



Berichte aus dem Ökolandbau

Schriftenreihe, Heft 2/2015



Berichte aus dem Ökolandbau

Martina Schuster, Dr. Hartmut Kolbe
Katharina Bauer, Ulf Jäckel

Inhalt

Einfluss von Stroh- und Gründüngung auf die Ertrags- und Qualitätsleistung von Hafer in viehlosen Anbausystemen des ökologischen Landbaus	4
10 Jahre Ökologische Bewirtschaftung von Acker- und Grünland im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch	42

Einfluss von Stroh- und Gründüngung auf die Ertrags- und Qualitätsleistung von Hafer in viehlosen Anbausystemen des ökologischen Landbaus

Martina Schuster, Dr. Hartmut Kolbe

Inhalt

1	Einleitung	8
2	Stand des Wissens	9
2.1	Charakteristik der Strohdüngung	9
2.2	Charakteristik der Gründüngung	13
2.3	Langzeitwirkungen der Düngungsmaßnahmen auf Bodeneigenschaften	14
2.4	Einfluss der Düngungsmaßnahmen auf die Erträge der Folgefrüchte	15
3	Material und Methoden	16
3.1	Standortbeschreibung	16
3.2	Witterung im Untersuchungszeitraum	17
3.3	Feldversuche	18
3.4	Chemisch-analytische Bestimmungsmethoden und statistische Auswertung	19
4	Ergebnisse	20
4.1	Nährstoffgehalte und Düngungsmengen der organischen Materialien	20
4.2	Einfluss der Düngung auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens	21
4.3	Einfluss der Düngung auf das Pflanzenwachstum und Ertragseigenschaften von Hafer	24
4.3.1	Chlorophyllgehalt	24
4.3.2	Wuchshöhe	25
4.3.3	Rispenzahl	26
4.3.4	Strohertrag	26
4.3.5	Kornertrag	27
4.3.6	Korn/Stroh-Verhältnis	29
4.4	Einfluss der Düngung auf Qualitätseigenschaften von Hafer	30
4.4.1	Tausendkornmasse	30
4.4.2	Rohfettgehalt	31
4.4.3	Rohproteingehalt	31
4.5	Ergebnisse zur Nährstoffbilanzierung	32
4.5.1	Nährstoffentzüge für Stickstoff	32
4.5.2	Nährstoffsalden	33
4.6	Multivariate statistische Untersuchung der Wirkung einer Strohdüngung	34
5	Zusammenfassung	36
6	Literaturverzeichnis	38
7	Anhang	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau des Pflanzengewebes beim Stroh	9
Abbildung 2:	N _{min} -Mengen im November (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)	21
Abbildung 3:	N _{min} -Gehalte zu Vegetationsbeginn (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)	23
Abbildung 4:	N _{min} -Gehalte zum Schossen (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)	23
Abbildung 5:	N _{min} -Mengen nach der Ernte (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)	24
Abbildung 6:	Chlorophyll-dichte von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre	25
Abbildung 7:	Wuchshöhe von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre	25
Abbildung 8:	Rispenzahl von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre	26
Abbildung 9:	Stroherträge von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre (86 % TM)	27
Abbildung 10:	Kornerträge von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre (86 % TM)	28
Abbildung 11:	Korn/Stroh-Verhältnisse von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre	29
Abbildung 12:	Durchschnittliche TKM der Versuchsvarianten	30
Abbildung 13:	Gehalte an Rohfett von Hafer im Durchschnitt von zwei Versuchsjahren	31
Abbildung 14:	Durchschnittliche Rohproteingehalte im Korn (86 % TM)	32
Abbildung 15:	N-Entzug durch den Kornertrag der Versuchsvarianten mit Grün- und Strohdüngung	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammensetzung von Getreidestroh zur Reife	12
Tabelle 2:	Untersuchungen zur Umsetzung verschiedener Arten von organischer Substanz	13
Tabelle 3:	P- und K-Gehalt (CAL) sowie pH-Wert (CaCl ₂) des Bodens jeweils vor Versuchsbeginn.....	17
Tabelle 4:	Niederschläge und Temperaturen während des Versuchszeitraumes in Roda	17
Tabelle 5:	Varianten der Stroh- und Grünmassedüngung zum Anbau von Hafer	18
Tabelle 6:	Nährstoffgehalte und ausgebrachte Nährstoffmengen der organischen Düngemittel	20
Tabelle 7:	Stroherträge von Hafer der Jahre 2003 bis 2005.....	27
Tabelle 8:	Kornerträge von Hafer in den Jahren 2003 bis 2005	28
Tabelle 9:	Durchschnittliche Schlagsalden für Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kohlenstoff (kg Reinnährstoff/ha) im Durchschnitt der Versuchsjahre	33
Tabelle 10:	Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (DA) zur Trennung der Variantengruppen ohne und mit Strohzufuhr	35
Tabelle A1:	Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen	41

Abkürzungsverzeichnis

p	Signifikanzniveau
a	Jahr
¹⁴ C	Kohlenstoffisotop
C _{org}	organisch gebundener Kohlenstoff des Bodens, C _{org} * 1,72 = Humus im Boden
C _t	Gesamtkohlenstoffgehalt
CaCl ₂	Calciumchlorid, zur Extraktion des pflanzenverfügbaren Magnesiums
CAL	Calcium-Acetat-Lactat, zur Extraktion von Kalium und Phosphor
DA	Diskriminanzanalyse
dt	Dezitonnen, 100 kg
FM	Frischmasse
g	Gramm
ha	Hektar
K	Kalium
¹⁵ N	Stickstoffisotop, die natürliche Konzentration von ¹⁵ N in der Atmosphäre beträgt 0,3663 %
NN	normal Null
N _{min}	mineralischer Stickstoff (Summe Nitrat- und Ammoniumstickstoff)
N _t	Gesamtstickstoff
P	Phosphor
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
r	Korrelationskoeffizient
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Einleitung

Im ökologischen Landbau haben vieharme, marktfruchtorientierte Betriebe eine weite Verbreitung gefunden. Viele Fruchtfolgen sind zudem durch hohe Getreideanteile von über 50 % gekennzeichnet. Durch die geringe Tierhaltung und strohlose Aufstallungsformen ist auch der Strohbedarf gesunken, sodass alternative Nutzungsformen in den Vordergrund treten. So ist vielerorts eine Tendenz zur vermehrten Strohdüngung zu erkennen. In vielen Betrieben trägt somit auch das Stroh zur Versorgung des Bodens mit organischer Substanz bei, um die Fruchtbarkeit der Böden langfristig zu erhalten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der oberflächennahe Bodenschutz. Hierbei sollte das Stroh möglichst zu einem hohen Anteil auf der Oberfläche verbleiben, um den Boden vor Wasser- und Winderosion zu schützen.

Je nach den Arbeitstiefen haben die verwendeten Geräte zur Bodenbearbeitung wiederum Einfluss auf die Umsetzung des Strohs im Boden. Dazu gehören der Zerkleinerungsgrad des Strohs, der Zeitraum zwischen Ausbringung und Einarbeitung sowie die Art und Tiefe der Einarbeitung. Hinzu kommen noch klimatische Einflüsse und die Bodenart, die die Umsetzung und Mineralisation des Strohs ebenfalls stark beeinflussen.

Durch die Strohzufuhr können daher wichtige Bodeneigenschaften wie die biologische Aktivität, die Bodenstruktur und das Vermögen zur Nährstoffnachlieferung beeinflusst werden. Der Gehalt an Nährstoffen differiert im Stroh in Abhängigkeit von Standort, Art der Düngung und Vorfrucht. Im Vergleich zu Stallmist und Gülle ist Stroh ein N- und P-armer Dünger. Der Gehalt an Kalium ist aber vergleichsweise hoch.

Die Wirkung einer Strohdüngung auf den Ertrag der Folgefrüchte und auf den Humusgehalt der Böden wurde unter konventionellen Bedingungen in vielen Versuchen untersucht und teilweise liegen hiervon auch unterschiedliche Ergebnisse vor. Eine wichtige Kenngröße für die Düngung ist das C/N-Verhältnis im Stroh, das Werte von 40–100 : 1 annehmen kann. Bei sehr weiten C/N-Verhältnissen kommt es zu einer Festlegung von Stickstoff. Die Mikroorganismen greifen dann beim Abbau des Strohs auf den verfügbaren Stickstoff im Boden zurück. So kann es passieren, dass die Strohdüngung über eine zwischenzeitliche Stickstofffestlegung zu Ertragseinbußen bei der Folgefrucht führt. Aus diesen Gründen wurde in den 1970er- und 1980er-Jahren eine N-Ausgleichsdüngung empfohlen, die auch in organischer Form verabreicht werden kann. Nach neueren Untersuchungen kann jedoch auf eine pauschale Ausgleichsdüngung verzichtet werden, weil das N-Versorgungsniveau auf den konventionellen Betrieben oft verhältnismäßig hoch ist.

Aus Nährstoffanalysen ist bekannt, dass im ökologischen Landbau bei begrenzter Stickstoffzufuhr die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von weiten C/N-Verhältnissen bzw. von relativ niedrigen N-Gehalten im Stroh größer ist als im konventionellen Ackerbau. Unter den Bedingungen des ökologischen Anbaus gibt es jedoch bisher kaum Untersuchungen zur Wirkung einer Strohdüngung auf den Nährstoffhaushalt und auf die Erträge der Folgefrüchte. Aus diesem Grund wurde ein Feldversuch mit einer Strohdüngung und Pflugeinsatz sowie unterschiedlichen Varianten einer oberflächennahen Strohzufuhr angelegt. Zum einen sollte festgestellt werden, in welcher Größenordnung Ertragseinbußen auftraten. Zum anderen sollten Möglichkeiten gesucht werden, Ertragseinbußen entgegenzuwirken. Daher wurden verschiedene Verfahren der Strohdüngung in Kombination mit N-liefernden Gründungsmaßnahmen (Leguminosen, Nichtleguminosen) zur Optimierung des Anbaus in weitgehend viehlosen Marktfruchtssystemen geprüft.

2 Stand des Wissens

2.1 Charakteristik der Strohdüngung

Um die Wirkung der Strohdüngung auf den Boden und die Folgefrüchte untersuchen zu können, müssen die verwendeten Dünger zunächst genauer charakterisiert werden. Aus Ermangelung entsprechender ökologischer Versuchsergebnisse wird hierzu weitgehend auf konventionelle Quellen zurückgegriffen.

Unter Stroh versteht man die trockenen Halme, Stängel und Blätter ausgedroschener Getreidearten, Hülsen- und Ölfrüchte. Es fällt als Koppelprodukt bei der Kornerzeugung an. Die Trockensubstanz des Strohs besteht zu 30–40 % aus Cellulose und zu 20 % aus Hemicellulosen. Weiterhin sind im Stroh noch 10–20 % Lignin, 10 % wasserlösliche Verbindungen, 2 % Proteine, 2 % Fette und Harze sowie 10 % Mineralsalze enthalten (SCHILLING 2000).

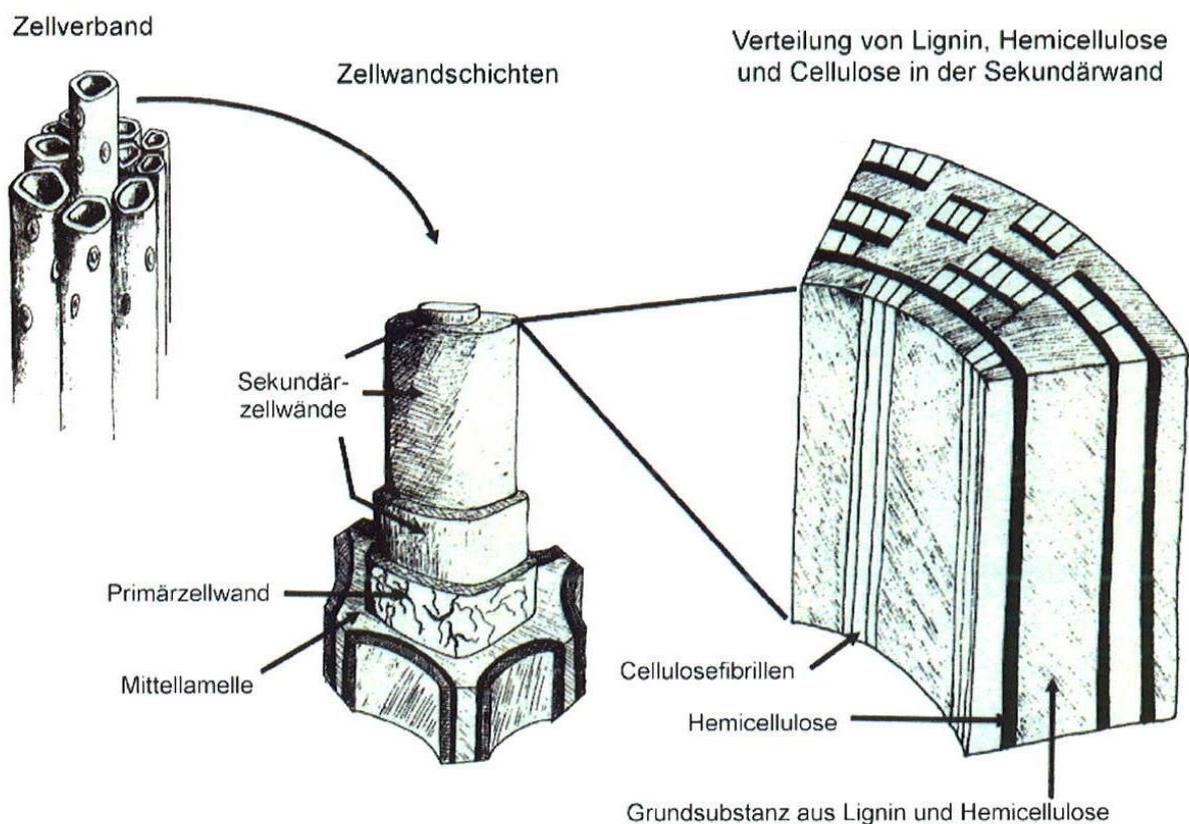


Abbildung 1: Aufbau des Pflanzengewebes beim Stroh (PÉREZ et al. 2002 zitiert in WIEDOW 2007)

