

Berichte aus dem Ökolandbau

Schriftenreihe, Heft 6/2011



Berichte aus dem Ökolandbau

Dr. Hartmut Kolbe

Dr. Dietmar Meyer, Dr. Barbara Dittrich, Brigitte Köhler

Prof. Dr. Knut Schmidtke, Beate Wunderlich, Guido Lux

Einfluss des Klimawandels auf Humus- und Stickstoffvorräte im Boden sowie Kompensationsmöglichkeiten durch Umstellung auf den ökologischen Landbau am Beispiel von Sachsen	4
Nähr- und Schadstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern des ökologischen Landbaus in Sachsen	16
Eignung nichtlegumer Zwischenfrüchte im ökologischen Landbau für den Anbau von Körnerleguminosen in Mulch- und Direktsaat	33

Einfluss des Klimawandels auf Humus- und Stickstoffvorräte im Boden sowie Kompensationsmöglichkeiten durch Umstellung auf den ökologischen Landbau am Beispiel von Sachsen

Dr. Hartmut Kolbe - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Material und Methoden	5
3	Ergebnisse und Diskussion	6
3.1	Einfluss des Klimawandels	6
3.2	Ausgleichspotenzial durch Landbewirtschaftung	9
4	Schlussfolgerungen	13
5	Zusammenfassung	14
6	Literatur	14

1 Einleitung

Der Humus bzw. die organische Substanz des Bodens hat eine große Bedeutung u. a. für die Bodenstruktur, als Nährstoffspeicher, in der Nährstoffdynamik im Jahreskreis sowie für das Ertragspotenzial eines Standortes. Wichtige Grundnährstoffe (N, P, S) und einige Spurenelemente sind direkt im Humus eingebaut, es ist deren Hauptspeicher im Boden. Der Humusumsatz eines Standortes ist von Einflussfaktoren des Klimas bzw. der Witterung (Temperatur, Niederschlag bzw. Wasserversorgung), des Bodens (z. B. Tongehalt) und der Bewirtschaftung (z. B. Fruchtfolge, Qualität und Zufuhrhöhe an organischer Substanz) abhängig. Da der Boden in diesem Zusammenhang als Quelle und auch als Senke sowohl für klimawirksame Stoffe (CO_2 , N_2O , CH_4 , NH_3) als auch für landwirtschaftlich bedeutende Produktionsfaktoren (u. a. Nährstoffe) fungiert, können Änderungen des Humusgehaltes große Bedeutung direkt für den Klimawandel, für weitere Umweltwirkungen (Wasserschutz, Biodiversität) und auch für die Bodenfruchtbarkeit aufweisen.

2 Material und Methoden

In einer Studie wurden unter Nutzung konkreter Bewirtschaftungsverhältnisse des Ackerlandes in der Praxis und der Anwendung mehrerer Verfahren der Humusbilanzierung sowohl Auswirkungen des Klimawandels als auch das Kompensationsvermögen von Bewirtschaftungsalternativen unter weitgehend konventionellem Landbau beschrieben (KOLBE 2009). In der vorliegenden Arbeit wurden die für Sachsen zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die C_{org} - und N_t -Gehalte des Bodens sowie potenzielle Möglichkeiten der Gegensteuerung durch Bewirtschaftungs- und Nutzungsänderungen durch eine Umstellung auf ökologischen Landbau im Zeitraum 2000 – 2050 für folgende drei Standorte untersucht:

- Agrarstrukturgebiet 1 „Sächsische Heidegebiet, Riesaer-Torgauer Elbtal“, D-Standort (anlehmiger Sand), 1,36 % C_{org} , 0,14 % N_t , um 135 m NN, 9,1 °C Durchschnittstemperatur, 503 mm Jahresniederschlag, erwartete Klimaänderung: Temperatur +0,9 bis +2,1 °C, Niederschlag -6 bis -126 mm
- Agrarstrukturgebiet 3 „Mittelsächsisches Lössgebiet“, Lö-Standort (sandiger Lehm), 1,38 % C_{org} , 0,16 % N_t , um 200 m NN, 9,7 °C (+1,0 bis +2,3 °C), 594 mm (-25 bis -54 mm)
- Agrarstrukturgebiet 4 „Erzgebirgsvorland, Vogtland, Elsterbergland“, V-Standort (sandiger Lehm), 2,12 % C_{org} , 0,24 % N_t , um 420 m NN, 8,2 °C (+1,0 bis +2,4 °C), 688 mm (-31 bis -118 mm).

Der Ist-Zustand der Bewirtschaftung entspricht in Variante KON (Tab. 1) den konventionellen Ausgangsbedingungen auf den drei untersuchten Gebieten in Sachsen um das Jahr 2000. Es sind getreidebetonte Fruchtfolgen, in denen organische Dünger von ca. 0,6 GVE/ha*a ausgebracht werden. Die Versorgung mit organischer Substanz wird bereits der VDLUFA-Humusgruppe D zugeordnet.

Je nach Voraussetzungen für die verwendeten Verfahren zur Humusbilanzierung wurden entweder die Einflüsse des Klimawandels in kontinuierlichen zeitlichen Schritten (dynamisch) ermittelt oder es wurden Berechnungen unter den klimatischen Bedingungen des Jahres 2000 und für das Jahr 2050 unter Beachtung der postulierten Änderungen in Temperatur und Niederschlag vorgenommen. Der Einfluss des Klimawandels wurde berechnet, indem die Differenzen zwischen Anfang und Ende der Untersuchungsperiode gebildet wurden.

Das Kompensationsvermögen durch die Landbewirtschaftung wurde folgendermaßen ermittelt: Mit mehreren Methoden der Humusbilanzierung wurde zunächst der Einfluss auf die C_{org} - und N_t -Gehalte unter Beibehaltung dieser durchschnittlichen Bewirtschaftung sowie für die Varianten zur Umstellung auf Ökolandbau bis zum Jahr 2050 berechnet. Von den erhaltenen konventionellen Durchschnittsergebnissen wurden dann jeweils die Einflüsse der Bewirtschaftungsvarianten des ökologischen Landbaus abgezogen. In den Ergebnissen stellt Var. KON also die Vergleichsbasis dar (= 0,0 % C_{org}), während die anderen Handlungsoptionen als Differenzen ausgewiesen werden. Im Vergleich zu dieser Ausgangssituation werden die Wirkungen der Szenarien zur Umstellung auf verschiedene Formen ökologischer Landbewirtschaftung auf die Humusgehalte und die Bodenfruchtbarkeit bis zum Jahr 2050 quantitativ dargestellt.

Um den Einfluss des Ökolandbaus möglichst genau abbilden zu können, wurden neben der Beschreibung der konventionellen auch eine genaue Ermittlung der Ist-Situation (Jahr 2000) im Ökolandbau vorgenommen. Mit dieser Bewirtschaftung wird ein mittleres Niveau der Versorgung mit organischer Substanz ermittelt und es erfolgt eine Einstufung in die ökologische Humusgruppe C (weitere Hinweise s. Tab. 1 sowie KOLBE 2009).

Die in Tabelle 1 genannten Werte im Ertragsniveau wurden aus einer umfangreichen Sammlung von Vergleichswerten zwischen konventionell und ökologisch erzielten Erträgen der landwirtschaftlichen Praxis aus Deutschland ermittelt. Hierdurch ist ein wesentlich realistischerer Vergleich gelungen als bei einer Datenerhebung aus entsprechenden Dauerversuchen, bei denen oft ein geringerer Abstand zwischen konventionellem und ökologischem Niveau ermittelt wird (vgl. BADGLEY et al. 2007; KÖPKE et al. 2008).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einfluss des Klimawandels

Unter Beibehaltung der augenblicklichen konventionellen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, Ertragsniveau, s. Var. KON in Tab. 1) ist auf den Sandböden des D-Standes durch den prognostizierten Klimawandel (Anstieg der Temperatur, Abfall der Niederschläge) zu erwarten, dass die Humus-Gehalte von Ausgangs im Jahr 2000 von ca. 1,36 % bis zum Jahr 2050 um 0,15 % C_{org} (0,06 – 0,17 % je nach Berechnungsverfahren) abnehmen werden. Auf dem Löss-Standort des Mittelsächsischen Lössgebietes werden zwar je nach Verfahren etwas unterschiedliche Ergebnisse berechnet, die zu erwartenden Auswirkungen sind insgesamt aber nicht sehr groß. Es wird bei einem durchschnittlichen Gehalt von 1,38 % C_{org} ein leichter Abfall von rechnerisch 0,04 % (+0,06 bis -0,09 %) C_{org} erwartet (Abb. 1).

Entsprechend den postulierten Klimaszenarien wird sich das Klima der Vorgebirgslagen am V-Standort im Jahr 2050 in den Durchschnittswerten der Temperatur und der Niederschlagsmenge immer mehr den klimatischen Bedingungen des Löss-Standes von heute im Jahr 2000 anpassen. Da für beide Standorte weitgehend ähnliche Bodenverhältnisse zu Grunde gelegt werden (sandiger Lehm), liegt die Vermutung nahe, dass sich die Humusgehalte entsprechend den zu erwartenden klimatischen Bedingungen ebenfalls angleichen werden. Auf Standorten mit Vorgebirgsklima (niedrige Temperaturen, relativ hohe Niederschläge) stellen sich im Allgemeinen mit der Zeit vergleichsweise hohe Gehalte an Humus und hohe Werte an N_t im Boden ein. Daher wird heute im Agrarstrukturgebiet 4 ein durchschnittlicher Gehalt von 2,12 % C_{org} vorgefunden. Durch den zu erwartenden Klimawandel werden sich diese Gehalte aller Voraussicht nach deutlich reduzieren. Je nach zugrundegelegtem Klimaszenario und dem verwendeten Berechnungsverfahren beträgt die Spannbreite der zu erwartenden Gehaltsänderung von weitgehender Aufrechterhaltung (+0,02 % C_{org}) bis zu einer Abnahme um 0,43 % C_{org} , bzw. eine Abnahme von bis zu 0,86 % C_{org} bei Zugrundelegung von etwas deutlicheren klimatischen Veränderungen (Abb. 1).

Tabelle 1: Varianten der ökologischen Bewirtschaftungsverfahren und der konventionellen Ausgangsbewirtschaftung

Variante (Nr.)	Verfahren (Kurzbezeichnung)	Fruchtfolge (Abfolge)	Getreide (%)	Hack- früchte (%)	Legumi- nosen (%)	Düngung/ legume N-Bindung (kg N/ha*a)	N-Bilanz (vereinf.) (kg N/ha*a)		Saldo
							Zufuhr	Abfuhr	
KON	Ist-Zustand KON (konvent. Landbau)	D: WW-WG*-RA-WW-WR(ZF)-SM-TR-ER Lö: WW-WG-RA-WW(ZF)-ZR-WW-TR-ER V: WW-WG*-RA-WW(ZF)-SM-TR(ZF)-SG-KG				103 N; 38 R/ST; 12 L 122 N; 39 S/R; 17 L 106 N; 64 R/S/ST; 30 L			
0	Ist-Zustand ÖKO (ökolog. Landbau)	D: KG-KG-WW*-WR(ZF)-ER-KA-WR*(ZF)-SG Lö: KG-KG-WW*(ZF)-SM-WR(ZF)-ER-WW-WG V: KG-KG-WW*-SG(ZF)-ER-RA-WR-WG*	50	13	37	28 ST/R; 37 L 28 ST/R; 78 L 46 R/ST; 74 L	106	123	-17
1	Ertragsanstieg	Siehe Var. 0: Lö	50	13	37	35 ST/R; 125 L	160	123	-25
2	Rindergülle 2 GVE	KG-KG-WW*(ZF)-SM-WR(ZF)-ER-WW-WG	50	13	37	111 R; 66 L	177	123	54
3	Stalldung 2 GVE	KG-KG-WW*(ZF)-SM-WR*(ZF)-ER-WW*-WG*	50	13	37	121 ST; 66 L	187	133	54
4	Kompost 100 dt/ha	KG-KG-WW*(ZF)-SM-WR(ZF)-ER-WW-WG	50	13	37	93 K/ST/R; 72 L	165	123	42
5	Hackfrucht	KG-KG-KA(ZF)-SM-WR(ZF)-ER-WW-ZR	25	36	38	28 ST/R; 78 L	106	140	-34
6	Hackfr+Kompost 100 dt/ha	KG-KG-KA(ZF)-SM-WR(ZF)-ER-WW-ZR	25	36	38	93 K/ST/R; 72 L	165	140	25
7	Futterbau 100 %	KG-KG-SM-GPS	25	25	50	96 R; 97 L	193	179	14
8	Futterbau 67 %	KG-KG-SM-WW-WG-GPS(ZF)	50	17	33	64 R; 87 L	151	140	11
9	Futterbau 14 % (Marktfrucht)	KG-WW(ZF)-KA-WR(ZF)-ER-WW-WG	57	14	29	16 R; 78 L	94	95	-1
10	Futterbau 14 %, Abfuhr (Energiefruchtfolge)	KG-WW*(ZF)-KA-WR*(ZF)-ER*-WW*-WG*	57	14	29	16 R; 78 L	94	124	-30
11	Grünland+Abfuhr	KG			100	46 R; 218 L			
12	Grünland-Stilllegung	KG			100	178 L			

Standorte/Bodenart: D = Diluvial-Boden aus anlehmigem Sand; Lö = Löss aus sandigem Lehm; V = Verwitterungsboden aus sandigem Lehm; Zuordnung: D/Lö/V = XX/XX/XX

Fruchtarten: WW = Winterweizen; WR = Winterroggen; TR = Triticale; WG = Wintergerste; SG = Sommergerste; SM = Silomais; KM = Körnermais; ER = Erbse; RA = Winterraps; KA = Kartoffeln; ZR = Zuckerrüben; KG = Klee gras; WK = Weißkohl; ZF = Zwischenfrucht (als Gründüngung); GPS = Ganzpflanzensilage aus Roggen, Leguminosen

Durchschnittl. Ertragsniveau im Ökolandbau (konvent. Landbau = 100 %): 59WW, 59WR, 53WG, 71TR, 78WR, 78SM, 60SG, 75ER, 54KA, 99ZR, 100KG

Düngung: N = mineral. N; R = Rindergülle; S = Schweinegülle; ST = Stalldung; Bio-G = Biogasgülle; K = Kompost; L = legume N-Bindung; * = Stroh-Abfuhr

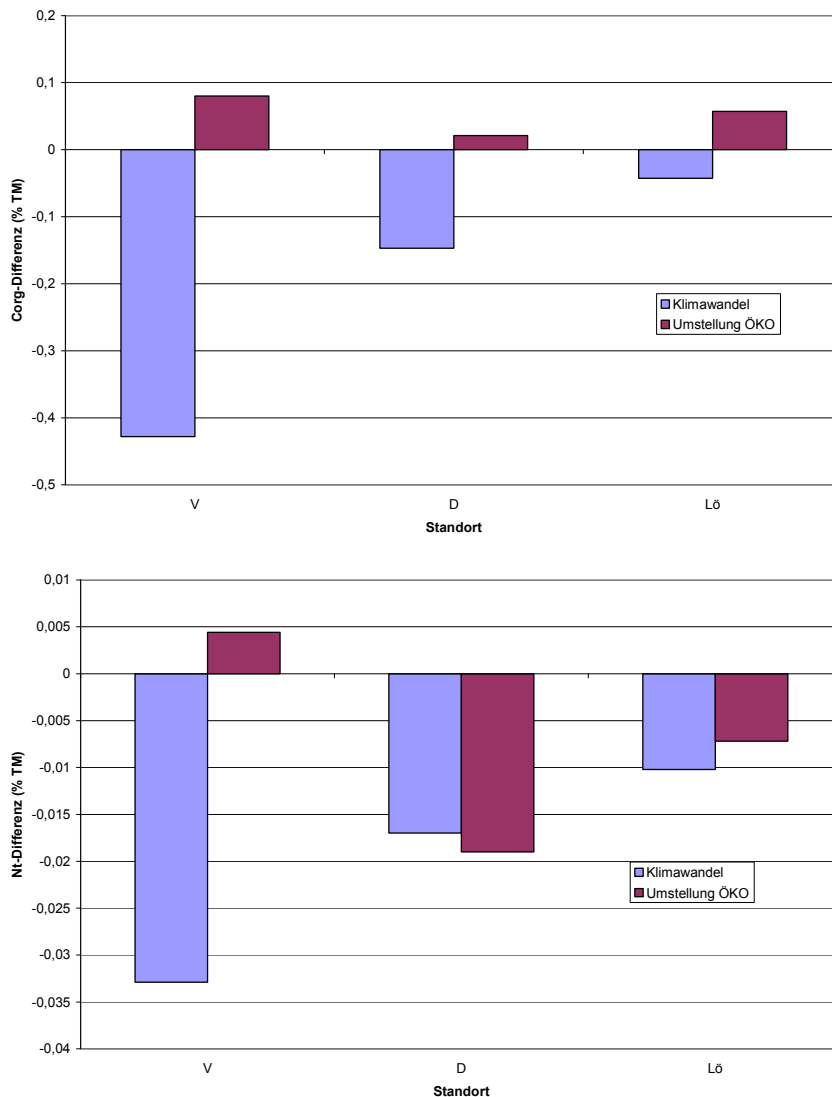


Abbildung 1: Einfluss des Klimawandels auf die C_{org}- (oben) und N_t-Werte (unten) des Bodens bei konventioneller Bewirtschaftung (Ausgangsbasis 0 = Var. KON entspr. Tab. 1) sowie Kompensationswirkung durch Umstellung auf Ökolandbau entspr. Var. 0 auf Sandboden (D), sandigem Lehm (L6) und Vorgebirgsstandorte auf sandigem Lehm (V) bis zum Jahr 2050 in Sachsen

Weiterhin ist zu bedenken, dass es in Folge dieses Klimawandels zu einer parallelen Entwicklung der N_t-Gehalte und darüber hinaus voraussichtlich auch mit anderen im Humus gebundenen Nährstoffen (P, S) kommen wird. Daher erscheint es sehr plausibel, dass es bei Erhöhung der Temperatur (und Abfall der Niederschläge) dann zu einer stärker ausgeprägten Abnahme der C_{org}- und N_t-Werte des Bodens von Vorgebirgslagen kommt als in Gebieten, in denen bereits relativ hohe Durchschnittstemperaturen vorherrschen. Auf Grund der Gesetzmäßigkeit zwischen Temperatur und Humusumsatz wird mit steigenden Temperaturen der Abfall im Humusgehalt und auch im N_t-Gehalt immer geringer. Neben der Freisetzung von erheblichen Kohlenstoffmengen dürfte hierbei vor allem auch die Mineralisation an Stickstoff zu beachten sein.

Durch den postulierten Klimawandel kommt es daher zu einem teilweise deutlichen Rückkopplungsprozess, der insbesondere von der angenommenen Temperaturerhöhung ausgeht und dessen Ausmaß in Europa von Süd nach Nord und von den Niederungen zu den Höhenlagen und Bergregionen deutlich zunehmen dürfte. Der Temperaturanstieg bewirkt eine Abnahme der Humusgehalte durch Freisetzung von CO₂ und aller Voraussicht nach auch durch Erhöhung der N₂O-Emissionen auf Grund der mineralisierten N-Äquivalente aus dem Humus (MOSIER 1998; SMITH 2005). Die Freisetzung dieser Spurengase können wiederum in der bekannten Weise zur Verstärkung des Klimawandels beitragen. Bei einer Bodentiefe von 0,30 m, einem spezif. Gewicht von 1,5 und einem C/N-Verhältnis von durchschnittlich 9:1 könnten auf dem V-Standort bei einer Abnahme des C_{org}-Gehaltes von 0,5 % folgende Stoffmengen zusätzlich je Hektar und Jahr entstehen:

■ 450 kg C, bzw. $\times 3,66 = 1650 \text{ kg CO}_2$

■ 50 kg N, davon 1,5 % = 0,75 kg $\text{N}_2\text{O-N}$.

Diese Mengen sind weder für Kohlenstoff, noch für Stickstoff in Hinsicht auf die Klimawirksamkeit, die N-Düngungsbemessung und den Wasserschutz für den Vorgebirgsstandort zu unterschätzen. Dagegen betragen die freiwerdenden Emissionen auf den D- und Lö-Standorten nur ungefähr 1/5 der Höhe des V-Standorts. Diese Mengen dürften im Landwirtschaftsbereich kaum eine Rolle spielen, während die Klimawirksamkeit auf Grund des relativ hohen Flächenumfangs zu bedenken ist. Ob auch größere Änderungen in dem anvisierten relativ kurzen Zeitabschnitt eintreten oder abgeschlossen werden oder ob hierfür eine längere Zeitperiode erforderlich ist, kann heute nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Es gilt daher zu klären, ob diese ersten Berechnungen insbesondere für das sächsische Vorgebirge durch andere Untersuchungen bestätigt werden, welche Konsequenzen hieraus für die Düngung und Pflanzenernährung zu ziehen und welche Einflüsse auf Umweltbedingungen (Spurengase, Wasserschutz) zu erwarten sind.

3.2 Ausgleichspotenzial durch Landbewirtschaftung

Wie weiterhin aus Abbildung 1 zu entnehmen ist, führt eine Umstellung auf Ökolandbau mit einem durchschnittlichen Leguminosenanteil um 37 % und einer Tierhaltung von lediglich 0,4 GVE/ha in Abhängigkeit vom Standort zu einer unterschiedlich hohen, im Durchschnitt jedoch nur geringen Anhebung der Humusgehalte des Bodens um ca. 0,05 % C_{org} . Auch CAPRIEL (2006) kommt bei der Analyse von Dauertestflächen der Praxis in Bayern mit +0,06 % C_{org} zu einem vergleichbaren Ergebnis. Am geringsten ist der Anstieg im Humusgehalt (und am deutlichsten der Abfall im N_t -Gehalt) auf dem Sandboden zu erwarten. Hierfür ist weitgehend das niedrige Ertragsniveau und die damit zusammenhängenden geringen Ernte- und Wurzelreste verantwortlich (s. Legende Tab. 1 unten; im Vergleich zum konventionellen Niveau nochmals ca. 5 % Ertragsabzug). Auch nach Untersuchungen von HOYER et al. (2007) besteht der geringste Unterschied in den C_{org} -Gehalten des Bodens zwischen konventionellem und ökologischem Landbau auf den leichten Böden.

Je nach verwendetem Humusbilanzierungsverfahren kann es auf diesen Standorten auch zu einem geringfügigen Abfall der Humusgehalte durch Umstellung auf Ökolandbau kommen. Bei diesen Ergebnissen ist jedoch zu bedenken, dass das höhere Ertragsniveau der konventionellen Vergleichsvarianten durch den hohen externen Düngemiteleinsatz (vor allem N-Düngemittel) zu erklären ist, der erfahrungsgemäß auch in den untersuchten sächsischen Regionen zu einem erhöhten N-Verlagerungspotenzial und von einem Anstieg der Nitratgehalte im Grundwasser begleitet wird (LFUG 2008). Diese Überforderung des Standortes kann auf Grund der restriktiveren Richtlinien und der Selbstregulierung des Anbauverfahrens (s. KOLBE 2008) unter ökologischer Bewirtschaftung nicht so leicht erfolgen. Konsequenz ist dann aber auch die Akzeptanz eines niedrigeren Ertragsniveaus der Fruchtarten.

Auf den besseren Böden der anderen untersuchten Standorte wird ein geringerer Ertragsabstand im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft erzielt, wodurch ein sicher einzustufender Anstieg der Humusgehalte bewirkt werden kann. Hierdurch ist auf dem Lö-Standort sogar eine vollständige Kompensation des durch den Klimawandel bedingten Humusabbaus zu erreichen. Mit ca. 14 – 19 % kann demgegenüber auf dem D- und vor allem auf dem V-Standort des Vorgebirges eine Kompensation bei weitem nicht erreicht werden (Abb. 1). Diese Ergebnisse werden durch Untersuchungen in anderen Regionen unterstützt (BUEGT et al. 2008; SUKKEl et al. 2008).

Im Gegensatz zu diesen relativ geringen Sequestrierungsmöglichkeiten der durchschnittlichen ökologischen Praxis kommen Untersuchungen, die im Wesentlichen auf Ergebnissen aus Dauerversuchen beruhen, oft zu deutlicheren Unterschieden zwischen den Anbausystemen (vgl. FLIESSBACH et al. 2007; GRANSTED & KJELLENBERG 2008; HÜLSBERGEN 2008; NIGGLI 2008). Dies liegt auch daran, weil die zugrunde gelegten Versuche nicht die ökologische Praxis genau genug wiedergeben können.

Um die potenzielle Variationsbreite im Ökolandbau abschätzen zu können, wurde nun, ausgehend von diesen durchschnittlichen Bedingungen der Praxis, eine Reihe von verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien aufgestellt (s. Tab. 1) und deren Einflüsse auf die C_{org} - und N_t -Gehalte des Bodens mit den Bilanzierungsverfahren berechnet (Abb. 2).

Ein über das Ausmaß des Klimawandels noch hinausgehender Abbau an Humus kann bei Durchführung von Fruchtfolgen mit hohem Marktfruchtanteil (bzw. geringem Futterbauanteil), Abfuhr aller Koppelprodukte (Stroh, Zwischenfrüchte, z. B. auch

Energiefruchtfolgen) sowie mit verstärktem Hackfrucht- und Silomaisanbau ohne gleichzeitige Ausdehnung der organischen Düngung erfolgen (Var. 10, 5, 9 in Abb. 2, oben). Diese Betriebsvarianten können der Humusgruppe B – C zugeordnet werden. Gleichzeitig werden in diesen Varianten die niedrigsten N-Salden erzielt (s. Tab. 1). Bei der Ausgestaltung dieser Anbauverfahren z. B. zur Erzielung optimaler Erträge an Marktfrüchten und auch an nachwachsenden Rohstoffen müssen daher Untergrenzen des Leguminosenumfanges sowie auch im Ökolandbau Abfuhrgrenzen mit organischen Ernteprodukten eingehalten werden, damit die Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit dieser Systeme gewährleistet werden können.

Gegenüber der konventionellen Ausgangsbasis wird ein leichter zusätzlicher Anstieg der Humusgehalte im Durchschnitt des Landes Sachsen nach Umstellung auf Ökolandbau um 0,052 % C_{org} bewirkt (vgl. Abb. 1 u. Abb. 2, Var. 0, Ist-Zustand ÖKO). Bei zusätzlicher Anwendung von Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung (Grubber, Direktsaat) werden kaum Auswirkungen auf die Humusgehalte im Durchschnitt des gesamten Bodenprofils erwartet (ohne Abbildung). Durch die reduzierte Bodenbearbeitung erfolgt zwar eine deutliche Umschichtung der Humusgehalte im Tiefenprofil, eine Erhöhung des Erosionsschutzes, eine verbesserte Wasserperkolatation und eine Reduzierung des Energieaufwandes. Wie aus meistens konventionellen Dauerversuchen bekannt ist, kann die Humusmenge aber in den Fällen nur leicht angehoben werden, wenn es gelingt, Ertragsausfälle zu verhindern oder wenn ein Abfall der biologischen Aktivität des Bodens gegeben ist. Wenn demgegenüber, wie dies oft zu erwarten ist, die Erträge etwas abfallen und zudem eine Erhöhung der Bodenlebewesen (z. B. Regenwürmer) zu verzeichnen ist, kann die Humusmenge gegenüber dem Pflugeinsatz auch geringfügig abfallen (s. HÜLSBERGEN 2007; NITZSCHE 2007; APPEL 2008, BERNER et al. 2008; KOLBE 2009).

Durch den zu erwartenden Ertragsanstieg (unter Berücksichtigung des genetischen und technischen Fortschritts und der CO_2 -Düngewirkung) von 25 % (D-), 50 % (Lö-) und 75 % (V-Standort) wurde eine Erhöhung der C_{org} -Werte um etwas über 0,10 % berechnet (Abb. 2, Var. 1). Die durch den Klimawandel bewirkten ansteigenden CO_2 -Gehalte erhöhen zwar die Photosynthese- und Ertragsleistung und führen zu einer verbesserten Wasserausnutzung. Durch die stärkere Schließung der Stomata kann jedoch die Temperatur in den Pflanzenbeständen zusätzlich zur allgemeinen Temperaturerhöhung ansteigen. Durch die dann oft höhere Respiration der Pflanzen können die Erträge wiederum reduziert werden. Eine abschließende Bewertung dieser gegensätzlichen Trends ist zurzeit nicht möglich (s. WEIGEL et al. 2005; PERALTA & WANDER 2008).

Eine deutliche Anhebung der Humusgehalte ist bei ökologischer Bewirtschaftung erst gegeben, wenn eine Ausdehnung der Tierhaltung bis an bzw. sogar über die Grenzen des erlaubten Tierbesatzes erfolgt (max. 170 kg N/ha*a aus Wirtschaftsdüngern tierischen Ursprungs). Auswirkungen von Betrieben mit jeweils 2 GVE/ha Rinderhaltung auf Gülle- (Var. 2) und Stalldungbasis (Var. 3, Abb. 2) wurden berechnet. Es kommt hierdurch zu einem Anstieg der C_{org} -Gehalte um 0,18 % und es erfolgt eine Einstufung in Humusgruppe D. Eine starke Ausdehnung nicht nur der Rinderhaltung hat wiederum den Nachteil, dass neben einer relativ geringen Nährstoff- und Energieeffizienz klimawirksame Spurengase ansteigen können (RUSER 2008; SMITS & MOSQUERA 2008). Auch in diesen Beispielen werden mit etwas über 50 kg N/ha*a die höchsten N-Salden der geprüften Verfahren registriert (ohne N-Deposition über die Atmosphäre).

Eine deutliche Anhebung der Humusgehalte, wodurch der klimabedingte Abfall teilweise bis weitgehend ausgeglichen wird, kann auch unter Beachtung des Ertragsanstiegs durch Ausdehnung des Leguminosengrasanbaus bis hin zum Permanentgrünland veranschlagt werden. In Var. 11 und Var. 12 ist eine Flächenumwidmung in Richtung Dauergrünland simuliert worden, deren Sequestrierungspotenziale allerdings auf Grund modellbedingter Einsatzgrenzen unsicher fixiert werden können. Eine je nach Berechnungsgrundlage vergleichbare bis noch höhere C-Sequestrierungswirkung kann im Ökolandbau aber auch durch den Einsatz einer stetigen hohen Kompostdüngung von 100 dt/ha*a (Var. 4 u. Var. 6) erreicht werden.

Ein hoher Anteil an Futterbau mit kleinkörnigen Leguminosen und Leguminosen-Gras-Gemengen sowie eine hohe organische Düngung mit Festmist und Kompost zieht nach diesen Untersuchungen eine deutliche Humuswirkung nach sich. Der Anstieg liegt zwischen 0,25 – 0,40 % C_{org} und kann der Versorgungsgruppe E zugeordnet werden. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass Varianten des real existierenden Ökolandbaus zumindest im Durchschnitt hiervon weit entfernt liegen (vgl. Var. 0 u. Var. 4, Abb. 2). Ein weitgehend über den klimabedingten Abbau des Humusgehaltes hinausgehendes C-Sequestrierungspotenzial ist daher für die meisten Standorte durch den Ökolandbau nur mit hohem Aufwand möglich.

