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}
Kontrolle	0	21,0 b	16,5 n.s.	12,8 n.s.	9,4 b	17,5 n.s.	5,9 n.s.
Hornmehl	I	25,9 b	17,1	14,4	11,5 b	17,2	9,7
Rotklee	I	22,9 b	14,3	14,2	12,5 b	15,6	6,4
Schwedenklee	I	18,6 b	17,1	14,7	12,7 ab	14,2	5,9
Weißklee	I	27,1 b	21,1	18,8	14,7 ab	16,1	6,1
Hornmehl	II	69,8 a	17,2	22,4	25,1 a	16,2	5,6
Rotklee	II	49,3 ab	16,5	18,7	16,7 ab	16,9	5,3
Schwedenklee	II	58,1 ab	16,3	20,9	16,7 ab	17,2	6,9
Weißklee	II	41,3 ab	18,3	18,8	16,7 ab	18,3	5,7

^{n.T.}- nach Transformation

Tab. A 35: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedüngten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Düngemittel	Dügestufe	N_{\min} [kg N ha ⁻¹]					
		Spinat		Rukola (nach Spinat)		Rote Rübe	
Tiefenstufe		0 bis 30 cm ^{n.T.}	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}
Hornmehl		47,9 n.s.	16,5 n.s.	18,4 n.s.	17,3 n.s.	16,7 n.s.	7,1 n.s.
Rotklee		36,1	15,4	16,4	14,0	16,3	6,0
Schwedenklee		38,4	16,6	17,8	14,3	15,7	6,6
Weißklee		34,2	19,4	18,8	16,4	17,2	5,8
Dügestufe							
Dügestufe	I	23,6 b	17,4 n.s.	15,5 b	12,9 b	15,8 n.s.	6,8 n.s.
Dügestufe	II	54,6 a	17,1	20,2 a	18,8 a	17,1	5,9

^{n.T.}- nach Transformation, *- keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Dügestufe

Tab. A 36: Einfluss des Düngemittels und der gedünten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Standort:		N_{\min} [kg N ha ⁻¹]			
Düngemittel	Dünge-stufe	-Stollsdorf-		-Taucha-	
		0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm
Kontrolle	0	39,9 c	23,5 n.s.	14,7 b	6,6 n.s.
Hornmehl	I	153,4 ab	33,2	45,6 ab	7,5
Rotklee	I	73,9 bc	31,5	15,0 b	8,1
Weißklee	I	64,8 bc	34,6	19,8 b	6,9
Weißklee-Pellet	I	59,6 bc	25,1	23,7 b	10,9
Maltaflor	I	102,8 bc	33,8	-	-
Hornmehl	II	232,7 a	53,8	92,1 a	16,0
Rotklee	II	107,2 bc	47,4	31,0 ab	11,8
Weißklee	II	119,0 bc	36,7	41,0 ab	12,3
Weißklee-Pellet	II	144,9 ab	34,6	44,4 ab	11,0
Maltaflor	II	235,7 a	40,2	-	-

^{n.T.}- nach Transformation

Tab. A 37: zweifaktorielle Auswertung des Einflusses des Düngemittels und der gedünten N-Menge zur Saat auf den N_{\min} -Vorrat im Boden nach Spinat, Rukola und Rote Rübe an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015; (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)*

Standort:		N_{\min} [kg N ha ⁻¹]			
Düngemittel	Dünge-stufe	-Stollsdorf-		-Taucha-	
		0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}	0 bis 30 cm	30 bis 60 cm ^{n.T.}
Hornmehl		193,1 a	43,5 n.s.	68,9 a	11,8 n.s.
Rotklee		90,6 b	39,5	24,2 b	10,0
Weißklee		91,9 b	35,6	30,4 b	9,6
Weißklee-Pellet		102,3 b	29,9	32,0 b	13,5
Maltaflor		169,3 a	37,0	-	-
Düngestufe					
Düngestufe	I	90,9 b	31,6 b	25,7 b	8,3 b
Düngestufe	II	167,9 a	42,5 a	52,1 a	14,0 a

^{n.T.}- nach Transformation, *- keine signifikante Wechselwirkung: Düngemittel x Dünge-stufe