Wie aus Abbildung 1 an der schematischen Darstellung der Zellwände im Stroh ersichtlich ist, sind die Strukturen an Cellulose, Hemicellulose und Lignin in den Zellwandschichten miteinander verknüpft und bilden komplexe Systeme. Cellulose ist die entscheidende Gerüstsubstanz in der sekundären Zellwand von Pflanzenzellen. Im Holz und Stroh bestehen die Celluloseschichten aus parallel angeordneten, etwa 3 nm dicken Mikrofibrillen, die von einer Matrix aus Hemicellulose eingehüllt sind. Im Gegensatz zu Cellulose besitzen Hemicellulosen keine „kristallinen“ Abschnitte. Ihre Fibrillen sind durch Wasser leicht aufweitbar, für hydrolytische Enzyme zugänglich und dadurch relativ leicht mineralisierbar. Cellulose kann aber sowohl in „amorpher“ als auch

in „kristalliner“ Form vorliegen. Während die amorphe Struktur aus lockergebündelten Abschnitten besteht und für Wasser und Enzyme zugänglich ist, weist die kristalline Struktur dicht gelagerte und durch die Bildung von Gittern schwer zugängliche Abschnitte auf. Diese kristallinen Bereiche sind dann auch resistenter gegenüber der enzymatischen Zersetzung durch Bakterien und Pilze (WIEDOW 2007; OTTOW 2011).

Neben Cellulose und Hemicellulose ist Lignin ein weiterer wichtiger Bestandteil der Zellwände. Die Lignifizierung war eine wichtige Voraussetzung für die Evolution der höheren Landpflanzen. Lignin (von lat. *lignum* = Holz) verleiht den Zellwänden eine hohe mechanische Festigkeit und ist chemisch einer der stabilsten Stoffe, die es in der Natur gibt. Lignine kommen aber nicht nur in „verholzenden“ Sekundärwänden vor, sondern sind auch in den Primärwänden krautiger Pflanzen in kleineren Mengen nachzuweisen (SCHOPFER & BRENNICKE 2010). Sie haben eine kompliziert aufgebaute phenolische Polymerstruktur und in Stroh und Holz entsteht durch die Inkrustierung der Cellulosefibrillen mit Lignin ein sehr stabiler Lignocellulosekomplex. Die hohe Stabilität entsteht durch die Verbindung aus druckfestem Lignin und zugfester Cellulose.

Nach außen sind die Lignocelluloseschichten noch mit Wachsen überzogen, die die Benetzbarkeit und den mikrobiellen Angriff erschweren. Darauf beruht die hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber dem mikrobiellen Abbau. Junge Zellwände mit amorpher Struktur und geringer Lignininkrustierung werden daher wesentlich schneller abgebaut als die überwiegend kristalline Lignocellulose in Stroh und Holz, weil das Ausmaß der Zugänglichkeit von Cellulosefibrillen entscheidend vom Kristallisationsgrad und von der Inkrustierung mit Lignin bestimmt wird (WIEDOW 2007; OTTOW 2011).

Der Abbau der Cellulose und der Cellulosekomplexe erfolgt durch ein spezialisiertes, synergistisches Enzymsystem der „Cellulasen“ und anderer Hydrolasen, die von sehr vielen verschiedenen Bakterien, Pilzen, Protozoen und sogar von Schnecken ausgeschieden werden. Cellulose abbauende Bakterien wachsen entlang der Cellulosefasern und Mikro fibrillen und sind auf den Abbau der energiereichen Cellulose spezialisiert. Pilze durchziehen das Substrat mit Hyphen und geben cellulolytische Enzyme ab. Erst durch das Zusammenwirken der Einzelenzyme der verschiedenen Mikroorganismen kann der Abbau der Cellulose erfolgen (KLIMANEK 1997).

Lignin ist aufgrund der Struktur für extrazelluläre Enzyme schwer zugänglich und der enzymatische Abbau erfolgt durch einen Mechanismus, der nicht auf der Spaltung bestimmter Bindungen (wie bei Hemicellulose, Cellulose und Pektinen) beruht, sondern verschiedene Verbindungen unspezifisch spaltet. Am effizientesten bauen Weißfäulepilze Lignin ab. Sie können aber das Lignin nicht als Kohlenstoffquelle verwenden, sodass sie dazu Cellulose bzw. Hemicellulose nutzen müssen. Über viele Reaktionsstufen wird die Ringstruktur dann geöffnet und es gibt die Hypothese, dass phenolische Metabolite mit bestimmten Enzymen und Stoffen wiederum zu Huminstoffvorstufen reagieren (OTTOW 2011).

Die Geschwindigkeit des Strohabbaus wird vor allem durch die chemische Zusammensetzung und durch die Artenzusammensetzung an Mikroorganismen im Boden beeinflusst. Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf des Strohabbaus wurden von SAUERBECK & GONZALEZ (1977) mit Hilfe von ¹⁴C-markiertem Material vorgenommen. Gehäckseltes Material von 2 t C/ha wurde in den Boden eingearbeitet (Parabraunerde, pH-Wert 6,7; 0,78 % C_{org}; 16 % Ton). Die Mineralisation verlief anfänglich sehr rasch, sodass bereits nach ca. 4 Wochen 50 % des eingearbeiteten Biomasse-C abgebaut waren. Dabei handelt es sich um die labile und leicht mineralisierbare Fraktion in der organischen Masse. Dazu gehören einfache Kohlenhydrate (Zucker, Stärke), Pektin, lösliche Eiweißstoffe, Aminosäuren und Hemicellulose. Nach einem Jahr waren ca. 65 % der eingearbeiteten Biomasse abgebaut. Danach verlangsamte sich die Mineralisation zunehmend durch den

Abbau der übergebliebenen relativ schwer mineralisierbaren Stoffe wie z. B. dem Lignin. Neun Jahre nach der Einarbeitung waren immer noch 10 % des in den Boden eingebrachten C vorhanden.

Zu ähnlichen Ergebnissen hinsichtlich der Umsetzung des Strohs im Boden kommen auch die Untersuchungen von TAMM & KRYTSCH (1966). Eine Ende Oktober in den Boden eingearbeitete Strohdüngung erreichte bis zum Vegetationsbeginn im März des nächsten Jahres eine Abbaurate von fast 50 % der Ausgangssubstanz. Die biologische Aktivität, die über die Bodenatmung gemessen wurde, stieg nach der Zufuhr der organischen Substanz sprunghaft an. Mit Rückgang der Bodentemperaturen in den Monaten Dezember bis Februar ging die Atmungsaktivität deutlich zurück. Das zeigt, dass Faktoren wie die Bodentemperatur und Bodenfeuchte einen großen Einfluss auf den Verlauf der Mineralisation ausüben.

Untersuchungen mit in Netzbeuteln eingearbeitetem Stroh und die Bestimmung des Glühverlustes (NIEDER & RICHTER 1989) zeigen, dass von Ende September bis Eintritt des Winters ca. 20 % der organischen Stroh-Trockenmasse abgebaut waren, und zu Beginn des Frühjahrs wurden Abbauraten zwischen 33 % und 40 % erreicht. Am Ende des einjährigen Versuches waren 66 % der organischen Masse des Strohs abgebaut. Die an den Kohlenstoffabbau gebundene Stickstoff-Immobilisierung und -Remobilisierung wurde über eine ¹⁵N-Markierung bestimmt und betrug maximal 37 kg N/ha. In den Freilandversuchen begann die Phase der Stickstoff-Remobilisation bereits ab C/N-Verhältnissen von kleiner als 43.

Zu den weiteren Faktoren, die die Geschwindigkeit der Mineralisation beeinflussen, gehört die Häcksellänge und die Art der Einarbeitung in den Boden. So führt eine Zerkleinerung des Strohs zu einer Oberflächenvergrößerung und durch die Vermischung mit dem Boden erfolgt eine Durchlüftung der Krume, sodass aerobe Mikroorganismen gute Lebensbedingungen finden. Untersuchungen von FRIEBE (1992) zeigen, dass das Stroh in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in unterschiedliche Tiefen eingearbeitet wird. Beim Pflug sind über 60 % des Strohs in einer Tiefe von 15–25 cm zu finden. Bei einer Einarbeitung mit dem Grubber liegen 80 % in den obersten 15 cm und bei der Direktsaat lagern über 90 % der Erntereste auf der Bodenoberfläche.

Werden die Ernterückstände nicht in den Boden eingearbeitet, so findet meistens ein langsamerer mikrobieller Abbau statt. Der direkte räumliche Kontakt zwischen Stroh und dem verfügbaren Stickstoff muss im Boden erst hergestellt werden, indem die organischen Materialien z. B. von den Regenwürmern in den Boden einge-zogen werden. Für einen beschleunigten Abbau wird daher das Einmulchen des Strohs empfohlen, d. h. eine auf der Fläche und in der Tiefe gleichmäßige Einmischung der Ernterückstände. Die vorhandene Feuchtigkeit im Boden und die vergleichsweise hohen Temperaturen im Spätsommer begünstigen einen schnellen Abbau des Strohs. Außerdem kann hierdurch einer stärkeren Verunkrautung und einem zunehmenden Auftreten von Feldmäusen entgegengewirkt werden (NAWRATH 1998).

Ein zügiger Abbau von Ernterückständen ist bei reduzierter Bearbeitungsintensität besonders wichtig, um den Bestandsaufbau und die Jugendentwicklung der Nachfrucht nicht zu gefährden. STOCKFISCH (1997) hat mit Hilfe von Netzbeuteln den Strohabbau nach Pflugeinsatz und nach reduzierter Bearbeitungsintensität untersucht. Es wurde nachgewiesen, dass sich bei nicht wendender Bodenbearbeitung eine größere Regenwurm-population ansiedelte. Durch die Tätigkeit der Regenwürmer und später der Mikroorganismen wurden die Ernterückstände abgebaut, vor allem dann, wenn die Stoppelbearbeitung kurz nach der Getreideernte erfolgte. Es zeigte sich weiterhin, dass es bei langjährig nicht wendender Bearbeitung zu einer Anreicherung des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs, des gesamten organischen Kohlenstoffs und des Gesamt-Stickstoffs in den oberflächennahen Bodenschichten kommt.

Zu einer Beeinträchtigung des Strohabbaus kann es jedoch bei starker Spätsommertrockenheit kommen. Betriebe mit Viehhaltung können Gülle vor der Stoppelbearbeitung auf das Stroh ausbringen. Wird das Stroh durch die Gülle angefeuchtet, so lassen sich Boden und Stroh bei der Bearbeitung besser miteinander vermischen. Für reine Marktfruchtbetriebe ist es vorteilhaft, bei Trockenheit die Stoppelbearbeitung in den frühen Morgenstunden durchzuführen, weil dann das Stroh noch durch den über Nacht angefallenen Tau befeuchtet ist. Bei länger anhaltender Trockenheit finden Bakterien und Pilze in der oberen Bodenschicht keine optimalen Entwicklungsbedingungen und die oberflächennahen organischen Materialien werden nicht mehr abgebaut. So kann es nach einem Grubbereinsatz mehrere Wochen dauern, in denen der Abbau stagniert. Dagegen werden bei der Pflugeinarbeitung (ca. 25 cm tief) meistens keine Beeinträchtigungen durch Trockenheit festgestellt (FRIEBE & GRAMS 1990).