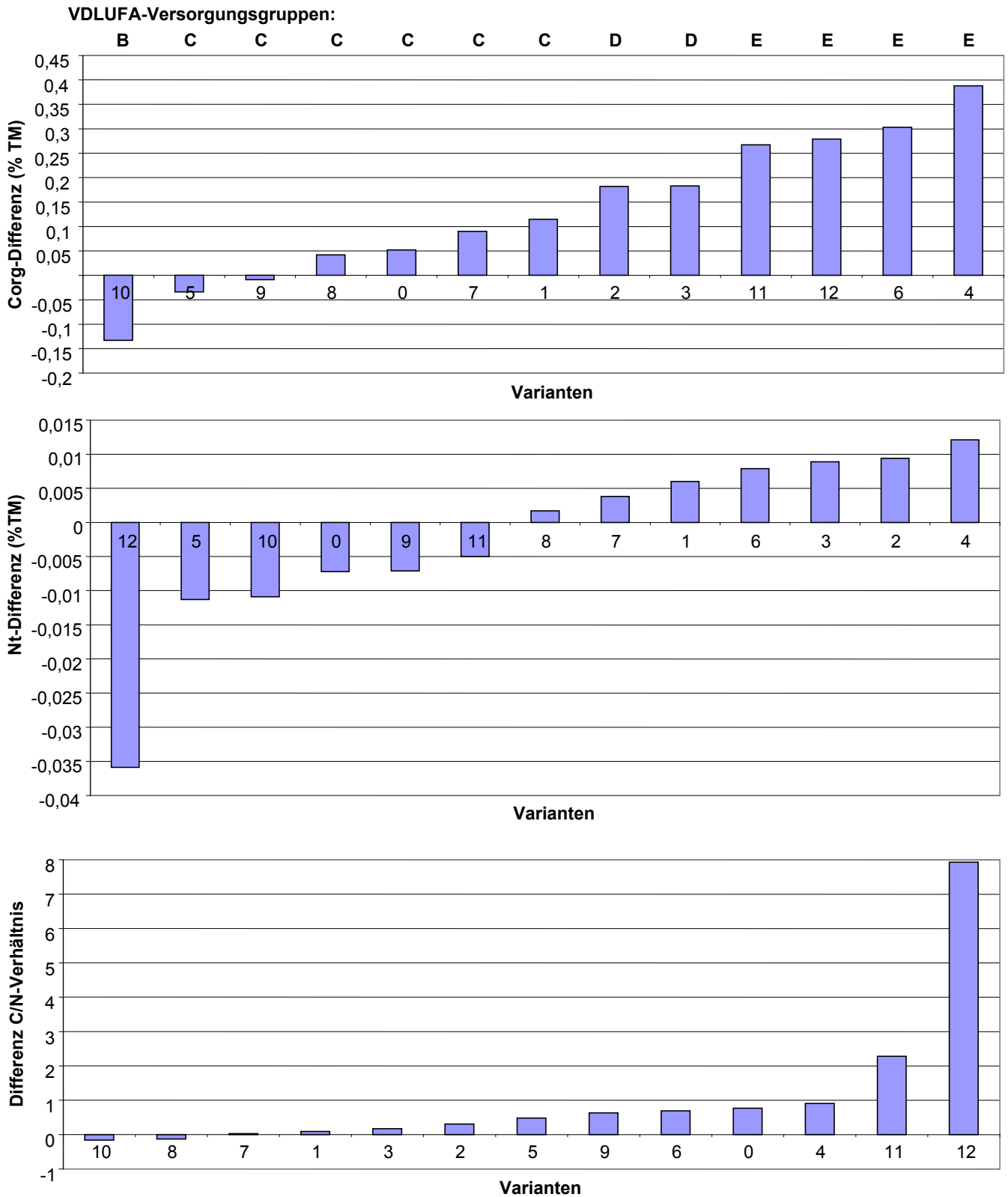


Abbildung 2: Rangfolge der C-Sequestrierung (oben) und der Veränderung der N_t -Gehalte (Mitte) und C/N-Verhältnisse (unten) durch Bewirtschaftungsmaßnahmen des Ökolandbaus im Vergleich zur konventionellen Ausgangsbewirtschaftung bis zum Jahr 2050 auf Grundlage der Ausgangssituation im Jahr 2000 (Var. KON = 0,0 % C_{org} , Tab. 1) im Durchschnitt von Sachsen

Variantschlüssel: 0 Ist-Zustand ÖKO; 1 Ertragsanstieg; 2 Rindergülle 2 GVE; 3 Stallung 2 GVE; 4 Kompost 100 dt/ha; 5 Hackfrucht; 6 Hackfr.+Kompost 100 dt/ha; 7 Futterbau 100 %; 8 Futterbau 67 %; 9 Futterbau 14 % (Marktfr.); 10 Futterbau 14 %, Abfuhr (Energiefr.); 11 Grünland+Abfuhr; 12 Grünland-Stilllegung

Die Veränderung der N_t -Gehalte des Bodens erfolgt durch den Klimawandel in weiten Zügen parallel zur C_{org} -Entwicklung, sodass die C/N-Verhältnisse relativ stabil bleiben (s. Abb. 1). Von diesem allgemeinen Trend weichen allerdings bestimmte Bewirtschaftungsvarianten deutlich ab (Abb. 2, Mitte u. unten). Es sind daher einige Besonderheiten zu beachten, die zu einer gerichteten Veränderung der C/N-Verhältnisse führen. Der größte Abfall im N_t -Gehalt des Bodens erfolgt durch Bewirtschaftungsvarianten, bei denen die Verfügbarkeit des Nährstoffs Stickstoff relativ gering ist. Dies zeigt sich in Varianten mit (deutlich) negativen N-Salden (Var. 5, 10, 0, 9) oder in Varianten, die als Dauergrünland installiert worden sind (Var. 12, 11). Da dies im Vergleich zur konventionellen Ausgangsbasis in vielen ökologischen Bewirtschaftungssystemen zutrifft, steigt das C/N-Verhältnis nach Umstellung auf Ökolandbau im Ackerbau etwas und auf Grünland in der Regel deutlich an.

Demgegenüber kann in Betriebsvarianten mit hohem Marktfruchtanteil und Abfuhr aller Koppelprodukte (Var. 10) die Zufuhr an organischer Substanz stark abfallen. In diesen Betriebsvarianten können die durchschnittlichen C/N-Verhältnisse der konventionellen Ausgangsbasis sogar noch unterschritten werden. Auf der anderen Seite erfolgt der höchste Anstieg im N_t -Gehalt des Bodens in Varianten, bei denen relativ hohe N-Überschüsse berechnet worden sind (Var. 6, 3, 2 u. 4 in Abb. 2).

Eine Gegenüberstellung der erlangten Humusbilanzen mit den berechneten vereinfachten Energiebilanzen der untersuchten Bewirtschaftungsvarianten ergab eine negative Beziehung (Abb. 3). Hieraus ist zu entnehmen, dass mit ansteigendem Energiegewinn eine Abnahme der Humussalden einhergeht. Mit Abnahme der C-Sequestrierung ist dann auch eine Zunahme der Emission an Spurengasen verbunden (HÜLSBERGEN & KÜSTERMANN 2007). Es gibt nach diesen Ergebnissen also keine oder nur wenige Anbauvarianten, bei denen ein hoher abgefahrter Energieertrag gleichzeitig mit einem hohen positiven Humussaldo verbunden ist. Bei Kenntnis dieser Zusammenhänge dürfte es also in Zukunft auch unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus wichtig sein, vor der Ausdehnung bestimmter Anbauverfahren (z. B. im Bereich nachwachsender Rohstoffe) eine genaue Humusbilanzierung durchzuführen, damit der Energiegewinn der Fläche nur unter Beachtung einer mindestens ausgeglichenen Humusbilanz optimiert werden kann.

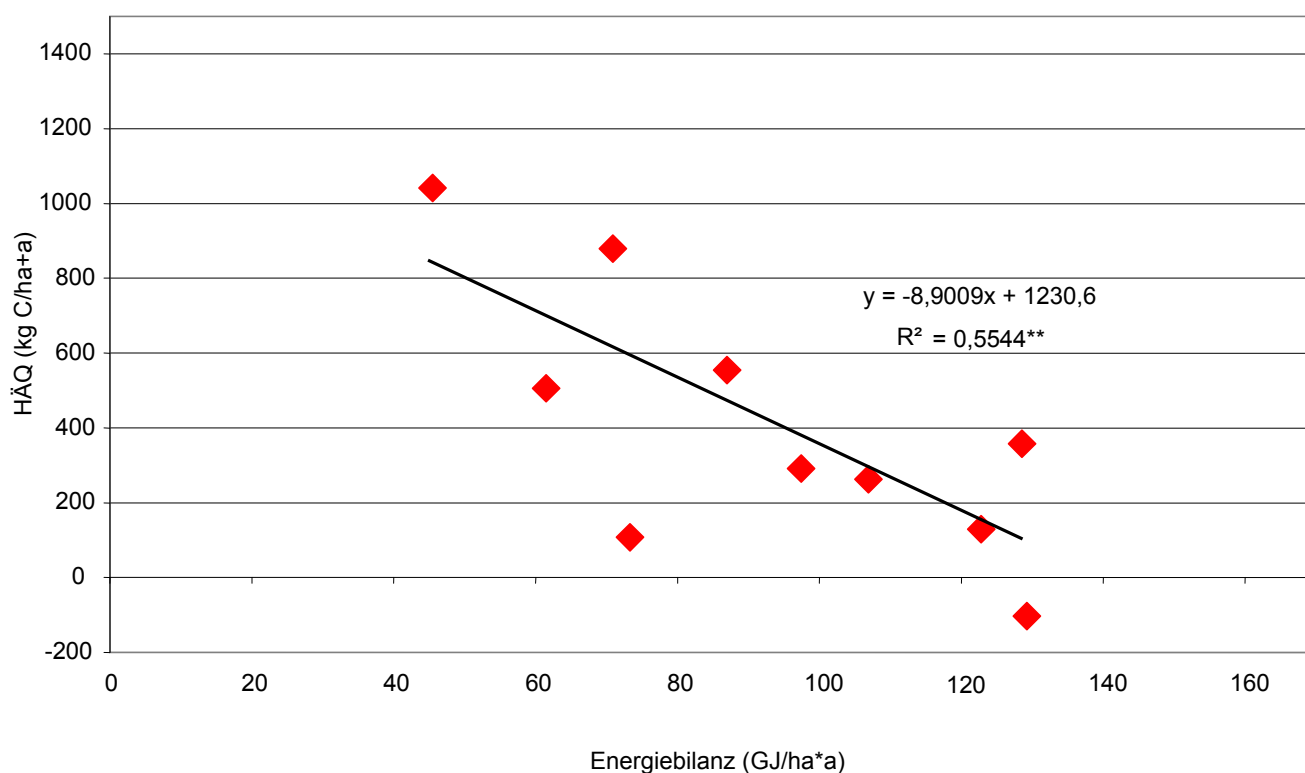


Abbildung 3: Beziehungen zwischen der berechneten Energiebilanz der Anbauverfahren und deren Humusbilanz

4 Schlussfolgerungen

Ein Vergleich mit den unter konventionellen Bedingungen ermittelten Kompensationswirkungen (KOLBE 2009) zeigt für ausgewählte und miteinander vergleichbare Bewirtschaftungsvarianten im Allgemeinen nur sehr geringe Differenzen auf (Tab. 2). So bringt z. B. die Installation von Grünland an Stelle durchschnittlichen konventionellen Ackerlandes eine etwas höhere Humusanreicherung als bei entsprechender Umwandlung von ökologisch bewirtschaftetem Ackerland. Die Ursache hierfür liegt darin, dass im ökologischen Ackerbau durch relativ hohem Umfang an Klee gras bereits Elemente etabliert sind, die zu dieser „Grünlandwirkung“ auf die Humusgehalte beitragen. Bei anderen Betriebselementen bestehen kaum Unterschiede zwischen den Systemen oder der Ökolandbau weist nur geringe Vorteile auf.

Tabelle 2: Vergleich spezifischer Bewirtschaftungselemente zwischen konventionellem (KON) und ökologischem Landbau (ÖKO) auf die C_{org}- und N_t-Gehalte (% TM) des Bodens des Lö-Standortes

Merkmal	Kompost (100 dt/ha)		Stalldung (Rind) (2 GVE/ha)		Abfuhr Koppelprodukte		Grünland		Mittelwerte	
	KON*	ÖKO	KON*	ÖKO	KON*	ÖKO	KON*	ÖKO	KON*	ÖKO
C _{org}	0,330	0,336	0,128	0,131	0,118	0,124	0,304	0,221	0,220	0,203
N _t	0,0125	0,0192	0,0046	0,0161	0,0034	0,0038	0,0205	0,0155	0,0103	0,0137

* KOLBE (2009)

Von den real existierenden und gleichzeitig auch betriebswirtschaftlich erfolgreichen Formen der Landbewirtschaftung beinhaltet der Ökolandbau bestimmte Elemente der Fruchtfolge (Leguminosenanbau, Futterbau) und der Zufuhr an organischer Substanz über organische Düngemittel, die jeweils eine positive Humuswirkung aufweisen. Auf diesen Ursachen beruht daher die etwas bessere Sequestrierungswirkung an Kohlenstoff gegenüber den üblichen Formen des konventionellen Landbaus (s. auch FOEREID & HOGH-JENSEN 2004; HÜLSBERGEN 2008). Eine zusätzliche Einführung von auf die Kohlenstoffspeicherung positiv wirkenden Elementen hängt allerdings davon ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie sich in den Landbausystemen voll integrieren lassen. Dies hängt nicht nur von der landbaulichen Akzeptanz, sondern auch von betriebswirtschaftlichen Erwägungen ab.

Die Einführung stark sequestrierender Elemente (z. B. eine stetige Kompostdüngung oder eine Flächenumwidmung zu Grünland oder Forst) ist darüber hinaus im Wesentlichen davon abhängig, ob eine finanzielle Förderung oder eine monetäre Bewertung der Kohlenstoffspeicherung erfolgt und ob ein Flächenpotenzial hierfür überhaupt zur Verfügung steht. Diese Elemente können dann jedoch in beiden Landbausystemen angewendet werden, da die Humuswirkungen weitgehend gleich sind.

Aus den aufgezeigten Ergebnissen einer Reihe von Bewirtschaftungs- und Flächennutzungsänderungen kann ein Handlungsrahmen abgeleitet werden, um die Auswirkungen des Klimawandels für einen Zeithorizont von ca. 30 – 50 Jahren zu kompensieren. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass mit der Zeit die C-sequestrierende Wirkung immer geringer wird und nach dem ausgewiesenen Zeithorizont schließlich ganz ausbleibt, obwohl die spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen weitergeführt werden müssen (SMITH 2004, 2005). Bei (vorzeitiger) Beendigung der Maßnahmen kommt es zu einer Nettofreisetzung an Kohlenstoff, bis sich wiederum ein neues Gleichgewicht eingestellt hat. Daher sind alle in dieser Arbeit geprüften Materialien und Maßnahmen nur von sehr begrenzter Auswirkung und Dauer, um in der Zeitperiode einer stark ansteigenden CO₂-Freisetzung eine gewisse zwischenzeitliche Entspannung zu bewirken.

5 Zusammenfassung

Unter Nutzung konkreter Bewirtschaftungsbedingungen wurden in dieser Arbeit sowohl Auswirkungen des Klimawandels (Temperatur, Niederschlagshöhe) als auch Kompensationsmöglichkeiten durch ökologischen Landbau auf die C_{org} - und N_t -Gehalte des Bodens untersucht. Am Beispiel von drei Agrarstrukturgebieten in Sachsen (D-, LÖ- u. V-Standorte) wurden mit Hilfe mehrerer Methoden der Humusbilanzierung auf Basis der konventionellen Ausgangssituation im Jahr 2000 die Auswirkungen einer Umstellung auf verschiedene Formen des ökologischen Landbaus (Ist-Situation, Marktfrucht, Futterbau, organische Düngung, Umwidmung zu Grünland) bis zum Jahr 2050 ermittelt.

6 Literatur

- APPEL, T. (2008): Umweltvorteile: Ja, aber ... DLG-Mitteilungen Nr. 12, 46 - 49
- BADGLEY, C., MOGHTADER, J., QUINTERO, E., ZAKEM, E., CHAPPELL, M. J., AVILES-VAZQUES, K., SAMULON, A., PERFECTO, I. (2007): Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 86 – 108
- BERNER, A., FLIESSBACH, A., NIETLISPACH, B., MÄDER, P. (2008): Effects of reduced tillage on soil organic carbon and microbial activity in a clayey soil. IFOAM Organic World Congress 16, Modena. <http://orgprints.org/12303>
- BURGT, VAN DER G. J., STAPS, S., TIMMERMANS, B. (2008): Dutch (organic) agriculture, carbon sequestration and energy production. *International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems* 5, 88 – 91. <http://www.louisbolk.org/downloads/2087.pdf>
- CAPRIEL, P. (2006): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 16, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
- FLIESSBACH, A., OBERHOLZER, H.-R., GUNST, L., MÄDER, P. (2007): Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273 - 284
- FOEREID, B., HOGH-JENSEN, H. (2004): Carbon sequestration potential of organic agriculture in northern Europe – a modelling approach. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68, 13 - 24
- GRANSTEDT, A., KJELLENBERG, L. (2008): Organic and biodynamic cultivation – a possible way of increasing humus capital, improving soil fertility and providing a significant carbon sink in Nordic conditions. IFOAM Organic World Congress 16, Modena. <http://orgprints.org/12625>
- HOYER, U., LEMNITZER, B., HÜLSBERGEN, K.-J. (2007): Einfluss des ökologischen Landbaus auf unterschiedliche Humuspools im Boden und Schlussfolgerungen zur Humusbilanzierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bd. 1, 9 - 12
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2008): Kohlenstoffspeicherung in Böden durch Humusaufbau. In: Klimawandel und Ökolandbau. KTBL-Schrift 472, 65 – 80, KTBL, Darmstadt
- HÜLSBERGEN, K.-J., KUSTERMANN, B. (2007): Klimaschutz durch Humusaufbau? *Lebendige Erde* Nr. 5, 16 - 18
- KOLBE, H. (2008): Effects of increasing fertilization in organic field fodder and arable systems on different soils and climatic conditions of eastern Germany. *Annals of Agrarian Science* 6, 15 – 24
- KOLBE, H. (2009): Auswirkungen differenzierter Land- und Bodenbewirtschaftung auf den C- und N-Haushalt der Böden unter Berücksichtigung konkreter Szenarien der prognostizierten Klimaänderung im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 23, 1 - 143
- KÖPKE, U., COOPER, J., PETERSEN, H. L., VAN DER BURGT, G. J., TAMM, L. (2008): QLIF Workshop 3: Performance of Organic and Low Input Crop Production Systems. IFOAM Organic Congress 16, Modena. <http://orgprints.org/13378/>
- LFUG (2008): Grundwasserbeschaffenheit: Nitrat. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. http://www.lfug.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/documents/Nitrat_2008.pdf

- MOSIER, A. R. (1998): Soil processes and global change. *Biol. Fertil. Soils* 27, 221 - 229
- NIGGLI, U., FLIESSBACH, A., HEPPERLY, P., SCIALABBA, N. (2008): Low greenhouse gas agriculture: Mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *FAO, Rom*, 1 – 13
- NITZSCHE, O. (2007): Entwicklung der C-Masse und C-Verteilung in der Ackerkrume in Abhängigkeit einer langfristig differenzierten Bodenbearbeitung. *VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 2006*, 62, 128 – 135
- NITZSCHE, O., KRÜCK, S., SCHMIDT, W., RICHTER, W. (2001): Konservierende Bodenbearbeitung - ein Weg zur Verminderung von Bodenerosion und Phosphatverlusten und zur Steigerung der biologischen Aktivität des Bodens. *Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 11*, 42 - 47
- PERALTA, A. L., WANDER, M. M. (2008): Soil organic matter dynamics under soybean exposed to elevated [CO₂]. *Plant and Soil* 303, 69 – 81
- RUSER, R. (2008): Lachgasemissionen aus ökologisch bewirtschafteten Böden. In: *Klimawandel und Ökolandbau. KTBL-Schrift 472*, 50 - 64, KTBL, Darmstadt
- SMITH, P. (2004): Soils as carbon sinks: the global context. *Soil Use and Management* 20, 212 – 218
- SMITH, P. (2005): An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of direct human-induced, indirect and natural effect. *European Journal of Soil Science* 56, 673 - 680
- SMITS, M., C. J., MOSQUERA, J. (2008): Greenhouse gas emissions from organic dairy farms and potentials for their reduction. In: *Klimawandel und Ökolandbau. KTBL-Schrift 472*, 81 - 86, KTBL, Darmstadt
- SUKKEL, W., VAN GEEL, G., DE HAAN, J. J. (2008): Carbon sequestration in organic and conventional managed soils in the Netherlands. *IFOAM Organic World Congress 16, Modena*. <http://orgprints.org/12300>
- WEIGEL, H. J., MANDERSCHIED, R., PACHOLSKI, A., BURKHART, S., JANSEN, G. (2005): Mehr CO₂ in der Atmosphäre: Prima Klima für die Landwirtschaft? *ForschungsReport 1*, 14 – 17

Nähr- und Schadstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern des ökologischen Landbaus in Sachsen

Dr. Dietmar Meyer - G.U.B. Ingenieur AG;

Dr. Barbara Dittrich - Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft;

Brigitte Köhler - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft;

Dr. Hartmut Kolbe - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung	17
2	Material und Methoden	18
2.1	Untersuchungsmaterial und Probenahme	18
2.2	Analytik der Hauptnährstoffe, Spurenelemente und Schwermetalle	19
3	Ergebnisse und Bewertung	20
3.1	Hauptnährstoffe	20
3.2	Spurenelemente und Schwermetalle	28
4	Zusammenfassung	30
5	Literatur	31

1 Veranlassung und Zielstellung

Gesetzliche Regelungen wie die Düngeverordnung (DüV 2007) und Cross Compliance (CC 2003, 2004) verlangen auch vom ökologischen Landbau detaillierte Bilanzen des Nährstoff- und Humusumsatzes. Ebenso werden im Bereich der Kontrolle zur EU-Öko-VO (2007) und in Verbandsrichtlinien und Beratungsunterlagen zunehmend genaue Nachweise zur Betriebs- und Fruchtfolgegestaltung gefordert. Im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“ dienen solche Analysen auch zur eigenen Überprüfung von Betriebsabläufen, Aufdeckung von Schwachstellen und Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes.

Vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wird für solche Kalkulationen das PC-Programm BEFU („Bestandesführung“) bereitgestellt, das bisher vor allem in der konventionellen Landwirtschaft breite Anwendung gefunden hat. Für die Verwendung im ökologischen Landbau steht heute mit dem Teil „Ökologischer Landbau“ – kurz „ÖKO-BEFU“ – eine Weiterentwicklung zur Verfügung (KOLBE & KÖHLER 2008).

Das Programm trägt den Anforderungen des ökologischen Landbaus bezüglich Düngungsbemessung und Nährstoffbilanzierung Rechnung. Es ist mit umfangreichen Tabellen mit Richtwerten für die Nährstoffgehalte sowohl der einsetzbaren Düngemittel (Input) als auch der Ernteprodukte (Output, Entzug) hinterlegt, welche die besonderen Haltungs- und Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus berücksichtigen. Gleichwohl ist die Datenbasis dieser Richtwerte aus Untersuchungen in ökologisch wirtschaftenden Betrieben häufig zu gering, sodass teilweise auf Faustzahlen aus der konventionellen Landwirtschaft zurückgegriffen werden musste. Das trifft besonders für die Wirtschaftsdünger zu.

Die Anwendung von konventionellen Daten auf Ökobetriebe kann jedoch zu erheblichen Fehleinschätzungen führen (KOLBE et al. 2003), die besonders schwer wiegen, wenn es sich dabei um wirtschaftseigene Düngemittel handelt, denen im ökologischen Landbau für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit besondere Bedeutung zukommt. Aufgrund des limitierten Nährstoffeinsatzes insgesamt ist gerade hier auf die Kenntnis der Nährstoffgehalte der Düngemittel besonderer Wert zu legen. Je genauer und vollständiger die praktischen Produktionsweisen aufgezeichnet werden, umso verlässlichere Aussagen können zum betrieblichen Nährstoffmanagement und zur Nachhaltigkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Grundsätzlich wird der Nährstoffgehalt organischer Dünger einerseits von der Tierart und Fütterung sowie dem Haltungssystem und andererseits von der Lagerung, Behandlung und Ausbringung beeinflusst (SCHAAF 1998). Insbesondere im ökologischen Landbau gibt es nach wie vor sehr vielfältige Haltungsformen, was die Gewinnung repräsentativer Daten zusätzlich erschwert. Nach den bisher vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen deutet sich an, dass die Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern aus ökologischen Betrieben im Durchschnitt etwas geringer sind als die konventionellen Faustzahlen. STEINBACHINGER et al. (2004) führen dies auf das allgemein geringere Nährstoffniveau ökologisch wirtschaftender Betriebe zurück. Geringere Gehalte wurden insbesondere für Stickstoff ermittelt, während die P- und K-Gehalte im Allgemeinen nur wenig von den konventionellen Richtwerten organischer Dünger abweichen (HÜLSBERGEN 2003). In den Tabellenwerken des ÖKO-BEFU wurde dies durch einen pauschalen Abschlag von 10 % für den N-Gehalt gegenüber den konventionellen Standardtabellen berücksichtigt, soweit keine Analysen aus Ökobetrieben vorlagen.

Zur Abhilfe der unsicheren Datenlage wurde in den Jahren 2006 und 2007 eine umfassende Erhebung an Wirtschaftsdüngern von ökologischen Betrieben in Sachsen durchgeführt. Neben den Hauptnährstoffen wurde eine Reihe von Spurenelementen erfasst, darunter auch Schwermetalle, deren Frachten aus Vorsorgegründen soweit begrenzt werden müssen, dass es zu keiner schädlichen Anreicherung im Boden kommt. Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt. Die Daten werden nach der Auswertung in die Richtwertetabellen des ÖKO-BEFU einfließen.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsmaterial und Probenahme

Insgesamt wurden 64 Proben aus Ökobetrieben des Freistaates Sachsen untersucht, die sich wie folgt auf die verschiedenen Gruppen von Wirtschaftsdüngern verteilen:

	Anzahl Proben
■ Stallmiste:	
Rindermist	29
Schweinemist	4
Schafmist	9
Ziegenmist	4
Pferdemist	2
Hühnermist	2
Enten-/Gänsemist	3
Hühnerfrischkot	2
■ Gülle:	
Rindergülle	4
Schweinegülle	1
■ Jauche:	
Rinderjauche	3
Mischjauche (Rind/Schwein)	1

Die Entnahme von Proben erfolgte in den Jahren 2006 und 2007 durch den Außendienst der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Anwendung der Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysenmethoden für die amtliche Düngemittelüberwachung (Düngemittel-Probenahme- und Analysenverordnung) vom 27. Juli 2006 (BGBl. I, S. 1822) und der Hinweise zur Entnahme von Proben aus Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Methodenbuch II.2 1. Erg. 2007, VDLUFA-Verlag). Die Probenvorbereitungen für die Schwermetallanalysen erfolgten bei den organischen Düngemitteln nach dem VDLUFA-Methodenbuch, Band II.2, 2000. Es wurden prinzipiell Mahlwerkzeuge eingesetzt, die keine der bestimmenden Elemente enthielten.

2.2 Analytik der Hauptnährstoffe, Spurenelemente und Schwermetalle

Die Analytik der Hauptbestandteile der Wirtschaftsdünger erfolgte nach den in Tabelle 1 angegebenen Methoden.

Tabelle 1: Analysenmethoden der Hauptnährstoffe der Wirtschaftsdünger

Element	Analysenverfahren
Trockensubstanz (TS)	METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.11.5.1 (1995)
Organische Substanz (OS)	METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.10.1 (1. Erg. 1999)
Organischer Kohlenstoff (C)	DIN ISO 10694 (1995)
Gesamtstickstoff (N)	METHODENBUCH Bd. II.1.Nr.3.3.1 (1995)
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.3.2.1 (1995)
Phosphor (P)	METHODENBUCH Bd. II.2 Nr. 3.2.1.3 (2000)
Kalium (K)	METHODENBUCH Bd. II.2 Nr. 3.3.1.3 (2000)
Magnesium (Mg)	METHODENBUCH Bd.II.2.Nr. 3.5.1..3 (2000)
Calcium (Ca)	METHODENBUCH Bd.II.2.Nr.3.4.1.3 (2000)
Natrium (Na)	METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.8.1 (1995)
Schwefel (S)	VO (EG) Nr. 2003/2003 EG-Methode 8.2

Die Bestimmung der Gesamtgehalte an Schwermetallen erfolgte nach dem Aufschluss mit Königswasser (VDLUFA-Methodenbuch, Band VII, 2003). Tabelle 2 zeigt die zur Analyse der verschiedenen Elemente eingesetzten Analysenverfahren.

Tabelle 2: Angewandte Analysenverfahren für Schwermetalle

Element	Analysenverfahren
Arsen (As)	ICP-MS nach DIN 38406 E29 (1999)
Blei (Pb)	ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 E22 (1998)
Cadmium (Cd)	ICP-MS nach DIN 38406 E29 (1999)
Chrom (Cr)	ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 E22 (1998)
Kupfer (Cu)	ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 E22 (1998)
Nickel (Ni)	ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 E22 (1998)
Quecksilber (Hg)	Kaltdampf-AAS nach DIN EN 1483 (2007)
Zink (Zn)	ICP-OES nach DIN EN ISO 11885 E22 (1998)
Thallium (Tl)	ICP-MS nach DIN 38406 E29 (1999)
Uran (U)	ICP-MS nach DIN 38406 E29 (1999)

Für die Bestimmung der Schwermetallgehalte wurden folgende Analysengeräte eingesetzt:

- ICP-OES Optima 5300DV der Firma Perkin Elmer
- ICP-MS ELAN 6000 der Firma Perkin Elmer
- Hg-Analysator FIMS der Firma Perkin Elmer.

Die Ergebnisse der Untersuchungen entsprechen jeweils Doppelbestimmungen, aus denen der Mittelwert gebildet wurde. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg/kg Trockenmasse.

3 Ergebnisse und Bewertung

3.1 Hauptnährstoffe

In Tabelle 3 sind die mittleren Nährstoffgehalte der untersuchten Wirtschaftsdüngergruppen für die Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) sowie Calcium (Ca), Natrium (Na) und Schwefel (S) zusammengestellt worden. Die höchsten Stickstoff-, Phosphor- und auch Calciumgehalte haben erwartungsgemäß Wirtschaftsdünger aus der Geflügelhaltung. Die höchsten Kaliumgehalte entfallen auf Miste von Wiederkäuern. Für die übrigen Elemente ist das Bild weniger differenziert. Aus der Aufstellung geht eine erhebliche Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe von Wirtschaftsdüngern in Abhängigkeit von der Tierart und dem Haltungsverfahren hervor.

Tabelle 3: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern aus ökologisch wirtschaftenden Betrieben (Angaben bezogen auf Trockenmasse)

Ökologischer Wirtschaftsdünger		TS (% d. FM)	C/N (N = 1)	OS (% d. TM)	C (% d. TM)	NH ₄ -N (% d. TM)	N (% d. TM)	P (% d. TM)	K (% d. TM)	Mg (% d. TM)	Ca (% d. TM)	Na (% d. TM)	S (% d. TM)
Rindermist	x	22,1	15,5	78,9	39,5	0,48	2,71	0,45	3,04	0,38	1,98	1,18	0,31
n = 29	s	5,0	4,0	13,2	3,7	0,22	0,52	0,15	1,12	0,17	3,98	1,22	0,10
	max	42,6	30,3	89,8	43,5	1,10	3,79	0,68	4,59	0,85	22,50	3,20	0,50
	min	14,2	10,4	19,5	29,1	0,17	1,34	0,02	0,27	0,03	0,04	0,01	0,02
Schweinemist	x	24,0	9,7	73,9	35,6	1,09	3,69	0,83	2,74	0,56	1,60	2,29	0,37
n = 4	s	8,9	1,3	19,3	6,7	0,54	1,28	0,27	1,48	0,33	1,30	1,33	0,08
	max	42,8	10,9	83,9	40,7	1,51	4,76	1,01	5,03	1,34	3,96	3,08	0,50
	min	20,1	8,4	32,8	25,7	0,07	1,03	0,34	1,25	0,43	0,14	1,15	0,25
Schafmist	x	32,6	14,8	78,8	38,1	0,62	2,80	0,64	3,27	0,44	1,89	1,76	0,38
n = 9	s	8,0	4,9	11,3	4,2	0,40	0,90	0,24	1,03	0,15	1,55	1,42	0,11
	max	47,4	22,1	88,8	42,1	1,35	4,56	1,03	4,69	0,74	5,84	3,57	0,57
	min	23,8	8,9	50,3	29,1	0,27	1,80	0,42	1,70	0,26	0,77	0,11	0,25
Ziegenmist	x	34,8	13,8	76,2	36,2	0,56	2,70	0,77	3,62	0,59	2,05	0,50	0,47
n = 4	s	21,0	2,7	7,5	2,2	0,29	0,44	0,18	1,16	0,24	0,98	0,65	0,12
	max	65,5	16,1	85,7	38,7	0,92	3,24	0,92	5,20	0,93	3,48	1,47	0,64
	min	20,7	10,3	68,4	33,4	0,32	2,29	0,57	2,49	0,39	1,39	0,13	0,37

Tabelle 3: (Fortsetzung)

Ökologischer Wirtschaftsdünger		TS (% d. FM)	C/N (N = 1)	OS (% d. TM)	C (% d. TM)	NH ₄ -N (% d. TM)	N (% d. TM)	P (% d. TM)	K (% d. TM)	Mg (% d. TM)	Ca (% d. TM)	Na (% d. TM)	S (% d. TM)
Pferdemist	x	26,5	32,6	85,0	42,8	0,14	1,45	0,47	1,46	0,28	0,76	0,33	0,21
n = 2	s	12,0	14,0	2,3	0,1	0,04	0,63	0,23	0,38	0,13	0,21	0,30	0,01
	max	34,9	42,6	86,6	42,9	0,17	1,89	0,63	1,73	0,37	0,91	0,54	0,21
	min	18,0	22,7	83,3	42,7	0,11	1,00	0,31	1,19	0,19	0,61	0,11	0,20
Hühnermist	x	41,9	10,5	59,8	32,0	1,42	4,62	1,19	1,46	0,48	6,48	1,55	0,54
n = 3	s	3,8	8,8	7,3	4,0	0,92	3,30	0,38	0,20	0,05	5,56	1,30	0,15
	max	44,7	16,7	66,8	34,8	2,23	8,22	1,57	1,59	0,53	10,40	2,97	0,71
	min	37,6	4,2	52,2	29,2	0,43	1,74	0,81	1,23	0,44	0,12	0,42	0,42
Enten/Gänsemist	x	42,2	14,6	73,4	37,7	1,40	3,53	1,12	1,85	0,33	2,70	1,04	0,36
n = 3	s	17,6	0,7	9,8	3,5	1,78	1,66	0,61	0,46	0,13	2,43	0,24	0,06
	max	61,7	15,1	83,4	40,1	3,45	5,42	1,78	2,34	0,41	4,75	1,20	0,43
	min	27,5	14,1	63,9	35,2	0,27	2,33	0,57	1,44	0,17	0,01	0,76	0,32
Hühnerfrischkot	x	40,6	4,8	54,9	18,7	1,86	4,69	1,03	1,15	0,53	6,72	0,13	0,39
n = 3	s	6,9	-	10,2	-	0,46	1,17	0,36	0,01	0,11	7,61	0,06	0,18
	max	45,5	-	62,1	-	2,18	5,25	1,29	1,15	0,61	12,10	0,17	0,51
	min	35,7	-	47,7	-	1,54	3,87	0,78	1,14	0,45	1,34	0,09	0,26

Tabelle 3: (Fortsetzung)

Ökologischer Wirtschaftsdünger		TS (% d. FM)	C/N (N = 1)	OS (% d. TM)	C (% d. TM)	NH ₄ -N (% d. TM)	N (% d. TM)	P (% d. TM)	K (% d. TM)	Mg (% d. TM)	Ca (% d. TM)	Na (% d. TM)	S (% d. TM)
Rindergülle	x	11,5	10,6	79,3	39,6	1,47	3,87	0,55	2,77	0,43	1,35	0,15	0,31
n = 2	s	1,5	0,7	4,0	4,3	0,42	0,41	0,35	1,66	0,25	0,76	0,09	0,18
	max	13,8	11,1	85,1	44,6	1,81	4,30	0,88	4,23	0,69	1,91	0,22	0,44
	min	10,5	9,9	76,1	36,9	0,86	3,33	0,07	0,39	0,09	0,25	0,02	0,04
Schweinegülle	x	14,1	8,1	80,0	39,4	2,20	4,89	2,23	1,53	1,30	3,09	0,47	0,54
n = 1													
Rinderjauche	x	1,2	5,2	55,9	26,5	3,03	4,97	0,72	14,55	0,90	2,38	1,01	0,68
n = 3	s	0,2	-	5,1	-	0,55	0,79	0,21	5,87	0,25	0,43	0,60	0,08
	max	1,4	-	60,4	-	3,57	5,71	0,91	20,83	1,10	2,84	1,69	0,75
	min	1,0	-	50,4	-	2,48	4,13	0,49	9,21	0,62	2,00	0,54	0,60
Mischjauche	x	2,4	-	41,9	-	13,75	15,42	0,06	27,81	0,72	0,59	0,34	1,35
n = 1													

n = Anzahl; x = Mittelwert; s = Standardabweichung; max = Maximum; min = Minimum

Stickstoff

Für die Bemessung von Düngergaben sind insbesondere die N-Gehalte der Wirtschaftsdünger und dessen Verfügbarkeit von Interesse. In Abbildung 1 werden die mittleren Gesamt-N-Gehalte der hier untersuchten Wirtschaftsdüngemittel nach Haltungssystemen und Tierarten gegliedert mit den Richtwerten des BEFU-Programms (ALBERT et al. 2007) für den ökologischen Landbau (ÖKO-BEFU) und dem konventionellen Landbau (konv. BEFU) verglichen. Im Durchschnitt über alle Haltungssysteme und Tierarten liegen die ermittelten Gesamt-N-Gehalte 9 % über den Richtwerten des ÖKO-BEFU und 6 % unter den Kennzahlen des konventionellen Landbaus. Damit bestätigt sich der aus anderen Untersuchungen bekannte Trend eines geringeren N-Niveaus der Wirtschaftsdünger ökologischer Tierhaltung (DEWES & HÜNSCHE 1998; STEIN-BACHINGER et al. 2004), allerdings mit großen Schwankungen zwischen den Tierarten und Haltungssystemen.