Tab. A 38: Zur Saat von Spinat mit den Düngemitteln Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngte Nährstoffmengen in Dünge­stufe II an den Standorten Stollsdorf und Taucha im Jahr 2015

Nährstoff	gedüngt [kg ha ⁻¹]						Anteil zu Futterleguminosendüngemitteln [%]	
	Rotklee	Weißklee	Weißklee-Pellet	Futterleguminosendüngemittel (Mittelwert)	Hornmehl	Maltaflor*	Hornmehl	Maltaflor*
N	332	332	332	332	332	332	100	100
P	30	32	42	35	10	44	28	125
K	300	266	362	309	7	215	2	69
S	21	22	26	23	58	378	255	1653
Mg	34	28	36	33	2	11	5	32
Na	2	4	4	3	4	34	134	1076
Ca	113	102	119	112	27	51	24	46
Fe	10	8	12	10	3	3	33	27
	gedüngt [g ha ⁻¹]						[%]	
Mn	566	492	541	533	45	279	8	52
Zn	347	296	325	323	422	317	131	98
B	202	200	252	218	3	26	2	12
Cu	129	107	130	122	10	47	8	39
Mo	30	28	74	44	5	14	11	33

* nur am Standort Stollsdorf

Tab. A 39: Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Schwedenklee und Weißklee gedüngten Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	Nährstoffgehalt													
	g kg TM ⁻¹									mg kg TM ⁻¹				
	N	P	K	S	Mg	Nan.T.	Ca	Fen.T.	Mn	Znn.T.	Bn.n.	Cun.T.	Mon.T.	
Kontrolle 0	24,7 d	8,9 n.s.	74,8 b	2,7 e	6,8 b	0,4 c	14,0 ab	2,5 n.s.	341 n.s.	332 n.s.	37,0 n.s.	14,1 n.s.	20,8 n.s.	
Hornmehl I	33,2 bc	8,5	81,9 ab	3,7 cd	7,7 b	0,7 b	13,3 ab	2,0	271	298	38,5	13,0	11,9	
Rotklee I	28,9 cd	8,1	80,1 b	3,3 cd	6,9 b	0,4 c	13,2 ab	3,2	333	336	36,9	12,9	20,3	
Schwedenklee I	29,2 cd	8,6	83,5 ab	3,4 cd	6,9 b	0,4 c	12,8 b	2,4	307	342	39,0	10,6	10,8	
Weißklee I	29,0 cd	7,9	75,2 b	3,2 de	6,8 b	0,4 c	12,0 b	2,2	286	296	37,0	11,7	13,0	
Hornmehl II	39,8 a	8,1	83,0 ab	4,4 a	9,4 a	1,2 a	15,6 a	2,0	254	274	37,3	13,7	12,7	
Rotklee II	32,8 bc	8,5	88,6 ab	3,9 abc	7,3 b	0,4 c	12,4 b	2,6	275	284	37,9	10,1	10,3	
Schwedenklee II	35,1 ab	8,8	96,2 a	4,3 ab	8,0 ab	0,7 b	13,7 ab	2,8	240	268	41,2	14,1	15,7	
Weißklee II	34,7 ab	8,1	87,6 ab	3,8 bc	7,5 b	0,5 bc	12,5 b	2,1	241	274	36,6	9,5	9,0	

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 40: Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngtem Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	Nährstoffaufnahme												
	kg ha ⁻¹									g ha ⁻¹			
	N	Pn.T.	K	Sn.T.	Mgn.T.	Na	Can.T.	Fen.T.	Mn	Znn.n.	Bn.n.	Cun.T.	Mon.T.
Kontrolle 0	50,2 d	17,7 d	151 e	5,4 d	13,7 c	0,8 c	28,0 d	5,7 n.s.	685 n.s.	668 n.s.	74,4 n.s.	28,4 n.s.	41,8 n.s.
Hornmehl I	90,1 c	21,8 cd	212 ed	9,5 cd	19,9 bc	1,8 b	34,4 cd	4,0	546	599	77,4	26,1	23,8
Rotklee I	100 bc	28,0 bc	277 bcd	11,4 bc	23,8 bc	1,4 bc	45,6 abc	6,5	669	675	74,2	26,0	40,9
Schwedenklee I	100 bc	29,0 abc	284 bcd	11,6 bc	23,5 bc	1,3 bc	43,4 bc	4,8	618	688	78,4	21,4	21,7
Weißklee I	106 bc	28,5 bc	270 bcd	11,3 bc	24,4 b	1,4 bc	43,1 bc	4,6	576	596	74,4	23,5	26,2
Hornmehl II	118 abc	22,7 cd	233 cde	12,4 bc	26,4 ab	3,3 a	43,6 bc	3,9	510	551	75,0	27,5	25,5
Rotklee II	124 abc	32,2 ab	338 ab	14,7 ab	27,5 ab	1,6 bc	47,3 ab	5,1	553	572	76,3	20,2	20,7
Schwedenklee II	144 a	35,4 a	392 a	17,3 a	32,3 a	2,7 a	54,8 a	5,6	483	539	82,9	28,4	31,6
Weißklee II	129 ab	28,9 abc	314 abc	13,7 bc	26,8 ab	1,9 b	44,8 abc	4,3	485	551	73,5	19,1	18,2