Die Hauptbestandteile des Strohs, Cellulose und Hemicellulose, machen über 70 % der organischen Pflanzensubstanz der Getreidearten aus. Während sich die Gehalte an Cellulose und Hemicellulose über die Vegetationszeit nur unwesentlich verändern, nimmt der Ligningehalt mit zunehmendem Pflanzenalter deutlich zu (KLIMANEK & ZWIERS 1992). Die Getreidearten unterscheiden sich hinsichtlich des Ligningehaltes (Tab. 1). SCHRÖDER & GEWEHR (1977) haben das Abbauverhalten verschiedener Stroharten untersucht. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich die Abbauraten von Roggen- und Weizenstroh nicht signifikant unterscheiden, während das Sommergerstenstroh deutlich schneller mineralisiert wird. Die geringere Lignifizierung des Sommergerstenstrohs ermöglicht wahrscheinlich einen wesentlich intensiveren Abbau.

Tabelle 1: Zusammensetzung von Getreidestroh zur Reife (Angaben in % der organischen Substanz; KLIMANEK & ZWIERS 1992)

Fruchtart	Rohprotein	Rohfett	Rohcellulose	Lignin	Wasserlösliche Kohlenhydrate	Stärke	Hemicellulose
Winterweizen	5,26	0,43	45,81	15,39	1,83	3,08	28,20
Winterroggen	6,94	0,94	42,49	17,59	2,10	2,97	33,32
Sommergersten	4,65	0,88	44,20	11,25	1,15	1,68	29,83
Hafer	6,77	0,78	42,69	14,20	2,06	4,14	29,36

Die vergleichsweise leicht umsetzbare organische Substanz weist in der Regel ein C/N-Verhältnis von 10 auf, während die Bodenorganismen durch C/N-Verhältnisse von 5–8 gekennzeichnet sind (PAUL & CLARK 1988). Für den Abbau von Pflanzensubstanz mit einem weiten C/N-Verhältnis wie Stroh wird deshalb von den Mikroorganismen freies Nitrat aus dem Boden benötigt. Daher kann es zu einer mikrobiellen Festlegung von Stickstoff kommen, sodass dieser dann den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung steht und es zu Ertragsdepressionen kommen kann. Um einer sogenannten „N-Sperre“ entgegenzuwirken, wurde in den Jahren von 1960 bis ca. 1980 unter konventionellen Anbaubedingungen eine mineralische Ausgleichsdüngung in Höhe von 50 kg N/ha empfohlen (von BOGUSLAWSKI 1959, 1964; REICHE 1974; DEBRUCK 1976).

Untersuchungen von ASMUS & GÖRLITZ (1991) haben jedoch von einer pauschalen Ausgleichsgabe abgeraten und auch NAWRATH (1998) stellte fest, dass eine unterbliebene Ausgleichsdüngung auf einem Lössstandort zu keinen nennenswerten Ertragsdepressionen führt. Um die Wirkung von Stickstoff zu verbessern, wurde von vielen Autoren eine Kombination von Stroh mit einer Gründüngung empfohlen (DEBRUCK 1976; NAWRATH & ZOSCHKE 1995; NAWRATH 1998). Die Wirkung auf die Erträge der Folgekultur ist dann deutlich positiver ausgeprägt.

2.2 Charakteristik der Gründüngung

Unter Gründüngung wird die Einarbeitung noch nicht abgestorbener grüner, wasserreicher, mit Zucker, Stärke, Eiweiß und Stickstoff angereicherter, zum Teil noch wenig verholzter Pflanzen in den Boden verstanden. Daher unterscheidet sich die Gründüngung grundlegend von der Einarbeitung anderer organischer, trockener (Stroh) oder teilverrotteter (Stalldung) Dünger (KAHNT 1986).

Die Qualität der Grünmasse zeigt sich im Gehalt an löslichen Kohlenhydraten und Mineralstoffen, dem Wassergehalt und dem Grad der Verholzung in der Pflanzenmasse. Die Umsetzungsgeschwindigkeit der Gründüngung im Boden hängt vom C/N-Verhältnis und dem Cellulose-Lignin-Verhältnis ab. Junges, ligninarmes Pflanzenmaterial kann durch die Bodenmikroorganismen leicht abgebaut werden. Durch die Mineralisation können nach einem Jahr von 50 % bis über 80 % der organischen Substanz bereits wieder abgebaut sein. Es kommt dadurch kaum zu einer großen Anreicherung des Bodens mit organischer, humifizierter Substanz und es ist sogar ein erhöhter Abbau von Humus durch die Zunahme der biologischen Aktivität möglich (Priming-Effekt).

Einen Einblick in die zeitliche Dimension der Umsetzung von Grünmasse, Stroh und weiteren organischen Materialien geben bereits die Untersuchungen von SPRINGER & LEHNER (1951), die die Zersetzung nach 4 Jahren und teilweise sogar nach 8 Jahren erfasst haben (Tab. 2). So sind nach 3 Monaten schon 64 % der organischen Substanz der Grünmasse abgebaut, dagegen bei Stroh erst 46 %. Nach 4 Jahren unterscheidet sich dann der organische Rückstand beider Substanzen nicht mehr so stark.

Tabelle 2: Untersuchungen zur Umsetzung verschiedener Arten von organischer Substanz (Anfangswert = 100 %; SPRINGER & LEHNER 1951)

	Grünmasse	Stroh	Laub	Nadeln	Torfmuld
Organischer Rückstand nach 3 Monaten (in %)	35,5	54,1	79,4	81,4	92,7
Organischer Rückstand nach 4 Jahren (in %)	8,1	14,9	30,8	38,2	62,3
Unlöslich in % der organischen Substanz des Ausgangsmaterials	7,5	14,8	25,2	39,5	36,7
N in % der organischen Substanz des Ausgangsmaterials	6,6	0,7	1,2	1,8	1,0
N in % der organischen Substanz nach 4 Jahren	4,5	3,7	3,6	2,6	1,7

Damit eine Netto-Mineralisation von Stickstoff stattfinden kann, muss das C/N-Verhältnis in den pflanzlichen Materialien geringer als 25 und die N-Gehalte müssen höhere Werte als 1,5 % annehmen (PAUL & CLARK 1988). Für Lignin wird ein Schwellenwert von 15 % angegeben, bei höheren Werten wird die Zersetzung durch die Lignifizierung der Zellwände gehemmt. GUTSER & VILSMEIER (1988) gehen nach Untersuchungen mit markiertem Stickstoff von einer mittleren Verwertung der in der Gründüngung enthaltenen Menge an Stickstoff von 35 % bei der direkten Folgefrucht aus.

2.3 Langzeitwirkungen der Düngungsmaßnahmen auf Bodeneigenschaften

In langjährigen Düngungsversuchen zeigte es sich, dass bei regelmäßiger Strohdüngung ein vermehrter Einbau von Stickstoff in organische Verbindungen erfolgt. Der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff ändert sich in Abhängigkeit von den Eigenschaften und der Umsatzaktivität der Böden (SAUERLAND & TIETJEN 1970). Die Veränderung der Humusgehalte wird aber auch von den Fruchtfolgen und vom Ausgangszustand des Bodens beeinflusst. So können gleiche Düngermengen bei niedriger Grundversorgung mit organischer Substanz zu einer Erhöhung und bei hohem Versorgungsniveau sogar zu einer Abnahme der Humusgehalte führen. Eine Beurteilung des Einflusses der organischen Düngung und der Fruchtfolge auf den Humusgehalt im Boden sollte nur aus langjährigen (>20 Jahre) Untersuchungen vorgenommen werden (KÖRSCHENS 1997). Im Allgemeinen sind nach etwa 30- bis 40-jähriger Versuchszeit nur noch geringe Veränderungen im Humushaushalt des Bodens zu erwarten (SCHNIEDER 1980).

In über 20-jährigen Untersuchungen auf einer Parabraunerde mit hohem Schluffanteil konnte nur über die Strohdüngung in Höhe von 50 dt TM/ha und Jahr der Gehalt an organischer Bodensubstanz in der Bodenbearbeitungszone (0–30 cm) auf annähernd gleichem Ausgangsniveau gehalten werden. Die Kombination einer Stroh- und Gründüngung führte zu einer Humusanreicherung zwischen 0,05 und 0,1 %. Dabei kam es sowohl bei den Huminsäuren als auch bei den Fulvosäuren zu einer Zunahme und das Verhältnis dieser beiden Fraktionen wird durch die Strohdüngung zugunsten der für Bodenstruktur und Sorptionsverhalten wertvolleren Huminsäuren verschoben. Die Art der Strohverarbeitung oder das Belassen des Strohs auf der Oberfläche blieb ohne Einfluss auf die Huminstoffkonzentration, jedoch wurden bei einer Ausbringung als Strohdecke geringere Gesamtkohlenstoffgehalte gemessen (DEBRUCK 1976; NAWRATH 1998). Dagegen zeigen Untersuchungen von DIETZ et al. (1996) in dem Dauerdüngungsversuch in Puch (Bayern) einen Rückgang des Gehaltes an C_{org} um 0,03 % auch in den Varianten mit Stroh- und Zwischenfruchtgründüngung und um 0,04 % C_{org} in der Strohdüngungsvariante. Stroh allein von zwei Getreidefrüchten oder mit einer Gründüngung reichen in einer dreijährigen Fruchtfolge mit einer Hackfrucht (Zuckerrübe) offenbar nicht aus, um die Humusmineralisation auf diesem Standort auszugleichen.

Auf einem Sandboden in Berlin-Dahlem konnte der Ausgangsgehalt an Kohlenstoff durch eine Stroh- und Gründüngung nach 9 Versuchsjahren auf der Höhe des Ausgangsniveaus von 0,65 % C_{org} gehalten werden. Diese Varianten wiesen den höchsten mikrobiellen Biomasse-C-Wert und Biomasse-N-Wert und die ausgeprägteste Dehydrogenaseaktivität auf (KÖHN et al. 1997). Die Untersuchungen von SCHNIEDER (1972) zeigen ebenfalls, dass der Kohlenstoffgehalt auf einem Sandboden in den Varianten mit organischer Düngung (Stroh, Stallmist, Stroh + Gründüngung) auf dem Ausgangsniveau gehalten werden konnte. Ohne organische Düngung fiel der Kohlenstoffgehalt um 0,1 % ab. Auf einem lehmigen Sandboden untersuchten KAHLE & SCHULZ (1994) den Einfluss der organischen Düngung (Stroh, Stroh- und Gründüngung, Gülle) auf chemische und physikalische Merkmale des Bodens. Der mittlere C_{org} -Gehalt nach 12 Versuchsjahren betrug in der Variante Stroh- und Gründüngung 0,91 % C_{org} gegenüber der Kontrollvariante von 0,82 % C_{org} .

Es lassen sich weiterhin positive Zusammenhänge zwischen C_{org} -Gehalt, der Kationenaustauschkapazität und dem Gehalt an basisch wirkenden Kationen erkennen. Hinsichtlich der physikalischen Kenngrößen erwies sich die Ausbringung von Stroh für die Wasserretention (speziell pflanzenverfügbarer Wasseranteil) sowie die Kombination von Stroh- und Gründüngung für die Porosität des Bodens als sehr günstig. ELLMER & BAUMECKER (2002) empfehlen auf wenig fruchtbaren Sandböden eine organische Düngung von mindestens 10 t/ha und Jahr mit Stalldung oder eine Strohdüngung in jedem zweiten Anbaujahr bei 50 %-igem Getreideanteil in

der Fruchtfolge. Bei Verzicht auf eine organische Düngung sank der Gehalt an organischem Kohlenstoff auf dem Dauerversuch in Thyrow um 0,15 % C_{org} ab.

Insgesamt verdeutlichen die Untersuchungen den hohen Stellenwert der Düngung mit Stroh bzw. der kombinierten Stroh- und Gründüngung für die Erhaltung der organischen Substanz als Nährstoffspeicher und -transformator sowie zur positiven Beeinflussung physikalischer Eigenschaften wie Aggregatstabilität, Dichte und Porenvolumen sowie der Wasserretention im Boden.

2.4 Einfluss der Düngungsmaßnahmen auf die Erträge der Folgefrüchte

Von einigen konventionellen Dauerversuchen wurden Varianten ohne mineralischer Düngung einer näheren Betrachtung unterzogen, um aus möglichst langfristigen Untersuchungen Aussagen über die Ertragswirksamkeit organischer Düngemittel ableiten zu können. Nach Auswertungen eines langjährigen Dauerversuches (1963 – 1972) in Rauischholzhausen auf einer pseudovergleyten Parabraunerde (Ackerzahl 58 – 68) von DEBRUCK (1976) hatten in Fruchtfolgen mit hohen Getreideanteilen von 50 – 75 % die Varianten mit einer Stroh- und Gründüngung den größten Einfluss auf den Ertrag. Die Ertragszuwächse beim Getreidekorn betrugen 3 – 4 % und beim Getreidestroh 10 – 11 %. Die höchsten Ertragszuwächse bis 15 % wurden bei Zuckerrüben erreicht. Weiterhin wirkten sich die Varianten mit sofortiger Stroheinarbeitung positiver aus als Verfahren mit Strohdecke. Über die Bestimmung der CO₂-Bodenatmung zeigte sich, dass bei der Variante „Stroh eingefräst“ (Einarbeitungstiefe 5 – 6 cm) Abbauraten des Strohs von 40 – 50 % auftraten und in der Variante „Stroh eingeschält“ (Arbeitstiefe 10 – 15 cm) nur durchschnittlich 24 % abgebaut wurden. Das unterstreicht den Einfluss der Art der Einarbeitung des Strohs auf die Umsetzung im Boden.