Im Prinzip wird die Größenordnung der Gehalte durch die Standardwerte ganz gut wiedergegeben. Für Pferdemist, Rinder- und Schweinegülle werden die veranschlagten ökologischen Richtwerte relativ genau getroffen. Unterschreitungen der konventionellen Standardwerte ergaben sich insbesondere für Rinder- und Schweinegülle sowie Rinderjauche, während für Schweine- und Ziegenmist höhere N-Gehalte gemessen wurden als nach den Richtwerten veranschlagt worden sind. Deren Anwendung hätte hier zu einer Unterschätzung der N-Zufuhr um 22 % (konv. BEFU) bzw. 42 % (ÖKO-BEFU) geführt. Würden die Richtwerte zur Bemessung der Düngergabe verwendet, würde der laut EU-Öko-VO (2007) erlaubte maximale Betrag für die N-Zufuhr aus Wirtschaftsdüngern von 170 kg N/ha*a im schlimmsten Fall um 70 kg N/ha*a überschritten.

Dieses Beispiel unterstreicht die Bedeutung eigener Analysen der betriebseigenen Düngemittel. Muss indes auf Richtwerte zurückgegriffen werden, so zeigen die Ergebnisse auch auf, dass Bemühungen zur Verbesserung der Richtwerte erfolgreich sein können, damit der zu erwartende Fehler so klein wie möglich gehalten wird. Änderungen an den bestehenden Richtwerten des ÖKO-BEFU sind jedoch mit den neuen Messergebnissen aufgrund des oft zu geringen Stichprobenumfangs nur für einige Wirtschaftsdünger zu begründen. So könnte für Stallmist aus der Rinderhaltung eine Anhebung des Richtwertes für den Gesamt-N-Gehalt auf 0,6 % aufgrund des großen Stichprobenumfanges erfolgen.

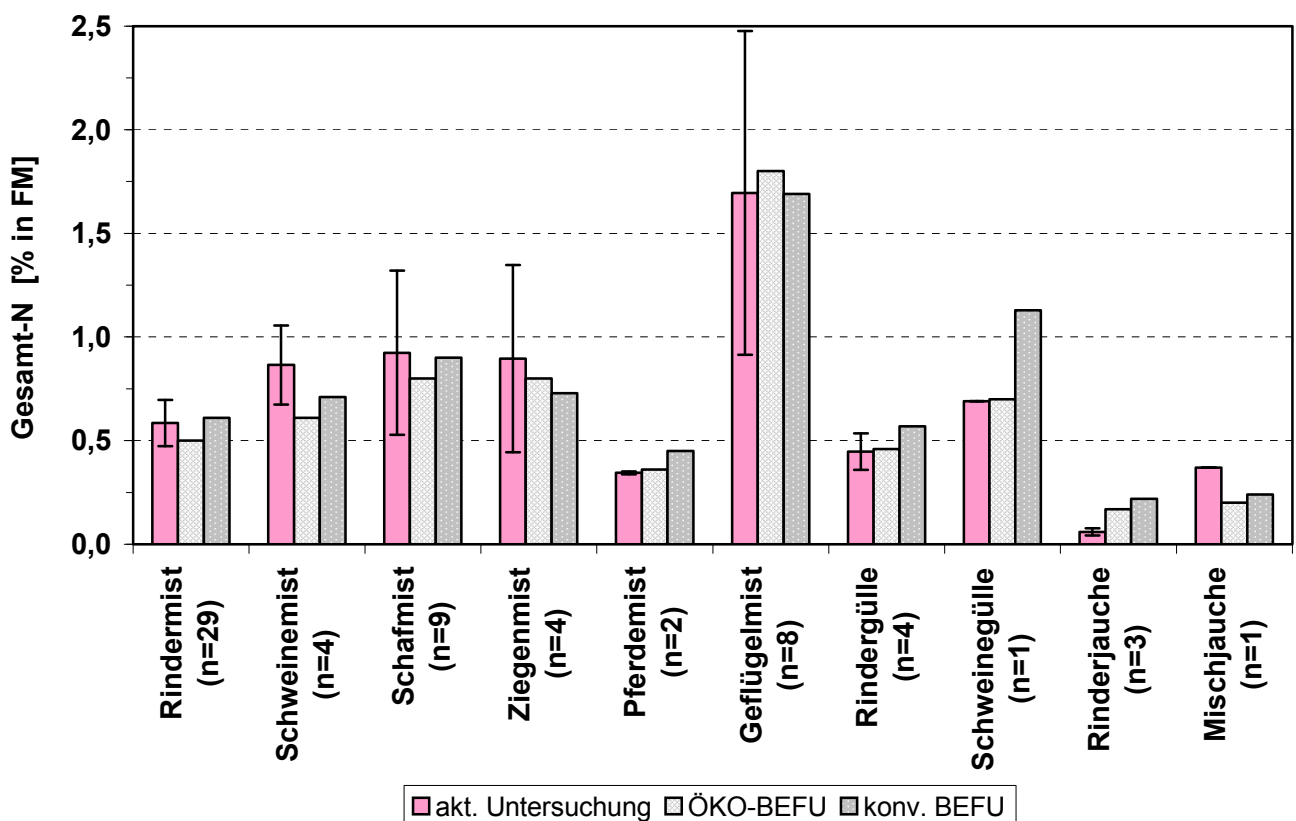


Abbildung 1: Vergleich der Gesamt-N-Gehalte der untersuchten Wirtschaftsdünger mit den Richtwerten des BEFU-Programms für den ökologischen und den konventionellen Landbau

Generell ist der NH_4 -Anteil am Gesamt-N in Wirtschaftsdüngern aus ökologischen Produktionsweisen deutlich geringer als bei konventioneller Tierhaltung (Abb. 2). Als Richtwert ist bei ökologischer Tierhaltung im Durchschnitt über alle Tierarten und Haltungsformen nach den vorliegenden Messwerten eine Abnahme des NH_4 -Anteils auf 80 % der konventionellen Werte anzunehmen, wobei auch hier erhebliche Schwankungen zwischen den einzelnen Düngerarten zu beachten sind. Zu ähnlichen Befunden kamen DEWES & HÜNSCHE (1998), deren Auswertungen für Stallmist und Gülle allerdings noch weitaus geringere NH_4 -Anteile zeigten. Als Ursache ist wiederum das insgesamt etwas geringere N-Niveau ökologisch wirtschaftender Betriebe zu vermuten.

Die Düngewirkung der organischen Düngestoffe bzw. des mit ihnen ausgebrachten Stickstoffs lässt sich für das Anwendungsjahr anhand des Verhältnisses von Ammonium-N zum Gesamtstickstoff abschätzen. Die Zusammenhänge wurden von GUTSER (2004) und GUTSER et al. (2005) für die konventionelle Landwirtschaft erläutert und zur Anwendung im Ökolandbau zu einem Bewertungsschema zusammengefasst (KOLBE 2007).

Die Anwendung des Richtwertes von 80 % der konventionellen Standardwerte für den NH_4 -Anteil organischer Düngermittel in der von KOLBE (2007) zur Abschätzung der N-Wirkung abgeleiteten linearen Gleichung ergibt für die Düngewirkung im Jahr der Anwendung folgende Anhaltswerte (in % des Gesamt-N):

■ Stallmist	14	(10 - 17)
■ Gülle	29	(26 - 33)
■ Jauche	44	

Diese Werte können in Zukunft zur genaueren Bemessung der organischen Düngung im ökologischen Landbau Anwendung finden.

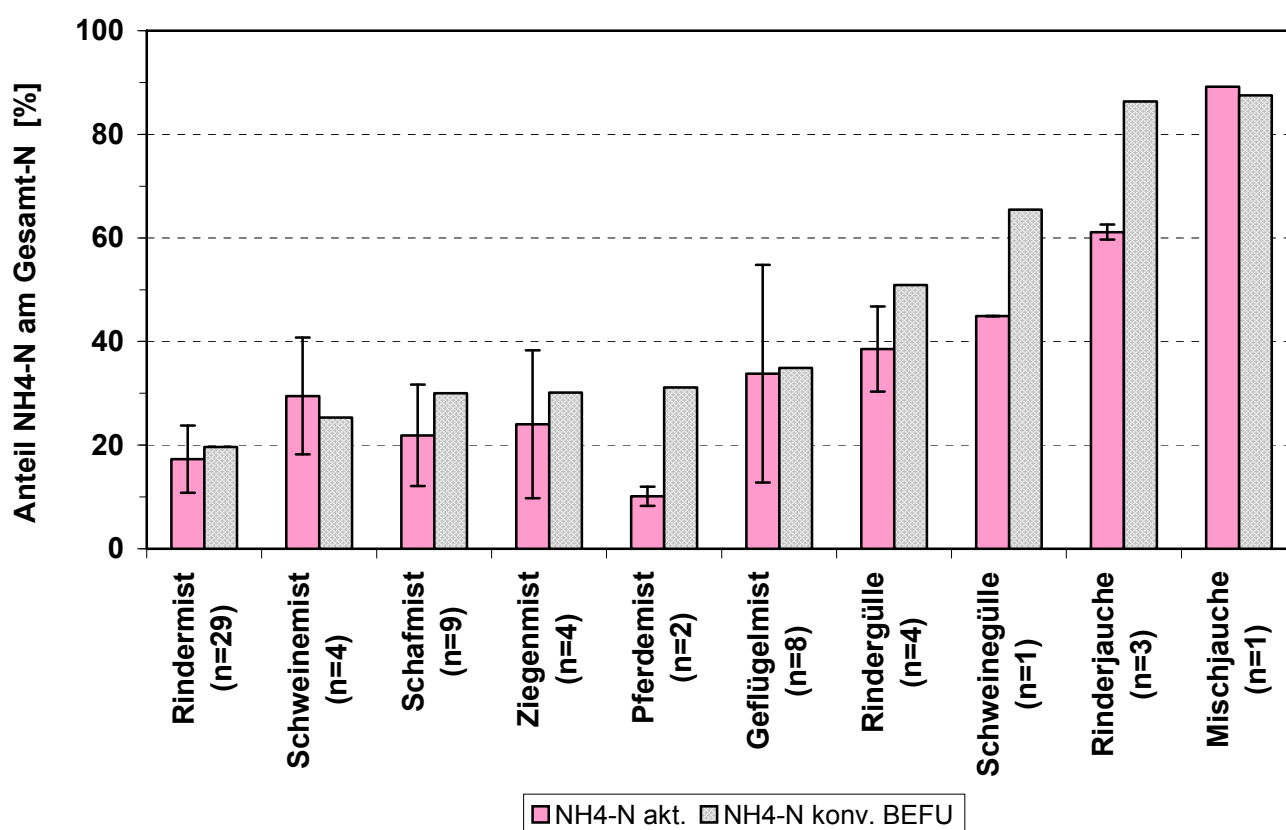


Abbildung 2: Anteile des Ammonium-Stickstoffs am Gesamtstickstoffgehalt von Wirtschaftsdüngern aus ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben

Phosphor, Kalium und Magnesium

In den Abbildungen 3 bis 5 sind die ermittelten Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalte der untersuchten Wirtschaftsdüngemittel aus ökologischer Produktion den Richtwerten des BEFU-Programms gegenübergestellt worden. Es ist zu sehen, dass die Angaben der Literatur bzw. der Tabellenwerke zur Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung je nach Nährstoff in unterschiedlichem Ausmaß von den hier tatsächlich gemessenen Gehalten dieser Hauptnährstoffe abweichen.

Im Durchschnitt besteht eine relativ hohe Übereinstimmung zwischen den Messwerten und den Standardwerten für Phosphor. Zwischen den Wirtschaftsdüngern werden die Größenordnungen in den P-Gehalten ganz gut getroffen. Auch zwischen den konventionellen und den ökologischen Richtwerten bestehen nur geringe Unterschiede (Abb. 3). Für Phosphor beträgt die mittlere Differenz zwischen Messung und den Richtwerten zwischen 23 % und 24 %, was im Wesentlichen auf die vergleichsweise niedrigen P-Messwerte bei Geflügelmist und Rindergülle zurückgeführt werden kann. Nach KOLBE & KÖHLER (2008) werden die P-Gehalte wirtschaftseigener Düngemittel wesentlich durch die Fütterung beeinflusst.

Für Kalium sind die Abweichungen zu den Daten der konventionellen Richtwerte besonders groß (Abb. 4). Ökologische Wirtschaftsdünger weisen deutlich niedrigere K-Gehalte auf. Zu den Werten des ÖKO-BEFU hingegen besteht über alle Tierarten und Haltungssysteme eine gute Übereinstimmung. Bei der Betrachtung einzelner Tierarten oder Düngemittel fallen aber auch bei diesem Nährstoff teilweise erhebliche Differenzen zwischen Messung und Tabellenwerten auf. Für Rindergülle und Geflügelmist beispielsweise würde die Verwendung der ökologischen Richtwerte zu einer Überschätzung der K-Zufuhr um mehr als 50 % führen.

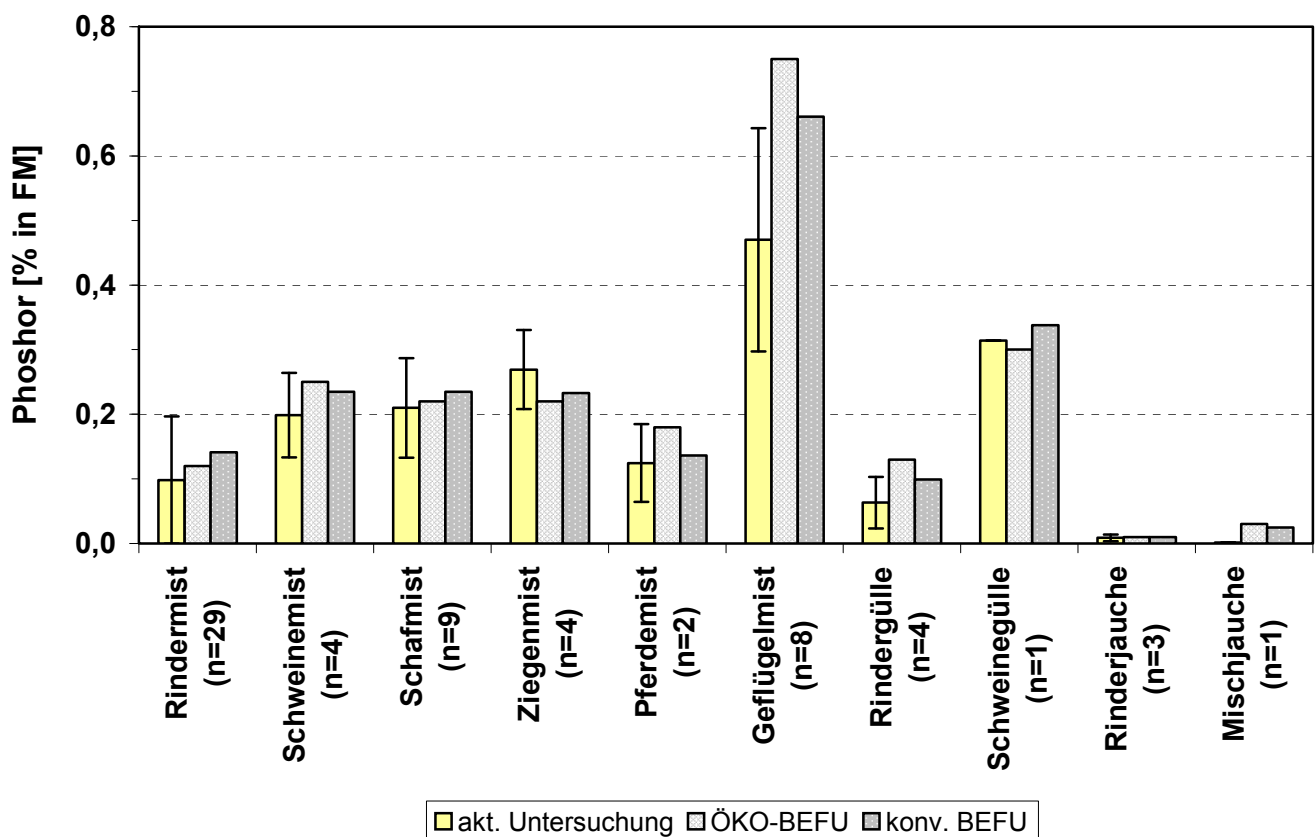


Abbildung 3: Vergleich der P-Gehalte der untersuchten Wirtschaftsdünger mit den Richtwerten der BEFU-Programme für den ökologischen und den konventionellen Landbau

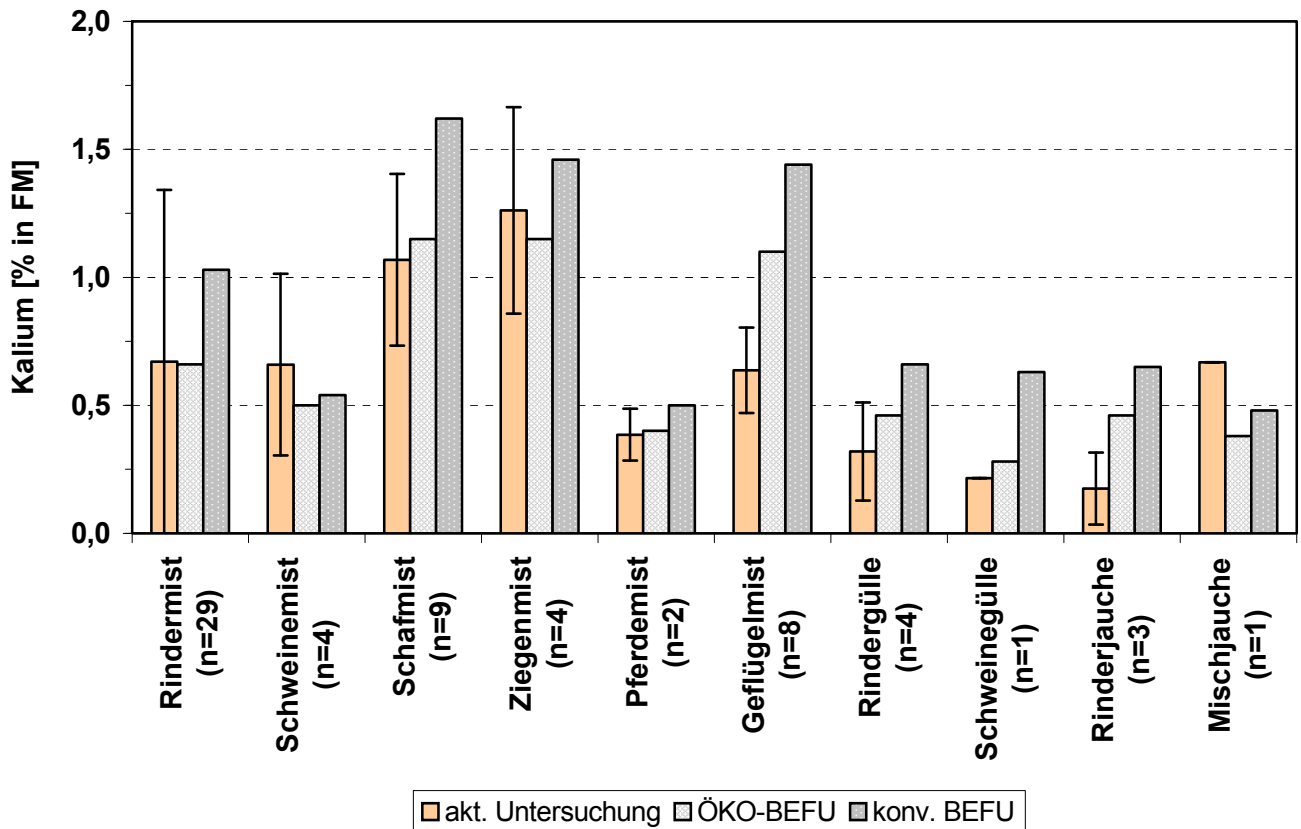


Abbildung 4: Vergleich der K-Gehalte der untersuchten Wirtschaftsdünger mit den Richtwerten der BEFU-Programme für den ökologischen und den konventionellen Landbau

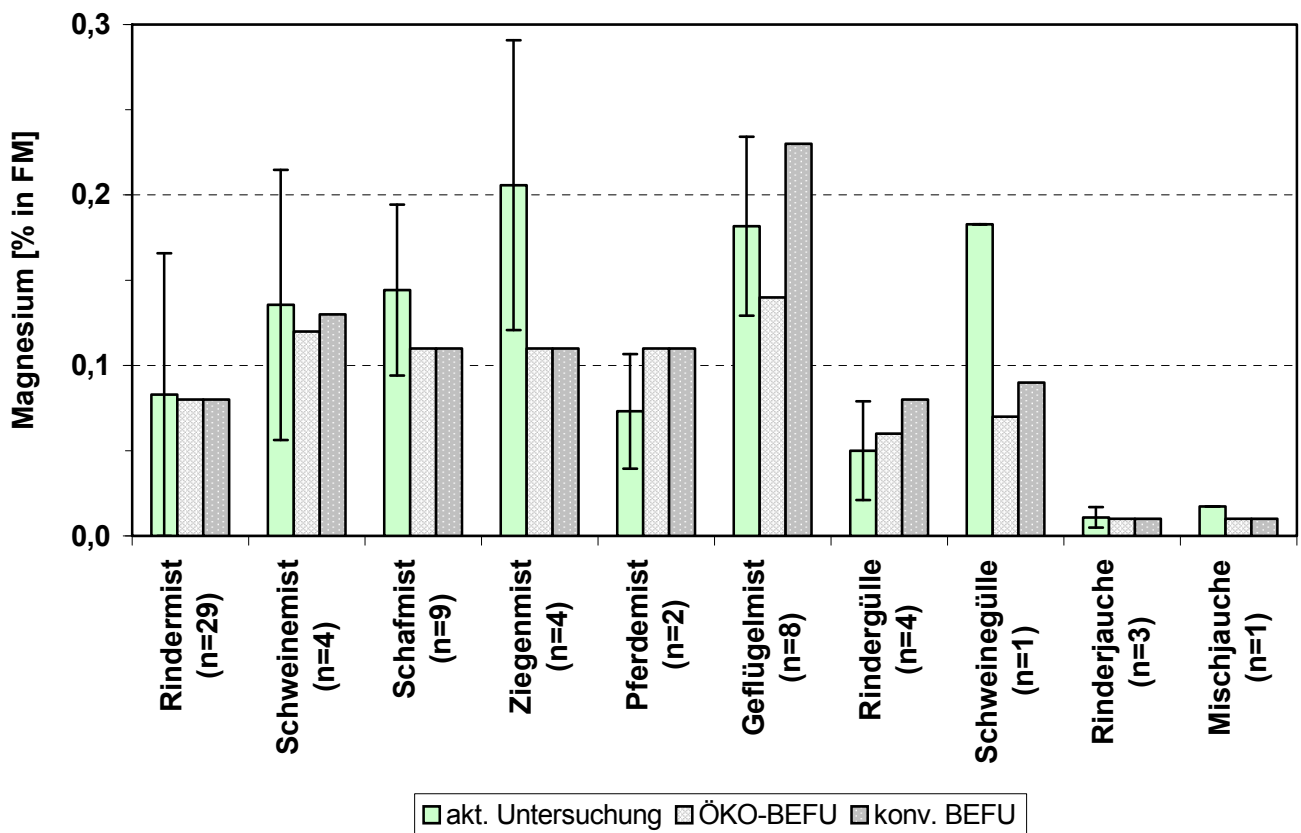


Abbildung 5: Vergleich der Mg-Gehalte der untersuchten Wirtschaftsdünger mit den Richtwerten der BEFU-Programme für den ökologischen und den konventionellen Landbau

Für Magnesium zeigen die Resultate im Gegensatz zu den anderen Hauptnährstoffen eine teils erhebliche Unterschätzung der tatsächlichen Gehalte durch die BEFU-Standardwerte. Das trifft besonders für Schweinegülle, Ziegenmist, Schaf- und Geflügelmist zu. Eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Richtwert ist hingegen für Rinder- und Schweinemist sowie für Rinderjauche erkennbar. Im Allgemeinen werden aber auch für den Nährstoff Magnesium die Größenordnungen der Gehalte zwischen den einzelnen Wirtschaftsdüngern ermittelt.

3.2 Spurenelemente und Schwermetalle

Neben der organischen Substanz und den Hauptnährstoffen enthalten Wirtschaftsdünger stets auch Spurenelemente, die einerseits als Nährelemente für Pflanzen, Tiere und den Menschen essentiell sind, andererseits als Schwermetalle in hohen Konzentrationen zu Gesundheitsschäden führen können. Die Ausbringung von schwermetallhaltigen Wirtschaftsdüngern kann langfristig zu einer Anreicherung von Schwermetallen in landwirtschaftlich genutzten Böden führen. Aus Vorsorgegründen müssen bedenkliche Einträge solcher Elemente und anderer Schadstoffe daher weitestgehend begrenzt werden, um schädliche Bodenveränderungen im Sinne des § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu vermeiden.

Spurenelemente sind für die Aufrechterhaltung zahlreicher physiologischer Prozesse erforderlich und müssen zur Gewährleistung einer optimalen Versorgung der Tiere in ausreichender Menge mit dem Futter aufgenommen werden. Vom Tier nicht verwertete Spurenelemente werden fast vollständig über die Exkremente ausgeschieden. Neben den Futtermitteln und Futterzusätzen können Desinfektionsmittel, Einstreumaterialien sowie Korrosion und Abrieb von Stalleinrichtungen oder Lagerbehältern, Baustoffe und Farben eine Rolle für den Eintrag von Schwermetallen in Wirtschaftsdünger spielen.

Um einen Überblick über den Schadstofftransfer mit Wirtschaftsdüngern von ökologisch wirtschaftenden Betrieben zu erlangen, wurden die verschiedenen Düngemittel auch auf ihren Gehalt an Schwermetallen sowie Arsen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 im Vergleich zu den Grenzwerten der Düngemittelverordnung (DüMV), der Bioabfallverordnung (BioAbfV), und der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) zusammengestellt worden. Die BioAbfV regelt die Aufbringung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Wirtschaftsdünger im Sinne des Düngegesetzes unterliegen der Verordnung nicht. Die dort angegebenen Grenzwerte für das Aufbringen organischer Abfälle können an dieser Stelle daher nur zur Orientierung dienen. Gleiches gilt für die Grenzwerte laut Klärschlammverordnung, die auf Wirtschaftsdünger ebenfalls nicht anwendbar sind.

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass die strengen Grenzwerte der Düngemittelverordnung und der Bioabfallverordnung von den hier untersuchten Wirtschaftsdüngern des ökologischen Landbaus in der Regel deutlich unterschritten werden. Probleme könnten lediglich die Elemente Kupfer und Zink bereiten, deren BioAbfV-Grenzwerte in einigen Wirtschaftsdüngern nur knapp eingehalten bzw. in wenigen Proben auch deutlich überschritten werden. Deshalb müssen mögliche Eintragswege für Kupfer und Zink überprüft werden. Nach der EU-Öko-VO (2008), Anhang VI, dürfen Cu- und Zn-Verbindungen im ökologischen Landbau eingesetzt werden. Die meisten Mineralfuttermischungen enthalten nur wenig Kupfer (deklariert) und Zink wird nicht zugefüttert. Der Eintragsweg über Futterergänzungstoffe dürfte daher nicht zu erhöhten Gehalten in den organischen Düngern führen. Eine erhöhte Aufnahme von Zink kann durch das Saugen an verzinkten Stalleinrichtungen oder über die Aufnahme vom Boden auftreten.

Erhöhte Kupfergehalte können auf die Anwendung von Kupfersulfat-Lösungen (z. B. Kupfervitriol) zur Klauendesinfektion zurückgeführt werden. In Untersuchungen des UMWELTBUNDESAMTES (2004) machte die Anwendung solcher Mittel mehr als 40 % des Cu-Eintrages aus. Kupferhaltige Klauenbäder dürfen nicht mehr ohne tierärztliche Anordnung eingesetzt werden. Bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung dürfte dieser Eintragspfad dadurch zukünftig deutlich reduziert sein. Alternative Mittel sind ausreichend vorhanden. Reste kupferhaltiger Lösungen sind als besonders überwachungsbedürftige Abfälle zu behandeln und zu entsorgen.

In den Fällen einer erheblichen Überschreitung der Grenzwerte für einzelne oder mehrere Schwermetalle sind detaillierte Untersuchungen in den betroffenen Betrieben angeraten, um mögliche Schadstoffquellen und -pfade aufdecken und ausschalten zu können. Hier ist auch eine verstärkte Beratung und Information erforderlich. Gerade im ökologischen Landbau, der zu Recht mit der Qualität und Gesundheit seiner Produkte wirbt, ist eine Anreicherung schädlicher Schwermetalle im Boden durch die unsachgemäße Anwendung von Futter- und sonstigen Betriebsmitteln nicht zu tolerieren.