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 41: Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Dresden-Gohlis im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	scheinbare Nährstoffverwertung													
	N ^{n.n.}	P ^{n.n.}	K ^{n.T.}	S	Mg ^{n.n.}	Na	Ca ^{n.n.}	Fe	Mn ^{n.n.}	Zn	B ^{n.n.}	Cu ^{n.n.}	Mo	
Kontrolle	0													
Hornmehl	I	28 n.s.	125 n.s.	2647 b	21 bc	1109 a	71 b	70 ab	-152 n.s.	-914 n.s.	-48 n.s.	268 n.s.	-64 n.s.	-1067 n.s.
Rotklee	I	36	78	99 a	65 a	75 b	81 ab	40 ab	20	-6	5	0	-4	-5
Schwedenklee	I	36	82	113 a	58 a	85 b	69 b	38 ab	-34	-22	12	5	-12	-125
Weißklee	I	39	80	105 a	66 a	98 b	39 b	37 ab	-48	-53	-60	0	-11	-139
Hornmehl	II	24	75	1772 b	18 c	1129 a	87 ab	85 a	-78	-573	-41	29	-12	-486
Rotklee	II	26	55	73 a	51 a	51 b	50 b	22 ab	-7	-26	-32	1	-8	-54
Schwedenklee	II	33	64	102 a	55 a	81 b	142 a	33 ab	-2	-33	-40	5	0	-32
Weißklee	II	28	41	72 a	46 ab	60 b	35 b	20 b	-30	-49	-49	-1	-10	-105

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 42: Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngten Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe		Nährstoffgehalt												
		g kgTM ⁻¹							mg kgTM ⁻¹					
		N ^{n.n.}	P ^{n.n.}	K ^{n.n.}	S ^{n.n.}	Mg ^{n.n.}	Na ^{n.T.}	Ca ^{n.n.}	Fe	Mn ^{n.T.}	Zn ^{n.n.}	B ^{n.n.}	Cu ^{n.n.}	Mo ^{n.n.}
Kontrolle	0	48,3 n.s.	10,0 a	142,8 a	3,3 n.s.	16,4 a	2,0 a	14,1 a	6,9 a	301 a	179 a	31,6 a	22,1 a	2,5 n.s.
Hornmehl	I	51,4	5,1 b	83,9 b	3,2	9,8 b	1,0 abcd	7,5 b	4,0 ab	165 b	110 b	17,2 b	14,7 b	1,7
Rotklee	I	49,2	5,4 b	85,4 b	3,4	9,0 b	0,7 d	7,3 b	3,8 ab	162 b	107 b	16,8 b	13,5 b	1,1
Weißklee	I	49,6	5,3 b	86,8 b	3,4	9,2 b	0,9 bcd	7,4 b	3,9 ab	162 b	107 b	18,3 b	14,8 b	1,7
Weißklee-Pellet	I	49,8	5,5 b	84,2 b	3,2	8,5 b	0,8 cd	7,1 b	4,6 ab	189 ab	106 b	18,8 b	14,1 b	0,8
Maltaflor	I	50,2	5,4 b	75,3 b	3,4	9,6 b	1,5 abc	7,1 b	3,1 b	155 b	97 b	16,5 b	10,9 b	0,8
Hornmehl	II	52,1	4,7 b	77,1 b	3,1	10,2 b	1,1 abcd	7,8 b	4,9 ab	209 ab	111 b	17,0 b	13,9 b	0,8
Rotklee	II	51,5	5,2 b	86,9 b	3,4	9,0 b	0,7 cd	7,0 b	3,5 ab	154 b	104 b	16,7 b	13,2 b	0,9
Weißklee	II	51,3	5,0 b	87,4 b	3,0	9,1 b	0,7 cd	7,0 b	4,4 ab	193 ab	104 b	18,2 b	14,7 b	1,3
Weißklee-Pellet	II	48,6	5,9 b	92,5 b	3,3	9,0 b	0,5 d	6,7 b	3,8 ab	175 b	99 b	19,2 b	13,7 b	1,2
Maltaflor	II	52,6	5,7 b	84,7 b	3,3	9,6 b	1,5 ab	7,1 b	3,5 ab	169 b	106 b	17,0 b	12,6 b	0,8