Bei weiterführenden Untersuchungen auf dem gleichen Standort konnte NAWRATH (1998) bei Kartoffeln bei der kombinierten Stroh- und Gründüngung Ertragssteigerungen nachweisen, während bei Getreide ebenfalls nur geringe Ertragsreaktionen und bei Zuckerrüben sogar Ertragsreduktionen auftraten. Hinsichtlich ihrer Effizienz sowohl in der Nährstoffnachlieferung als auch in der Nährstoffkonservierung waren die Stallmistdüngung sowie die kombinierte Stroh- und Gründüngung als gleichwertig einzustufen.

In Dauerversuchen in Spröda (anlehmiger Sand) und Methau (Lehm) bewirkte eine Strohzufuhr bei unterlassener mineralischer N-Düngung im Vergleich zu den Stallmistvarianten auf dem anlehmigen Sand keine nennenswerten und auf Lehm teilweise negative Ertragseffekte (-2 bis -6 %), insbesondere in den ersten Versuchsjahren (ALBERT 1999). Die Wirkung von Düngungsmaßnahmen wurde auch von STUMPE et al. (2000) anhand eines Dauerversuches in Halle für den Zeitraum von 1979 – 1997 untersucht. Ein Vergleich der Varianten mit Strohdüngung führte bei den Fruchtarten Kartoffeln und Zuckerrüben zu Ertragsreduktionen, bei Getreide waren die Erträge annähernd gleichhoch und bei Silomais konnten die Erträge im Vergleich zu den Varianten ohne Strohdüngung durchschnittlich etwas gesteigert werden.

Untersuchungen zur Ertragswirkung von organischen Düngern liegen auch aus einem Versuch am Standort Puch in Bayern (tiefgründige Parabraunerde aus schluffigem Lehm im Alpenvorland) vor. Nach 15 Versuchsjahren brachte eine kombinierte Stroh- und Gölledüngung bzw. eine Gölledüngung inklusive Zwischenfruchtanbau durchschnittliche Mehrerträge von 14 % in der Fruchtfolge aus Silomais/Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste. Leguminosenzwischenfrüchte steigerten die Erträge um durchschnittlich 4 – 5 %. Alleinige

Strohgaben führten zu Mindererträgen, weil zunächst der zugeführte Stickstoff im neugebildeten Humus gespeichert wurde (KRAUSS & HEGE 1999).

Auf einem Sandboden in Berlin-Dahlem reagierte besonders die Kartoffel auf eine kombinierte Stroh-Gründüngung mit Mehrerträgen von bis zu 26 % gegenüber den Varianten ohne Düngung. Aber auch der Winterweizen und die Sommergerste zeigten positive Ertragsreaktionen. Aus den Ergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Wirkung der organischen Düngung mit Stroh und Gründüngung der Stallmistdüngung gleichwertig war (KÖHN & LIMBERG 1996). 15-jährige Untersuchungen auf einem Sandboden in Thyrow südlich von Berlin mit der Fruchtfolge bestehend aus Kartoffeln, Sommergerste und Winterroggen führten nach Strohdüngung zu Winterroggen ohne mineralische Ausgleichsdüngung zu Ertragsrückgängen von durchschnittlich 5 %. Es wird angenommen, dass die durch den Strohabbau bedingte vorübergehende Stickstoffbindung durch die Mikroorganismen die Ernährung der jungen Roggenpflanzen beeinträchtigt hat. Bei Kartoffeln konnten dagegen Mehrerträge mit einer kombinierten Stroh- und Gründüngung von 3 – 11 % erreicht werden (SCHNIEDER & BREUNIG 1978).

Auch die Ergebnisse eines langjährigen Feldversuches auf Podsolboden bei Moskau zeigen, dass die Auflockerung von Getreidefruchtfolgen durch den Anbau von Stoppelfrüchten oder in Kombination mit einer Strohdüngung die Erträge gesteigert haben. Bei Winterweizen und Winterroggen konnten Zunahmen von 6–12 % und bei Hafer von 7–8 % erreicht werden (LOSCHAKOW 2002).

In einem Versuch unter ökologischen Bedingungen in Dänemark (THOMPSEN et al. 2011) wurden Strohgaben in Höhe von 0, 40, 80 und 120 dt/ha in Verbindung mit dem Anbau von Zwischenfrüchten in den Jahren 1981 – 2007 untersucht. Eine langjährige Düngung mit Stroh beeinflusste den Ertrag von Weizen nicht signifikant. Bleibt das Stroh regelmäßig auf dem Feld, gleichen sich N-Festlegung und N-Freisetzung aus. Im Korn wurde der Gehalt an Rohprotein durch die Gründüngung mit Zwischenfrüchten signifikant erhöht.

3 Material und Methoden

3.1 Standortbeschreibung

Die Untersuchungen wurden auf dem Ökofeld der Versuchsstation Roda durch einen 3-jährigen Feldversuch mit jährlichem Ortswechsel durchgeführt, wobei die ausgewählten Flächen seit dem Jahr 1994 viehlos bewirtschaftet werden. Eine organische Düngung erfolgt nur in Form von Stroh. Der Versuch begann im Sommer 2002 und endete im Herbst 2005. Der **Versuchsstandort Roda** befindet sich in Nordwestsachsen zwischen Frohburg und Geithain im Ostthüringischen Lösshügelland als Teil der Naturregion der Sächsischen Lössgefülle. Dieser Naturraum wird bestimmt von mächtigen Lösssedimenten. Die Höhenlage beträgt 224 m über NN.

Auf Grund der geologischen Bedingungen der Versuchsfläche sind stauernässte Böden verbreitet. Bei den Bodentypen dominieren Fahlerde-Pseudogleye, seltener sind typische Pseudogleye bzw. Parabraunerde-Pseudogleye. Die Bodenart ist lehmiger Schluff mit 13,2 % Ton bei einer durchschnittlichen Ackerzahl von 68. Die Böden wechseln sehr stark zwischen Vernässung und Austrocknung. Im Frühjahr kann der Beginn der Feldarbeiten deutlich verzögert werden. Der Humusgehalt der Böden ist relativ einheitlich und schwankt um den Wert von 2 % bei einem C/N-Verhältnis von 11. Ab 40 cm Bodentiefe fällt der Humusgehalt deutlich ab. Die Speicherfähigkeit für Nährstoffe und auch die Durchwurzelbarkeit des Bodens kann bis in eine Tiefe von

80 – 125 cm als gut bezeichnet werden. Daten über die Versorgung mit Grundnährstoffen sowie den pH-Wert vor Versuchsbeginn auf den jährlich wechselnden Flächen zeigt Tabelle 3. Die Versorgung mit Kalium war im Jahr 2003 unzureichend.

Tabelle 3: P- und K-Gehalt (CAL) sowie pH-Wert (CaCl₂) des Bodens jeweils vor Versuchsbeginn

Versuchsjahr	P-Gehalt (mg/100 g Boden)	Versorgungsstufe	K-Gehalt (mg/100 g Boden)	Versorgungsstufe	pH-Wert	Versorgungsstufe
2003	5,2	C	5,8	A	6,8	C
2004	3,3	B	6,6	B	6,6	C
2005	4,3	B	7,5	B	6,7	C

3.2 Witterung im Untersuchungszeitraum

Roda liegt im Klimagebiet des feucht-milden Hügellandes, innerhalb der Phänozone mit normalem Vegetationsbeginn. Die Wetterdaten werden am Standort über eine eigene Wetterstation erfasst. Die erhobenen monatlichen Mittelwerte an Niederschlägen und Temperaturen enthält Tabelle 4. Im jährlichen Durchschnitt fallen 711 mm Niederschlag, davon in den Monaten Mai bis September 352 mm. Dieser langjährige Durchschnittswert wurde im Untersuchungszeitraum mit 642 mm deutlich unterschritten. Das Jahr 2003 war ein extremes Trockenjahr mit Niederschlagsmengen von nur 368 mm. Die langjährige mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,6 °C und die mittlere Jahrestemperatur im Untersuchungszeitraum betrug 9,8 °C. Die Angaben in Tabelle 4 zeigen die teilweise sehr unterschiedlichen Bedingungen in den einzelnen Jahren. Das Trockenjahr 2003 hebt sich besonders deutlich hervor.

Tabelle 4: Niederschläge und Temperaturen während des Versuchszeitraumes 2003–2005 in Roda

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Mai–Sept	Gesamt
Niederschlag (mm)														
2003	48,7	5,8	21,5	29,5	32,4	32,9	58,9	17,6	44,0	44,0	8,7	23,6	185,8	368,0
2004	66,6	42,1	28,2	30,7	115,8	61,0	152,8	37,5	55,4	32,7	80,4	24,5	422,5	728,0
2005	39,0	36,0	18,7	10,9	52,3	54,0	96,4	79,1	25,0	26,6	39,6	56,8	306,8	535,5
Temperatur (°C)														
2003	-0,3	-2,3	5,4	8,9	15,3	19,8	19,8	21,3	14,9	6,4	7,0	1,5	18,2	9,8
2004	-0,8	2,9	4,6	9,8	11,6	15,6	17,2	19,4	14,5	10,9	4,3	2,1	15,7	9,3
2005	2,4	-1,4	3,4	10,0	13,5	16,4	18,8	16,7	15,9	11,6	4,5	1,1	16,3	9,5

3.3 Feldversuche

Auf dem Ökofeld wurde für den Versuch die seit 1995 in Großparzellen ablaufende viehlose Fruchtfolge (Rotklee – Winterweizen – Ackerbohne – Winterroggen – Hafer) ausgesucht. Auf diesen Ackerschlägen wurde keine organische Düngung verabreicht und das Getreidestroh verblieb immer auf der Fläche.

Bei den Feldversuchen handelte es sich jeweils um einfaktorische, vollständig randomisierte Blockanlagen mit 11 Prüfgliedern und 4 Wiederholungen. Die Größe der Einzelparzellen betrug 3 x 8 m (Anlageparzelle = 24 m², Ernteparzelle = 16 m²). Die geprüften Varianten können in drei Untereinheiten gegliedert dargestellt werden (a, b, c, Tab. 5).

Die Anlage des Exaktversuchs erfolgte jeweils nach Winterweizen im 2. Glied nach Rotklee. Die zugeführte Menge an Weizenstroh wurde gehäckselt und betrug jeweils genau 50 dt/ha FM (ca. 43 dt TM bei 86 % TM). Auf separaten Flächen wurde die Anzucht der Gründüngungspflanzen (Rotklee, Welsches Weidelgras, Aussaat ca. Mitte Juli) vorgenommen. Die Zufuhr an Leguminosenhäcksel bzw. Nichtleguminosenhäcksel (Gras) erfolgte in der Relation 2 kg N/dt Stroh.

Die Bodenbearbeitung wurde mit dem Pflug vorgenommen. Die Aussaat der Folgefrucht Hafer erfolgte im Versuch ortsüblich nach einer Saatbettbereitung mit Kreiselegge bzw. mit Grubber und Egge im Frühjahr. In den Jahren 2003 und 2004 wurde die Sorte „Lutz“ mit 350 Körnern/m² ausgesät und 2005 die Sorte „Flämingsprofi“ mit 350 Körnern/m² genutzt.

Vor Anlage des jährlichen Versuches wurde der pH-Wert sowie die Versorgung pflanzenverfügbarer Nährstoffe mit P, K und Mg bestimmt. Die Untersuchungen zur Bestimmung des mineralischen Stickstoffs (N_{min}) erfolgten nach Versuchsanlage im Spätherbst gegen Ende November, im Frühjahr zum Vegetationsbeginn, zum Schossen des Hafers und einen Monat nach der Ernte. In chronologischer Abfolge wurden die agrotechnischen Daten über die pflanzenbaulichen Maßnahmen in Tabelle A1 im Anhang dokumentiert.