**Tabelle 4: Spurenelemente und Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern ökologisch wirtschaftender Betriebe
(Angaben bezogen auf mg/kg Trockenmasse)**

Ökologischer Wirtschaftsdünger		As	Pb	Cd	Cr	Cu (mg/kg TM)	Ni	Hg	Tl	U	Zn
Rindermist	x	1,34	2,02	0,40	8,63	16,9	4,51	0,05	0,03	0,18	97,5
n = 29	s	1,45	2,66	0,28	6,25	8,4	4,98	0,03	0,05	0,13	39,8
	max	5,13	9,40	1,16	28,7	44,7	20,8	0,11	0,26	0,60	180,0
	min	0,01	0,01	0,01	0,01	1,35	0,01	0,01	0,00	0,01	11,0
Schweinemist	x	1,59	1,49	0,23	23,7	35,2	5,13	0,04	0,05	0,9	200,5
n = 4	s	1,58	1,40	0,08	16,9	20,7	3,16	0,03	0,05	0,94	88,50
	max	3,93	3,39	0,32	43,8	53,8	9,53	0,08	0,12	2,19	283,0
	min	0,50	0,12	0,13	3,97	14,3	2,00	0,01	0,01	0,07	121,0
Schafmist	x	0,97	2,02	0,34	8,33	24,0	3,49	0,04	0,02	0,31	133,1
n = 9	s	0,66	3,60	0,13	4,69	13,8	2,60	0,01	0,01	0,42	96,0
	max	2,11	10,7	0,47	18,4	47,8	8,72	0,06	0,04	1,09	345,0
	min	0,40	0,01	0,11	1,54	10,9	0,43	0,02	0,01	0,04	61,2
Ziegenmist	x	1,21	1,63	0,38	11,9	25,9	3,84	0,08	0,04	0,30	154,8
n = 4	s	1,28	1,69	0,02	7,99	7,88	3,73	0,02	0,04	0,28	69,1
	max	3,11	3,92	0,39	23,2	37,6	8,93	0,10	0,07	0,70	257,0
	min	0,32	0,10	0,35	5,31	20,9	0,01	0,05	0,01	0,11	105,0
Pferdemist	x	0,75	1,31	0,36	11,0	16,6	3,89	0,05	0,02	0,22	95,6
n = 2	s	0,22	1,05	0,04	4,16	8,63	4,61	0,01	0,02	0,11	51,6
	max	0,90	2,05	0,38	13,9	22,7	7,15	0,05	0,03	0,30	132,0
	min	0,59	0,56	0,33	8,02	10,5	0,63	0,04	0,01	0,14	59,1
Hühnermist	x	4,63	15,9	0,30	18,6	47,0	7,81	0,03	0,07	1,16	376,0
n = 3	s	6,57	20,9	0,12	15,1	12,3	5,48	0,03	0,08	1,34	107,0
	max	12,2	39,6	0,43	33,0	57,4	14,1	0,07	0,16	2,71	483,0
	min	0,41	0,01	0,23	2,99	33,4	4,11	0,01	0,01	0,36	269,0
Enten-/Gänsemist	x	11,2	8,06	0,29	11,7	35,2	9,21	0,06	0,06	2,16	216,0
n = 3	s	18,43	7,90	0,12	6,12	3,52	7,03	0,01	0,06	1,10	71,1
	max	32,50	15,8	0,39	17,4	37,3	16,60	0,07	0,13	2,80	296,0
	min	0,18	0,01	0,16	5,22	31,1	2,60	0,05	0,01	0,89	160,0

Tabelle 4: (Fortsetzung)

Ökologischer Wirtschaftsdünger		As	Pb	Cd	Cr	Cu (mg/kg TM)	Ni	Hg	Tl	U	Zn
Hühnerfrischkot	x	2,36	16,3	0,44	14,3	28,6	3,99	0,05	0,04	1,90	243,0
n = 2	s	3,11	23,0	0,11	16,5	11,3	5,64	0,06	0,05	1,01	32,5
	max	4,56	32,5	0,52	26,0	36,6	7,98	0,09	0,08	2,61	266,0
	min	0,16	0,01	0,36	2,62	20,6	0,01	0,01	0,01	1,18	220,0
Rindergülle	x	0,83	1,19	0,31	4,20	22,3	1,59	0,03	0,03	0,37	131,2
n = 4	s	0,58	1,79	0,20	5,09	14,2	1,49	0,02	0,02	0,34	81,3
	max	1,57	3,79	0,44	10,6	41,5	3,2	0,05	0,05	0,87	238,0
	min	0,23	0,01	0,01	0,01	7,07	0,01	0,01	0,01	0,10	41,6
Schweinegülle	x	0,71	0,01	0,52	8,25	125,0	2,88	0,03	0,01	6,05	807,0
n = 1											
Rinderjauche	x	1,90	1,77	0,20	3,57	1.039	10,8	0,06	0,02	0,34	148,6
n = 3	s	1,13	1,53	0,09	0,85	1.768	8,75	0,03	0,00	0,17	44,6
	max	3,20	3,51	0,31	4,47	3.080	20,7	0,09	0,02	0,53	181,0
	min	1,16	0,63	0,14	2,78	13,5	4,23	0,03	0,02	0,19	97,8
Mischjauche	x	0,56	0,01	0,01	0,95	3,70	6,86	0,11	0,01	0,03	36,4
n = 1											
DüMV ¹⁾		40	150	1,5	-	-	80	1	1,0		-
BioAbfV (30 t/3 a)			100	1	70	70	35	0,7			300
AbfKlärV			100	10	900	900	200	8			2.500

n = Anzahl; x = Mittelwert; s = Standardabweichung; max = Maximum; min = Minimum; ○ = bedenkliche Werte

¹⁾ nach DüMV sind Cu-Gehalte ab 500 mg/kg TM und Zn-Gehalte ab 1000 mg/kg TM in Wirtschaftsdüngern zu kennzeichnen

4 Zusammenfassung

Gesetzliche Regelungen, Nachweispflichten gegenüber der Betriebsberatung und nicht zuletzt die Anforderungen eines modernen Betriebsmanagements verlangen vom ökologischen Landbau zunehmend detaillierte Kalkulationen des betrieblichen Nährstoffumsatzes. Vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wird für solche Berechnungen eine für die Verwendung im ökologischen Landbau weiterentwickelte Version des PC-Programms BEFU bereitgestellt (KOLBE & KÖHLER 2008).

Das Programm ist mit umfangreichen Tabellen mit Richtwerten für die Nährstoffgehalte der im ökologischen Landbau eingesetzten wirtschaftseigenen Düngemittel hinterlegt. Zur Überprüfung und Verbesserung dieser Richtwerte wurde in den Jahren 2006 und 2007 eine umfassende Erhebung an Wirtschaftsdüngern von ökologisch wirtschaftenden Betrieben in Sachsen durchgeführt.

Die Ergebnisse für die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium zeigen, dass die Richtwerte die tatsächlichen Nährstoffgehalte in den Betrieben in ihren Größenordnungen zwischen den einzelnen Wirtschaftsdüngern ganz gut abdecken können. Die Anwendung dieser Werte für Wirtschaftsdünger kann daher im Allgemeinen für orientierende Abschätzungen der ausgebrachten Nährstoffe Verwendung finden. Hiermit können sowohl die gesetzlichen Nachweis- und Bilanzierungsverpflichtungen als auch Anforderungen eines modernen Nährstoffmanagements erfüllt werden.

Voraussetzung für diese Feststellung ist allerdings, dass die mittleren Gehalte an Nährstoffen durch die Standardwerte möglichst genau abgebildet werden. Die hier präsentierten Untersuchungsergebnisse werden daher zur weiteren Verbesserung des Tabellenwerkes genutzt. Durch die Ergebnisse wurden im Vergleich zu konventionellen Standardwerten insbesondere etwas niedrigere N-Gehalte und z. T. deutlich niedrigere K-Gehalte in den Wirtschaftsdüngern ökologischen Ursprungs bestätigt. Auch reicht das Datenmaterial erstmals aus, um die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile in den Düngemitteln genauer abschätzen zu können. Sie liegen im Durchschnitt um 20 % unter denen des konventionellen Anbaus.

Die Zusammensetzung der Wirtschaftsdünger wird jedoch von einer Vielzahl betriebsspezifischer Faktoren beeinflusst, die durch die Bildung gemittelter Zahlen nicht immer hinreichend berücksichtigt werden können. Aufgrund des limitierten Nährstoffeinsatzes und des insgesamt niedrigeren Nährstoffniveaus sollte aber gerade im ökologischen Landbau auf die Kenntnis der tatsächlichen Nährstoffströme besonderer Wert gelegt werden. Verlässliche Daten, die ein innerbetriebliches Nährstoffmanagement und detaillierte Analysen der Nährstoffströme erlauben, sind streng genommen nur durch stetige eigene Analysen der eingesetzten Wirtschaftsdünger zu gewinnen.

Gleichfalls durchgeführte Untersuchungen zum Schwermetall- und Arsengehalt der Wirtschaftsdünger von ökologisch wirtschaftenden Betrieben ergaben für die überwiegende Mehrzahl der untersuchten Proben lediglich geringe Belastungen. Probleme bereiten in einigen Betrieben die Spurennährstoffe Kupfer und Zink. Maßnahmen zur Minderung der Belastungen müssen einen sparsamen, am tatsächlichen Bedarf ausgerichteten Einsatz solcher Betriebsmittel zum Ziel haben.

5 Literatur

- ABFKLÄRV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298).
- ALBERT, E. et al. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- BIOABFV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden – Bioabfallverordnung (BGBl. I S. 2955), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung zur Vereinfachung der abfallrechtlichen Überwachung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298).
- CC (2003): Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates vom 29. September 2003 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 2019/93, (EG) Nr. 1452/2001, (EG) Nr. 1453/2001, (EG) Nr. 1454/2001, (EG) Nr. 1868/94, (EG) Nr. 1251/1999, (EG) Nr. 1254/1999, (EG) Nr. 1673/2000, (EWG) Nr. 2358/71 und (EG) Nr. 2529/2001. Amtsblatt der Europäischen Union L 270 vom 21.10.2003, 1 – 69.
- CC (2004): Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung – DirektZahlVerpflV). Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 58, vom 12. November 2004, 2778 – 2784 (und folgende Verordnungen).
- DEWES, T., HÜNSCHE, E. (1998): Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farms. *Biological Agriculture and Horticulture* 16, 251 – 268.
- DIN ISO 10694 (1995): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse).
- DIN EN ISO 5961 (1995): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Cadmium durch Atomabsorptionsspektrometrie (ISO 5961: 1994); Deutsche Fassung EN ISO: 5961.
- DIN EN ISO 11885 (1997): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ISO: 11885: 1996); Deutsche Fassung EN ISO 11885.

- DIN EN 1483 (2007): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie; Deutsche Fassung EN 1483.
- DÜV (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 2, 34 – 43.
- DÜMV (2008): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsstoffen – Düngemittelverordnung. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 60, 2524-2581.
- DüV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV). Bundesgesetzblatt Jahrg. 2007, Teil I Nr. 7, 05.03.2007, 221 – 240.
- EU-Öko-VO (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Amtsblatt d. Europäischen Union L 189 v. 20.07.2007, 1 – 23.
- EU-Öko-VO (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit DURCHFÜHRUNGSVORSCHRIFTEN zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. Amtsblatt der Europäischen Union L250 vom 18.9.2008, 1 – 84.
- GUTSER, R. (2004): Organische Stoffe bewerten. DLG-Mitteilungen, Dünger-Magazin, 12 – 15.
- GUTSER, R. et al. (2005): Shortterm and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 439 – 446.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift, Shaker Verlag, Aachen
- KOLBE, H. (2007): Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau. Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft H. 9, 22 – 46.
- KOLBE, H., KÖHLER, B. (2008): Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau - Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, H. 36.
- KOLBE, H. et al. (2003): Stickstoffgehalte pflanzlicher Produkte aus dem ökologischen Landbau. SÖL Berater-Rundbrief Nr. 2, 25 – 27. Stiftung Ökologie & Landbau, Bad Dürkheim.
- KTBL (2002): Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410, KTBL, Darmstadt.
- METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.11.5.1 (1995): Bestimmung der Trockensubstanz. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage.
- METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.10.1 (1995): Bestimmung der Organischen Substanz. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage (1. Ergänzung).
- METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.3.2.1 (1995): Bestimmung von Ammoniumstickstoff. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage.
- METHODENBUCH Bd. II.1.Nr.3.3.1 (1995): Bestimmung des Gesamtstickstoff. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage.
- METHODENBUCH Bd.II.1 (1995): Methode nach DEVARDA zur Bestimmung von Nitrat- und Ammoniumstickstoff. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage.
- METHODENBUCH Bd.II.1.Nr.8.1 (1995): Extraktion von Gesamtcalcium, Gesamtmagnesium und Gesamtnatrium sowie von Gesamtschwefel in Form von Sulfat. Anhang II der Richtlinie 89/519 EWG (Stand: 1993). VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 4. Auflage.
- STEIN-BACHINGER, K. et al. (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL Schrift 423, KTBL, Darmstadt.
- SCHAAF, T. (1998): Integration von Modellansätzen zur Bodenbearbeitung und Düngung in den Baukasten für Stickstoffs simulationsmodelle EXPERT-N. Dissertation, Bonn, Schriftenreihe d. Zentralstelle für Agrardokumentation und -information, ZADI, Bonn.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme. Forschungsbericht 299 72 104, UBA-FB 000580.

Eignung nichtlegumer Zwischenfrüchte im ökologischen Landbau für den Anbau von Körnerleguminosen in Mulch- und Direktsaat

Prof. Dr. Knut Schmidtke, Beate Wunderlich, Guido Lux - Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e. V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden

Fachliche Begleitung: Martin Hänsel - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Dr. Olaf Nitzsche, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung und Ziele	34
2	Material und Methoden	35
3	Ergebnisse	38
3.1	Feldaufgang der Zwischenfrüchte	38
3.2	Sprossertrag der Zwischenfrüchte	39
3.3	Sprossertrag der Unkräuter	43
3.4	Lichttransmission im Zwischenfruchtbestand	48
3.5	Nitrat-N-Vorrat im Boden und N-Menge im Spross der Zwischenfrüchte und Unkräuter	50
3.6	C/N-Verhältnis der Sprossachse und der Blatt- und Fruchtstandsmasse	54
4	Diskussion und Schlussfolgerungen	57
5	Zusammenfassung	59
6	Literaturverzeichnis	60
7	Anhang	61

1 Problemstellung und Ziele

Im ökologischen Landbau werden konservierende Verfahren der Bodenbearbeitung und die Direktsaat bisher nur sehr selten in der Praxis genutzt. Ursache hierfür ist, dass mit der Rücknahme der Intensität der Bodenbearbeitung das Wachstum und die Vermehrung von Samen- und Wurzelunkräutern in der Regel deutlich zunehmen (SCHMIDT & LEITHOLD 2006). Weiterhin führt ein Übergang der Bodenbearbeitungsintensität von wendender zu nicht wendender Bearbeitung in den ersten Jahren nach Änderung der Grundbodenbearbeitung zu einem Anstieg der N-Immobilisation im Boden (BAEUMER 1994), sodass das Angebot an mineralisiertem Stickstoff im Boden zurückgeht. Die Folge ist, dass bei Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität im ökologischen Landbau der Ertrag nichtlegumer Kulturen durch niedrigere N-Verfügbarkeit im Boden und stärkere Konkurrenz durch Unkräuter zumeist deutlich im Vergleich zu einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug geringer ausfällt (SCHMIDT & LEITHOLD 2006).

Körnerleguminosen können ihren N-Bedarf weitgehend über die symbiotische N_2 -Fixierleistung decken. Sie können deshalb ein durch reduzierte Bodenbearbeitung hervorgerufenen geringes Angebot an mineralisiertem Stickstoff im Boden sehr gut über die Steigerung der N_2 -Fixierleistung kompensieren (REITER et al. 2002, NEUMANN et al. 2007). Allerdings reagieren sie, insbesondere die Erbse, empfindlich auf eine Konkurrenz durch Unkräuter (CORRE-HELLOU & CROZAT 2005; SAUCKE & ACKERMANN 2006), sodass ein erfolgreicher Anbau von Körnerleguminosen in Mulchsaat bzw. Direktsaat im ökologischen Landbau vor allem einer effizienten indirekten Regulation des Wachstums von Unkräutern bedarf. Hierfür können Unkraut unterdrückende Vorfrüchte als Haupt- oder Zwischenfrüchte und Mulchauflagen geeignete pflanzenbauliche Instrumente darstellen. Hier setzt das Vorhaben an, indem die Eignung verschiedener nichtlegumer Zwischenfrüchte vor Körnerleguminosen für Anbausysteme mit konservierender Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat von Körnerleguminosen im ökologischen Landbau geprüft werden sollte. Stickstoff ist im ökologischen Landbau häufig knappes Gut, sodass nach Getreide für das Wachstum nichtlegumer Zwischenfrüchte in einigen Fällen auch zu geringe Mengen pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden verfügbar sind. Um unter diesen Bedingungen ein gutes Wachstum nichtlegumer Zwischenfrüchte gewährleisten zu können, sollte zusätzlich eine N-Düngung zur nichtlegumen Zwischenfrucht auf Ertragsleistung, N-Aufnahme und das C/N-Verhältnis in der Sprossmasse der Zwischenfrüchte geprüft werden, um möglichst dichte Mulchauflagen zu erzielen.

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens war es, einen Beitrag zur Entwicklung von Verfahren zur Nutzung konservierender Bodenbearbeitung und der Direktsaat im ökologischen Landbau zu leisten, um den Boden auch im ökologischen Landbau besser vor Erosion schützen zu können. Gleichzeitig sollen durch die Rücknahme der Intensität der Bodenbearbeitung Produktionskosten gesenkt werden.

Die spezifischen Ziele der Prüfung verschiedener Zwischenfrüchte waren deshalb:

- Die Zwischenfrüchte sollten den Boden rasch und anhaltend bis in den Spätherbst bedecken, um ihn effektiv vor Erosion schützen zu können.
- Die Zwischenfrüchte sollten rasch hohe Biomasseerträge bilden, um über Spross- und Wurzelkonkurrenz das Wachstum von Samen- und Wurzelunkräutern zu unterdrücken.
- Die Zwischenfrüchte sollten den mineralischen Stickstoff im Boden (N_{min}) zügig und tiefgreifend entziehen, um Stickstoffverluste über Auswaschung und gasförmige Entbindung zu minimieren.
- Die hohe N-Aufnahme der nichtlegumen Zwischenfrüchte sollte ferner dazu führen, dass der Nachfrucht Körnerleguminose nur ein geringes Angebot an bodenbürtigem Stickstoff zur Verfügung steht, sodass sie verstärkt zur symbiotischen N_2 -Fixierung angeregt wird.
- Die Zwischenfrüchte sollten bereits bei milden Frösten (bis $-0,5$ bis -6 °C) absterben, um Körnerleguminosen in Mulch- oder Direktsaat ohne Gefahr eines Durchwuchses der Zwischenfrucht in der Nachfrucht (Körnerleguminose) anbauen zu können.
- Die Zwischenfrüchte sollten im Spätherbst einen hohen Anteil Sprossachse an der Gesamtsprossmasse aufweisen. Die Pflanzen sollten auch nach frostbedingtem Absterben aufrecht stehend in den Winter gehen, sodass möglichst wenig Zwischenfruchtbiomasse über Winter abgebaut (mineralisiert) wird, um einen anhaltenden Schutz vor Bodenerosion bieten zu können. Eine geringe Abbaurate der Zwischenfruchtbiomasse soll darüber hinaus gewährleisten, dass zur Saat der

Körnerleguminose noch hohe Mengen an Zwischenfruchtbiomasse (insbesondere die Sprossachsen) als Mulch auf der Bodenoberfläche zur Unterdrückung von Unkräutern bei Direktsaat vorhanden sind.

- Der in Blatt und Sprossachse der Zwischenfrüchte enthaltene Stickstoff sollte nach frostbedingtem Absterben erst möglichst spät mineralisiert werden, um das Angebot an bodenbürtigem Stickstoff für die Nachfrucht Körnerleguminose so gering wie möglich zu halten. Hierzu sollte das C/N-Verhältnis in der Biomasse der Zwischenfrucht möglichst weit sein. Die geringe N-Freisetzung aus der Biomasse der Zwischenfrüchte soll ferner dazu beitragen, dass infolge geringen Angebotes an mineralischem Stickstoff im Boden während des Anbaus der Körnerleguminose das Wachstum von Unkräutern, insbesondere der nitrophilen Arten wie Weißer Gänsefuß und Klettenlabkraut, begrenzt wird.
- Durch die Prüfung der Zwischenfrüchte auf drei hinsichtlich Boden und Klima unterschiedlichen Standorten in Sachsen sollten Einflüsse des Standortes sowie Wechselwirkungen zwischen Zwischenfruchtart, Stickstoffdüngung und Standort auf die erhobenen Pflanzen- und Bodenparameter herausgearbeitet werden. Hierdurch sollte vor allem die Frage beantwortet werden, ob zum Zwecke des Zwischenfruchtbaus vor Körnerleguminosen die Wahl der Zwischenfruchtart standortspezifisch erfolgen sollte.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf einem langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlag des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch bei Arzberg, einem langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlag bei Groß Radisch und auf den Versuchsflächen des Fachgebietes Ökologischer Landbau der HTW Dresden am Standort Pillnitz im Zeitraum August bis Ende Oktober 2008 durchgeführt (Tab. 1).

Tabelle 1: Bodenkennwerte der Untersuchungsstandorte

Versuchsstandort	Bodenart	Bodentyp	Ackerzahl	Vorfrucht
Köllitsch	sandiger Lehm	Auenlehm	60	Winterweizen
Groß Radisch	schwach lehmiger Sand	Braunerde	36	Wintertriticale
Pillnitz	sandiger Lehm	Auenbraunerde	59	Sommergerste

Im Oberboden wiesen die Ackerstandorte einen vergleichsweise geringen pH-Wert zwischen 5,4 und 6,0 auf (Tab. 2). An allen Standorten lag zudem ein geringer (Versorgungsstufe B, Standorte Köllitsch und Pillnitz) bzw. sehr geringer Gehalt (Versorgungsstufe A, Standort Groß Radisch) an verfügbarem Phosphor im Oberboden vor. Die Kaliumversorgung im Boden war gering (Versorgungsstufe B, Standort Köllitsch) bzw. gut (Versorgungsstufe C am Standort Groß Radisch) bis sehr gut (Versorgungsstufe D am Standort Pillnitz).

Tabelle 2: PH-Wert und Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden (0 bis 25 cm Tiefe) der Untersuchungsstandorte

Versuchsstandort	pH-Wert ¹⁾	P ²⁾ mg/100 g Boden	K ²⁾ mg/100 g Boden	MgO ³⁾ mg/100 g Boden
Köllitsch	5,5	2,57	6,59	19,07
Groß Radisch	5,4	2,26	13,41	10,54
Pillnitz	6,0	4,14	14,64	12,92

Untersuchungsmethoden: ¹⁾ VdLUFA Methodenhandbuch A 5.1.1; ²⁾ VdLUFA Methodenhandbuch A 6.2.1.1; ³⁾ VdLUFA Methodenhandbuch A 6.2.4.1

Hinsichtlich der im Untersuchungszeitraum herrschenden Temperaturbedingungen unterschieden sich die Standorte im Jahr 2008 nur geringfügig mit einer Differenz in der Durchschnittstemperatur im Zeitraum 01.07. bis 31.10.2008 von nur 0,2 °C (Tab. 3). Im Zeitraum Juli bis Oktober 2008 war an allen Untersuchungsstandorten regelmäßig Niederschlag zu verzeichnen, sodass der Aufgang und das Wachstum der geprüften Zwischenfrüchte durch ausreichend Niederschlag gesichert waren. Allerdings fielen am Standort Köllitsch im Untersuchungszeitraum zwischen 90 bis 100 mm geringere Mengen an Niederschlag als am Standort Groß Radisch bzw. Pillnitz (Tab. 3).

Tabelle 3: Witterungsbedingungen an den Versuchsstandorten* im Versuchszeitraum 2008

	Juli	August	September	Oktober	Juli bis Oktober
Pillnitz					
Temperatur (°C)	19,6	19,1	13,6	9,8	Ø 15,5
Niederschlag (mm)	66,1	103,8	40,8	67,0	Σ 277,0
Groß Radisch¹⁾					
Temperatur (°C)	19,1	18,6	13,6	10,0	Ø 15,3
Niederschlag (mm)	87,1	83,2	29,9	89,9	Σ 290,1
Köllitsch					
Temperatur (°C)	19,2	18,9	13,2	9,9	Ø 15,3
Niederschlag (mm)	39,0	41,7	55,0	54,9	Σ 190,6

* Daten von den Wetterstationen des LfULG, ¹⁾Daten der Wetterstation Preitzitz, ca. 8 km Luftlinie vom Versuchsstandort entfernt, Temperatur: Monatsmitteltemperatur 2 m über dem Boden

Tabelle 4: Aussaat und Erntetermine an den Untersuchungsstandorten (in Klammern: Tage nach Aussaat)

Versuchsstandort	Aussaat	1. Termin Zwischenernte	2. Termin Zwischenernte	3. Termin Schlussernte
Pillnitz	29.07.2008	31.08.2008 (33 Tage)	27.09.2008 (50 Tage)	25.10.2008 (88 Tage)
Groß Radisch	11.08.2008	06.09.2008 (26 Tage)	02.10.2008 (52 Tage)	30.10.2008 (80 Tage)
Köllitsch	13.08.2008	07.09.2008 (25 Tage)	04.10.2008 (52 Tage)	31.10.2008 (79 Tage)

An den Standorten Köllitsch und Groß Radisch wurden nach Drusch der Vorfrucht und Abfuhr des Stroh die Versuchsflächen am 09.08.2008 (Groß Radisch) bzw. 11.08.2008 (Köllitsch) ca. 25 cm tief gepflügt und am selben Tag das Saatbett mit einer Kreiselegge bereitet (Tab. 4). Vor der Saat wurde die Versuchsfläche am Standort Groß Radisch zusätzlich gewalzt. Am Standort Pillnitz wurde wegen unzureichender Pflanzenentwicklung der Gerstenbestand am 18.06.2008 abgemulcht und die Mulchmasse am 26.06.2008 eingepflügt (Pflugtiefe: ca. 25 cm). Anschließend wurde auch hier das Saatbett mit der Kreiselegge bereitet. Die Aussaat wurde an allen Standorten mit einer an den Schlepper angehängten Parzellendrillmaschine (HEGE 80) und Schleppscharen mit einer Saattiefe von im Mittel 3 cm durchgeführt (Reihenabstand: 0,15 m). Es wurden je Parzelle zwei Drillspuren zu je 1,50 m Breite angelegt, sodass die Parzellengröße 3,00 m × 10,00 m = 30 m² betrug.

Am Tag der Saat wurde direkt vor Ausbringung des Saatgutes auf der Hälfte der Versuchspartellen 50 kg N ha⁻¹ in Form von Horngrieß (Fa. Cuxin) mit einer Parzellendrillmaschine (Typ HEGE 80) mit einer Ablagetiefe von 5 cm ausgebracht. Geprüft wurden insgesamt sechs verschiedene nichtlegume Zwischenfruchtarten (Tab. 5) ohne und mit N-Düngung. Um die Wirkung der Zwischenfrüchte auf das Wachstum der Unkräuter und den Nitratsvorrat im Boden quantifizieren zu können, wurden neben den sechs Zwischenfruchtarten eine Kontrolle mit ungestörtem Wachstum der Unkräuter und eine Kontrolle ohne Unkrautwachstum (= Brache ohne Bewuchs) in die Versuchsanlage aufgenommen. Die Parzellen ohne Bewuchs wurden durch regelmäßiges Abflammen der Parzellen mit einem Handgerät bis zum letzten Erntetermin Ende Oktober unkrautfrei gehalten. Alle Prüfglieder wurden in vierfacher Wiederholung an den Standorten geprüft. Der Versuch wurde als Spaltanlage mit

Großparzellen der N-Düngung und Unterparzellen der Zwischenfruchtart angelegt und umfasste je Versuchsstandort insgesamt 64 Parzellen.

Tabelle 5: Geprüfte Zwischenfruchtarten sowie Saatstärken der Arten

Zwischenfrucht	Sorte	Saatstärke (keimfähige Samen je m ²)
Sommerroggen	Landsorte aus St. Leonhard am Hornerwald, Österreich	300
Schwarzhäfer	Auteuil	350
Sonnenblume	Methasol	90
Gelbsenf	Signal	150
Buchweizen	Spacinska	200
Hanf	Bialobrzeskie	150

Zur Saat (zehn Einstiche auf der Versuchsfläche) und zur letzten Ernte (vier Einstiche je Parzelle) wurden an den Versuchstandorten Bodenproben bis in 60 cm Tiefe (Standort Groß Radisch, unterteilt in 2 Segmente je 30 cm) bzw. bis in 120 cm (Standorte Pillnitz und Köllitsch, unterteilt in 4 Segmente zu je 30 cm) entnommen, im Feld in Kühltaschen (Mischprobe aus 4 bzw. 10 Einstichen je Tiefenstufe) verpackt und am selben Tag bei -18 °C bis zur Aufarbeitung und Analyse tiefgefroren. Am Standort Groß Radisch konnte, bedingt durch den hohen Steingehalt im Unterboden, eine Probennahme bis in 120 cm Tiefe nicht erfolgen. Es wurden N_{min}-Extrakte mit 0,01 M CaCl₂ hergestellt und der Gehalt an Nitratstickstoff im Extrakt bestimmt. Der Feldaufgang der Zwischenfrüchte wurde durch Zählung der aufgelaufenen Pflanzen an jeweils vier Reihenmetern je Parzelle erfasst. Im Verlauf des Wachstums der Zwischenfrüchte wurde die Lichttransmission im Bestand anhand der Erfassung der fotosynthetisch aktiven Strahlung ca. 2 cm oberhalb der Bodenoberfläche und über dem Bestand mit einem SunScan-Analyzer (Fa. Delta-T) erfasst. Hierzu wurde in jeder Parzelle an vier unterschiedlichen Orten die Messsonde im 90° Winkel zur Drillrichtung in den Bestand eingeschoben.

Zu den Terminen der Erfassung der Sprossrockenmasse der Zwischenfrüchte und Unkräuter wurde in jeder Parzelle per Hand der Aufwuchs auf einer Fläche von 2,04 m² auf der Bodenoberfläche abgeschnitten und in die Masse der Zwischenfrüchte und Unkräuter aufgeteilt sowie das Gewicht der jeweiligen Frischmasse erfasst. Teilproben von ca. 200 bis 400 g wurden zur Ermittlung des TM-Gehaltes im Trockenschrank für 48 h bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend gewogen. Zum letzten Erntetermin wurden zusätzlich zwischen 10 (Sonnenblume, Hanf, Senf und Buchweizen) und 20 (Roggen und Hafer) repräsentative Triebe je Parzelle entnommen und von Hand die Sprossachse bzw. die Halmmasse von der Fruchtstands- und Blattmasse getrennt, gewogen und bei 60 °C im Trockenschrank über 48 h getrocknet und anschließend das Gewicht der getrockneten Proben erfasst. Die Sprossachsen und Fruchtstands- und Blattmassen wurden im Anschluss fein vermahlen und elementaranalytisch der C- und N-Gehalt in der Pflanzenmasse bestimmt.

Im Rahmen der statistischen Analyse des erhobenen Datenmaterials wurden die Trockenmasseerträge und die N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte sowie Unkräuter zunächst über die Standorte mit Hilfe einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (Faktoren Standort, N-Düngung und Zwischenfruchtart) und bei Vorliegen von Wechselwirkungen zweifaktoriell gesondert für jeden Standort mit den Faktoren N-Düngung und Zwischenfruchtart verrechnet. Bei vorhandenen signifikanten Effekten der Zwischenfruchtart wurde im Anschluss ein multipler Mittelwertvergleich mit dem Tukey-Test durchgeführt. Die Ergebnisse der Varianzanalysen und der multiplen Mittelwertvergleiche sind im Anhang in entsprechenden Tabellen zusammengestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Feldaufgang der Zwischenfrüchte

Tabelle 6: Feldaufgang der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz am 19.08.2008 (Angaben in %)

Düngung	Zwischenfrucht Roggen	Hafer	Sonnenblume	Senf	Buchweizen	Hanf	Mittel
ohne	85,8	85,5	93,1	53,4	90,7	61,4	78,3
mit	73,2	80,6	92,6	48,0	83,1	59,7	72,9**
Mittel	79,5ab	83,0a	92,8a	50,7c	86,9a	60,6bc	

F-Wert_{Düngung}: 59,26, P-Wert_{Düngung}: 0,0046

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 11,27, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,20, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,9601

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte, GD_{Tukey} 5%: 20,98

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

Der Feldaufgang der Zwischenfrüchte war mit Werten zwischen 48,0 % (Senf, mit Düngung) und 93,1 % (Sonnenblume, ohne Düngung) am Standort Pillnitz hinreichend gut (Tab. 6). Allerdings führte die Düngung mit Horngrieß zu einer signifikanten Verminderung des Feldaufganges. Senf und Hanf liefen signifikant schlechter auf als Roggen, Hafer und Sonnenblume. Der Senf und der Hanf wiesen auch am Standort Groß Radisch einen signifikant geringeren Feldaufgang als Hafer und Sonnenblume auf. Signifikante Effekte der Düngung auf den Feldaufgang waren am Standort Groß Radisch hingegen nicht zu verzeichnen (Tab. 7).

Tabelle 7: Feldaufgang der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch am 24.08.2008 (Angaben in %)

Düngung	Zwischenfrucht Roggen	Hafer	Sonnenblume	Senf	Buchweizen	Hanf	Mittel
ohne	71,9	97,3	99,7	47,5	89,6	58,4	77,6
mit	69,0	97,4	86,6	43,9	83,4	56,7	72,8
Mittel	70,5bc	97,3a	93,7a	45,7d	86,5ab	57,5cd	

F-Wert_{Düngung}: 7,94, P-Wert_{Düngung}: 0,0669

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 30,09, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,46, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8026

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte, GD_{Tukey} 1%: 19,88

Tabelle 8: Feldaufgang der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch am 27.08.2008 (Angaben in %)

Düngung	Zwischenfrucht Roggen	Hafer	Sonnenblume	Senf	Buchweizen	Hanf	Mittel
ohne	71,2	86,8	85,2	76,1	93,3	90,3	83,8
mit	79,7	95,4	78,3	74,2	92,3	86,4	84,4
Mittel	75,5ab	91,1ab	81,7ab	75,2b	92,8a	88,3ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,02, P-Wert_{Düngung}: 0,9015

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,51, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0130

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,62, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6886

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte, GD_{Tukey} 5%: 17,59

Am Standort Köllitsch lief auch der Hanf sehr gut auf, während wiederum der Senf mit einem Feldaufgang von nur 75,2 % im Vergleich zum Buchweizen (92,8 %) einen deutlich schlechteren Feldaufgang erreichte (Tab. 8). Die Düngung mit Horngrieß zur Saat führte am Standort Köllitsch nicht zu einem verminderten Feldaufgang der Zwischenfrüchte.