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 43: Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngtem Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe		Nährstoffaufnahme										g ha ⁻¹				
		N	P	K	kg ha ⁻¹			Na ^{n.T.}	Ca	Fe	Mn ^{n.T.}	Zn ^{n.n.}	B ^{n.n.}	Cu ^{n.n.}	Mo ^{n.n.}	
					S	Mg										
Kontrolle	0	35,9 e	6,6 ab	93,6 abc	2,2 c	10,7 ab	1,4 n.s.	9,3 ab	2,9 a		126,3 a	74,9 a	13,2 a	9,3 a	1,0 n.s.	
Hornmehl	I	44,7 de	4,0 b	66,7 c	2,6 bc	7,8 b	0,8	5,9 b	1,7 ab		69,2 b	46,1 b	7,2 b	6,2 b	0,7	
Rotklee	I	54,9 bcde	5,2 ab	83,0 bc	3,3 abc	8,7 ab	0,7	7,1 ab	1,6 ab		67,9 b	45,1 b	7,1 b	5,7 b	0,4	
Weißklee	I	58,9 bcd	6,3 ab	102,0 abc	3,9 abc	10,8 ab	1,1	8,7 ab	1,6 ab		68,0 b	44,8 b	7,7 b	6,2 b	0,7	
Weißklee-Pellet	I	66,2 abc	7,1 ab	108,9 abc	4,1 abc	10,9 ab	1,0	9,2 ab	1,9 ab		79,1 ab	44,3 b	7,9 b	5,9 b	0,3	
Maltaflor	I	53,2 bcde	5,5 ab	78,0 bc	3,5 abc	9,8 ab	1,7	7,3 ab	1,3 b		65,1 b	40,6 b	6,9 b	4,6 b	0,3	
Hornmehl	II	45,9 cde	3,9 b	62,8 c	2,6 bc	8,3 b	0,9	6,4 b	2,1 ab		87,8 ab	46,6 b	7,1 b	5,8 b	0,3	
Rotklee	II	68,0 ab	6,8 ab	113,4 abc	4,4 ab	11,8 ab	0,9	9,2 ab	1,5 ab		64,7 b	43,7 b	7,0 b	5,5 b	0,4	
Weißklee	II	83,0 a	8,0 a	139,5 a	4,7 a	14,4 a	1,2	11,1 a	1,9 ab		80,9 ab	43,7 b	7,6 b	6,2 b	0,5	
Weißklee-Pellet	II	66,7 abc	7,9 a	124,5 ab	4,5 ab	12,1 ab	0,7	9,0 ab	1,6 ab		73,5 b	41,6 b	8,1 b	5,7 b	0,5	
Maltaflor	II	61,6 abcd	6,0 ab	89,5 abc	3,5 abc	10,1 ab	1,7	7,5 ab	1,5 ab		70,8 b	44,3 b	7,1 b	5,3 b	0,3	