Tabelle 5: Varianten der Stroh- und Grünmassedüngung zum Anbau von Hafer

Prüfglieder: Zeitliche Abfolge der Düngungsvarianten	
Ohne Gründüngung (Ohne)	
a 1	Stroh abernten, dann pflügen
a 2	Stroh-Häcksel Zufuhr, dann pflügen
a 3	Stroh-Häcksel nach dem Pflügen oberflächlich aufbringen
a 4	Stroh-Häcksel nach Aussaat oberflächlich ausbringen
Leguminosenhäcksel (Legum.)	
b 1	Stroh abernten, Zufuhr an Leguminosenhäcksel, dann pflügen
b 2	Stroh-Häcksel Zufuhr, Zufuhr an Leguminosenhäcksel, dann pflügen
b 3	Stroh abernten, Zufuhr an Leguminosenhäcksel, pflügen, dann Stroh-Häcksel Zufuhr
b 4	Stroh abernten, Zufuhr an Leguminosenhäcksel, pflügen, dann Stroh-Häcksel Zufuhr nach Aussaat des Hafers
b 2a	Stroh-Häcksel Zufuhr, pflügen, dann Zufuhr an Leguminosenhäcksel zur Zeit des Schossens

Gras (Gras)

c 1	Stroh abernten, Zufuhr an Nichtleguminosenhäcksel (Gras), dann pflügen
c 2	Stroh-Häcksel Zufuhr, Zufuhr an Nichtleguminosenhäcksel (Gras), dann pflügen

3.4 Chemisch-analytische Bestimmungsmethoden und statistische Auswertung

Vom Stroh und den anderen organischen Materialien wurden durch die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) folgende Laboranalysen vorgenommen:

- Trockenmassegehalt
- Inhaltsstoffuntersuchung von N, P, K, Mg und C_t

Vom Hafer wurden folgende Merkmale bestimmt:

- Chlorophyllgehalt des zuletzt voll ausgebildeten Blattes (Chlorophyllmeter Spad-502, Fa. Minolta)
- Ährenzahl
- Tausendkornmasse (TKM)
- Frisch- und Trockenmasseerträge an Korn und Stroh
- N-, P-, K- und Mg-Gehalte von Korn und Stroh
- Rohfettgehalt im Korn

Zur Analyse der Nährstoffgehalte der in den Versuchen anfallenden Boden- und Pflanzenproben wurden nachfolgende Verfahren des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten angewendet:

- Boden: N_{min} (0 – 30, 30 – 60 cm Bodentiefe) A 6.1.3.2 VDLUFA Methodenbuch I
P, K (CAL) (0 – 20 cm) A 6.2.1.1 VDLUFA Methodenbuch I
Mg (CaCl₂) (0 – 20 cm) A 6.2.4.1 VDLUFA Methodenbuch I
pH-Wert (0 – 20 cm) A 5.1.1 VDLUFA Methodenbuch I
- Pflanze: C DIN ISO 10694 (1995)
N DIN ISO 10694 b (1995 – 03)
P, K, Mg DIN 51418 (1996 – 09)
ISO 11885 (2005 – 11)
Rohfett Methode 5.1.1, Verfahren B
VDLUFA Methodenbuch III, 3. Auflage

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit dem Statistik-Software-Paket SPSS. Für die Prüfung der Mittelwerte wurde der Tukey-Test verwendet. Unterschiedliche Buchstaben (a, b, ...) stehen für die Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 5\%$. Es wurden Varianzanalysen und Regressionsanalysen gerechnet. Zur multivariaten Unterscheidung der Stroh Wirkung kam die Diskriminanzanalyse (KOLBE 1990) mit folgenden Irrtumswahrscheinlichkeiten zur Anwendung: $p = 5\%*$, $1\%**$, $0,1\%***$.

4 Ergebnisse

4.1 Nährstoffgehalte und Düngungsmengen der organischen Materialien

Nach der Ernte der Vorrucht Winterweizen wurde jeweils die organische Düngung mit gehäckseltem Stroh laut Versuchsplan (3 – 4 cm Häcksellänge), Leguminosenhäcksel und Grashäcksel vorgenommen (siehe Tab. 5). In 3 Varianten erfolgte die Zufuhr von Grünguthäcksel vor dem Pflügen und in einer Variante (b2a) wurden die Leguminosenhäcksel zur Zeit des Schossens in den Hafer ausgebracht (siehe Tab. 5 u. Tab. A1, Anhang). Über die Nährstoffanalysen des Strohs und der Gründüngung konnten die mit der organischen Düngung durchschnittlich ausgebrachten Nährstoffmengen genau ermittelt werden (Tab. 6).

Die Stickstoffgehalte des Strohs variierten zwischen 0,43 – 0,76 % in der Trockenmasse, sodass die zugeführten N-Mengen durchschnittlich 26 kg N/ha betragen. Die P-Gehalte waren gering und schwankten zwischen 0,04 – 0,13 %. Die ausgebrachten P-Mengen lagen bei 3 kg P/ha. Dagegen betragen die Kaliumgehalte 1,0 – 1,5 % und die Kaliumzufuhr erreichte mit der Strohdüngung durchschnittlich 57 kg K/ha. Mit der Grünmasse von den Leguminosen und dem Gras konnten hohe Mengen an Stickstoff und Kalium in den Boden eingebracht werden. Die Stickstoffgehalte in den Leguminosenaufwüchsen betragen durchschnittlich 3,4 % und im Gras 2,9 % N, sodass 91 – 125 kg N/ha ausgebracht wurden. Mit relativ einheitlichen Kaliumgehalten von 2,2 % sind 79 kg K/ha und ca. 9,0 kg P/ha in den Boden eingebracht worden.

Tabelle 6: Nährstoffgehalte und ausgebrachte Nährstoffmengen der organischen Düngemittel

	TM (dt/ha)	N (% i. d. TM)	N (kg/ha)	P (% i. d. TM)	P (kg/ha)	K (% i. d. TM)	K (kg/ha)	C (% i. d. TM)	C/N- Ver- hältnis
Strohgabe Herbst, 2002/03	46,2	0,8	32,6	0,1	5,9	1,5	65,1	44,5	58,6
Strohgabe Herbst, 2003/04	43,0	0,5	20,9	0,0	1,8	1,4	60,3	44,3	91,1
Strohgabe Herbst, 2004/05	43,0	0,6	25,7	0,1	4,5	1,0	43,2	44,6	74,7
Strohgabe Frühjahr, 2002/03	43,3	0,6	24,0	0,1	3,3	1,3	55,9	-	-
Strohgabe Frühjahr, 2003/04	44,7	0,8	33,8	0,0	1,9	1,5	67,7	46,1	60,9
Strohgabe Frühjahr, 2004/05	44,0	0,4	18,7	0,1	2,8	1,1	48,7	44,8	105,2
Mittelwert Stroh	44,0	0,6	26,0	0,1	3,4	1,3	56,8	44,9	79,0
Leguminosengrünmasse 2002	36	3,03	109,2	0,25	9	2,1	75,6	-	-
Leguminosengrünmasse 2003	34,8	3,6	125,3	0,27	9,6	2,45	85,3	45,78	12,7
Leguminosengrünmasse 2004	34	3,49	118,4	0,24	8,3	2,28	77,4	46,34	13,3
Mittelwert Leguminosen	34,9	3,37	117,7	0,26	9	2,28	79,4	46,06	13
Grasgrünmasse 2002	32,9	2,96	97,2	0,27	8,7	2,39	78,6	-	-
Grasgrünmasse 2003	36,2	3,39	122,68	0,28	10,29	2,21	80	45,1	13,3
Grasgrünmasse 2004	40,1	2,26	90,7	0,24	9,7	1,97	79	41,61	18,4
Mittelwert Gras	36,4	2,87	103,5	0,26	9,6	2,19	79,2	43,36	15,8

Die Kohlenstoffgehalte lagen bei den Pflanzenmaterialien zwischen 42 % und 46 % in der Trockenmasse. In Abhängigkeit von den N-Gehalten betrug das C/N-Verhältnis beim Stroh zwischen 59 und 105. Für die Gründüngung waren weitaus engere C/N-Verhältnisse zwischen 13 (Legum.) und 18 (Gras) analysiert worden.

4.2 Einfluss der Düngung auf den N_{\min} -Gehalt des Bodens

Die Wirkung der organischen Düngung auf den löslichen Stickstoffgehalt des Bodens wurde im Spätherbst gegen Ende November, zu Vegetationsbeginn, zum Schossen und nach der Ernte des Hafers ermittelt. Zur Zeit der ersten N_{\min} -Untersuchung nach Versuchsbeginn im Spätherbst wurden nur die Werte in der Schicht 0 – 30 cm Bodentiefe von den Düngungsmaßnahmen beeinflusst, während die Werte in 30 – 60 cm Tiefe einheitlich bei 16 kg N/ha lagen (ohne Abbildung). In der Summe 0 – 60 cm Bodentiefe zeigten sich bei den Varianten ohne Gründüngung kaum Unterschiede zwischen den Strohvarianten (Var. 1 u. 2, Abb. 2).

In den kombinierten Varianten Stroh- mit Gründüngung gab es einen Anstieg der N_{\min} -Werte, wobei nach Grasdüngung etwas höhere N_{\min} -Werte vorhanden waren als mit Leguminosen-Gründüngung. Bei den Varianten ohne Stroh nahmen die N_{\min} -Gehalte mit einer Grünmassedüngung am deutlichsten zu. Die Zunahmen betragen 17 kg (Legum.) bzw. 23 kg N/ha (Gras) gegenüber der Variante 1 ohne Stroh. In der Variante 2 mit Strohzufuhr betrug die Zunahme durch die Gründüngung lediglich zwischen 3 kg (Legum.) und 12 kg N/ha (Gras), während die anderen Varianten mit späterer Strohzufuhr zu diesem Zeitpunkt noch keine deutliche Wirkung zeigten.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass bereits kurze Zeit nach der Applikation der organischen Materialien durch die einsetzende Mineralisation ein Anstieg der N_{\min} -Werte erfolgt ist. Durch die zusätzliche Strohzufuhr wurde dieser Prozess jedoch deutlich verringert. Dagegen wurden die verhältnismäßig niedrigen N_{\min} -Werte der Bodenschicht 0 – 30 cm Tiefe von 15 – 20 kg N/ha auch durch die Strohzugabe nicht weiter reduziert (Ergebnisse nicht dargestellt). Im Durchschnitt der Varianten mit und ohne Gründüngung wurden die N_{\min} -Gehalte durch die Strohdüngung im Spätherbst um 8,5 kg N/ha reduziert.

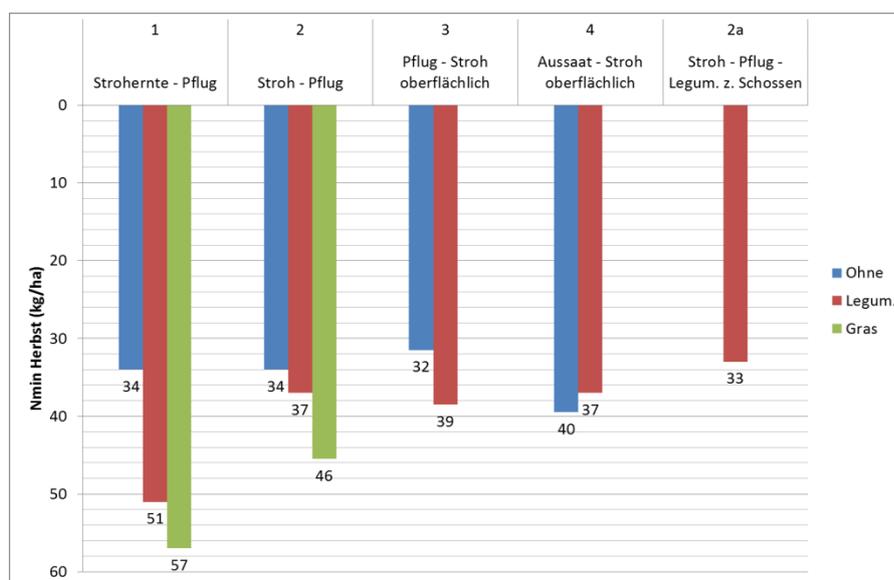


Abbildung 2: N_{\min} -Mengen im November (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)

Im Vergleich zum November-Termin sind die N_{\min} -Werte im zeitigen Frühjahr etwas angestiegen, in der Schicht 0 – 30 cm Tiefe mit durchschnittlich +11 kg N/ha etwas deutlicher als in der Schicht 30 – 60 cm mit +7 kg N/ha. Durch die Düngungsmaßnahmen haben sich die N_{\min} -Werte jetzt auch in der Schicht zwischen 30 cm und 60 cm Bodentiefe verändert (ohne Abbildung). Anfang April, kurz nach der Aussaat des Hafers, zeigte sich bei den N_{\min} -Gehalten die deutlichste Differenzierung und die unterschiedliche organische Düngung wird zwischen den einzelnen Varianten sichtbar (Abb. 3).

Im Versuchsteil ohne Gründüngung waren die geringsten Gehalte in den Varianten 2 und 2a (Gründüngung noch nicht verabreicht) mit Strohdüngung vor dem Pflugeinsatz mit 46 kg bzw. 45 kg N/ha anzutreffen, aber auch die anderen Varianten mit Strohdüngung verzeichneten etwas geringere N_{\min} -Werte gegenüber der Variante ohne Strohzufuhr. Die Varianten mit der Gründüngung wiesen demgegenüber um durchschnittlich über 16 kg höhere Werte auf (Abb. 3).