3.2 Sprossertrag der Zwischenfrüchte

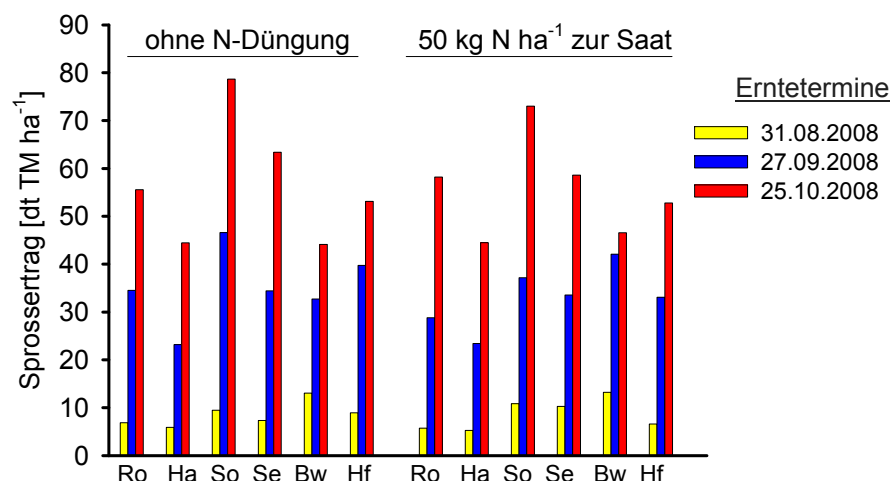


Abbildung 1: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Spross-Trockenmasseertrag verschiedener Zwischenfrüchte zu drei Ernteterminen am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

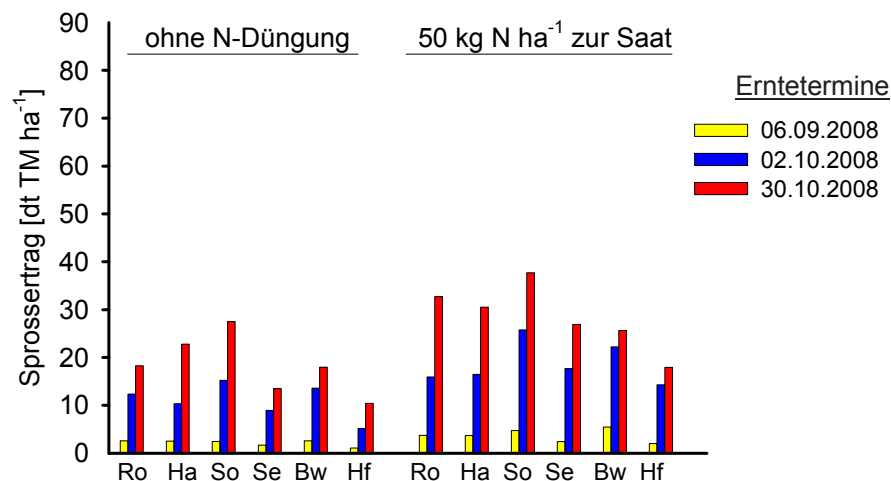


Abbildung 2: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Spross-Trockenmasseertrag verschiedener Zwischenfrüchte zu drei Ernteterminen am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

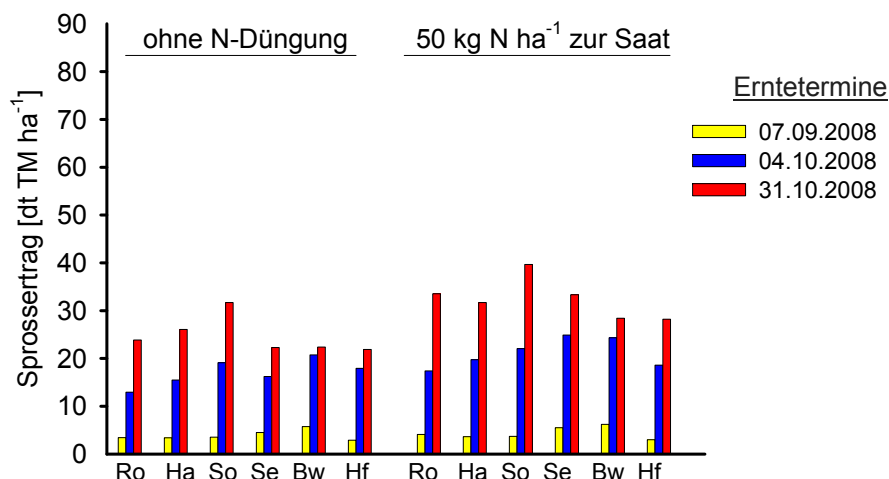


Abbildung 3: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Spross-Trockenmasseertrag verschiedener Zwischenfrüchte zu drei Ernteterminen am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

In Abbildung 1 bis 3 sind die ermittelten Spross-Trockenmasseerträge der geprüften Zwischenfruchtarten für drei Ernteterminen dargestellt. Zu allen drei Ernteterminen waren signifikante Wechselwirkungen zwischen der Zwischenfruchtart und dem Standort sowie zum zweiten und dritten Erntetermin zwischen der N-Düngung und dem Standort zu verzeichnen (Tab. A1, Tab. A2 und Tab. A3 im Anhang). So waren z. B. zum dritten Erntetermin an allen Standorten mit der Sonnenblume die höchsten Sprosserträge erreicht worden, während die geringsten Erträge zum letzten Schnittermin am Standort Pillnitz beim Buchweizen und an den Standorten Groß Radisch und Köllitsch beim Hanf zu verzeichnen waren. Während die N-Düngung mit Horngrieß am Standort Pillnitz zu keinem Erntetermin eine signifikante Wirkung auf den Spross-Ertrag der Zwischenfrüchte hatte (Tab. A4, Tab. A5 und Tab. A6 im Anhang), konnten am Standort Groß Radisch zu allen Ernteterminen (Tab. A7, Tab. A8 und Tab. A9 im Anhang) und am Standort Köllitsch zu den beiden letzten Ernteterminen (Tab. A10, Tab. A11 und Tab. A12 im Anhang) durch die Düngung hervorgerufene signifikant höhere Sprosserträge der Zwischenfrüchte festgestellt werden. Nach der Sonnenblume erreichten Hafer und Roggen an den Standorten Groß Radisch und Köllitsch die höchsten Sprosserträge, während in Pillnitz der Senf und der Roggen in der Höhe des Sprossertrages folgten. Im Mittel der Dünge­stufen und Zwischenfrüchte wurden am Standort Pillnitz zum dritten Erntetermin mit 55,8 dt TM ha⁻¹ sehr hohe Zwischenfruchterträge erreicht, gefolgt vom Standort Köllitsch (28,6 dt TM ha⁻¹) und Groß Radisch (23,5 dt TM ha⁻¹).

Für die Zeiträume von der Saat bis zur ersten Zwischenernte, der ersten zur zweiten Zwischenernte und für den Zeitraum zwischen zweiter und letzter Beerntung Ende Oktober wurden Zuwachsraten an Spross-Trockenmasse je Tag für die Zwischenfrüchte berechnet. Die Ergebnisse zu täglichen Zuwachsraten an Sprossmasse der Zwischenfrüchte sind in Abb. 4 (Standort Pillnitz), Abb. 5 (Standort Groß Radisch) und Abb. 6 (Standort Köllitsch) zusammengestellt. Die Zuwachsraten an Sprossmasse waren im zweiten und dritten Messzeitraum signifikant verschieden zwischen den Standorten (Tab. A14 und A15 im Anhang), wobei am Standort Pillnitz mit im Mittel der Arten und Dünge­stufen 94 kg TM je Tag bzw. 77,6 kg TM je Tag die höchsten Zuwächse erzielt wurden. In den gleichen Zeiträumen betrugen die Zuwächse an Sprossmasse der Zwischenfrüchte nur noch 45,8 bzw. 30,9 kg TM je Tag (Groß Radisch) und 55,5 bzw. 35,0 kg TM je Tag (Köllitsch). Die Zuwachsraten vom ersten zum zweiten Erntetermin wiesen zudem eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren N-Düngung und Standort auf (Tab. A14 im Anhang). So führte an den Standorten Groß Radisch und Köllitsch die N-Düngung mit Horngrieß zur Saat zu einem signifikanten Anstieg des täglichen Zuwachses an Sprossmasse der Zwischenfrüchte (Tab. A20 und Tab. A23 im Anhang), während dieses am Standort Pillnitz nicht der Fall war. Vor allem die Sonnenblume und im verminderten Umfang auch der Senf sowie Hafer und Roggen zeigten an allen Standorten auch im Oktober 2008 noch einen sehr hohen täglichen Zuwachs an Sprossertrag. Im Gegensatz dazu fiel der tägliche Zuwachs an Sprossmasse bei Buchweizen an allen Standorten nur noch gering aus und war in diesem Zeitraum signifikant geringer als bei der Sonnenblume (Tab. A18, Tab. A21 und Tab. A24 im Anhang). In gleicher Weise fiel auch der Zuwachs an Sprossmasse beim Hanf im Oktober deutlich geringer aus (Abb. 4, Abb. 5 und Abb. 6).

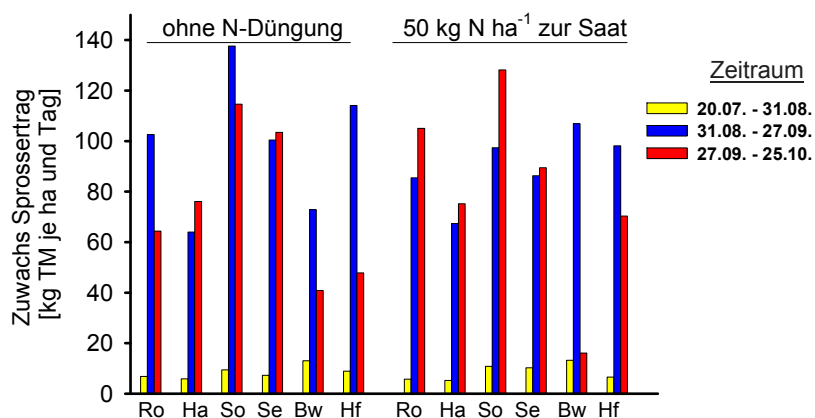


Abbildung 4: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den täglichen Zuwachs an Spross-Trockenmasse verschiedener Zwischenfrüchte in drei Perioden am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

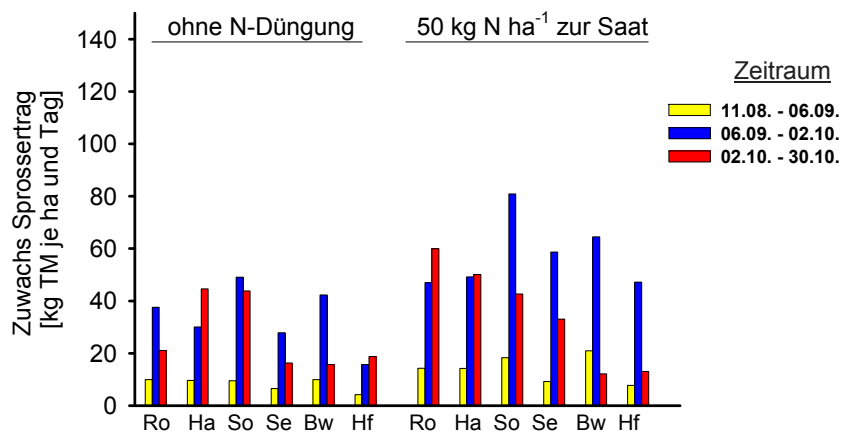


Abbildung 5: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den täglichen Zuwachs an Spross-Trockenmasse verschiedener Zwischenfrüchte in drei Perioden am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

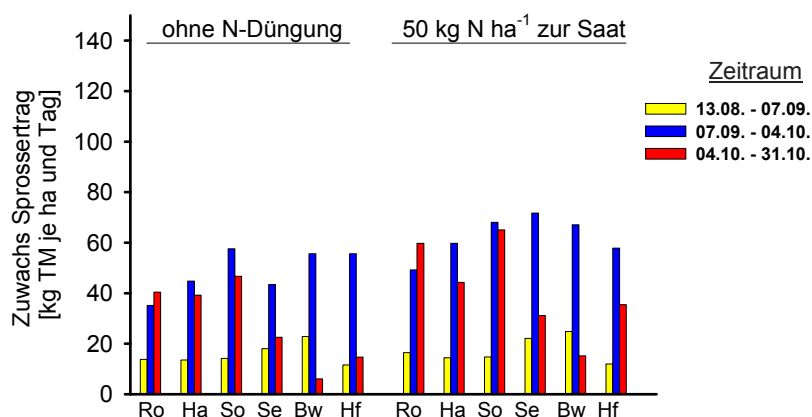


Abbildung 6: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den täglichen Zuwachs an Spross-Trockenmasse verschiedener Zwischenfrüchte in drei Perioden am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Zur Ernte im Oktober wurde der Sprossertrag der Zwischenfrüchte in die Anteile der Sprossachse sowie der Blatt- und Fruchtstandsmasse zerlegt und der jeweilige prozentuale Anteil an der gesamten Sprossmasse berechnet. Die entsprechenden Anteile an Sprossachse bzw. Blatt- und Fruchtstandsmasse an der Sprosstrockenmasse der Zwischenfrüchte sind in den Abbildungen 7 bis 10 für die drei Standorte dargestellt. Im Anteil der Sprossachse an der Sprossmasse der Zwischenfrüchte waren signifikante Wechselwirkungen zwischen Standort und Zwischenfruchtart ($P = 0,0001$) sowie Standort und Düngung ($P = 0,0068$) zu verzeichnen (Tab. A25 im Anhang). Am Standort Pillnitz zeigte die Düngung keinen, die Zwischenfruchtart einen signifikanten Effekt auf den Anteil Sprossachse am Spross. So zeichneten sich Roggen und Senf mit Anteilen von im Mittel der Düngungsstufen 72,8 % bzw. 72,0 % durch deutlich höhere Anteile Sprossachsen am Spross aus im Vergleich zu Hafer (57,3 %), Sonnenblume (57,6 %), Buchweizen (62,1 %) und Hanf (63,7 %, Abb. 7 sowie Tab. A26 im Anhang).

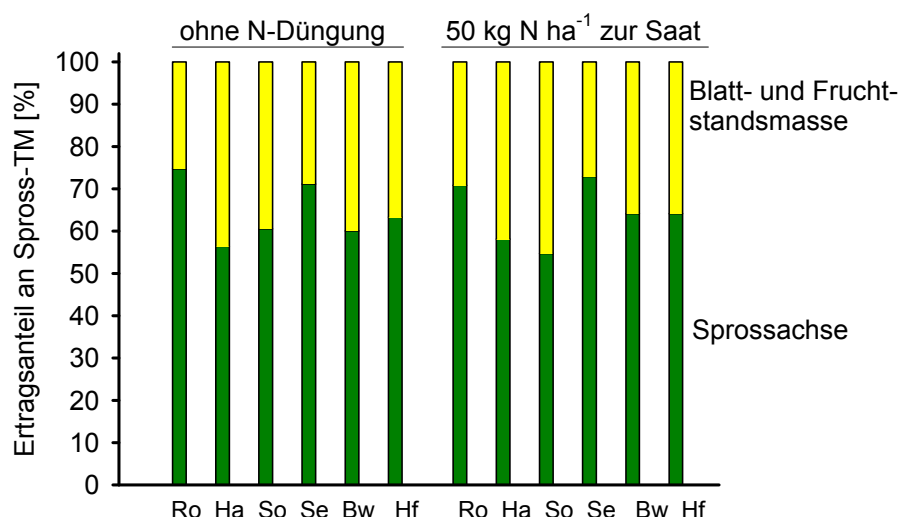


Abbildung 7: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Anteil Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie Sprossachse an der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur Ernte am 25.10.2008 (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

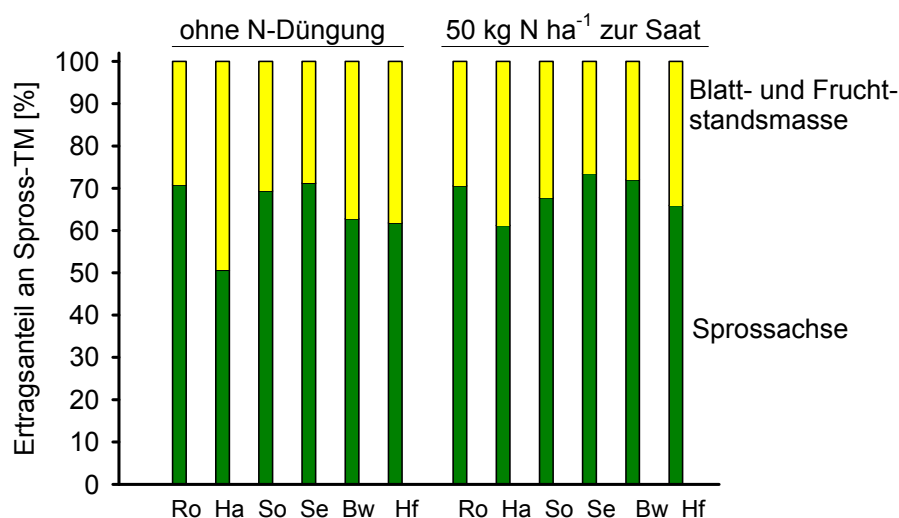


Abbildung 8: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Anteil Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie Sprossachse an der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur Ernte am 30.10.2008 (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

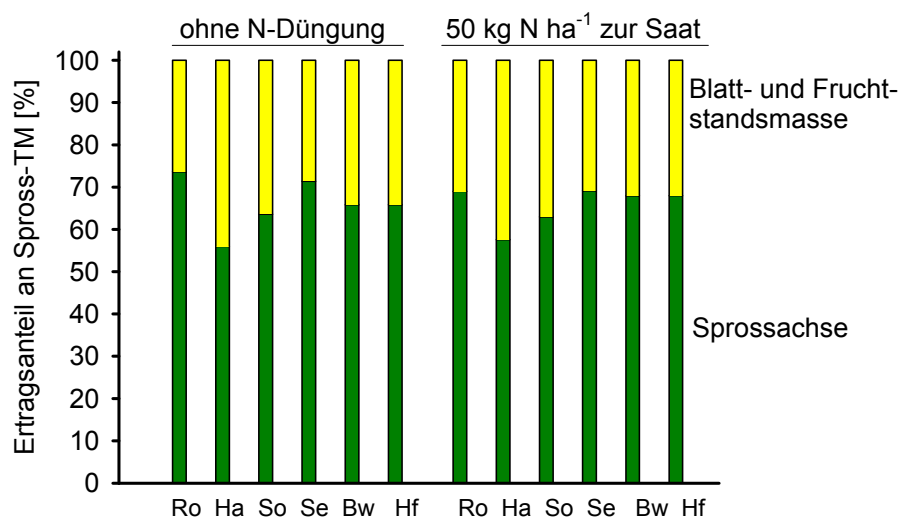


Abbildung 9: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf den Anteil Blatt- und Fruchtstands-masse sowie Sprossachse an der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur Ernte am 30.10.2008 (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Am Standort Groß Radisch trat eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Düngung und der Zwischenfruchtart im Hinblick auf den Anteil der Sprossachse am Sprossertrag der Zwischenfrüchte auf (Tab. A27 im Anhang). Während bei Roggen die Düngung mit Horngrieß den Anteil Sprossachse an der Sprossmasse nicht änderte, stieg der entsprechende Anteil bei Hafer, Buchweizen und auch beim Hanf an (Abb. 8). In analoger Weise wies die Varianzanalyse auch für die entsprechenden Daten vom Standort Köllitsch eine signifikante Wechselwirkung aus: Hier sank der Anteil Sprossachse am Spross infolge der Düngung beim Roggen um 4,6 Prozentpunkte ab, während der Anteil bei Buchweizen und Hanf um 2 Prozentpunkte anstieg (Abb. 9 sowie Tab. A28 im Anhang).

3.3 Sprossertrag der Unkräuter

Zwischen 15 (Standort Köllitsch) und 24 (Standort Pillnitz) verschiedene Unkrautarten traten in den Parzellen während des Anbaus der Zwischenfrüchte auf (Tab. 9, Tab. 10 und Tab. 11).

Tabelle 9: Artenzusammensetzung der Unkräuter am Standort Pillnitz

lfd. Nr.	Deutscher Name	Botanischer Name
1	Ackerhellerkraut	Thlaspi arvense
2	Ackerkratzdistel	Cirsium arvense
3	Ackerkrummhals	Anchusa officinalis
4	Ackerschachtelhalm	Equisetum arvense
5	Ackersenf	Sinapis arvensis
6	Ackerstiefmütterchen	Viola arvensis
7	Ackervergissmeinnicht	Myosotis arvense
8	Ampferblättriger Knöterich	Polygonum lapathifolium
9	Behaartes Franzosenkraut	Galinsoga ciliata
10	Deutsches Weidelgras	Lolium perenne
11	Efeublättriger Ehrenpreis	Veronica hederaefolia
12	Einjährige Risp	Poa annua
13	Gelbe Borstenhirse	Setaria glauca
14	Gemeiner Erdrauch	Fumaria officinalis
15	Hirtentäschelkraut	Capsella bursa-pastoris
16	Kleinblütiges Franzosenkraut	Galinsoga parviflora
17	Klettenlabkraut	Galium aparine
18	Löwenzahn	Taraxacum officinalis
19	Sonnenwolfsmilch	Euphorbia helioscopia
20	Stängelumfassende Taubnessel	Lamium amplexicaule
21	Stumpfblättriger Ampfer	Rumex obtusifolius
22	Vogelmiere	Stellaria media
23	Weißer Gänsefuß	Chenopodium album
24	Zurückgekrümmter Amaranth	Amaranthus retroflexus

Tabelle 10: Artenzusammensetzung der Unkräuter am Standort Groß Radisch

lfd. Nr.	Deutscher Name	Botanischer Name
1	Ackerhellerkraut	<i>Thlaspi arvense</i>
2	Ackerkratzdistel	<i>Cirsium arvense</i>
3	Ackerquecke	<i>Agropyron repens</i>
4	Ackersenf	<i>Sinapis arvensis</i>
5	Ackerstiefmütterchen	<i>Viola arvensis</i>
6	Ackervergissmeinnicht	<i>Myosotis arvense</i>
7	Behaartes Franzosenkraut	<i>Galinsoga ciliata</i>
8	Efeublättriger Ehrenpreis	<i>Veronica hederiaefolia</i>
9	Einjährige Risse	<i>Poa annua</i>
10	Hederich	<i>Raphanus raphanistrum</i>
11	Hirtentäschelkraut	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
12	Hundskamille	<i>Anthemis arvensis</i>
13	Klatschmohn	<i>Papaver rhoeas</i>
14	Kleinblütiges Franzosenkraut	<i>Galinsoga parviflora</i>
15	Kleiner Storchschnabel	<i>Geranium pusillum</i>
16	Kornblume	<i>Centaurea cyanus</i>
17	Stängelumfassende Taubnessel	<i>Lamium amplexicaule</i>
18	Vogelmiere	<i>Stellaria media</i>
19	Vogelwicke	<i>Vicia cracca</i>
20	Weißer Gänsefuß	<i>Chenopodium album</i>

Tabelle 11: Artenzusammensetzung der Unkräuter am Standort Köllitsch

lfd. Nr.	Deutscher Name	Botanischer Name
1	Ackerkratzdistel	Cirsium arvense
2	Ackerquecke	Elymus repens
3	Ackerstiefmütterchen	Viola arvensis
4	Efeublättriger Ehrenpreis	Veronica hederaefolia
5	Einjährige Risp	Poa annua
6	Fingerhirse	Digitaria ischaemum
7	Flohknöterich	Polygonum persicaria
8	Kleiner Storchschnabel	Geranium pusillum
9	Klettenlabkraut	Galium aparine
10	Kreuzkraut	Senecio vulgaris
11	Löwenzahn	Taraxacum officinale
12	Sonnenwolfsmilch	Euphorbia helioscopia
13	Stängelumfassende Taubnessel	Lamium amplexicaule
14	Vogelmiere	Stellaria media
15	Weißer Gänsefuß	Chenopodium album

Das Wachstum der Unkräuter wurde an allen Standorten durch die Aussaat einer Zwischenfrucht unabhängig von der Zwischenfruchtart deutlich reduziert, wie aus dem Vergleich gegenüber der Kontrolle (ohne Einsaat einer Zwischenfrucht) zu entnehmen ist (Abb. 10, Abb. 11 und Abb. 12). Der Zwischenfruchtbau wirkte in den meisten Fällen auch signifikant auf die Verunkrautung (Tab. A32 bis Tab. A40 im Anhang). Allerdings waren zum zweiten und dritten Erntetermin signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Zwischenfruchtart und N-Düngung, Zwischenfruchtart und Standort sowie N-Düngung und Standort zu verzeichnen (Tab. A30 und Tab. A31 im Anhang). So führte die N-Düngung zum zweiten Erntetermin am Standort Pillnitz bei Sonnenblume, Senf und Buchweizen zu einem leichten Rückgang der Unkrautsprossmasse, während im Roggen, Hafer und im Hanf ein Anstieg der Unkrautsprossmasse in Folge der Düngung zu beobachten war (Abb. 10, Tab. A33 im Anhang). Während am Standort Pillnitz zur zweiten Beerntung im Roggen die höchste Sprossmasse an Unkräutern vorlag (Abb. 10), war dieses an den Standorten Groß Radisch und Köllitsch (Abb. 11 und Abb. 12) im Hanf der Fall. Die N-Düngung erhöhte zum zweiten und dritten Beerntungstermin nur am Standort Groß Radisch signifikant die Sprossmasse der Unkräuter, während an den Standorten Pillnitz und Köllitsch keine signifikanten Wirkungen der Düngung auf die Verunkrautung zu beobachten waren (Tab. A33, Tab. A34, Tab. A36, Tab. A37, Tab. A39 und Tab. A40 im Anhang). Zum letzten Erntetermin waren am Standort Pillnitz und Köllitsch zwischen den geprüften Zwischenfruchtarten keine signifikant unterschiedlichen Wirkungen auf die Verunkrautung vorhanden (Tab. A34 und Tab. A40 im Anhang), am Standort Groß Radisch war nur zwischen Hanf (signifikant höhere Verunkrautung) auf der einen und Roggen, Hafer, Sonnenblume und Buchweizen auf der anderen Seite (Tab. A37) ein signifikanter Effekt zu verzeichnen. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass im Hinblick auf die Unkrautunterdrückung der Wahl der Zwischenfruchtart unter den hier geprüften nichtlegumenen Zwischenfruchtarten nur eine geringe Bedeutung zukommt, da nur in einem Fall (Hanf am Standort Groß Radisch) signifikante Wirkungen der Zwischenfruchtart auf den Sprossmasseertrag der Unkräuter auftraten.

Am Standort Köllitsch zeigte sich im Vergleich aller geprüften Standorte die geringste Verunkrautung in den Beständen, die zudem erst mit einer starken Zunahme des Unkrautwachstums im Oktober sichtbar wurde (Abb. 12). Auf der anderen Seite setzte das Unkrautwachstum am Standort Groß Radisch bereits frühzeitig ein und führte bis Ende Oktober im Mittel der Stufen

der N-Düngung und der Zwischenfruchtarten zu einer Unkrautsprossmasse in Höhe von 15,3 dt TM ha⁻¹ (Abb. 11) im Vergleich zu 6,7 dt TM ha⁻¹ am Standort Pillnitz (Abb. 10) und 3,2 dt TM ha⁻¹ am Standort Köllitsch (Abb. 12).

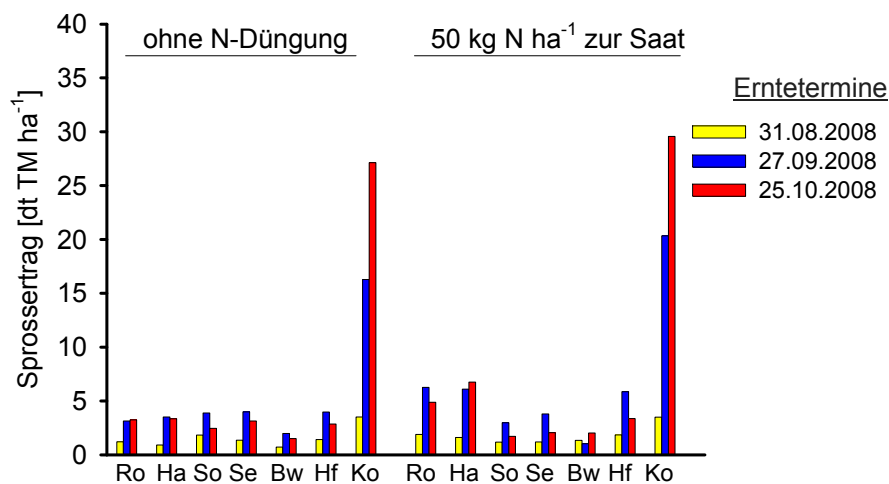


Abbildung 10: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf den Spross-Trockenmasseertrag von Unkräutern am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht)

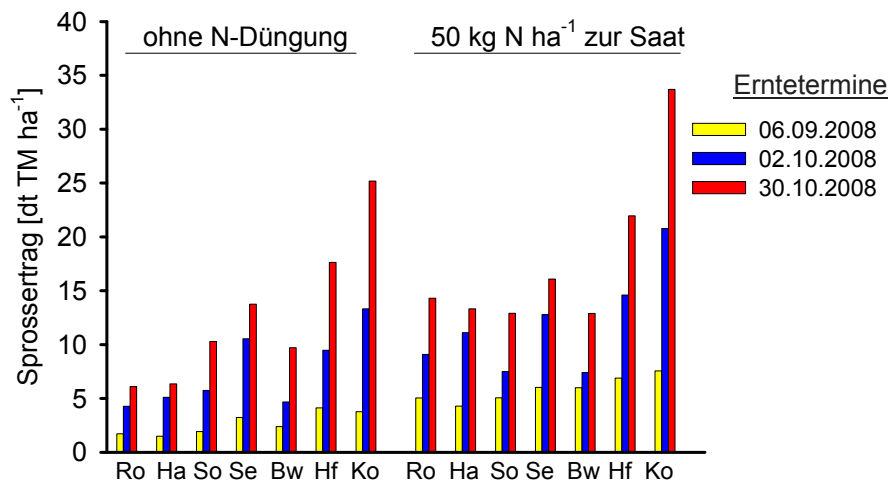


Abbildung 11: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf den Spross-Trockenmasseertrag von Unkräutern am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht)

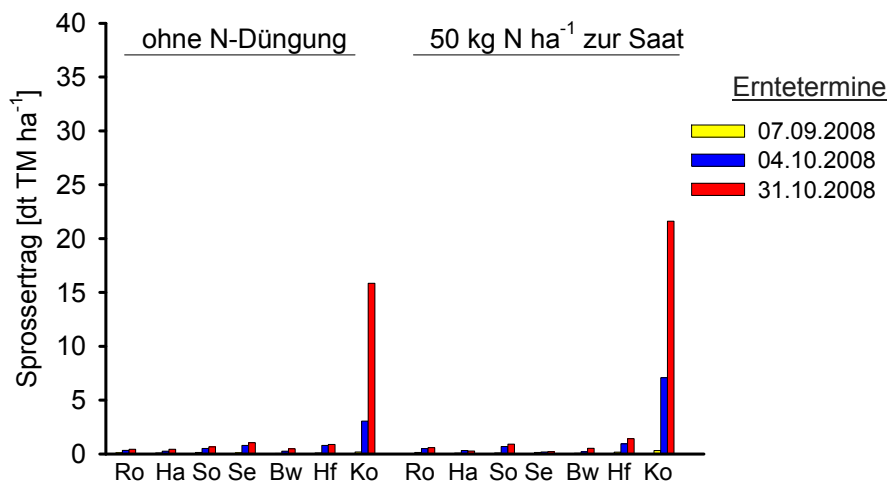


Abbildung 12: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf den Spross-Trockenmasseertrag von Unkräutern am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht)

3.4 Lichttransmission im Zwischenfruchtbestand

Die Lichttransmission in den Zwischenfruchtbeständen wurde an allen Untersuchungsstandorten zu jeweils fünf Terminen erfasst. Am Standort Pillnitz war an keinem Messtermin eine signifikante Wirkung der Stickstoffdüngung mit Horngrieß auf die Lichttransmission in den Zwischenfruchtbeständen aufgetreten (Tab. A41 bis Tab. A45 im Anhang). Da ebenfalls keine Wechselwirkungen zwischen Düngung und Zwischenfruchtart zu verzeichnen waren, können die Wirkungen der Zwischenfruchtart als markant herausgestellt werden. So zeichnete sich der Buchweizen neben der Sonnenblume durch ein rasch einsetzendes Beschattungsvermögen aus, sodass bereits am 31.08.2008 nur noch 15,4 % (Buchweizen) bzw. 22,3 % (Sonnenblume) der fotosynthetisch aktiven Strahlung die Bodenoberfläche erreichte. Roggen (44,4 %) und Hafer (53,2 %) beschatteten zu diesem Zeitpunkt den Boden signifikant geringer. Während sich im Hafer und Roggen die Lichttransmission bis zum letzten Erfassungstermin Ende Oktober kontinuierlich auf 8,5 % bzw. 2,8 % verminderte, stieg diese in der Sonnenblume und im Buchweizen leicht auf 6,5 % bzw. 8,7 % und in Senf (15,5 %) und Hanf (12,5 %) deutlich gegenüber dem Messtermin Ende September an (Abb. 13).

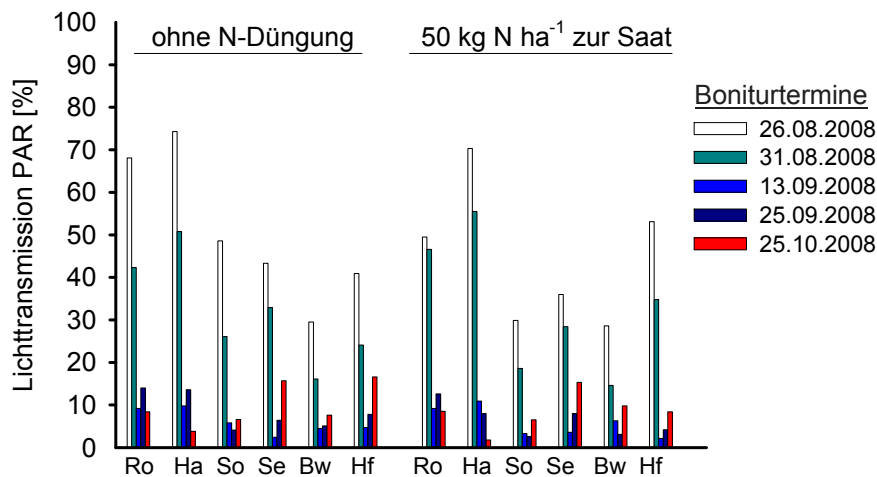


Abbildung 13: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf die Lichttransmission fotosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) 2 cm über dem Boden am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Am Standort Groß Radisch führte die Düngung mit Horngrieß zu drei von fünf Messterminen zu einer signifikanten Minderung der Lichttransmission in den Zwischenfruchtbeständen um 8 bis 23 Prozentpunkte (Abb. 14, Tab. A46 bis Tab. A50 im Anhang). Zu Beginn des Wachstums schlossen die Sonnenblume und der Buchweizen rascher den Bestand als Roggen und Hafer, sodass signifikante Unterschiede in der Lichttransmission zwischen den Arten zu verzeichnen waren. Vom 2. Oktober bis zum letzten Messtermin am 30.10.2008 nahm die Lichttransmission in den Zwischenfruchtbeständen mit Ausnahme der Sonnenblume wieder zu, wobei die Zunahme bei Senf und Buchweizen deutlich größer ausfiel. Die geringste Lichttransmission im Bestand zum 30.10.2008 wiesen die Sonnenblume (4,9 %) und der Hafer auf (8,8 %, Abb. 14).