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 44: Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee, Weißklee-Pellet und Maltaflor gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Stollsdorf im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	scheinbare Nährstoffverwertung													
	N	P	K ^{n.n.}	S ^{n.n.}	Mg ^{n.n.}	Na ^{n.n.}	Ca [%]	Fe	Mn ^{n.n.}	Zn ^{n.T.}	B ^{n.T.}	Cu ^{n.n.}	Mo ^{n.n.}	
Kontrolle 0														
Hornmehl I	5 bc	-53 bc	-791 n.s.	1 b	-358 n.s.	-27 n.s.	-25 b	-73 abc	-256 b	-14 a	-368 bcd	-60 ab	-14 n.s.	
Rotklee I	11 abc	-13 abc	-47	11 ab	-42	-75	-6 ab	-29 ab	-28,5 a	-17 ab	-9 a	-3 a	-6	
Weißklee I	14 abc	-2 ab	6	17 ab	0	-35	-1 ab	-24 ab	-20,6 a	-17 ab	-6 ab	-5 a	-2	
Weißklee-Pellet I	18 a	3 a	11	18 ab	1	-22	0 ab	-24 a	-19,2 a	-21 ab	-5 abc	-6 a	-5	
Maltaflor I	10 abc	-5 abc	-15	1 b	-18	2	-8 ab	-119 c	-43,8 a	-22 b	-50 d	-20 ab	-10	
Hornmehl II	3 c	-56 c	-906	1 b	-297	-25	-22 b	-49 abc	-173 ab	-13 a	-371 cd	-67 b	-29	
Rotklee II	10 abc	12 a	420	18 a	149	-61	4 ab	-31 ab	-27,4 a	-18 ab	-11 a	-4 a	-6	
Weißklee II	14 ab	9 a	31	24 a	22	-29	3 a	-20 ab	-16,0 a	-18 ab	-6 ab	-5 a	-3	
Weißklee-Pellet II	9 abc	9 a	23	21 ab	9	-37	-1 ab	-33 a	-21,4 a	-23 ab	-5 abc	-7 a	-4	
Maltaflor II	8 abc	-3 ab	-4	1 b	-12	1	-7 ab	-106 bc	-39,8 a	-19 ab	-48 cd	-17 ab	-10	

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

Tab. A 45: Nährstoffgehalte im zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe		Nährstoffgehalt												
		g kg TM ⁻¹							mg kg TM ⁻¹					
		N	P	K	S	Mg	Na ^{n.T.}	Ca ^{n.n.}	Fe ^{n.T.}	Mn ^{n.T.}	Zn	B	Cu	Mo ^{n.n.}
Kontrolle	0	25,8 d	8,5 a	51,9 e	3,3 b	4,8 c	0,7 b	13,4 bc	1,5 n.s.	130 n.s.	182 a	29,1 a	12,2 ab	3,1 n.s.
Hornmehl	I	38,9 bc	7,1 bc	54,5 de	3,7 a	6,5 ab	0,9 ab	16,0 ab	1,0	125	157 ab	22,7 bc	13,0 ab	1,8
Rotklee	I	28,9 d	7,6 ab	64,6 cd	2,7 d	4,2 c	0,4 b	12,3 cd	1,3	116	150 bc	23,5 bc	11,8 ab	3,5
Weißklee	I	32,7 cd	7,7 ab	68,1 bc	2,8 cd	4,9 c	0,4 b	12,7 bcd	1,1	114	151 bc	25,4 ab	11,9 ab	2,5
Weißklee-Pellet	I	32,1 cd	7,4 bc	77,0 ab	3,0 bcd	4,9 c	0,5 b	10,7 cd	1,2	118	137 bc	20,2 bc	12,1 ab	3,2
Hornmehl	II	48,6 a	5,9 d	51,4 e	3,9 a	7,9 a	1,6 a	17,9 a	0,8	153	153 abc	19,6 c	13,3 a	1,4
Rotklee	II	36,3 bc	6,9 bcd	77,3 ab	2,9 cd	4,6 c	0,5 b	10,8 cd	0,9	95	127 bc	21,9 bc	10,2 b	1,9
Weißklee	II	40,7 b	6,6 cd	78,5 ab	2,9 bcd	5,5 bc	0,8 b	12,2 cd	1,0	95	130 bc	21,0 bc	11,6 ab	2,2
Weißklee-Pellet	II	36,9 bc	7,2 bc	84,1 a	3,2 bc	4,8 c	0,4 b	9,1 d	0,8	98	124 c	19,5 c	11,0 ab	2,3