Eine Reduzierung der N_{\min} -Gehalte durch die Strohzufuhr war zwischen den Gründüngungsvarianten 1 und 2 nicht mehr zu erkennen. Insgesamt betrug jetzt die Hauptwirkung Stroh rechnerisch nur noch ca. -1 kg N/ha. Eine spätere oberflächliche Ausbringung von Stroh zeigte bis zu diesem Zeitpunkt nur geringe Tendenzen zu einer Verringerung der N_{\min} -Werte in der Variante ohne Gründüngung bzw. eine jetzt sichtbare zeitlich verzögerte Herabsetzung in der Variante mit Gründüngung (Abb. 3, Var. 3). Den höchsten N_{\min} -Gehalt erzielte die Variante mit Leguminosengründüngung in Kombination mit einer Strohausbringung nach der Haferaussaat (Abb. 3, Var. 4).

Zur Zeit des Schossens glichen sich die Werte wieder etwas aneinander an, wobei letztgenannte Variante mit 50 kg N/ha den höchsten N_{\min} -Gehalt aufwies (Abb. 4). In der Schicht 0 – 30 cm waren wiederum Gehalte von 15 – 20 kg N/ha vorzufinden, die in den Behandlungsvarianten nicht unterschritten worden sind (ohne Abbildung). Mit insgesamt 30 kg N/ha von 0 – 60 cm Bodentiefe wiesen die Varianten ohne Gründüngung mit und ohne Strohzufuhr relativ gleich hohe Werte auf. Die Varianten mit Gründüngung waren durch ca. 8 kg N/ha höhere N_{\min} -Werte gekennzeichnet und die Wirkung der Strohdüngung betrug zu diesem Zeitpunkt ca. -2 kg N/ha.

Nach der Ernte des Hafers zeigte sich ein relativ einheitliches Niveau der N_{\min} -Werte von 26 – 35 kg N/ha (Abb. 5). In Variante 1 ohne Strohzufuhr wurden mit 35 kg N/ha relativ einheitlich hohe Werte analysiert, es waren keine Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Gründüngung zu erkennen. Alle Strohvarianten wiesen dagegen jetzt wieder deutlich niedrigere N_{\min} -Mengen auf (Durchschnitt -5 kg N/ha im Vergleich zu ohne Stroh). In den Varianten ohne Gründüngung wurde ein durchschnittlicher Unterschied von -8 kg N/ha, in den Varianten mit Gründüngung von ca. -3 kg N/ha ermittelt. Eine verzögerte Wirkung durch oberflächliche Strohapplikation war im Vergleich zur Einarbeitung auf die N_{\min} -Werte nicht mehr zu erkennen.

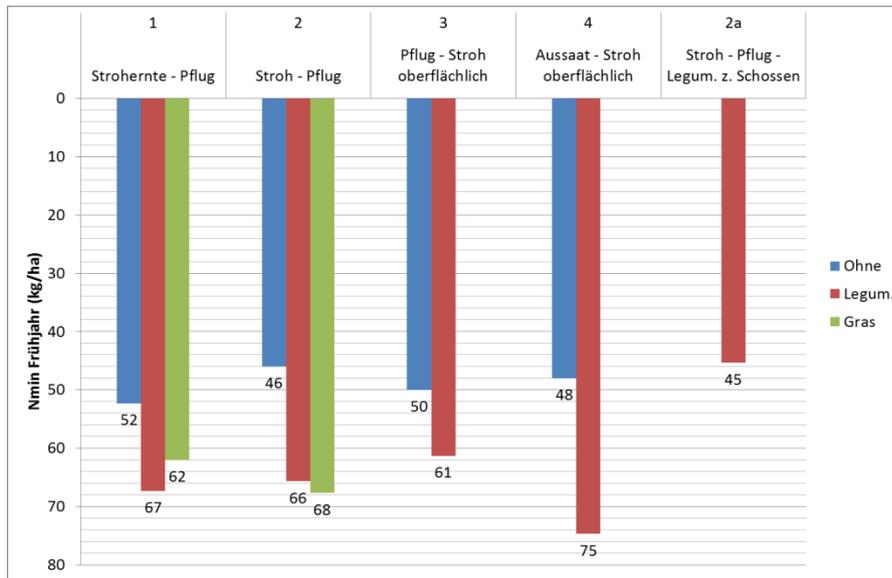


Abbildung 3: N_{min} -Gehalte zu Vegetationsbeginn (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)

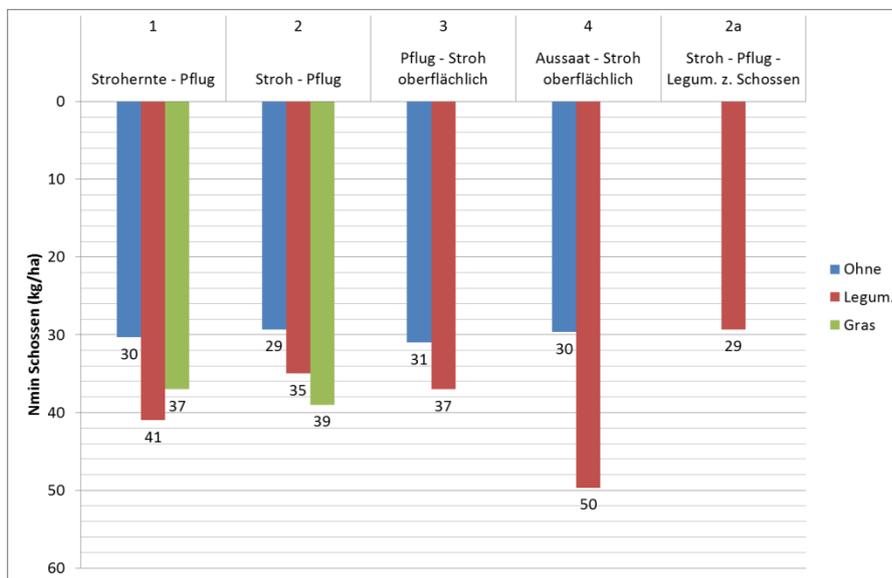


Abbildung 4: N_{min} -Gehalte zum Schossen (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)

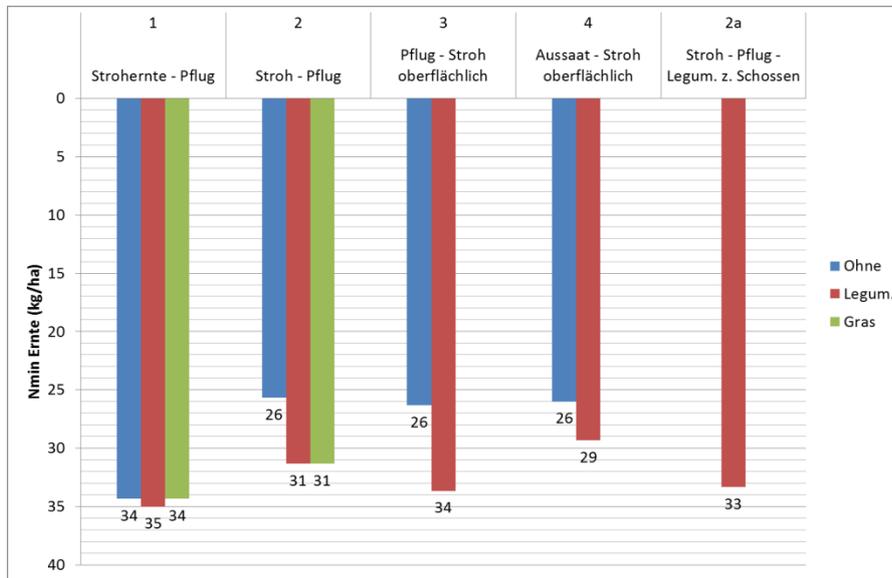


Abbildung 5: N_{\min} -Mengen nach der Ernte (kg N/ha, 0–60 cm Bodentiefe)

Im Durchschnitt aller N_{\min} -Analysen zu den vier Terminen war die Hauptwirkung Strohhapplikation mit lediglich -4,0 kg N/ha und die Gründüngung mit +11 kg N/ha zu veranschlagen. Unterschiede zwischen Leguminosen- und Graszufuhr waren kaum gegeben. Im Vergleich zu den Varianten ohne Strohdüngung (= 100 %) konnten folgende mittlere Einflüsse auf die N_{\min} -Gehalte in 0 – 60 cm Bodentiefe durch nachfolgend genannte Strohvvarianten ermittelt werden (Varianten siehe Tabelle 5):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -4,0 kg/ha (-10,5 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -7,0 kg/ha (-14,3 %)
- Var. c1 – c2 Gras: -2,0 kg/ha (-4,2 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: -2,5 kg/ha (-6,6 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: -3,5 kg/ha (-7,1 %)

4.3 Einfluss der Düngung auf das Pflanzenwachstum und Ertrags Eigenschaften von Hafer

4.3.1 Chlorophyllgehalt

Die Chlorophylldichte von Hafer wurde jeweils am zuletzt ausgebildeten Blatt im Stadium BBCH 30 im Zeitraum Anfang bis Mitte Juni gemessen. Im Allgemeinen besteht ein Zusammenhang zwischen den Chlorophyllwerten und den N_{\min} -Werten im Boden. Beide Merkmale können somit als Indikatoren der N-Ernährung der Haferpflanzen, insbesondere während des Schossens, angesehen werden.

Die Varianten mit Leguminosen- und Grasdüngung zeigen um 4 Einheiten höhere Chlorophyllgehalte (Var. 1, Abb. 6). Strohdüngung führte in der Variante ohne Gründüngung zu einer geringen Abnahme der Gehalte an Chlorophyll, während bei den Kombinationen mit Gründüngung kein Abfall zu erkennen ist (Var. 1, 2). Die Variante 2a mit später Gründüngung wies verhältnismäßig niedrige Werte auf. Weil die Applikation erst zum Zeitpunkt Schossen erfolgt ist, konnte der durch die Mineralisation frei werdende Stickstoff bis zum Messtermin des Chlorophylls noch nicht wirksam werden. Tendenziell die höchsten Chlorophyllwerte verzeichnete die Variante 3 (Leguminosendüngung, nach der Haferaussaat Strohaufbringung auf die Fläche).

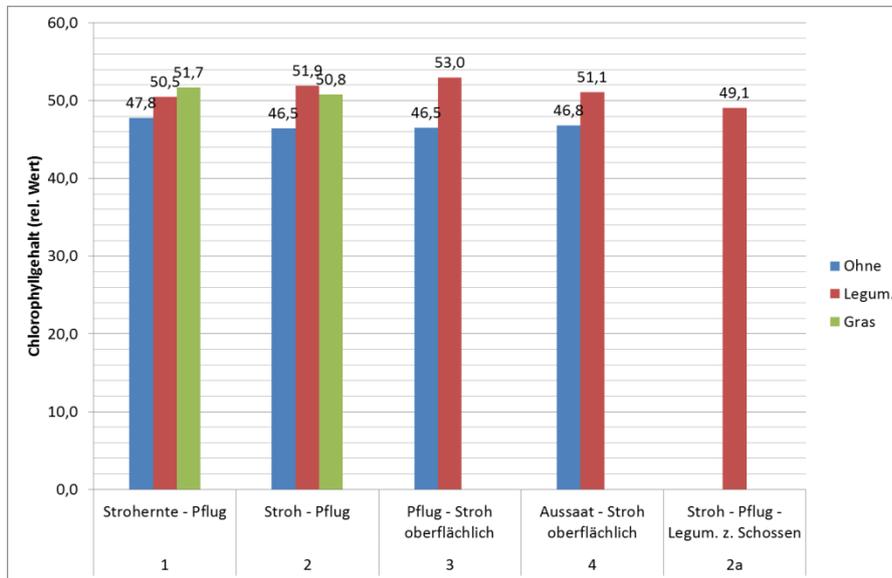


Abbildung 6: Chlorophyllidichte von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre

4.3.2 Wuchshöhe

Die Wuchshöhe von Hafer wurde sowohl von den Maßnahmen der Gründung als auch von der Strohzufuhr positiv beeinflusst (Abb. 7). Besonders die Gründung mit Gras führte zu einer Zunahme der Wuchshöhe des Hafers von bis zu 10,0 cm, während die späte Düngung mit Leguminosengrünmasse eher zu einer Abnahme der Wuchshöhe beitrug (Var. 2 u. Var. 2a, Abb. 7).