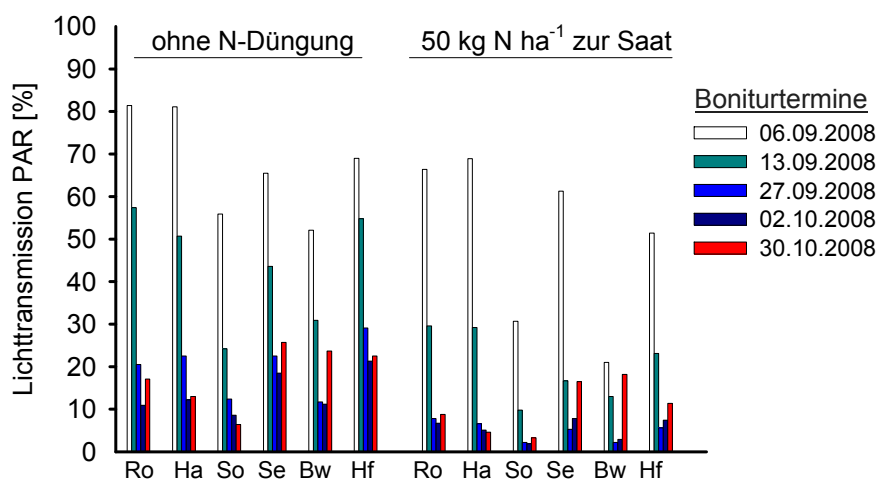


Abbildung 14: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf die Lichttransmission fotosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) 2 cm über dem Boden am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

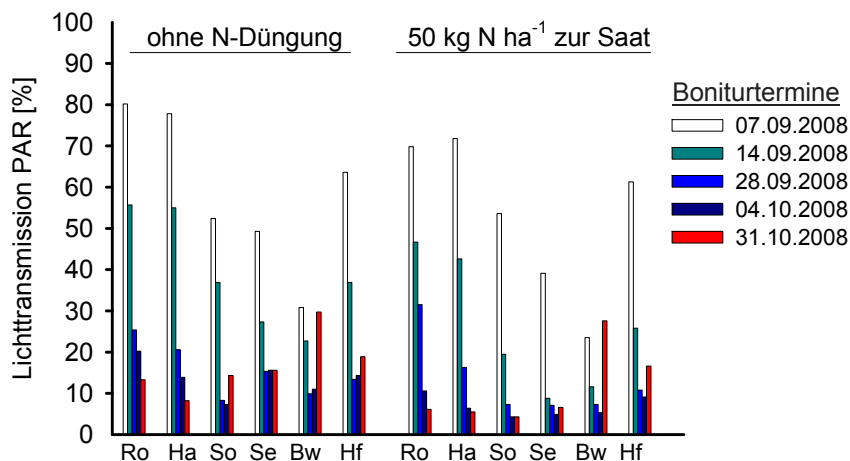


Abbildung 15: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf die Lichttransmission fotosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) 2 cm über dem Boden am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Auch am Standort Köllitsch erwies sich der Buchweizen als diejenige Zwischenfruchtart, die zu Beginn des Wachstums die signifikant geringste Lichttransmission im Bestand aller geprüften Zwischenfruchtarten zuließ (Abb. 15, Tab. A51 bis Tab. A55 im Anhang). Die Düngung mit Horngrieß schlug sich zu drei von fünf Messterminen in einer signifikant geringeren Lichttransmission in den Zwischenfruchtbeständen nieder. Im Mittel der Arten war eine Minderung um 5,6 (31.10.2008) bis 13,1 (14.06.2008) Prozentpunkte zu verzeichnen. Während der Roggen und der Hafer auch noch im Oktober 2008 eine Senkung der Lichttransmission im Bestand erreichten, stieg vom 04.10.2008 bis 31.10.2008 die Lichttransmission in der Sonnenblume im Mittel der Düngungsstufen um 3,5 Prozentpunkte an. Die Zunahme war allerdings bei Hanf (+ 6,1 Prozentpunkte) und vor allem beim Buchweizen (+ 20,4 Prozentpunkte) markant größer (Abb. 15).

3.5 Nitrat-N-Vorrat im Boden und N-Menge im Spross der Zwischenfrüchte und Unkräuter

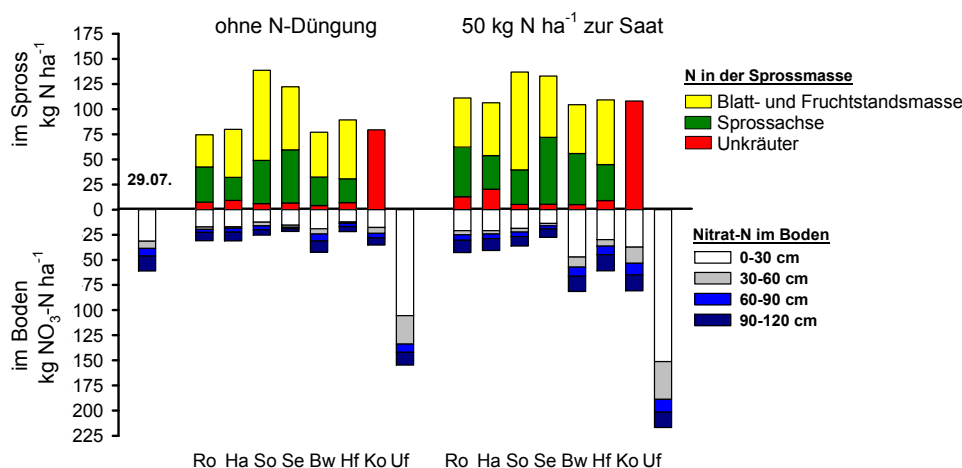


Abbildung 16: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf die N-Akkumulation im Spross verschiedener Zwischenfruchtarten und Unkräuter am 25.10.2008 sowie den Nitrat-N-Vorrat im Boden zur Saat (29.07.2008) und letzten Ernte (25.10.2008) am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht, Uf = unkrautfrei und ohne Zwischenfrucht)

In den Abbildungen 16 bis 18 sind die residualen Nitrat-N-Mengen im Boden Ende Oktober unter den verschiedenen Zwischenfruchtbeständen sowie die N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte und der Unkräuter an den Standorten dargestellt. Da am Standort Groß Radisch die Nitrat-N-Mengen im Boden nur bis 60 cm Tiefe erhoben werden konnten, wurde eine statistische Analyse der Werte über die drei Standorte anhand der Summe des Nitrat-N-Vorrates im Boden in 0 bis 60 cm vorgenommen (Tab. A56 bis Tab. A59). Es waren signifikante Wechselwirkungen (Tab. A56) zwischen den Faktoren Zwischenfruchtbestand und Standort, N-Düngung und Standort sowie zwischen Standort, Düngung und Zwischenfruchtbestand auf die residuale Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 60 cm Tiefe vorhanden, sodass im Weiteren die Ergebnisse gesondert für jeden Standort erläutert werden.

Am Standort Pillnitz lagen im Mittel aller Prüfglieder ohne eine N-Düngung zur Saat Ende Oktober in 0 bis 120 cm Tiefe 45,4 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$, mit einer N-Düngung zur Saat 73,4 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ vor (Abb. 16), wobei allerdings zwischen Düngung und Zwischenfruchtbestand eine signifikante Wechselwirkung zu verzeichnen war. Während infolge der N-Düngung zur Saat unter Senf nur ein Anstieg um 5,9 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ im Boden zu verzeichnen war, stieg der Nitrat-N-Vorrat im Boden unter Hanf und Buchweizen um etwa 39 kg ha^{-1} an. Der Buchweizen hinterließ im Mittel der N-Düngungsstufen signifikant mehr Nitrat-N im Boden als Roggen, Hafer, Sonnenblume und Senf (Tab. A60).

Am Standort Groß Radisch war ebenfalls im Hinblick auf die residualen Nitrat-N-Mengen im Boden eine signifikante Wechselwirkung zwischen N-Düngung zur Saat und dem Bestand zu verzeichnen (Tab. A58). Während sich der Nitrat-N-Vorrat im Boden (0 bis 60 cm) zu Vegetationsende unter Hanf und Hafer durch die N-Düngung zur Saat verminderte, verdoppelte sich dieser unter Buchweizen durch die N-Düngung (Abb. 17).

In Köllitsch lagen zu Vegetationsende im Mittel der Prüfglieder 50,2 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (ohne N-Düngung) bzw. 60,9 kg $\text{NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (mit N-Düngung) in 0 bis 120 cm Bodentiefe vor (Abb. 18). Die Unterschiede zwischen den Düngungsstufen waren signifikant, nicht hingegen die Differenzen zwischen den verschiedenen Zwischenfrüchten (Tab. A61).

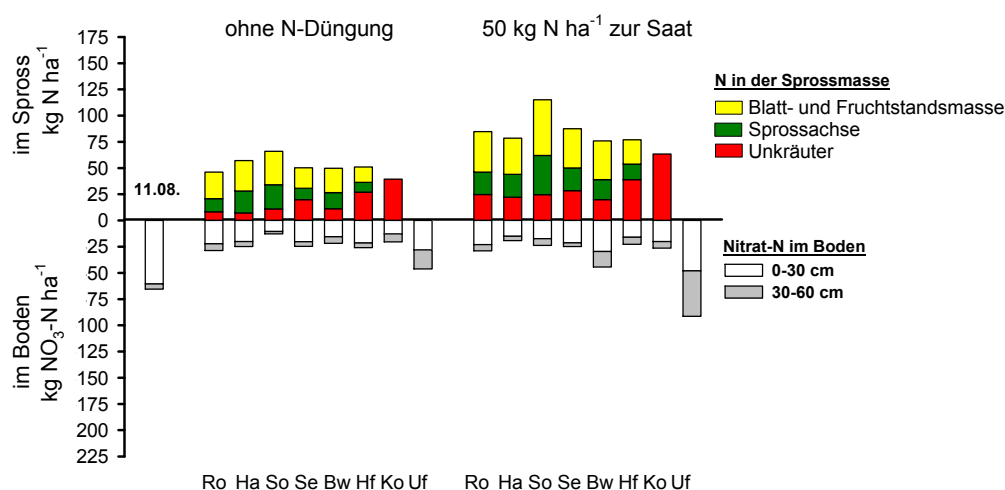


Abbildung 17: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf die N-Akkumulation im Spross verschiedener Zwischenfruchtarten und Unkräuter am 30.10.2008 sowie den Nitrat-N-Vorrat im Boden zur Saat (11.08.2008) und letzten Ernte (30.10.2008) am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht, Uf = unkrautfrei und ohne Zwischenfrucht)

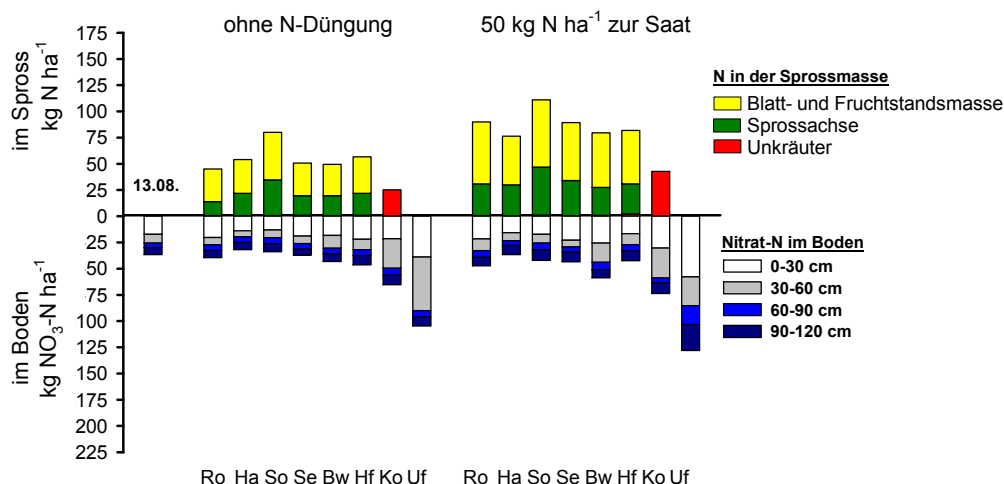


Abbildung 18: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat auf die N-Akkumulation im Spross verschiedener Zwischenfruchtarten und Unkräuter am 31.10.2008 sowie den Nitrat-N-Vorrat im Boden zur Saat (13.08.2008) und letzten Ernte (31.10.2008) am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf, Ko = Kontrolle ohne Einsaat einer Zwischenfrucht, Uf = unkrautfrei und ohne Zwischenfrucht)

Die N-Akkumulation im Spross der Bestände wurde für die drei Fraktionen N-Menge in der Sprossachse, N-Menge in der Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie N-Menge im Spross der Unkräuter gesondert erfasst und in den Abbildungen 16 bis 18 ausgewiesen. Hinsichtlich der in der Sprossachse der Zwischenfrüchte befindlichen N-Menge war eine Wechselwirkung zwischen Standort und Zwischenfruchtart zu verzeichnen (Tab. A62). So akkumulierte z. B. an den Standorten Groß Radisch und Köllitsch die Sonnenblume in der Sprossachse die höchste N-Menge aller geprüften Arten, während dieses am Stand Pillnitz der Senf realisierte. Die N-Düngung zur Saat führte an zwei Standorten (Pillnitz und Köllitsch) zu einem signifikanten Anstieg der N-Menge in der Sprossachse der Zwischenfrüchte (Tab. A63, Tab. A64 und Tab. A65). Die Sonnenblume zeichnete sich am Standort Köllitsch durch eine signifikant höhere N-Akkumulation in der Sprossachse im Vergleich zu allen anderen Zwischenfruchtarten, am Standort Groß Radisch im Vergleich zu drei Zwischenfruchtarten (Senf, Buchweizen und Hanf) aus. Signifikante Unterschiede in der N-Akkumulation in der Sprossachse waren am Standort Pillnitz nur zwischen Senf und dem Hanf gegeben (Tab. A63, Abb. 16).

Hinsichtlich der N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse traten wie bei der N-Akkumulation in der Sprossachse signifikante Wechselwirkungen zwischen der Zwischenfruchtart und dem Standort auf (Tab. A66). Die N-Düngung mit Horngrieß zur Saat bewirkte an den Standorten Pillnitz und Groß Radisch nur in der Tendenz (Tab. A67 und Tab. A68) einen Anstieg in der N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse, während der Anstieg um $20,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ im Mittel der Zwischenfruchtarten am Standort Köllitsch signifikant war (Tab. A69). Die Zwischenfruchtarten unterschieden sich an allen drei Standorten signifikant in der Höhe der N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse, wobei die Sonnenblume stets die höchsten Werte aufwies. So befanden sich am Standort Pillnitz bei der Sonnenblume zwischen $31,5$ bis $47,0 \text{ kg ha}^{-1}$ mehr Stickstoff in der Blatt- und Fruchtstandsmasse als bei den anderen geprüften Arten (Abb. 16).

Der Anteil Stickstoff in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der im gesamten Spross der Zwischenfrüchte fiel auf allen Standorten bei der Sonnenblume am höchsten aus (Abb. 19, Abb. 20 und Abb. 21). Er lag im Mittel der Düngungsstufen zwischen $71,3 \%$ (Standort Pillnitz) und $73,3 \%$ (Standort Köllitsch). Im Gegensatz dazu wies der Roggen stets den geringsten Anteil auf (zwischen $46,9 \%$ am Standort Köllitsch und $52,4 \%$ am Standort Groß Radisch). Die Unterschiede zwischen Roggen und Sonnenblume im Anteil der N-Menge in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der gesamten N-Menge im Spross waren an allen Standorten signifikant (Tab. A75, Tab. A76 und Tab. A77). Die Zwischenfruchtarten verhielten sich allerdings insgesamt in diesem Kennwert unterschiedlich an den Standorten, wie die signifikante Wechselwirkung zwischen Standort und Zwischenfruchtart ausweist (Tab. A74). Zusätzlich war an allen Standorten eine Wechselwirkung zwischen Düngung und Zwischenfruchtart gegeben, da jeweils bei einigen Arten infolge der Düngung der Anteil leicht anstieg (wie z. B. bei Roggen und Sonnenblume am Standort Pillnitz), gleichzeitig bei anderen Arten der Anteil deutlich zurückging (Hafer, Senf, Buchweizen und Hanf am Standort Pillnitz, Tab. A75).

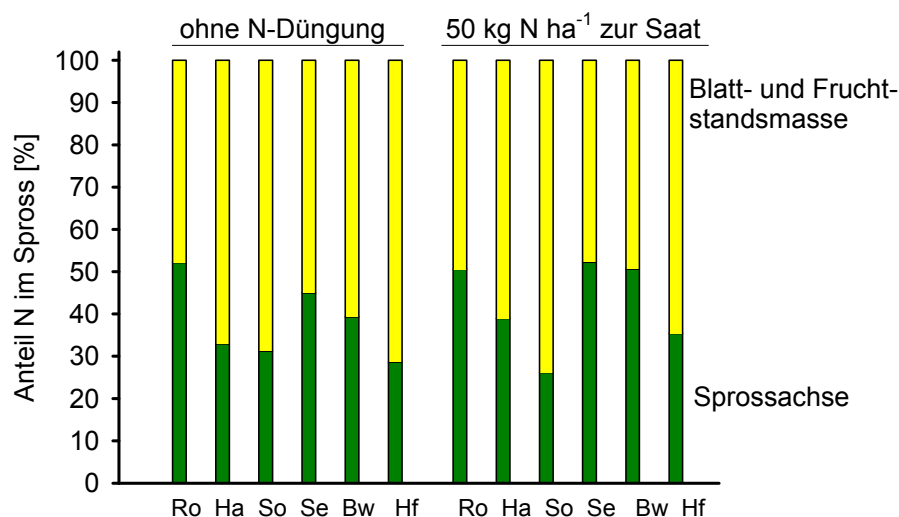


Abbildung 19: Anteil N-Akkumulation in der Sprossachse sowie Blatt- und Fruchtstandsmasse im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz am 25.10.2008

Die Zwischenfrüchte akkumulierten am Standort Pillnitz mit im Mittel der N-Düngestufen $98,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ die höchsten N-Mengen aller drei Standorte (Groß Radisch: $30,6 \text{ kg N ha}^{-1}$, Köllitsch $44,4 \text{ kg N ha}^{-1}$). Die Düngung mit Horngrieß zur Saat führte nur am Standort Köllitsch zu einer um 20 kg N ha^{-1} signifikant gesteigerten N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte (Tab. A 67 bis Tab. A69). Die Zwischenfrüchte verhielten sich allerdings hinsichtlich der N-Akkumulation im Spross an den Standorten unterschiedlich (Tab. A66). Zwar akkumulierte die Sonnenblume an allen Standorten im Spross die höchsten N-Mengen (zwischen $42,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ am Standort Groß Radisch und $132,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ am Standort Pillnitz, jeweils Mittel der N-Stufen), jedoch waren andererseits der Hanf (Standort Groß Radisch mit im Mittel $19,1 \text{ kg N ha}^{-1}$) oder der Hafer (Standort Pillnitz $78,5 \text{ kg N ha}^{-1}$, Standort Köllitsch $39,4 \text{ kg N ha}^{-1}$) die Zwischenfruchtarten mit der geringsten N-Akkumulation im Spross (Abb. 16 bis Abb. 18).

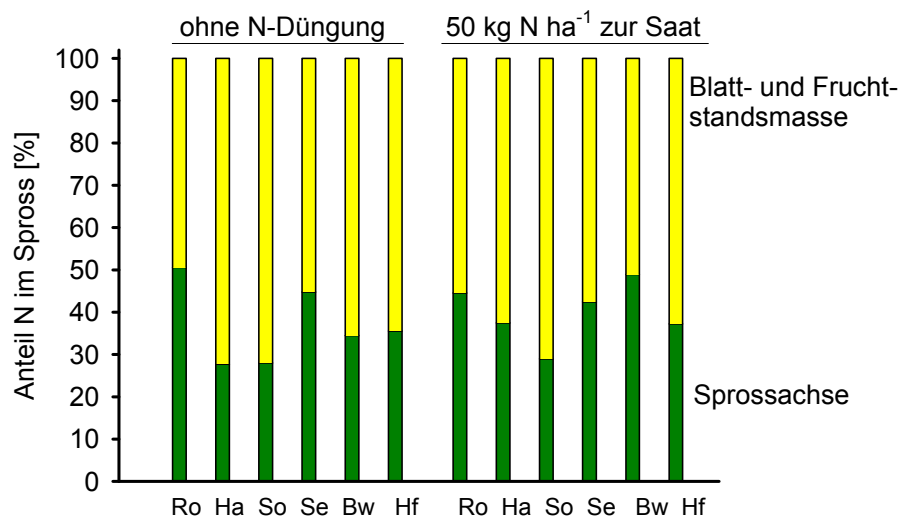


Abbildung 20: Anteil N-Akkumulation in der Sprossachse sowie Blatt- und Fruchtstandsmasse im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch am 30.10.2008

Die N-Akkumulation im Spross der Unkräuter war in allen Zwischenfruchtbeständen am Standort Pillnitz mit bis zu $20,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ (in Hafer gedüngt) und Köllitsch mit bis zu $2,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ (in Hanf gedüngt) vergleichsweise gering und wies keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtarten auf (Tab. A79 und Tab. A81, Abb. 16 und Abb. 18). Am Standort

Groß Radisch waren die Unkräuter stärker in der Lage, Stickstoff im Spross zu akkumulieren (bis zu $38,8 \text{ kg N ha}^{-1}$, in Hanf gedüngt, Abb. 17 sowie Tab. A80). Darüber hinaus waren signifikante Wechselwirkungen zwischen Standort und Düngung sowie Standort und Zwischenfruchtart im Hinblick auf die N-Akkumulation im Spross der Unkräuter zu verzeichnen (Tab. A78). Die Düngung mit Horngrieß zur Saat erwies sich nur am Standort Pillnitz als nicht signifikant hinsichtlich der N-Menge im Spross der Unkräuter, wobei allerdings am Standort Köllitsch (Tab. A81) und Standort Pillnitz (Tab. A79) zusätzliche signifikante Wechselwirkungen zwischen Düngung und Zwischenfruchtart auftraten.

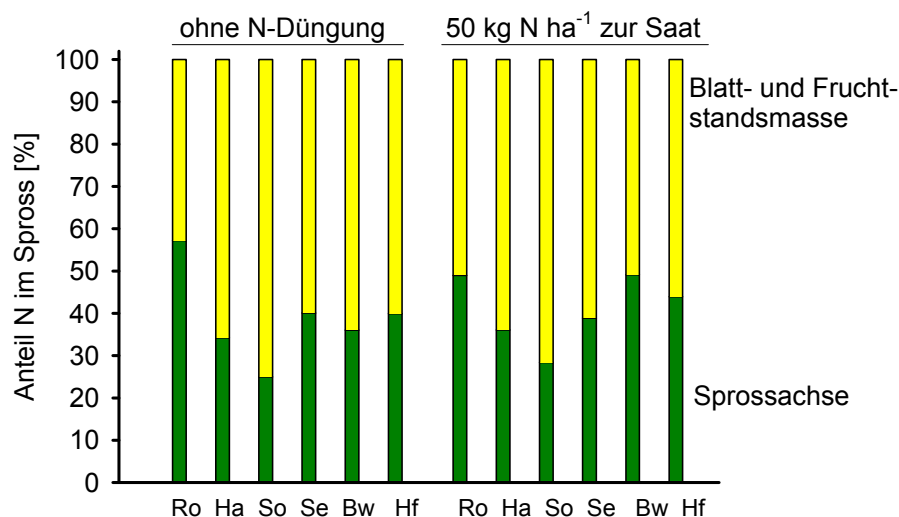


Abbildung 21: Anteil N-Akkumulation in der Sprossachse sowie Blatt- und Fruchtstandsmasse im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch am 30.10.2008

In den Kontrollparzellen, in denen ein ungestörtes Wachstum der Unkräuter zugelassen wurde, akkumulierten die Unkräuter sehr hohe N-Mengen im Spross, die allerdings an allen Standorten in der Regel geringer ausfielen als die Spross-N-Akkumulation der Zwischenfrüchte. Im Anhang sind zur Ergänzung die Ergebnisse der statistischen Analysen zur Summe der Spross-N-Akkumulation der Zwischenfrüchte und der Unkräuter in den Tabellen A82 bis Tab. A85 zusammengestellt.

3.6 C/N-Verhältnis der Sprossachse und der Blatt- und Fruchtstandsmasse

Die hier geprüften Zwischenfruchtarten sollten nicht nur hinsichtlich ihres Vermögens zur Unkrautunterdrückung und N-Aufnahme aus dem Boden charakterisiert werden. Darüber hinaus war es Ziel der Untersuchungen, nichtlegume Zwischenfruchtarten zu identifizieren, die zu Vegetationsende eine Sprossmasse aufweisen sollten, die aufgrund ihrer Zusammensetzung schwer mineralisierbar und zu einer temporären Immobilisation von mineralischem Stickstoff im Boden beitragen sollte. Die Zwischenfrüchte hatten sich zügig entwickelt und bis Ende Oktober das Entwicklungsstadium den Beginn des Rispschiebens (Hafer), das Ende Ährenschiebens (Roggen), den Beginn der Fruchtentwicklung (Sonnenblume, Senf und Hanf) und die beginnende Samenreife (Buchweizen) erlangt. Zur Charakterisierung der Abbaubarkeit der Ernterückstände wurde das C/N-Verhältnis in der Sprossachse sowie der Blatt- und Fruchtstandsmasse der geprüften Zwischenfrüchte gesondert bestimmt und anhand dieser Werte das gewogene C/N-Verhältnis in der Sprossmasse der Zwischenfruchtarten ermittelt. Die entsprechenden Analyseergebnisse sind in den Abbildungen 23 bis 25 nach Düngungsstufen und Standorten differenziert dargestellt.

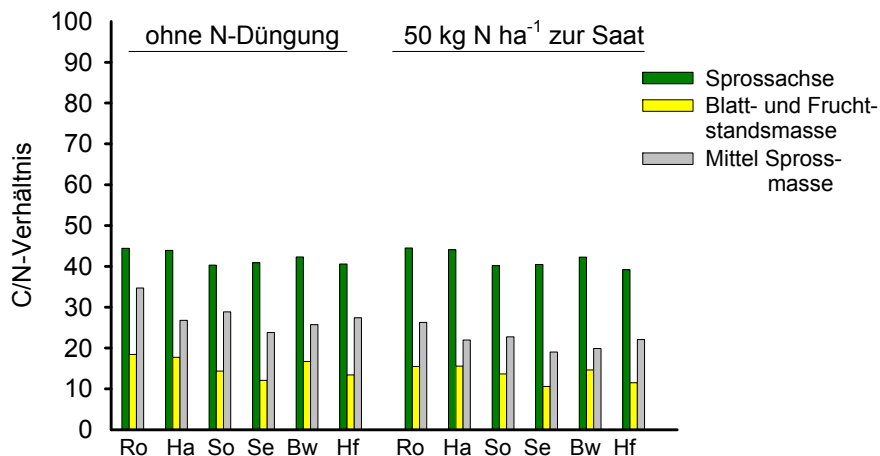


Abbildung 22: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf das C/N-Verhältnis in der Sprossachse, in der Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie im gewogenen Mittel der gesamten Sprossmasse verschiedener Zwischenfruchtarten zur dritten Ernte am 25.10.2008 am Standort Pillnitz (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Zwischenfruchtart und Standort sowie Düngung und Standort zeigten in der standortübergreifenden statistischen Analyse signifikante Wechselwirkungen hinsichtlich des C/N-Verhältnisses in der Sprossachse (Tab. A86). Am Standort Pillnitz führte die N-Düngung zu keiner signifikanten Änderung des C/N-Verhältnisses in der Sprossachse (Tab. A87, Abb. 23). Hingegen wiesen die Sonnenblume, der Senf und der Hanf mit mittleren C/N-Verhältnissen in der Sprossachse zwischen von 39,9 und 40,6 signifikant niedrige Werte auf als Buchweizen (42,3), Hafer (44,0) und Roggen (44,5). Am Standort Groß Radisch waren bei allen Zwischenfruchtarten deutlich höhere C/N-Verhältnisse in der Sprossachse zu Vegetationsende vorhanden (Abb. 24) als bei den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz.

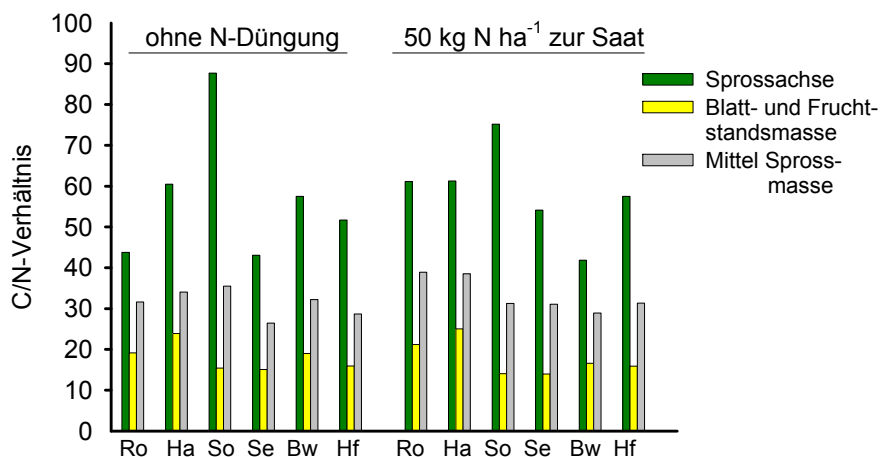


Abbildung 23: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf das C/N-Verhältnis in der Sprossachse, in der Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie im gewogenen Mittel der gesamten Sprossmasse verschiedener Zwischenfruchtarten zur dritten Ernte am 30.10.2008 am Standort Groß Radisch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

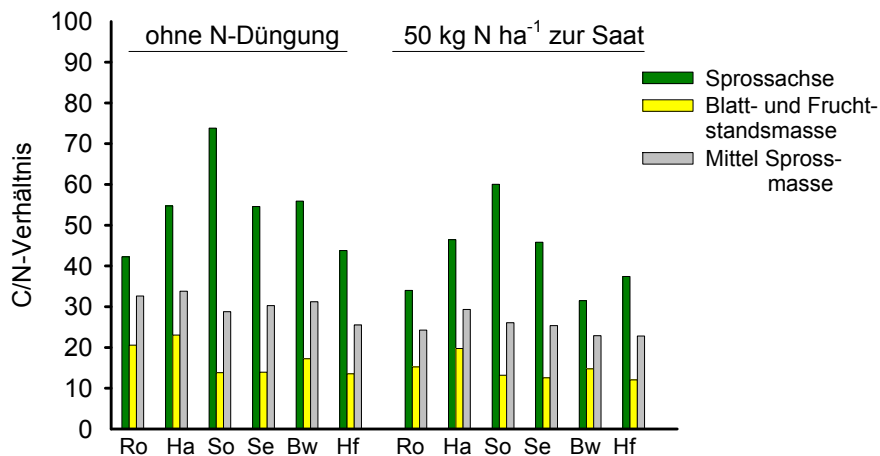


Abbildung 24: Einfluss der N-Düngung mit Horngrieß zur Saat und der Zwischenfruchtart auf das C/N-Verhältnis in der Sprossachse, in der Blatt- und Fruchtstandsmasse sowie im gewogenen Mittel der gesamten Sprossmasse verschiedener Zwischenfruchtarten zur dritten Ernte am 30.10.2008 am Standort Köllitsch (Ro = Roggen, Ha = Hafer, So = Sonnenblume, Se = Senf, Bw = Buchweizen, Hf = Hanf)

Eine signifikante Wirkung der Düngung war auch hier nicht zu verzeichnen (Tab. A88), jedoch unterschieden sich das C/N-Verhältnis in der Sprossachse der Sonnenblume mit 81,4 (im Mittel der N-Düngestufen) deutlich von allen anderen geprüften Zwischenfruchtarten.

In der Sprossachse der Sonnenblume lag auch am Standort Köllitsch zu Vegetationsende das signifikant weiteste C/N-Verhältnis in der Sprossachse aller geprüften Zwischenfruchtarten vor (im Mittel 66,9). Die anderen Zwischenfrüchte wiesen ein C/N-Verhältnis in der Sprossachse im Mittel der N-Düngestufen zwischen 38,1 (Roggen) und 50,6 (Hafer) auf und unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Um im Mittel der Arten knapp 12 Punkte sank am Standort Köllitsch das C/N-Verhältnis in der Sprossachse der Zwischenfrüchte infolge der N-Düngung signifikant ab (Abb. 24, Tab. A89).