n.n. - nicht normalverteilt, n.T. - nach Transformation

Tab. A 46: Nährstoffaufnahme von zur Saat mit Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngtem Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	Nährstoffaufnahme												
	kg ha ⁻¹					g ha ⁻¹							
	N	P	K	S	Mg	Na ^{n.T.}	Ca ^{n.n.}	Fe ^{n.T.}	Mn ^{n.n.}	Zn	B	Cu	Mo ^{n.n.}
Kontrolle 0	34,8 f	11,4 b	70,1 d	4,4 e	6,4 d	1,0 b	18,1 e	1,6 n.s.	137 n.s.	192 a	30,7 a	12,9 ab	3,2 n.s.
Hornmehl I	109,1 bc	19,8 a	154 c	10,3 b	18,2 b	2,5 b	44,8 b	1,1	132	165 ab	24,0 bc	13,7 ab	1,8
Rotklee I	68,3 e	17,9 a	153 c	6,4 de	9,9 cd	0,9 b	29,1 d	1,4	123	159 bc	24,8 bc	12,4 ab	3,7
Weißklee I	86,6 cde	20,4 a	181 bc	7,5 cd	12,9 c	1,2 b	33,8 cd	1,1	120	159 bc	26,8 ab	12,6 ab	2,6
Weißklee-Pellet I	77,8 de	18,0 a	187 bc	7,3 de	11,8 c	1,2 b	26,1 de	1,2	124	145 bc	21,3 bc	12,8 ab	3,4
Hornmehl II	169,4 a	20,4 a	179 bc	13,7 a	27,4 a	5,6 a	61,7 a	0,9	162	161 abc	20,7 c	14,0 a	1,5
Rotklee II	105,3 cd	19,7 a	223 ab	8,4 bcd	13,2 c	1,6 b	31,6 cd	1,0	100	134 bc	23,1 bc	10,8 b	2,0
Weißklee II	134,2 b	21,6 a	259 a	9,6 b	18,0 b	2,5 b	40,1 bc	1,1	100	137 bc	22,1 bc	12,2 ab	2,3
Weißklee-Pellet II	111,1 bc	21,5 a	253 a	9,6 bc	14,3 bc	1,1 b	27,3 de	0,9	103	131 c	20,6 c	11,6 ab	2,5

n.n. - nicht normalverteilt, n.T. - nach Transformation

Tab. A 47: Scheinbare Nährstoffverwertung der zur Saat in Form der Düngemittel Hornmehl, Rotklee, Weißklee und Weißklee-Pellet gedüngten Nährstoffmengen durch Spinat am Standort Taucha im Jahr 2015 (Tukey-Test, $\alpha < 0,05$)

Düngemittel/ Düngestufe	scheinbare Nährstoffverwertung													
	N	P ^{n.T.}	K ^{n.T.}	S	Mg ^{n.T.}	Na	Ca ^{n.n.} [%]	Fe	Mn ^{n.n.}	Zn	B ^{n.T.}	Cu ^{n.T.}	Mo ^{n.T.}	
Kontrolle 0														
Hornmehl I	45 a	176 a	2452 a	20 ab	1436 a	70 ab	199 a	-29 b	-26 n.s.	-12 ab	-410 b	16 b	-56 a	
Rotklee I	20 d	43 cd	55 b	19 ab	21 c	-7 b	19 bc	-3 a	-5	-19 abc	-6 a	-1 a	3 b	
Weißklee I	31 bc	57 c	83 b	29 a	46 b	9 ab	31 b	-12 ab	-7	-22 bc	-4 a	-1 a	-5 b	
Weißklee-Pellet I	26 cd	32 de	65 b	23 ab	30 bc	11 ab	13 bc	-6 a	-5	-29 c	-7 a	0 a	0 b	
Hornmehl II	41 ab	93 b	1606 a	16 b	1278 a	109 a	162 a	-21 ab	55	-7 a	-305 b	11 b	-35 b	
Rotklee II	21 d	27 de	51 b	19 b	20 c	38 ab	12 c	-6 a	-7	-17 abc	-4 a	-2 a	-4 b	
Weißklee II	30 cd	32 de	71 b	24 ab	41 b	42 ab	22 bc	-6 a	-8	-18 abc	-4 a	-1 a	-3 b	
Weißklee-Pellet II	23 cd	24 e	51 b	20 ab	22 c	3 b	8 c	-6 a	-6	-19 abc	-4 a	-1 a	-1 b	

n.n.- nicht normalverteilt, n.T.- nach Transformation