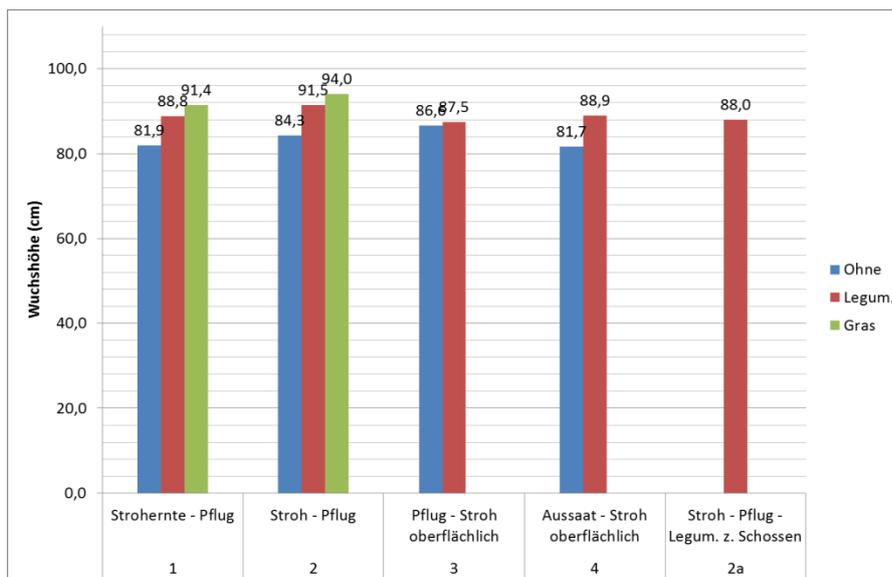


Abbildung 7: Wuchshöhe von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre

Die Strohzufuhr zeigte dagegen geringere Auswirkungen auf die Wuchshöhe. Eine mittlere Zunahme um 2,5 cm Wuchshöhe ist möglicherweise auf den Einflussfaktor Strohdüngung zurückzuführen. Hinsichtlich des Längenwachstums des Hafers in Abhängigkeit von der Strohzufuhr konnten im Vergleich zu keiner Strohdüngung (= 100 %) folgende mittleren Werte ermittelt werden:

- Var. a1 – a2 Ohne Gründung: +2,0 cm (+2,4 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: +3,0 cm (+3,4 %)

- Var. c1 – c2 Gras: +3,0 cm (+3,3 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: +2,5 cm (+3,1 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: -0,5 cm (-0,6 %)

4.3.3 Rispenzahl

Die geprüften Einflussgrößen haben die Ähren- bzw. Rispenzahl des Hafers kaum verändert (Abb. 8). Während die Gründüngung auf dieses Merkmal keine Wirkung gezeigt hat, bestand eine gewisse Tendenz zur Erhöhung der Anzahl rispentragender Halme in den Variantenkombinationen mit Gründüngung und Strohzufuhr. Dagegen wurde die Rispenzahl etwas reduziert, wenn die Leguminosen-Gründüngung zum Zeitpunkt Schossen verabreicht worden ist (Var. 2 u. Var. 2a, Abb. 8).

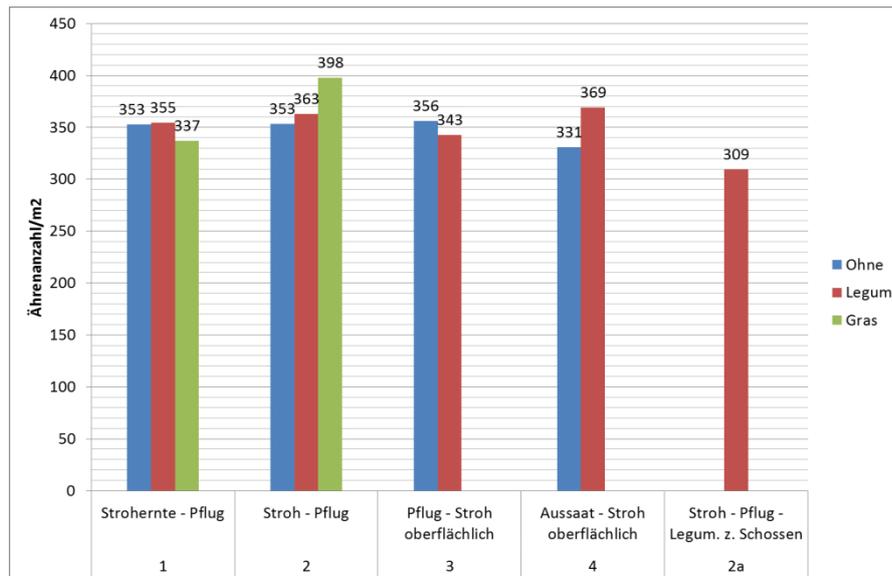


Abbildung 8: Rispenzahl von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre

4.3.4 Strohertrag

Bei den Stroherträgen zeigten sich ähnliche Tendenzen wie bei den Kornerträgen (vgl. Tab. 7 u. Tab. 8). Beim Vergleich der Varianten mit und ohne Strohzufuhr konnte eine geringe Wechselwirkung festgestellt werden. Während die frühe Strohzufuhr zum Pflügen (Var. 2 im Vergleich zu Var. 1, Abb. 9) die Stroherträge leicht reduzierte, konnte eine positive Ertragswirkung durch die oberflächliche Ausbringung des Strohs nach dem Pflügen festgestellt werden (Varianten siehe Tab. 5, Ergebnisse in Abb. 9):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -1,0 dt/ha FM (-3,0 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -0,8 dt/ha FM (-2,0 %)
- Var. c1 – c2 Gras: -3,6 dt/ha FM (-7,9 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: +4,4 dt/ha FM (+13,2 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: +2,9 dt/ha FM (+7,2 %)

Wie in Tabelle 7 und Abbildung 9 dargestellt, führte die Zufuhr von Leguminosengrünmasse und Gras in allen Jahren zu einer Zunahme der Stroherträge gegenüber der Variante 1 (ohne Stroh). Dabei bestanden bei der Zufuhr von Leguminosengrünmasse kaum Unterschiede, ob das Stroh vorher abgefahren wurde oder auf der Fläche verblieb. Bei den Varianten mit Graszufuhr konnte der höchste Ertrag nach Strohabfuhr erreicht werden. Die durchschnittliche Wirkung der Gründüngung betrug zwischen +7,0 dt/ha (Legum.) und +11,0 dt/ha

Stroh (Graszufuhr). Eine späte Zufuhr der Leguminosengründungung führte zu keiner Veränderung der Stroherträge.

Tabelle 7: Stroherträge von Hafer der Jahre 2003 bis 2005 (86 % TM)

Varianten	Strohertrag (dt/ha) 2003	Strohertrag (dt/ha) 2004	Strohertrag (dt/ha) 2005	Durchschnittlicher Strohertrag (dt/ha) 2003 – 2005
a1 Strohernte – Pflug	27,3	42,8	29,7	33,3 a*
a2 Strohzufuhr – Pflug	27,1	42,8	26,9	32,3 a
a3 Pflug – Stroh oberflächlich	29,2	60,9	31,6	40,6 b
a4 Aussaat – Stroh oberflächlich	30,9	48,9	24,5	34,8 a
b1 Strohernte – Legum. – Pflug	29,4	54,7	35,2	39,8 b
b2 Stroh – Legum. – Pflug	26,9	50,3	36,7	39,0 b
b2a Stroh – Pflug – Legum. zum Schossen	31,3	45,3	40,9	39,2 b
b3 Strohernte – Legum. – Pflug – Stroh	30,7	56,6	39,8	42,4 b
b4 Strohernte – Legum. – Stroh n. Aussaat	36,5	54,8	34,3	42,9 b
c1 Strohernte – Gras – Pflug	34,0	67,4	35,9	45,8 b
c2 Stroh – Gras – Pflug	34,4	56,1	36,1	42,2 b

*) Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede; Tukey-Test (p = 5 %)

Bei der Gegenüberstellung der Korn- und Stroherträge (Tab. 7 und 8) zeigt sich, dass die Erträge durch die Strohzufuhr leicht negativ beeinflusst wurden. Die Gründungung mit Leguminosen und Gras steigerte die Erträge unabhängig davon, ob das Stroh auf der Fläche belassen oder abgefahren wurde. Durch die späte Strohzufuhr konnten die Stroherträge von Hafer eher etwas angehoben werden (Abb. 9).

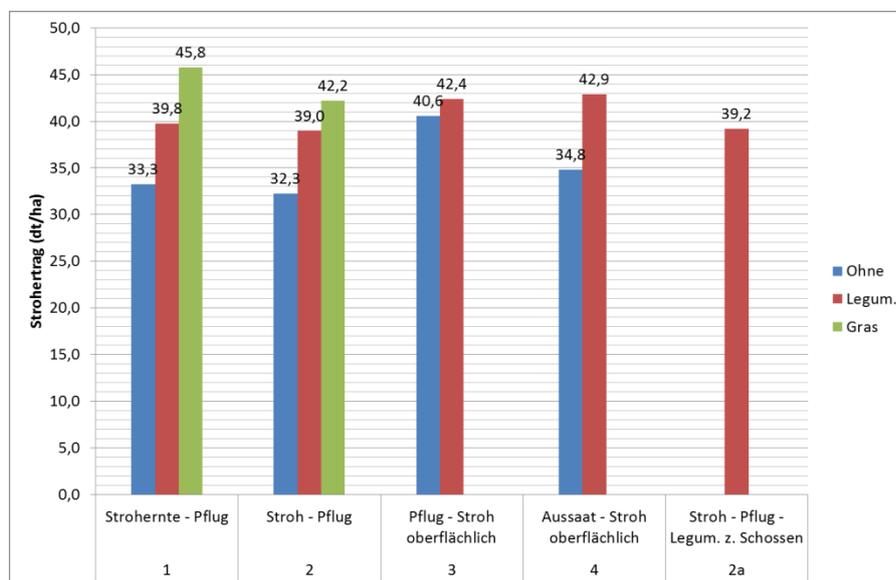


Abbildung 9: Stroherträge von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre (86 % TM)

4.3.5 Kornertrag

Die Kornerträge des Hafers befanden sich in den einzelnen Jahren auf einem unterschiedlichen Niveau (Tab. 8; Abb. 10). Während die Erträge in den Jahren 2003 und 2005 durchschnittlich 40 dt bzw. 43 dt/ha be-

trugen, lag der Ertrag im Jahr 2004 bei 64 dt/ha. Zunächst kann festgestellt werden, dass die Gründüngung mit Ausnahme der späten Leguminosengabe zum Schossen zu deutlichen Ertragssteigerungen geführt hat. Die durchschnittlichen Mehrerträge liegen zwischen 11,0 dt/ha in den Varianten mit Leguminosendüngung und 13,4 dt/ha bei den Varianten mit Grasdüngung (signifikant nach Tukey-Test für $p = 5\%$). Im Anbaujahr 2004 zeigten sich Zunahmen des Ertrages von bis zu 15 dt/ha Korn. Die Leguminosengabe zum Schossen führte jedoch nicht zu Ertragssteigerungen, aber zu einer Zunahme der Rohproteingehalte (s. Kap. 4.4.3). Die spät verabreichte Gründüngung hat sogar die Kornerträge reduziert (Var. 2 im Vergleich zu Var. 2a, Abb. 10). Insgesamt lässt sich feststellen, dass über die Zufuhr von frischem pflanzlichen Material, unabhängig davon, ob das Stroh abgefahren wurde oder nicht, eine signifikante Ertragssteigerung der Kornerträge gegenüber ohne Strohdüngung und mit Strohdüngung realisiert werden konnte.

Tabelle 8: Kornerträge von Hafer in den Jahren 2003 bis 2005

Varianten	Kornertrag (dt/ha) 2003	Kornertrag (dt/ha) 2004	Kornertrag (dt/ha) 2005	Durchschnittlicher Kornertrag (dt/ha) 2003–2005
a1 Strohernte – Pflug	41,2	59,6	32,0	44,3 a*
a2 Strohzufuhr – Pflug	39,2	54,5	31,8	41,8 a
a3 Pflug – Stroh oberflächlich	43,7	55,1	35,3	44,7 a
a4 Aussaat – Stroh oberflächlich	42,7	52,1	32,3	42,4 a
b1 Strohernte – Legum. – Pflug	43,2	72,9	48,0	54,7 b
b2 Stroh – Legum. – Pflug	43,6	69,3	48,3	53,7 b
b2a Stroh – Pflug – Legum. zum Schossen	38,1	58,6	36,9	38,1 a
b3 Strohernte – Legum. – Pflug – Stroh	44,6	74,0	46,9	55,2 b
b4 Strohernte – Legum. – Stroh n. Aussaat	44,6	65,0	48,8	52,8 b
c1 Strohernte – Gras – Pflug	50,4	76,6	45,2	57,4 b
c2 Stroh – Gras – Pflug	50,0	71,0	45,3	55,4 b

*) Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede; Tukey-Test ($p = 5\%$)

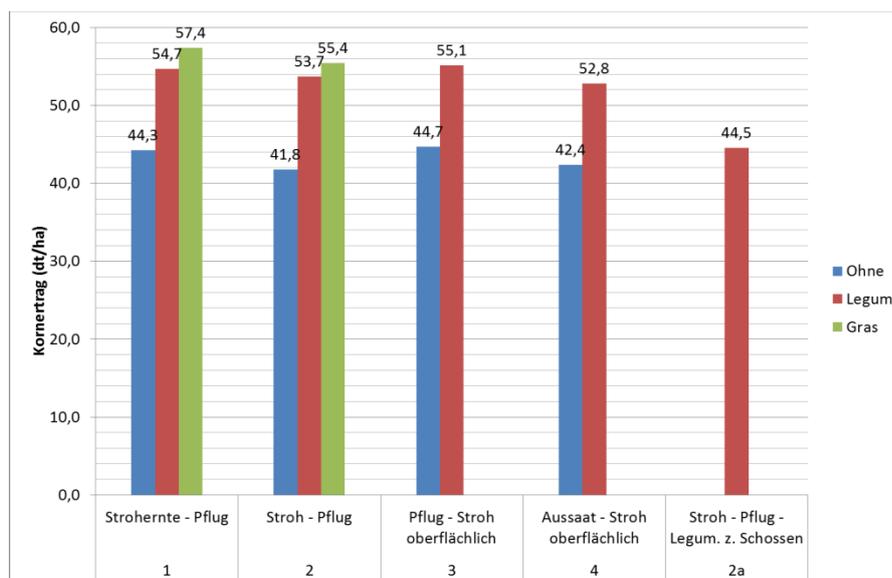


Abbildung 10: Kornerträge von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre (86 % TM)