Das in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte ermittelte C/N-Verhältnis lag bei allen Zwischenfruchtarten und an allen Standorten deutlich unter dem entsprechenden C/N-Verhältnis, das in der Sprossachse vorlag (Abb. 22 bis Abb. 24). Der Unterschied fiel am Standort Groß Radisch deutlich größer aus als an den Standorten Köllitsch und Pillnitz. Die Sonnenblume zeichnete sich darüber hinaus an allen Standorten durch eine besonders große Differenz im C/N-Verhältnis zwischen der Blatt- und Fruchtstandsmasse einerseits und der Sprossachse andererseits aus.

Hinsichtlich des C/N-Verhältnisses in der Blatt- und Fruchtstandsmasse war eine Wechselwirkung zwischen Standort und Zwischenfruchtart zu verzeichnen (Tab. A90). Die N-Düngung zur Saat führte am Standort Pillnitz und Köllitsch zu einem signifikant geringerem C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse (Tab. A91 und Tab. A93), wies zugleich aber am Standort Köllitsch eine signifikante Wechselwirkung zu den Zwischenfruchtarten auf. Hier war ein ausgeprägter Rückgang des C/N-Verhältnisses in der Blatt- und Fruchtstandsmasse beim Roggen (um 5,3 Einheiten) als bei der Sonnenblume (um 0,6 Einheiten) zu verzeichnen. Das engste C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse aller Zwischenfruchtarten wies der Senf (Standorte Pillnitz und Groß Radisch) oder der Hanf (Standort Köllitsch), das entsprechend weiteste C/N-Verhältnis der Hafer (Groß Radisch und Köllitsch) oder Roggen (Pillnitz) auf.

Im Mittel der gesamten Sprossmasse fielen die C/N-Verhältnisse zwischen den Arten im Vergleich zu den Ergebnissen in der Sprossachse und in der Blatt- und Fruchtstandsmasse weniger markant unterschiedlich aus (Abb. 22 bis 24 sowie Tab. A 94 bis Tab A97). Standort und Zwischenfruchtart sowie Standort und Düngung zeigten eine signifikante Wechselwirkung hinsichtlich des C/N-Verhältnisses im Spross der Zwischenfruchtarten (Tab. A94). Die Düngung mit Horngrieß zur Saat rief an den Standorten Pillnitz und Köllitsch eine im Mittel der Zwischenfruchtarten um 5,4 bzw. 6,2 Punkte Verringerung des C/N-Verhältnisses im Spross der Zwischenfruchtarten hervor. Im Mittel der gesamten Sprossmasse wies Roggen (Standort Pillnitz) und Hafer (Standorte Groß Radisch und Köllitsch) die weitesten C/N-Verhältnisse mit im Mittel der N-Düngestufen 30,5, 36,3

und 31,6 im Spross auf. Der Senf (Standorte Pillnitz und Groß Radisch) sowie der Hanf (Standort Köllitsch) waren durch das engste C/N-Verhältnis im Spross (21,4, 28,8 bzw. 24,2) aller geprüften Zwischenfruchtarten an den Standorten gekennzeichnet.

Im Anhang sind die N-Gehalte in der Sprossachse bzw. Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte in den Tabellen A98 bis A105 ergänzend zu den Angaben des C/N-Verhältnisses zusammengestellt. Die entsprechenden N-Gehalte der Bestandteile der Pflanzen spiegeln im Wesentlichen die bereits bei den C/N-Verhältnissen genannten Differenzen zwischen den Prüffaktoren (N-Düngung zur Saat, Zwischenfruchtart und Standort) wider.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die geprüften Zwischenfruchtarten liefen an allen drei Prüfstandorten aufgrund anhaltender Niederschlagsereignisse Ende Juli und Anfang August 2008 (Tab. 3) nach der Saat rasch auf und konnten gute Bestandesdichten bei Feldaufgängen mit in der Regel mehr als 70 % bezogen auf die Anzahl ausgesäter keimfähiger Samen erreichen (Tab. 6 bis Tab. 8). Mit knapp 56 dt TM ha⁻¹ Sprossertrag der Zwischenfrüchte im Versuchsmittel wurde bis Ende Oktober 2008 am Standort Pillnitz ein etwa doppelt so hoher Ertrag der Zwischenfrüchte erzielt wie an den Standorten Groß Radisch (23,5 dt TM ha⁻¹) und Köllitsch (28,6 dt TM ha⁻¹, Abb. 1 bis Abb. 3). Hierfür dürfte vor allem der um 13 Tage (Groß Radisch) bzw. 15 Tage (Köllitsch, Tab. 4) frühere Saattermin der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz ursächlich gewesen sein. In Groß Radisch und Köllitsch konnte erst später ausgesät werden, weil hier die Vorfrüchte erst später als am Standort Pillnitz geerntet wurden. Am Standort Pillnitz wurde nicht nur früher ausgesät, sondern es lag auch ein höheres Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff zur Saat im Boden vor (Abb. 16 bis Abb. 18), was ebenfalls zur deutlich höheren Ertragsleistung der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz beigetragen haben dürfte. An den Standorten Groß Radisch und Köllitsch war im Gegensatz zu Pillnitz eine signifikante Wirkung der N-Düngung mit Horngrieß auf den Sprossertrag der Zwischenfrüchte zu verzeichnen (Tab. A4, Tab. A9 und Tab. A12), sodass hier eine Limitierung des Wachstums der Zwischenfrüchte durch Stickstoff vorgelegen haben dürfte.

Eine N-Düngung über Horngrieß kann anhand der Untersuchungsergebnisse als ein nicht geeignetes Instrument eingestuft werden, um das Wachstum der Unkräuter beim Anbau von nichtlegumen Zwischenfrüchten zu unterdrücken, da an zwei Standorten (Pillnitz, Köllitsch) in der Tendenz und am Standort Groß Radisch sogar eine signifikante Zunahme des Unkrautwachstums infolge der Düngung eintrat (Tab. A37). Die N-Düngung zur Saat führte darüber hinaus in vielen Fällen zu einem Anstieg der residualen Nitrat-N-Menge im Boden (Abb. 16 bis Abb. 18) und Verengung des C/N-Verhältnisses im Spross der geprüften Zwischenfrüchte (Abb. 22 bis 24). Hierdurch dürfte die Verfügbarkeit an Stickstoff im Boden für Unkräuter ansteigen, sodass nachgebaute Körnerleguminosen einer erhöhten Konkurrenz durch Unkräuter ausgesetzt sein dürften. Deshalb wird eine **N-Düngung zur nichtlegumen Zwischenfrucht** insgesamt als **nicht geeignet** angesehen, um die Ziele des Zwischenfruchtbaus vor Körnerleguminosen, die in Mulch- oder Direktsaat angebaut werden sollen, besser erreichen zu können.

Im Hinblick auf die Eignung der nichtlegumen Zwischenfrüchte zur Mulchsaat und Direktsaat von Körnerleguminosen sollten die Zwischenfrüchte den folgenden Anforderungen genügen:

- zügiger Feldaufgang der Zwischenfrucht mit rascher Bodenbeschattung
- rasch einsetzende und anhaltende Konkurrenzkraft der Zwischenfrucht gegenüber Unkräutern, die die Ertragsbildung der Unkräuter im Zwischenfruchtbestand auf ein Minimum begrenzt
- hoher Sprossertrag bei gleichzeitig hohem Anteil der Sprossachse am gesamten Sprossertrag
- effiziente N-Aneignung der Zwischenfrucht aus dem Boden mit hoher N-Akkumulation im Spross und Hinterlassen eines geringen residualen Nitrat-N-Vorrates im Boden zu Vegetationsende
- hoher Anteil der N-Akkumulation in der Sprossachse der Zwischenfrucht an der gesamten N-Akkumulation im Spross
- sehr weites C/N-Verhältnis in der Sprossmasse der Zwischenfrucht, insbesondere in der Sprossachse, um eine anhaltende N-Immobilisation im Boden während des Wachstums einer nachfolgenden Körnerleguminose zu erreichen

Mit Hilfe dieser Kriterien soll nun anhand der im Vorhaben erzielten Untersuchungskriterien abgeleitet werden, welche der geprüften Zwischenfruchtarten zum Zwecke der Etablierung einer Mulch- bzw. Direktsaat im ökologischen Landbau die beste Eignung aufweisen dürfte.

Der Buchweizen, gefolgt von der Sonnenblume und dem Senf wies zur ersten Zwischenernte den höchsten Sprossertrag (Abb. 1 bis Abb. 3) und zugleich das stärkste Beschattungsvermögen der geprüften Zwischenfruchtarten auf (Abb. 13 bis Abb. 15). Die schnelle Anfangsentwicklung des Buchweizens schlug sich allerdings an den Standorten Pillnitz und Köllitsch nicht in einer gegenüber den anderen Zwischenfruchtarten signifikant geringeren Unkrautsprossmasse zum Ende der Vegetationsperiode nieder (Tab. A34 und A39). Unterschiede waren hier zwischen den Arten nicht zu verzeichnen, sodass dem Buchweizen hieraus keine präferenzielle Eignung zugesprochen werden kann. Hinsichtlich der Unkrautunterdrückung zeichnete sich lediglich der Hanf am Standort Groß Radisch durch ein signifikant gegenüber Roggen, Hafer, Sonnenblume und Buchweizen geringeres Unkrautunterdrückungsvermögen aus (Tab. A37). Deshalb erwiesen sich hinsichtlich des Vermögens der Unkrautunterdrückung mit Ausnahme des Hanfes alle geprüften Arten als nahezu gleichwertig geeignet. Der **Hanf** kann aufgrund der am Standort Groß Radisch ermittelten schlechteren Unkrautunterdrückung nur **sehr eingeschränkt empfohlen** werden, um als Zwischenfrucht vor Körnerleguminosen angebaut zu werden, die in Mulch- oder Direktsaat etabliert werden sollen.

Die höchsten Sprosstrockenmasseerträge erzielte an allen Standorten unabhängig von der N-Düngung die Sonnenblume, gefolgt von Roggen, Hafer und Senf (Abb. 1 bis Abb. 3). Zusätzlich akkumulierte die Sonnenblume an allen Standorten ohne und mit einer N-Düngung jeweils die höchste N-Menge im Spross aller Bestände und hinterließ einen sehr geringen Vorrat an Nitratstickstoff im Boden zu Vegetationsende (Abb. 16 bis Abb. 18). Auf der anderen Seite war der Anteil Sprossachse an der gesamten Sprossmasse bei der Sonnenblume im Vergleich zu anderen Zwischenfrüchten, insbesondere dem Roggen, geringer (Abb. 7 bis Abb. 9). Gravierender für die Eignung der Sonnenblume als Zwischenfrucht vor in Mulch- oder Direktsaat bestellten Körnerleguminosen dürfte allerdings einzuschätzen sein, dass der Anteil des in der Sprossachse akkumulierten Stickstoffs an der insgesamt im Spross befindlichen N-Menge der Sonnenblume an allen Standorten im Vergleich der Zwischenfrüchte am geringsten ausfiel (Abb. 19 bis Abb. 21). Dieses dürfte dazu führen, dass die hohe Menge an Stickstoff, die in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Sonnenblume enthalten war (Abb. 16 bis Abb. 18), rasch nach dem Absterben der Pflanze im Boden pflanzenverfügbar wird, da hierin ein vergleichsweise enges C/N-Verhältnis von stets unter 16 vorlag. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass zwar ein hohes Beschattungs- und Unkrautunterdrückungsvermögen sowie eine sehr hohe Spross-N-Akkumulation und eine geringe residuale Nitrat-N-Menge im Boden die Sonnenblume als sehr geeignete Pflanzenart für Zwecke der Mulch- oder Direktsaat von Körnerleguminosen ausweist. Andererseits stellen eine hohe N-Akkumulation und ein geringes C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Sonnenblume Argumente für eine gegenteilige Bewertung dar. Da die Sonnenblume zudem nur in vergleichsweise geringer Pflanzendichte angebaut wird, verbleiben nach Absterben der Sonnenblume in vielen Fällen nicht genügend Stängel zurück, die eine geschlossene Mulchdecke bilden könnten. Deshalb wird die **Sonnenblume** insgesamt als **bedingt geeignet** als Zwischenfrucht vor in Mulch- oder Direktsaat angebauten Körnerleguminosen eingestuft.

Der Senf erwies sich hinsichtlich Beschattungs- und Unkrautunterdrückungsvermögen sowie der Spross-N-Akkumulation und residualen $N_{\min}$ -Menge im Boden auf allen Prüfstandorten als geeignete Zwischenfrucht. Allerdings befand sich auch beim Senf zu Vegetationsende noch ein hoher Anteil des im Spross akkumulierten Stickstoffs in der Blatt- und Fruchtstandsmasse, die zudem durch ein noch geringeres C/N-Verhältnis (Abb. 22 bis Abb. 24) als bei der Sonnenblume gekennzeichnet war. Deshalb wird der **Senf** als nur **mäßig geeignet** zum Zwecke des Zwischenfruchtbaus vor in Mulch- oder Direktsaat angebauten Körnerleguminosen eingeschätzt.

Der Buchweizen zeigte zu Beginn der Entwicklung ein sehr rasches Wachstum, eine sehr gute Lichtinterzeption und Unkrautunterdrückung. Die rasche Entwicklung des Buchweizens erwies sich allerdings später als Nachteil, da er im Oktober an allen Standorten nur noch einen sehr geringen täglichen Zuwachs an Sprossmasse erzielen konnte (Abb. 4 bis Abb. 6). Dieser geringe Zuwachs hat vermutlich auch dazu beigetragen, dass unter Buchweizen häufig höhere Nitrat-N-Vorräte im Boden vorlagen als unter Sonnenblume oder Senf, die zudem mehr N im Spross als Buchweizen akkumulierten. Das C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse des Buchweizens fiel mit Werten unter 18 vergleichsweise eng aus (Abb. 22 bis Abb. 24), sodass der **Buchweizen** insgesamt als **wenig geeignet** als Zwischenfrucht vor in Mulch- oder Direktsaat angebauten Körnerleguminosen eingestuft wird.

Sommerroggen und Hafer zeigten eine zunächst zögerlich einsetzende Entwicklung mit einem im Vergleich zu Sonnenblume und Buchweizen geringeren Wachstum (Abb. 1 bis Abb. 3) und verminderter Lichtinterzeption (Abb. 13 bis Abb. 15). Sie wiesen allerdings im Oktober 2008 an allen Standorten im Gegensatz zum Buchweizen noch hohe tägliche Zuwachsraten an Sprossmasse auf (Abb. 4 bis Abb. 6), sodass die Unkrautunterdrückung nicht signifikant verschieden im Vergleich zur Sonnenblume und dem Buchweizen ausfiel (Tab. A34, Tab. A36 und Tab. A39). Die Lichtinterzeption im Bestand verringerte sich bei Roggen und Hafer im Gegensatz zu den anderen geprüften Zwischenfrüchten nahezu in allen Fällen vom vorletzten zum letzten Untersuchungstermin, was auf eine anhaltende Lichtkonkurrenz dieser Arten bis in den Spätherbst schließen lässt. Insbesondere der Roggen war zudem durch einen im Vergleich der Arten hohen Anteil an Stickstoff im Spross charakterisiert, der in der Sprossachse eingelagert war (Abb. 19 bis Abb. 21). Das C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse von Hafer und Roggen fiel auch weiter als bei den meisten anderen Arten aus (Abb. 22 bis Abb. 24), sodass bei diesen Arten nach Absterben der Sprossmasse von einer geringeren Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs in der Blatt- und Fruchtstandsmasse ausgegangen werden kann. Da Roggen und Hafer auch zu einem geringen Vorrat an Nitratstickstoff im Boden zu Vegetationsende führten und sie gleichzeitig eine hohe Dichte an Sprossachsen (Halme) hinterlassen, die im Gegensatz zu Sonnenblume und Senf eine dicht geschlossene Mulchmasse bilden kann, wird dem hier geprüften **Schwarzhafer** und insbesondere dem **Sommerroggen** eine im Vergleich zu den anderen Zwischenfrüchten **beste Eignung** beigemessen, um sie als Zwischenfrüchte vor in Mulch- oder Direktsaat angebauten Körnerleguminosen im ökologischen Landbau einzusetzen. Da die Wirkungen des Hafers und des Roggens an den drei Prüfstandorten sehr ähnlich ausfielen, kann aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen für diese Arten keine standortspezifische Empfehlung abgeleitet werden. Hinsichtlich der Wahl des Roggens oder Hafers als Zwischenfrucht vor Körnerleguminosen gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass diese Zwischenfrüchte in getreidereichen Fruchtfolgen zusätzliche Probleme mit bodenübertragbaren Krankheiten (z. B. Fusarien) hervorrufen können, die in diesen Fällen zu einer eingeschränkten Eignung dieser Arten im Zwischenfruchtbau führen.

Die hier vorgelegte vorläufige Einstufung der verschiedenen nichtlegumen Zwischenfruchtarten basiert nur auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, die lediglich den Zeitraum des Zwischenfruchtbaus umfasste. Die tatsächliche Eignung der nichtlegumen Zwischenfruchtarten im ökologischen Landbau für den Anbau von Körnerleguminosen in Mulch- und Direktsaat muss deshalb noch an Feldversuchen geprüft werden, die den entsprechenden Anbau von Körnerleguminosen nach diesen Zwischenfrüchten einschließt.

5 Zusammenfassung

Von Juli bis Oktober 2008 wurden an drei Standorten in Sachsen (Pillnitz, Köllitsch und Groß Radisch) Feldversuche im ökologischen Landbau zur Eignung nichtlegumer Zwischenfrüchte für Systeme der Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen durchgeführt. Geprüft wurden die Zwischenfrüchte Sommerroggen (*Secale cereale*), Schwarzhafer (*Avena sativa*), Sonnenblume (*Helioantus annuus*), Weißer Senf (*Sinapis alba*) Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) und Hanf (*Cannabis sativa*) ohne und mit einer N-Düngung zur Saat (50 kg N ha⁻¹ als Horngrieß). Folgende Merkmale wurden ermittelt:

- Sprossertrag der Zwischenfrüchte und Unkräuter zu drei Terminen
- Transmission der photosynthetisch aktiven Strahlung in den Zwischenfruchtbeständen zu fünf Terminen
- im Boden unter den Zwischenfrüchten zu Vegetationsende vorliegende residuale Nitratstickstoffmenge
- bis Vegetationsende akkumulierte N-Menge in der Sprossachse, Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte
- zu Vegetationsende vorliegende C/N-Verhältnisse in der Sprossachse, Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte.

Ziel der Untersuchungen war es, nichtlegume Zwischenfruchtarten zu identifizieren, die Unkräuter effizient unterdrücken und den Nitratvorrat im Boden während des Wachstums stark absenken. Die Arten sollten in der Lage sein, hohe Mengen an Sprossmasse zu bilden, die auf der Bodenoberfläche zum Schutz vor Erosion verbleibt. Gleichzeitig sollten sie ein möglichst weites C/N-Verhältnis in der Sprossmasse aufweisen, sodass nur geringe Mengen des aufgenommenen Stickstoffs nach dem Absterben der Zwischenfrucht für die Nachfrucht Körnerleguminose verfügbar werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Hanf aufgrund eines zu geringen Unkrautunterdrückungsvermögens als nur sehr eingeschränkt zu empfehlen ist. Die Sonnenblume und der Senf wiesen zwar eine hohe N-Aneignungseffizienz auf, aufgrund der vergleichsweise engen C/N-Verhältnisse in der Blatt- und Fruchtstandsmasse sind diese Arten jedoch nur bedingt bzw. mäßig geeignet. Auch der Buchweizen ist aufgrund frühzeitigen Absterbens und engen C/N-Verhältnissen im Spross wenig geeignet für Systeme der Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen. Sommerroggen und Hafer sind aufgrund guter Unkrautunterdrückung und hohem Sprossertrag mit weitem C/N-Verhältnis nahezu unabhängig vom Standort und der N-Düngung zur Saat für einen nichtlegumen Zwischenfruchtbau vor Körnerleguminosen am besten geeignet.

6 Literaturverzeichnis

- BAEUMER, K. (1994): Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: DIERCKS, R. & R. HEITEFUSS (Hrsg.): Integrierter Landbau: Systeme umweltbewusster Pflanzenproduktion – Grundlagen, Praxiserfahrungen, Entwicklungen. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- CORRE-HELLOU, G., CROZAT, Y. (2005): N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). *European Journal of Agronomy* 22, 449-458.
- NEUMANN, A., SCHMIDTKE, K., RAUBER, R. (2007): Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* 100, 285-293.
- REITER, K., SCHMIDTKE, K., RAUBER, R. (2002): The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* 238, 41-55.
- SAUCKE, H., ACKERMANN, K. (2006): Weed suppression in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). *Weed Research* 46, 453–461.
- SCHMIDT, H., SCHULZ, F., LEITHOLD, G. (2006): Organic Farming Trial Gladbacherhof. Effects of different crop rotations and tillage systems. In: RAUPP, J., PEKRUN, C., OLTMANNS, M., KÖPKE, U. (Eds.) (2006): Long Term Field Experiments in Organic Farming. ISO FAR Scientific Series 1. Verlag Dr. Köster, Berlin, 165-182.

7 Anhang

Tabelle A1: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Zwischenfrüchte zum ersten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,02	0,0644
N-Düngung (D)	2,39	0,2624
Standort (S)	123,90	< 0,0001
Z × D	1,37	0,3144
Z × S	4,45	0,0001
D × S	0,89	0,4158
Z × D × S	0,34	0,9651

Tabelle A2: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Zwischenfrüchte zum zweiten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,27	0,0522
N-Düngung (D)	1,24	0,3817
Standort (S)	190,20	< 0,0001
Z × D	1,14	0,3999
Z × S	3,59	0,0011
D × S	11,55	0,0001
Z × D × S	1,41	0,2027

Tabelle A3: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,82	0,0340
N-Düngung (D)	3,28	0,2116
Standort (S)	300,12	< 0,0001
Z × D	1,57	0,2530
Z × S	5,39	< 0,0001
D × S	5,28	0,0080
Z × D × S	0,26	0,9871

Tabelle A4: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur ersten Zwischenernte am 31.08.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	6,85	5,89	9,45	7,32	13,04	8,93	8,65
mit	5,73	5,26	10,83	10,27	13,21	6,59	8,58
Mittel	6,29b	5,58b	10,14ab	8,79ab	13,13a	7,76b	

F-Wert_{Düngung}: 0,00, P-Wert_{Düngung}: 0,9755

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,11, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0017

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,60, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7035

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 5,25

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A5: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur zweiten Zwischenernte am 27.09.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	34,54	23,18	46,60	34,42	32,71	39,74	35,20
mit	28,80	23,44	37,14	33,58	42,07	33,08	33,02
Mittel	31,67bc	23,31c	41,86a	34,00ab	37,39ab	36,41ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,40, P-Wert_{Düngung}: 0,5741

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 7,20, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0002

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,05, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0994

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 10,10

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A6: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	55,57	44,47	78,69	63,39	44,14	53,13	56,07
mit	58,22	44,50	73,01	58,62	46,56	52,77	55,61
Mittel	55,40b	44,49b	75,85a	61,00ab	43,35b	52,95b	

F-Wert_{Düngung}: 0,01, P-Wert_{Düngung}: 0,9283

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 8,94, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,30, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,9068

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 20,36

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A7: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur ersten Zwischenernte am 06.09.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	2,57	2,51	2,46	1,69	2,58	1,08	2,15
mit	3,71	3,69	4,75	2,39	5,45	2,02	3,67**
Mittel	3,14a	3,10a	3,61a	2,04b	4,01a	1,55b	

F-Wert_{Düngung}: 105,90, P-Wert_{Düngung}: 0,0020

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 14,92, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3, 14, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0213

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 1,04

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A8: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur zweiten Zwischenernte am 02.10.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	12,34	10,32	15,23	8,92	13,57	5,16	10,92
mit	15,93	16,47	25,77	17,66	22,22	14,29	18,72**
Mittel	14,14bc	13,40cd	20,50a	13,29cd	17,89ab	6,73b	

F-Wert_{Düngung}: 49,06, P-Wert_{Düngung}: 0,0060

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 16,26, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,76, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1522

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,06

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A9: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	18,24	22,81	27,50	13,50	17,96	10,41	18,40
mit	32,72	30,51	37,72	26,92	25,63	17,95	28,57*
Mittel	25,48ab	26,66ab	32,61a	20,21bc	21,79b	14,18c	

F-Wert_{Düngung}: 15,90, P-Wert_{Düngung}: 0,0282

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 12,87, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,79, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,5662

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 7,53

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A10: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur ersten Zwischenernte am 07.09.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	3,44	3,39	3,55	4,51	5,72	2,89	3,92
mit	4,11	3,61	3,69	5,52	6,20	2,99	4,35
Mittel	3,77bc	3,50c	3,62c	5,01ab	5,96a	2,94c	

F-Wert_{Düngung}: 4,64, P-Wert_{Düngung}: 0,1201

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,21, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,39, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8530

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 1,242

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A11: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur zweiten Zwischenernte am 04.10.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	12,93	15,48	19,10	16,22	20,74	17,91	17,06
mit	17,39	19,73	22,06	24,90	24,31	18,61	21,17*
Mittel	15,16c	17,61bc	20,58ab	20,56ab	22,53a	18,26abc	

F-Wert_{Düngung}: 13,85, P-Wert_{Düngung}: 0,0338

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,31, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0013

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,32, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2226

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,90

*signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A12: Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	23,84	26,08	31,70	22,30	22,38	21,88	24,70
mit	33,52	31,69	39,64	33,31	28,41	28,20	32,46*
Mittel	28,68b	28,88b	35,67a	27,81b	25,39b	25,04b	

F-Wert_{Düngung}: 25,50, P-Wert_{Düngung}: 0,0150

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 8,08, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,66, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6591

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 5,80

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A13: Ergebnis der Varianzanalyse des täglichen Zuwachses an Spross-TM der Zwischenfrüchte von der Saat bis zum ersten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	4,74	0,0176
N-Düngung (D)	0,21	0,6933
Standort (S)	22,27	< 0,0001
Z × D	0,45	0,8071
Z × S	2,66	0,0069
D × S	3,09	0,0702
Z × D × S	1,52	0,1467

Tabelle A14: Ergebnis der Varianzanalyse des täglichen Zuwachses an Spross-TM der Zwischenfrüchte vom ersten zum zweiten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	2,71	0,0842
N-Düngung (D)	1,05	0,4133
Standort (S)	71,61	< 0,0001
Z × D	0,76	0,5997
Z × S	1,90	0,0647
D × S	8,77	0,0005
Z × D × S	1,50	0,1659

Tabelle A15: Ergebnis der Varianzanalyse des täglichen Zuwachses an Spross-TM der Zwischenfrüchte vom zweiten zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	6,51	0,0061
N-Düngung (D)	18,61	0,0498
Standort (S)	41,99	0,0001
Z × D	2,75	0,0817
Z × S	1,88	0,0692
D × S	0,24	0,7900
Z × D × S	0,54	0,8571

Tabelle A16: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz im Zeitraum 29.07.2008 bis 31.08.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	20,8	17,9	28,7	21,2	39,5	27,1	26,0
mit	17,4	15,9	32,8	31,1	40,0	19,9	26,2
Mittel	19,1b	16,9b	30,7ab	26,7ab	39,8a	23,5b	

F-Wert_{Düngung}: 0,00, P-Wert_{Düngung}: 0,9752

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,10, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0017

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,60, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7039

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,1592

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A17: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz im Zeitraum 31.08.2008 bis 27.09.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	102,58	64,00	137,57	100,39	72,84	114,10	98,58
mit	85,46	67,33	97,40	86,32	106,88	98,11	90,25
Mittel	94,02ab	65,67b	117,49a	93,36ab	89,86ab	106,10ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,91, P-Wert_{Düngung}: 0,4105

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 2,83, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0333

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,45, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2363

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 44,61

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A18: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz im Zeitraum 27.09.2008 bis 25.10.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	64,38	76,05	114,59	103,43	40,82	47,84	74,52
mit	105,07	75,21	128,12	89,43	16,05	70,33	80,70
Mittel	84,73ab	75,64ab	121,36a	96,44a	28,44b	59,09ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,20, P-Wert_{Düngung}: 0,6839

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 4,36, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0042

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,63, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6802

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 65,67

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A19: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch im Zeitraum 11.08.2008 bis 06.09.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	9,91	9,65	9,49	6,51	9,92	4,18	8,28
mit	14,28	14,20	18,29	9,22	20,97	7,76	14,12***
Mittel	12,09a	11,92a	13,89a	7,86b	15,44a	5,97b	

F-Wert_{Düngung}: 106,12, P-Wert_{Düngung}: 0,0002

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 14,93, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,13, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0217

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A20: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch im Zeitraum 06.09.2008 bis 02.10.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	37,57	30,04	49,08	27,82	42,26	15,67	33,74
mit	47,01	49,16	80,83	58,70	64,51	47,20	57,90**
Mittel	42,29bc	39,60bc	64,96a	43,26bc	53,39ab	31,43c	

F-Wert_{Düngung}: 40,94, P-Wert_{Düngung}: 0,0077

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 11,10, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,62, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1838

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 18,45

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A21: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch im Zeitraum 02.10.2008 bis 30.10.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	21,06	44,59	43,82	16,34	15,69	18,74	26,71
mit	59,95	50,11	42,65	33,08	12,17	13,08	35,17
Mittel	40,50abc	47,35a	43,24ab	24,71abc	13,93c	15,91bc	

F-Wert_{Düngung}: 1,12, P-Wert_{Düngung}: 0,3675

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 4,76, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0026

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,61, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1890

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 28,79

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A22: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch im Zeitraum 13.08.2008 bis 07.09.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	13,76	13,58	14,21	18,04	22,89	11,56	15,67
mit	16,44	14,44	14,76	22,10	24,81	11,96	17,42
Mittel	15,10b	14,01b	14,48b	20,07a	23,85a	11,76b	

F-Wert_{Düngung}: 4,70, P-Wert_{Düngung}: 0,1188

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,21, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,38, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8557

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,96

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A23: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch im Zeitraum 07.09.2008 bis 04.10.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	35,16	44,78	57,60	43,37	55,62	55,64	48,70
mit	49,20	59,7	68,05	71,76	67,09	57,87	62,28*
Mittel	42,18b	52,24ab	62,82a	57,57a	61,36a	56,76ab	

F-Wert_{Düngung}: 16,35, P-Wert_{Düngung}: 0,0272

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 4,46, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0037

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,44, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2387

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 15,30

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A24: Täglicher Zuwachs an Spross-TM-Ertrag der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch im Zeitraum 04.10.2008 bis 31.10.2008 (Angaben in kg TM ha und Tag⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	40,39	39,23	46,66	22,53	6,06	14,70	28,26
mit	59,74	44,30	65,09	31,14	15,16	35,48	41,82
Mittel	50,06ab	41,77b	55,88a	26,83c	10,61d	25,09c	

F-Wert_{Düngung}: 10,28, P-Wert_{Düngung}: 0,0491

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 28,45, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,09, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3841

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 13,82

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A25: Ergebnis der Varianzanalyse des Anteils Sprossachse an der Gesamtsprossmasse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	12,89	0,0004
N-Düngung (D)	0,68	0,4959
Standort (S)	5,58	0,0130
Z × D	7,36	0,0039
Z × S	4,28	0,0001
D × S	6,66	0,0068
Z × D × S	0,73	0,6975

Tabelle A26: Anteil der Sprossachse an der Gesamtsprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	74,75	56,42	60,53	71,13	60,07	63,31	64,37
mit	70,84	58,13	54,70	72,95	64,15	64,13	64,15
Mittel	72,80a	57,27b	57,61b	72,04a	62,11b	63,72b	

F-Wert_{Düngung}: 2,84, P-Wert_{Düngung}: 0,2074

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,72, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,23, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3193

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 7,38

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A27: Anteil der Sprossachse an der Gesamtsprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	70,79	50,63	69,35	71,21	62,75	61,81	64,42
mit	70,55	61,21	67,76	73,52	71,99	65,95	68,50
Mittel	70,67a	55,92c	68,55ab	72,37a	67,37ab	63,88b	

F-Wert_{Düngung}: 8,56, P-Wert_{Düngung}: 0,0612

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 22,19, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,88, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0078

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 6,59

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A28: Anteil der Sprossachse an der Gesamtsprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	73,63	55,98	63,58	71,38	65,82	65,84	66,04
mit	68,99	57,57	62,94	69,10	67,96	67,98	65,75
Mittel	71,31a	56,78d	63,26c	70,24ab	66,89bc	66,91bc	

F-Wert_{Düngung}: 0,77, P-Wert_{Düngung}: 0,4456

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 44,59, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,04, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0244

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 4,1583

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A29: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Unkräuter zum ersten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	2,52	0,0816
N-Düngung (D)	1,26	0,3777
Standort (S)	109,08	< 0,0001
Z × D	1,03	0,4542
Z × S	1,46	0,1637
D × S	38,79	< 0,0001
Z × D × S	0,25	0,9943

Tabelle A30: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Unkräuter zum zweiten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	7,45	0,0017
N-Düngung (D)	3,36	0,2084
Standort (S)	266,41	0,0001
Z × D	10,37	0,0004
Z × S	10,94	< 0,0001
D × S	13,08	< 0,0001
Z × D × S	0,43	0,9443

Tabelle A31: Ergebnis der Varianzanalyse des Spross-TM-Ertrages der Unkräuter zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	22,68	< 0,0001
N-Düngung (D)	2,64	0,2455
Standort (S)	89,72	< 0,0001
Z × D	5,42	0,0063
Z × S	2,56	0,0080
D × S	12,72	< 0,0001
Z × D × S	0,59	0,8385

Tabelle A32: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Pillnitz zur ersten Zwischenernte am 31.08.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	1,21	0,91	1,83	1,36	0,72	1,42	3,50	1,56
mit	1,89	1,61	1,18	1,19	1,34	1,85	3,49	1,79
Mittel	1,55b	1,26b	1,50b	1,28b	1,03b	1,64b	3,49a	

F-Wert_{Düngung}: 0,45, P-Wert_{Düngung}: 0,5507

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 6,33, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,62, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7134

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 1,74

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A33: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Pillnitz zur zweiten Zwischenernte am 27.09.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	3,13	3,50	3,88	3,99	1,98	3,97	16,29	5,25
mit	6,26	6,10	2,97	3,80	1,03	5,86	20,34	6,63
Mittel	4,70b	4,80b	3,42bc	3,89bc	1,50c	4,91b	18,31a	

F-Wert_{Düngung}: 1,42, P-Wert_{Düngung}: 0,3185

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 105,41, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,53, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0075

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 2,88

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A34: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	3,25	3,35	2,45	3,14	1,51	2,85	27,14	6,24
mit	4,88	6,76	1,71	2,05	2,03	3,36	29,57	7,19
Mittel	4,07b	5,05b	2,08b	2,60b	1,77b	3,11b	28,35a	

F-Wert_{Düngung}: 0,87, P-Wert_{Düngung}: 0,4204

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 154,53, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,12, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3692

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 0,1 %: 4,99

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A35: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Groß Radisch zur ersten Zwischenernte am 06.09.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	1,71	1,50	1,91	3,23	2,38	4,13	3,77	2,66
mit	5,04	4,29	5,05	6,02	6,00	6,89	7,56	5,86***
Mittel	3,37ab	2,90b	3,48ab	4,72ab	4,19ab	5,51a	5,66a	

F-Wert_{Düngung}: 22,01, P-Wert_{Düngung}: 0,0183

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,64, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0064

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,13, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,87134

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 2,48

*** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,001$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A36: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Groß Radisch zur zweiten Zwischenernte am 02.10.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	4,26	5,10	5,74	10,54	4,67	9,47	13,32	7,59
mit	9,08	11,10	7,50	12,79	7,41	14,60	20,78	11,89*
Mittel	6,67c	8,10c	6,62c	11,66b	6,04c	12,03b	17,05a	

F-Wert_{Düngung}: 22,51, P-Wert_{Düngung}: 0,0178

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 27,71, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,90, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1071

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 3,38

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A37: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	6,10	6,35	10,29	13,76	9,71	17,64	25,18	12,72
mit	14,31	13,32	12,91	16,08	12,89	21,95	33,71	17,88*
Mittel	10,20c	9,83c	11,60c	14,92bc	11,30c	19,80b	29,45a	

F-Wert_{Düngung}: 18,03, P-Wert_{Düngung}: 0,0239

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,35, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,54, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7742

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 8,04

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A38: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Köllitsch zur ersten Zwischenernte am 07.09.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	0,11	0,08	0,13	0,11	0,04	0,10	0,18	0,11
mit	0,13	0,07	0,09	0,13	0,06	0,16	0,31	0,14
Mittel	0,12ab	0,78ab	0,11ab	0,12ab	0,05b	0,13ab	0,25a	

F-Wert_{Düngung}: 0,88, P-Wert_{Düngung}: 0,4179

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,42, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0089

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,69, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6614

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 0,1771

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A39: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Köllitsch zur zweiten Zwischenernte am 04.10.2008
(Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	0,33	0,25	0,51	0,78	0,25	0,78	3,04	0,85
mit	0,49	0,32	0,68	0,19	0,20	0,94	7,08	1,41
Mittel	0,41b	0,28b	0,60b	0,49b	0,22b	0,86b	5,06a	

F-Wert_{Düngung}: 1,49, P-Wert_{Düngung}: 0,3102

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 11,78, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,34, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0520

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 3,38

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A40: Spross-TM-Ertrag der Unkräuter am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in dt TM ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle Unkräuter	Mittel
ohne	0,43	0,43	0,65	1,04	0,48	0,87	15,84	2,82
mit	0,58	0,28	0,91	0,21	0,53	1,42	21,61	3,65
Mittel	0,51b	0,36b	0,78b	0,62b	0,50b	1,14b	18,72a	

F-Wert_{Düngung}: 1,18, P-Wert_{Düngung}: 0,3569

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 70,68, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,86, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1140

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 0,1 %: 5,25

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A41: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz am 26.08.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	68,1	74,3	48,6	43,3	29,5	40,9	50,8
mit	49,5	70,3	29,9	36,0	28,6	53,1	44,6
Mittel	58,8ab	72,8a	39,2cd	39,6cd	29,1d	47,0bc	

F-Wert_{Düngung}: 0,30, P-Wert_{Düngung}: 0,6202

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 16,04, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,25, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0748

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 16,71

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A42: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz am 31.08.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	42,3	50,8	26,1	32,9	16,1	24,1	32,0
mit	46,6	55,5	18,6	28,4	14,6	34,8	33,1
Mittel	44,4ab	53,2a	22,3cd	30,6bc	15,4d	29,4c	

F-Wert_{Düngung}: 0,02, P-Wert_{Düngung}: 0,9093

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 18,70, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,09, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3843

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 13,91

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A43: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz am 13.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	9,2	9,8	5,8	2,4	4,5	4,7	6,1
mit	9,2	10,9	3,3	3,6	6,3	2,1	5,9
Mittel	9,2ab	10,4b	4,5ab	3,0a	5,4ab	3,5ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,07, P-Wert_{Düngung}: 0,8086

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,23, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0189

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,32, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8993

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 7,3

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A44: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz am 25.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	14,0	13,6	4,1	6,4	5,1	7,8	8,5
mit	12,6	8,0	2,6	8,0	3,1	4,2	6,4
Mittel	13,3a	10,8ab	4,1ab	7,3ab	5,9ab	3,3b	

F-Wert_{Düngung}: 1,01, P-Wert_{Düngung}: 0,3881

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 2,81, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0331

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,27, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,9257

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 9,9

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A45: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Pillnitz am 25.10.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	8,4	3,8	6,6	15,7	7,6	16,6	9,8
mit	8,5	1,8	6,5	15,3	9,8	8,4	8,4
Mittel	8,5ab	2,8b	6,5ab	15,5a	8,7ab	12,5a	

F-Wert_{Düngung}: 8,74, P-Wert_{Düngung}: 0,4533

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,91, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0076

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,65, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6669

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 9,7

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A46: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Groß Radisch am 06.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	81,4	81,1	55,9	65,5	52,1	69,0	67,5
mit	66,4	68,9	30,7	61,3	21,0	51,4	49,9
Mittel	73,9a	75,0a	43,3bc	64,4a	36,5c	60,2ab	

F-Wert_{Düngung}: 9,02, P-Wert_{Düngung}: 0,0575

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,48, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,41, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2487

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 17,27

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A47: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Groß Radisch am 13.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	57,4	50,7	24,2	43,6	30,9	54,8	43,8
mit	29,6	29,2	9,8	16,7	13,0	23,1	20,2**
Mittel	43,5a	39,9ab	17,3a	30,2bc	21,9cd	38,9ab	

F-Wert_{Düngung}: 30,4, P-Wert_{Düngung}: 0,0117

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 13,30, P-Wert_{Zwischenfrucht}: <0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,21, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3299

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 12,53

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A48: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Groß Radisch am 27.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	20,5	22,5	12,4	22,5	11,7	29,1	19,8
mit	7,8	6,6	2,2	5,3	2,2	5,6	5,0**
Mittel	14,1ab	14,6ab	7,3b	13,9ab	6,9b	17,3a	

F-Wert_{Düngung}: 64,12, P-Wert_{Düngung}: 0,0041

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 4,66, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0029

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,72, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1600

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 8,48

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A49: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Groß Radisch am 02.10.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	10,9	12,2	8,6	18,5	11,2	21,3	13,8
mit	6,7	5,1	1,9	7,8	2,9	7,4	5,3**
Mittel	8,8abc	8,6abc	5,3c	13,1ab	7,1bc	14,4a	

F-Wert_{Düngung}: 67,66, P-Wert_{Düngung}: 0,0038

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,29, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0013

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,23, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0013

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 6,59

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A50: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Groß Radisch am 30.10.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	17,1	13,0	6,4	25,7	23,7	22,5	18,1
mit	8,8	4,6	3,3	16,5	18,2	11,4	10,5
Mittel	13,0abc	8,8bc	4,9c	21,1a	20,9a	16,9ab	

F-Wert_{Düngung}: 8,55, P-Wert_{Düngung}: 0,0613

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 10,29, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,49, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7811

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 10,79

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A51: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Köllitsch am 07.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	80,2	77,8	52,4	49,3	30,8	63,6	59,0
mit	69,8	71,8	53,6	39,1	23,5	61,3	53,2
Mittel	74,9a	74,8ab	53,0cd	44,2d	27,1e	62,5bc	

F-Wert_{Düngung}: 8,23, P-Wert_{Düngung}: 0,0641

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 41,88, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,63, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6804

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 12,39

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A52: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Köllitsch am 14.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	55,7	55,0	36,9	27,3	22,7	36,9	39,1
mit	46,7	42,6	19,5	8,8	11,6	25,8	25,8*
Mittel	51,2a	48,8a	28,2b	18,0b	17,1b	31,3b	

F-Wert_{Düngung}: 14,55, P-Wert_{Düngung}: 0,0317

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 19,21, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,33, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8923

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 14,4

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A53: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Köllitsch am 28.09.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	25,4	20,6	8,3	15,3	9,9	13,4	15,5
mit	31,5	16,3	7,3	7,1	7,3	10,8	13,4
Mittel	28,5a	18,5ab	7,8b	11,2b	8,6b	12,1b	

F-Wert_{Düngung}: 0,11, P-Wert_{Düngung}: 0,7593

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 4,78, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0025

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,43, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8252

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 15,4

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A54: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Köllitsch am 04.10.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	20,2	13,9	7,3	15,6	11,0	14,3	13,7
mit	10,6	6,4	4,3	4,9	5,3	9,1	6,8**
Mittel	15,4a	10,2b	5,8c	10,2b	8,2bc	11,7ab	

F-Wert_{Düngung}: 65,07, P-Wert_{Düngung}: 0,0040

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 10,97, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,15, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0868

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,24

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A55: Lichttransmission (PAR) an der Bodenoberfläche in den Zwischenfrüchten am Standort Köllitsch am 31.10.2008 (Angaben in % des Lichtes über dem Bestand)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	13,3	8,2	14,3	15,6	29,7	18,9	16,7
mit	6,1	5,5	4,3	6,6	27,6	16,6	11,1*
Mittel	9,7b	6,8b	9,3b	11,1b	28,6a	17,8ab	

F-Wert_{Düngung}: 10,34, P-Wert_{Düngung}: 0,0488

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 7,65, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,38, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8595

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 15,35

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A56: Ergebnis der Varianzanalyse der Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 60 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	7,18	0,0009
N-Düngung (D)	5,73	0,1391
Standort (S)	13,65	0,0002
Z × D	2,49	0,0697
Z × S	17,14	<0,0001
D × S	5,13	0,0172
Z × D × S	1,96	0,0265

Tabelle A57: Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 60 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht								
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kon. Unkraut	Kon. unkrautfrei	Mittel
ohne	19,6	18,6	16,1	17,6	24,3	13,6	23,6	133,9	37,4
mit	25,0	24,3	22,3	16,1	57,3	36,4	53,4	188,8	52,9***
Mittel	22,3d	21,5d	19,2d	16,9d	40,8b	25,0cd	38,5bc	161,3a	

F-Wert_{Düngung}: 277,1 P-Wert_{Düngung}: 0,0005

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 208,72, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 8,07, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: < 0,0001

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 15,15

*** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,001$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A58: Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 60 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht								
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kon.Un-kraut	Kon. un-krautfrei	Mittel
ohne	28,8	24,8	12,8	24,7	21,8	26,0	20,4	46,2	25,7
mit	28,9	19,3	23,8	24,8	44,4	22,7	26,5	91,5	35,2
Mittel	28,9b	22,0b	18,3b	24,8b	33,1b	24,4b	23,4b	68,8a	

F-Wert_{Düngung}: 5,81 *P*-Wert_{Düngung}: 0,0950

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 19,39, *P*-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 5,42, *P*-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0002

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 0,1 %: 23,68

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A59: Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 60 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht								
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kon.Un-kraut	Kon. un-krautfrei	Mittel
ohne	27,3	19,8	20,4	26,0	30,6	31,9	49,6	90,0	36,9
mit	32,7	23,4	25,6	29,3	43,9	27,2	58,9	85,2	40,8
Mittel	30,0bc	21,6c	23,0c	27,6c	37,2bc	29,5bc	54,2b	87,6a	

F-Wert_{Düngung}: 2,70, *P*-Wert_{Düngung}: 0,1987

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 14,25, *P*-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,28, *P*-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,9576

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5,0 %: 26,54

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A60: Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 120 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht								
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kon.Un-kraut	Kon. un-krautfrei	Mittel
ohne	31,1	31,1	25,4	21,7	42,2	21,8	35,2	154,8	45,4
mit	42,7	40,6	36,2	27,6	81,5	61,0	80,9	216,9	73,4**
Mittel	36,9cd	35,9d	30,8d	24,6d	61,9b	41,4bcd	58,1bc	185,9d	

F-Wert_{Düngung}: 94,82, *P*-Wert_{Düngung}: 0,0023

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 119,53, *P*-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 4,80, *P*-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0005

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5,0 %: 4,51

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, *P* < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A61: Nitrat-N-Menge im Boden in 0 bis 120 cm Tiefe unter den Zwischenfrüchten und den Kontrollen am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenenernte am 31.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht								
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kon.Unkraut	Kon. unkrautfrei	Mittel
ohne	39,5	31,8	34,0	37,1	43,2	46,4	65,2	104,7	50,2
mit	47,3	36,6	57,0	43,5	58,9	42,3	73,7	128,0	60,9*
Mittel	43,4c	34,2c	45,5bc	40,3c	51,0bc	44,3bc	69,5b	116,4a	

F-Wert_{Düngung}: 12,77, P-Wert_{Düngung}: 0,0374

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 22,77, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,71, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6639

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5,0 %: 25,19

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A62: Ergebnis der Varianzanalyse N-Akkumulation in der Sprossachse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	1,78	0,2052
N-Düngung (D)	40,82	0,0236
Standort (S)	105,61	< 0,0001
Z × D	2,02	0,1612
Z × S	4,94	< 0,0001
D × S	0,67	0,5245
Z × D × S	1,00	0,4535

Tabelle A63: N-Akkumulation in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	35,10	22,99	42,97	52,74	28,33	23,70	34,31
mit	49,33	33,53	34,35	66,52	50,84	35,78	44,89**
Mittel	42,22ab	28,26b	38,66ab	59,13a	39,58ab	29,75b	

F-Wert_{Düngung}: 5,51, P-Wert_{Düngung}: 0,1006

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 6,18, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0005

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,33, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2768

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 19,18

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A64: N-Akkumulation in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	12,46	20,95	23,01	10,75	15,36	9,44	15,33
mit	21,36	21,80	37,30	21,64	19,07	14,97	22,69
Mittel	16,9bc	21,4ab	30,2a	16,2bc	17,2bc	12,2c	

F-Wert_{Düngung}: 4,76, P-Wert_{Düngung}: 0,1171

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 8,52, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,35, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2692

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 9,12

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A65: N-Akkumulation in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	13,32	21,30	34,02	18,59	19,02	20,91	21,20
mit	30,18	29,60	45,68	33,67	26,73	28,72	32,34**
Mittel	21,75b	25,45b	39,85a	26,13b	22,87b	24,82b	

F-Wert_{Düngung}: 37,39, P-Wert_{Düngung}: 0,00088

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 23,77, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,17 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0842

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 5,81

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A66: Ergebnis der Varianzanalyse N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	4,46	0,0213
N-Düngung (D)	29,45	0,0323
Standort (S)	153,27	< 0,0001
Z × D	2,45	0,1069
Z × S	6,06	< 0,0001
D × S	0,59	0,5635
Z × D × S	0,39	0,9489

Tabelle A67: N-Akkumulation in Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	32,07	47,78	89,72	62,72	44,66	58,65	55,93
mit	48,96	52,58	97,23	61,17	48,44	64,38	62,13
Mittel	50,52b	50,18b	93,48a	61,95b	46,55b	61,52b	

F-Wert_{Düngung}: 1,07, P-Wert_{Düngung}: 0,3761

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 13,09, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,34, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8853

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 27,32

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A68: N-Akkumulation in Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	25,30	29,00	31,96	19,46	23,30	14,67	23,95
mit	38,60	34,40	53,13	37,33	37,04	23,06	37,35
Mittel	31,9ab	31,7ab	42,6a	28,4b	30,2ab	19,14b	

F-Wert_{Düngung}: 7,02, P-Wert_{Düngung}: 0,0770

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,35, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0012

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,78, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,5723

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 13,97

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle Unkräuter = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A69: N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	31,21	32,31	45,38	31,06	29,89	34,71	34,09
mit	59,11	46,38	64,18	55,27	52,01	50,98	54,66**
Mittel	45,2ab	39,4b	54,8a	43,2b	40,9b	42,9b	

F-Wert_{Düngung}: 48,18, P-Wert_{Düngung}: 0,0061

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,70, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0008

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,27 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3021

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 9,85

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A70: Ergebnis der Varianzanalyse der N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	2,56	0,0963
N-Düngung (D)	66,91	0,0146
Standort (S)	144,34	< 0,0001
Z × D	1,18	0,3825
Z × S	4,01	0,0001
D × S	0,36	0,7038
Z × D × S	0,47	0,9083

Tabelle A71: N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	67,18	70,77	132,69	115,47	72,99	82,35	90,25
mit	98,30	86,12	131,59	126,69	99,28	100,17	107,03
Mittel	82,7bc	78,5c	132,2a	121,1ab	86,1bc	91,3bc	

F-Wert_{Düngung}: 2,63, P-Wert_{Düngung}: 0,2032

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 6,22, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0005

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,41, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8414

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 38,53

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A72: N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	25,30	29,00	31,96	19,46	23,30	14,67	23,95
mit	38,60	34,40	53,13	37,33	37,04	23,60	37,35
Mittel	31,9ab	31,7ab	42,6a	28,4b	30,2ab	19,14b	

F-Wert_{Düngung}: 7,02, P-Wert_{Düngung}: 0,0770

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,35, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0012

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,78, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,5723

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 13,974

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A73: N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	31,21	32,31	45,38	31,06	29,89	34,71	34,09
mit	59,11	46,38	64,18	55,27	52,01	50,98	54,66**
Mittel	45,2ab	39,4b	54,8a	43,2b	40,9b	42,9b	

F-Wert_{Düngung}: 48,18, P-Wert_{Düngung}: 0,0061

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,70, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0008

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,27 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3021

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 9,855

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A74: Ergebnis der Varianzanalyse des Anteils N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der Gesamt-N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	18,35	< 0,0001
N-Düngung (D)	23,98	0,0393
Standort (S)	1,92	0,1757
Z × D	7,66	0,0034
Z × S	4,13	0,0001
D × S	0,65	0,5326
Z × D × S	1,47	0,1642

Tabelle A75: Anteil N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der Gesamt-N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	47,82	67,06	68,82	55,02	60,7	71,38	61,92
mit	49,43	61,02	73,85	47,75	49,39	64,61	57,61*
Mittel	48,63b	64,31a	71,34a	51,39b	55,13b	67,99a	

F-Wert_{Düngung}: 27,40, P-Wert_{Düngung}: 0,0136

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 23,05, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,55, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0488

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 8,38

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A76: Anteil N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der Gesamt-N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	49,41	72,28	71,99	55,25	65,52	64,47	63,15
mit	55,45	62,52	71,06	57,58	51,07	62,75	60,07
Mittel	52,4d	67,4ab	71,5a	56,4d	58,3cd	63,6bc	

F-Wert_{Düngung}: 8,67, P-Wert_{Düngung}: 0,0603

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 20,88, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 5,92, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0006

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 6,76

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A77: Anteil N-Akkumulation in der Blatt- und Fruchtstandsmasse an der Gesamt-N-Akkumulation im Spross der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	42,79	65,77	75,03	59,91	63,96	60,09	61,26
mit	51,02	63,94	71,59	61,13	50,87	56,8	59,22*
Mittel	46,91d	64,86b	73,32a	60,52bc	57,42c	58,44c	

F-Wert_{Düngung}: 18,87, P-Wert_{Düngung}: 0,0225

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 53,48, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 8,48 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: < 0,0001

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 6,25

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A78: Ergebnis der Varianzanalyse der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	7,01	0,0022
N-Düngung (D)	5,44	0,1449
Standort (S)	49,12	< 0,0001
Z × D	11,57	0,0002
Z × S	19,28	< 0,0001
D × S	4,03	0,0358
Z × D × S	0,42	0,9517

Tabelle A79: N-Akkumulation im Spross der Unkräuter am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenenernte am 25.10.2008
(Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	7,37	9,21	5,93	6,70	4,07	7,00	79,47	17,11
mit	12,84	20,28	5,25	5,36	5,05	9,07	108,12	23,71
Mittel	10,10b	14,75b	5,59b	6,03b	4,56b	14,75b	93,79a	

F-Wert_{Düngung}: 6,14, P-Wert_{Düngung}: 0,0894

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 148,04, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,93, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0040

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 0,1 %: 17,29

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A80: N-Akkumulation im Spross der Unkräuter am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenenernte am 30.10.2008 (in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	8,29	7,16	10,98	19,96	11,17	26,96	39,45	17,71
mit	24,83	22,23	24,64	28,46	19,86	38,83	63,32	31,74**
Mittel	16,56b	14,70b	17,81b	24,21b	15,52b	32,89b	51,39a	

F-Wert_{Düngung}: 76,74, P-Wert_{Düngung}: 0,0031

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 12,08, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,47, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8253

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 17,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A81: N-Akkumulation im Spross der Unkräuter am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenenernte am 31.10.2008
(in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	0,524	0,503	0,67	0,96	0,51	0,97	25,21	4,20
mit	0,65	0,31	1,12	0,28	0,78	2,07	42,81	6,87*
Mittel	0,59b	0,41b	0,90b	0,62b	0,65b	1,52b	34,08a	

F-Wert_{Düngung}: 18,87, P-Wert_{Düngung}: 0,0225

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 53,48, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 8,48 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: < 0,0001

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 0,1 %: 9,36

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,05

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A82: Ergebnis der Varianzanalyse der Summe der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter und der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,45	0,0324
N-Düngung (D)	185,02	0,0054
Standort (S)	155,47	< 0,0001
Z × D	0,85	0,5550
Z × S	2,43	0,0079
D × S	0,28	0,7602
Z × D × S	0,58	0,8534

Tabelle A83: Summe der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter und der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	77,6	80,0	138,6	122,2	77,1	89,4	79,4	94,5
mit	111,1	106,4	136,9	132,1	104,3	109,3	108,1	115,5
Mittel	92,9b	93,2b	137,7a	127,1ab	90,7b	99,3b	93,8b	

F-Wert_{Düngung}: 5,50, P-Wert_{Düngung}: 0,1007

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 5,15, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0007

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,59, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7352

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 37,31

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A84: Summe der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter und der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	33,6	36,2	42,9	39,4	34,5	41,6	39,5	38,2
mit	63,4	56,6	77,8	65,8	56,9	62,4	63,3	63,8**
Mittel	48,5	46,4	60,4	52,6	45,7	52,0	51,4	

F-Wert_{Düngung}: 82,41, P-Wert_{Düngung}: 0,0028

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 1,17, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,3418

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,33, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,9158

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A85: Summe der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter und der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (in kg N ha⁻¹)

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Kontrolle	Mittel
ohne	31,7	32,8	46,1	32,0	30,4	35,7	25,3	33,4
mit	59,8	46,7	65,3	55,6	52,8	53,1	42,9	53,7**
Mittel	45,8ab	39,8bc	55,7a	43,8bc	41,6bc	44,4abc	41,1c	

F-Wert_{Düngung}: 44,9, P-Wert_{Düngung}: 0,0068

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 6,46, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,82 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: < 0,5593

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 11,44

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, P < 0,01

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen, Kontrolle = Unkrautwachstum ohne Ansaat einer Zwischenfrucht

Tabelle A86: Ergebnis der Varianzanalyse des C/N-Verhältnisses in der Sprossachse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	2,69	0,0860
N-Düngung (D)	0,79	0,4676
Standort (S)	27,80	< 0,0001
Z × D	2,36	0,1162
Z × S	6,46	< 0,0001
D × S	5,25	0,0160
Z × D × S	1,43	0,1814

Tabelle A87: C/N-Verhältnis in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008

	Zwischenfrucht							
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel	
ohne	44,4	43,9	40,32	40,87	42,30	40,60	42,07	
mit	44,50	44,07	40,20	40,47	42,27	39,17	41,78	
Mittel	44,45a	44,00a	40,26c	40,67c	42,28b	39,88c		

F-Wert_{Düngung}: 3,53, P-Wert_{Düngung}: 0,1568

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 60,29, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,36, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,2662

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 1,326

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A88: C/N-Verhältnis in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	43,79	60,50	87,68	43,05	57,52	51,70	57,37
mit	61,15	61,27	75,18	54,13	41,83	57,52	58,51
Mittel	52,47b	60,89b	81,43a	48,59b	49,67b	54,61b	

F-Wert_{Düngung}: 0,03, P-Wert_{Düngung}: 0,8676

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 8,98, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,53, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0504

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 17,67

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A89: C/N-Verhältnis in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	42,23	54,73	73,82	54,60	55,94	43,80	54,18
mit	34,01	46,43	60,05	45,81	31,51	37,40	42,53*
Mittel	38,1b	50,58b	66,93a	50,20b	43,72b	40,60b	

F-Wert_{Düngung}: 33,40, P-Wert_{Düngung}: 0,0103

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 11,80, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,24 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,3158

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 15,85

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A90: Ergebnis der Varianzanalyse des C/N-Verhältnisses in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	17,16	0,0001
N-Düngung (D)	5,72	0,1393
Standort (S)	30,25	< 0,0001
Z × D	0,34	0,8749
Z × S	4,45	< 0,0001
D × S	3,12	0,0685
Z × D × S	1,82	0,0681

Tabelle A91: C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	18,42	17,75	14,35	12,07	16,71	13,41	15,45
mit	15,48	15,58	13,64	10,59	14,63	11,51	13,57*
Mittel	16,95a	16,67a	14,00bc	11,33d	15,67ab	12,46cd	

F-Wert_{Düngung}: 11,93, P-Wert_{Düngung}: 0,0408

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 18,47, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,48, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,7863

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 2,304

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A92: C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	19,14	23,89	15,43	15,09	19,00	15,93	18,08
mit	21,19	25,05	14,05	13,99	16,57	15,89	17,79
Mittel	20,17b	24,48a	14,74c	14,54c	17,79bc	15,91c	

F-Wert_{Düngung}: 0,07, P-Wert_{Düngung}: 0,8039

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 21,91, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,05, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,4059

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 3,525

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A93: C/N-Verhältnis in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	20,56	23,05	13,81	13,93	17,24	13,54	17,02
mit	15,24	19,73	13,20	12,56	14,74	12,07	14,59**
Mittel	17,90b	21,39a	13,51d	13,24d	15,99c	12,81a	

F-Wert_{Düngung}: 55,57, P-Wert_{Düngung}: 0,0050

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 78,44, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 5,02 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0019

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 1,632

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A94: Ergebnis der Varianzanalyse des mittleren C/N-Verhältnisses in der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,90	0,0320
N-Düngung (D)	1,45	0,3522
Standort (S)	22,85	< 0,0001
Z × D	0,67	0,6585
Z × S	2,48	0,0113
D × S	6,61	0,0070
Z × D × S	1,75	0,0824

Tabelle A95: Mittleres C/N-Verhältnis in der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	34,69	26,77	28,87	23,82	25,72	27,38	27,37
mit	26,25	21,96	22,77	19,05	19,88	22,08	22,00*
Mittel	30,47a	24,36b	24,32b	21,44b	22,80b	24,73b	

F-Wert_{Düngung}: 13,23, P-Wert_{Düngung}: 0,0358

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 8,55, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,69, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,6325

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 1 %: 5,54

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A96: Mittleres C/N-Verhältnis in der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	31,62	34,05	35,53	26,47	32,20	28,67	31,42
mit	38,90	38,55	31,25	31,08	28,93	31,33	33,34
Mittel	35,26ab	36,30a	33,39ab	28,77b	30,56ab	30,00ab	

F-Wert_{Düngung}: 0,41, P-Wert_{Düngung}: 0,5673

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 3,20, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0197

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,86, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1303

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 7,34

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A97: Mittleres C/N-Verhältnis in der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	32,65	33,81	28,77	30,26	31,23	25,54	30,36
mit	24,30	29,33	26,07	25,40	22,91	22,83	24,14**
Mittel	28,5ab	31,6a	27,4ab	27,8ab	27,0b	24,2b	

F-Wert_{Düngung}: 5,68, P-Wert_{Düngung}: 0,0008

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 42,03, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0074

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,60 P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: < 0,1910

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 4,09

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A98: Ergebnis der Varianzanalyse des N-Gehaltes in der Sprossachse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	3,36	0,0488
N-Düngung (D)	3,32	0,2088
Standort (S)	22,23	< 0,0001
Z × D	2,71	0,0844
Z × S	6,21	< 0,0001
D × S	6,23	0,0088
Z × D × S	1,79	0,0745

Tabelle A99: N-Gehalt in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	0,89	0,92	0,87	1,14	1,11	0,69	0,94
mit	1,22	1,30	0,86	1,55	1,66	1,04	1,28*
Mittel	1,06c	1,11bc	0,86c	1,34ab	1,38a	0,87c	

F-Wert_{Düngung}: 11,95, P-Wert_{Düngung}: 0,0407

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 13,11, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,28, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0722

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,2665

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A100: N-Gehalt in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	1,02	0,68	0,46	0,91	0,71	0,82	0,768
mit	0,74	0,67	0,61	0,80	0,97	0,74	0,756
Mittel	0,88a	0,68ab	0,54b	0,86a	0,84a	0,78a	

F-Wert_{Düngung}: 0,03, P-Wert_{Düngung}: 0,8748

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 6,26, P-Wert_{Zwischenfrucht}: 0,0004

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,37, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0155

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,2272

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A101: N-Gehalt in der Sprossachse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	1,03	0,76	0,57	0,78	0,73	0,96	0,80
mit	1,26	0,92	0,75	0,93	1,32	1,15	1,05**
Mittel	1,14a	0,84cd	0,66d	0,86bcd	1,02abc	1,06ab	

F-Wert_{Düngung}: 71,73, P-Wert_{Düngung}: 0,0035

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 13,50, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 2,98, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0265

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,2087

** signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,01$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A102: Ergebnis der Varianzanalyse des N-Gehaltes in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte zum dritten Erntetermin mit den Faktoren Zwischenfruchtart, N-Düngung und Standort

Varianzkomponente	F-Wert	P-Wert
Zwischenfruchtart (Z)	10,83	0,0009
N-Düngung (D)	11,33	0,0781
Standort (S)	35,01	< 0,0001
Z × D	0,36	0,8659
Z × S	5,25	< 0,0001
D × S	2,98	0,0760
Z × D × S	1,74	0,0840

Tabelle A103: N-Gehalt in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Pillnitz zur dritten Zwischenernte am 25.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	2,41	2,51	2,83	3,40	2,56	3,02	2,79
Mit	2,92	2,86	2,96	3,84	2,89	3,40	3,15*
Mittel	2,67c	2,68c	2,89bc	3,62a	2,72c	3,21ab	

F-Wert_{Düngung}: 12,19, P-Wert_{Düngung}: 0,0391

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 15,32, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,44, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,8163

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,4172

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A104: N-Gehalt in der Blatt- und Fruchtstandsmasse (der Zwischenfrüchte am Standort Groß Radisch zur dritten Zwischenernte am 30.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	2,37	1,83	2,69	2,76	2,28	2,41	2,39
Mit	2,16	1,81	3,00	3,03	2,66	2,42	2,51
Mittel	2,26c	1,82b	2,84ab	2,89a	2,48bc	2,42c	

F-Wert_{Düngung}: 1,15, P-Wert_{Düngung}: 0,3628

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 19,31, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 1,61, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,1866

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,3885

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Tabelle A105: N-Gehalt in der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte am Standort Köllitsch zur dritten Zwischenernte am 31.10.2008 (Angaben in %)

	Zwischenfrucht						
Düngung	Roggen	Hafer	So	Senf	Bw	Hanf	Mittel
ohne	2,11	1,85	2,96	2,93	2,51	2,79	2,52
mit	2,90	2,20	3,10	3,28	2,90	3,19	2,94*
Mittel	2,51b	2,03c	3,03a	3,11a	2,71b	2,99a	

F-Wert_{Düngung}: 32,43, P-Wert_{Düngung}: 0,0107

F-Wert_{Zwischenfrucht}: 49,87, P-Wert_{Zwischenfrucht}: < 0,0001

F-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 3,35, P-Wert_{Wechselwirkung Düngung × Zwischenfrucht}: 0,0160

nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zwischenfrüchte,

GD_{Tukey} 5 %: 0,2499

* signifikante Differenz zwischen den Stufen der N-Düngung, $P < 0,05$

So = Sonnenblume, Bw = Buchweizen

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Dietmar Meyer, G.U.B. Ingenieur AG Dresden
Dr. Barbara Dittrich, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Leipzig
Brigitte Köhler, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Poing
Prof. Dr. Knut Schmidtke, Beate Wunderlich, Guido Lux, Zentrum für angewandte
Forschung und Technologie e. V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft,
Dresden
Dr. Hartmut Kolbe, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Redaktion:

LfULG, Abteilung Pflanzliche Erzeugung/Referat Pflanzenbau, Nachwachsende
Rohstoffe
Dr. Hartmut Kolbe
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: + 49 341 9174-149
Telefax: + 49 341 9174-111
E-Mail: hartmut.kolbe@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.01.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei
unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer
verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.
Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum
von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet
werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Infor-
mationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben
parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe
an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer
bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden,
dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zugunsten einzelner politischer
Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig
davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem
Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift
zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.