Dagegen waren die Ertragsdifferenzen zwischen den Varianten 1 ohne und Variante 2 mit Strohzufuhr (jeweils ohne Gründung) sehr gering und konnten im univariaten Vergleich durch die übliche Varianzanalyse nicht als signifikant erkannt werden. Im dreijährigen Durchschnitt waren in den einzelnen Varianten immer ein leichter Ertragsabfall zwischen den Varianten ohne (= 100 %) und mit Strohdüngung in folgender Höhe gegeben (s. a. Tab. 8):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründung: -2,5 dt/ha FM (-5,6 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -1,0 dt/ha FM (-1,8 %)
- Var. c1 – c2 Gras Gründung: -2,0 dt/ha FM (-3,5 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründung: -0,8 dt/ha FM (-1,7 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: -0,8 dt/ha FM (-1,4 %)

4.3.6 Korn/Stroh-Verhältnis

Das durchschnittliche Korn/Stroh-Verhältnis von Hafer betrug 1 : 0,8. Die Werte wurden durch Gründungsmaßnahmen kaum beeinflusst (Abb. 11). Es bestand eine Tendenz zu engeren Korn/Stroh-Verhältnissen, wenn das Stroh später verabreicht und auf der Oberfläche belassen wurde (Var. 3 u. Var. 4 im Vergleich zu Var. 1 u. Var. 2, Abb. 11), oder die Leguminosengrünmasse in den wachsenden Haferbestand appliziert worden ist (Var. 2 im Vergleich zu Var. 2a, Abb. 11).

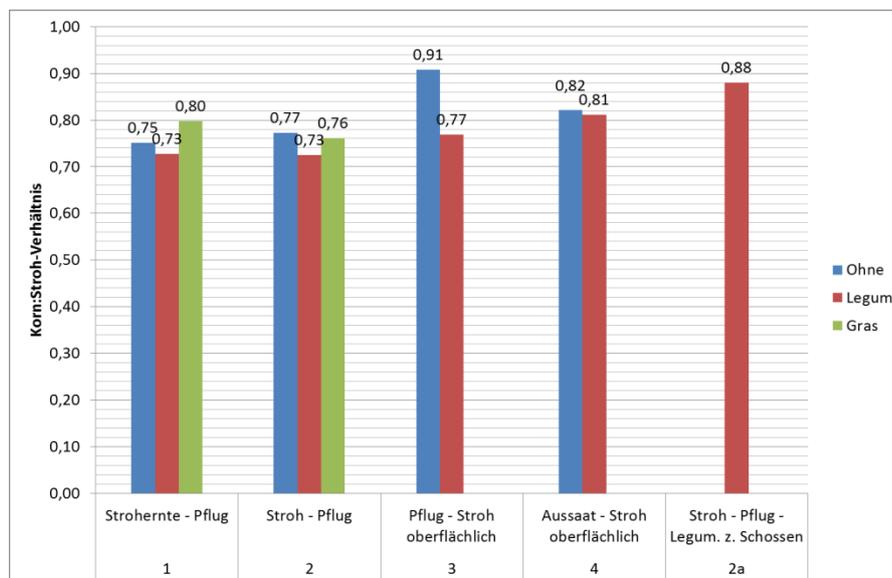


Abbildung 11: Korn/Stroh-Verhältnisse von Hafer im Durchschnitt der Versuchsjahre

4.4 Einfluss der Düngung auf Qualitätseigenschaften von Hafer

Während bei der Futterhaferproduktion der Ertrag und der Rohproteingehalt als entscheidende Faktoren anzusehen sind, stehen bei Schälhafer folgende Anforderungen an die Qualitätskriterien (Auswahl) im Vordergrund:

- TKM (mit Spelz) >30 g; TKM (ohne Spelz) >24 g
- Spelzanteil <26 %
- Hektolitergewicht >54 kg
- Sortierung: >2 mm >90 %, >2,5 mm >50 %

4.4.1 Tausendkornmasse

Die Auswertung der Ergebnisse in Abb. 12 zeigt, dass die Tausendkornmasse (TKM) mit Spelz in allen Varianten höhere Werte als 30 g aufwies. Es bestehen Unterschiede zwischen den einzelnen Düngungsvarianten. In der Variante ohne Strohdüngung und der Variante ohne Strohdüngung in Verbindung mit Grasdüngung war die TKM am höchsten. Die Leguminosendüngung zeigte mit und ohne Strohdüngung die geringste TKM. Dies spiegelt sich aber nicht bei den Erträgen wider, sodass bei den Varianten mit Leguminosen-Gründung von einer erhöhten Anzahl Körner/Rispe ausgegangen werden muss.

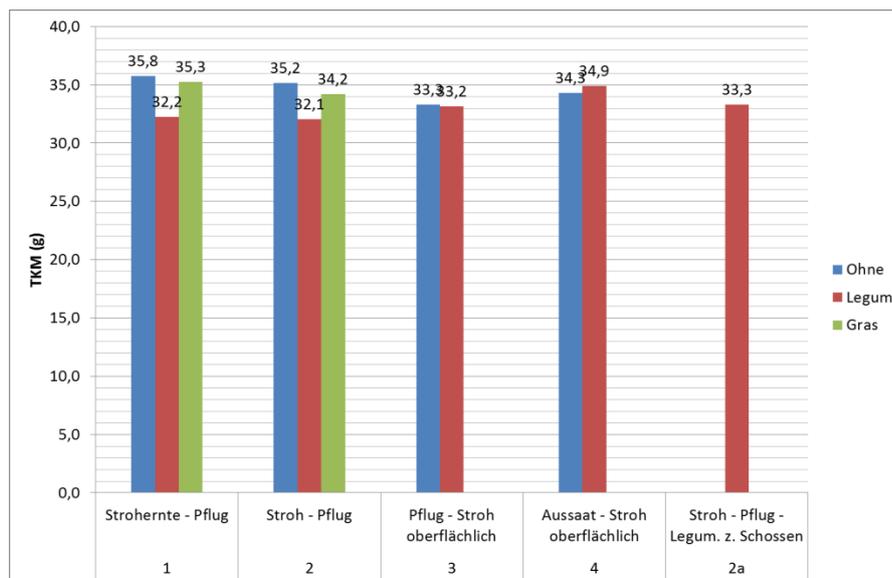


Abbildung 12: Durchschnittliche TKM mit Spelz der Versuchsvarianten

Die Strohzufuhr vor dem Pflügen führte zu einer geringfügigen Abnahme der TKM, während bei später oberflächlicher Strohausbringung eine Wechselwirkung mit der Gründüngung zu erkennen ist. In den Varianten ohne Gründüngung kommt es nach später Strohzufuhr zu einer Abnahme und nach Leguminosenzufuhr zu einer ähnlich ausgeprägten Anhebung der TKM. Auch nach später Applikation der Leguminosen sind die TKM-Werte etwas angestiegen (Var. b2 u. Var. b2a, Abb. 12). Von den wesentlichen Vergleichsvarianten (ohne Strohzufuhr = 100 %) können folgende TKM-Werte festgestellt werden (Varianten s. Tab. 5):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -0,6 g (-1,7 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -0,1 g (-0,3 %)

- Var. c1 – c2 Gras: -1,1 g (-3,1 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: -2,0 g (-5,6 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: +1,9 g (+5,8 %)

4.4.2 Rohfettgehalt

Auf den Rohfettgehalt im Haferkorn haben die geprüften Gründüngungsmaßnahmen nur einen geringen Einfluss (Abb. 13). Lediglich durch die späte Applikation von Leguminosengrünmasse scheint die Fetteinlagerung ins Korn zu Gunsten der Rohproteinspeicherung etwas reduziert worden zu sein (Var. 2a, Abb. 13). In die gleiche Richtung, nur noch etwas geringer ausgeprägt, haben die verschiedenen Strohdüngungsmaßnahmen in den folgenden Varianten die Rohfettgehalte etwas reduziert (ohne Strohzufuhr = 100 %, Var. s. Tab. 5):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -0,13 % TM (-2,6 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -1,10 % TM (-21,9 %)
- Var. c1 – c2 Gras: -0,01 % TM (-0,2 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: -0,22 % TM (-4,5 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: -0,13 % TM (-2,6 %)

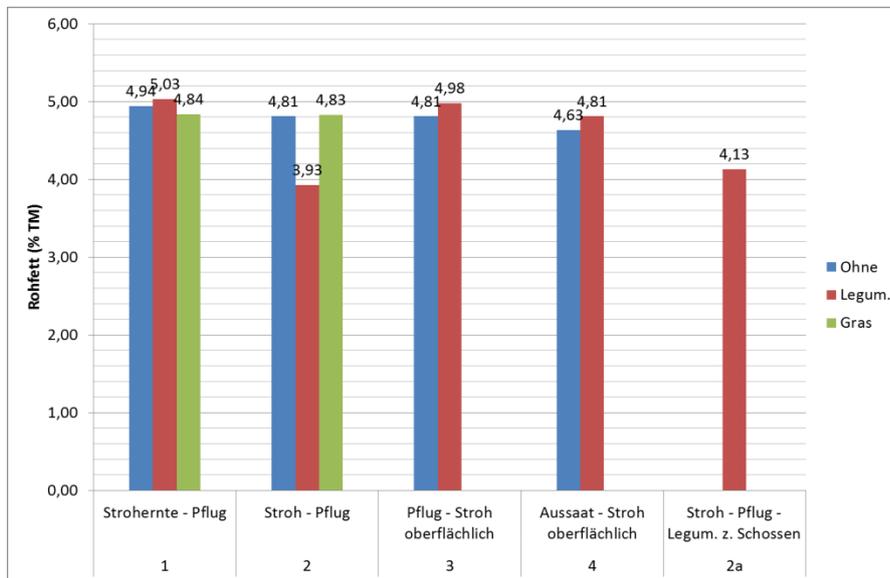


Abbildung 13: Gehalte an Rohfett von Hafer im Durchschnitt von zwei Versuchsjahren

4.4.3 Rohproteingehalt

Die Gründüngung mit Leguminosen und Gras zeigte eine positive Wirkung auf die Rohproteingehalte (Abb. 14). Die größte Wirkung verzeichnete dabei die Leguminosengabe zum Schossen, sodass eine Steigerung von >1 % erreicht werden konnte. Aber auch die Düngung mit Leguminosen und Gras vor der Aussaat führte zu einer Steigerung der Gehalte. Im Durchschnitt wurden die Gehalte um 0,6 % Rohprotein durch die Maßnahmen der Gründüngung angehoben.

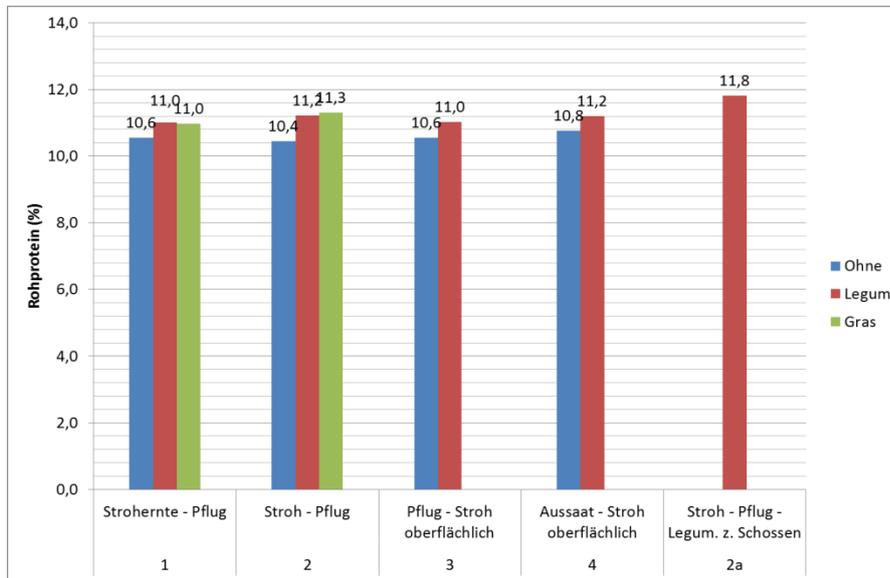


Abbildung 14: Durchschnittliche Rohproteingehalte im Korn (86 % TM)

Beim Merkmal Rohprotein war eine gering ausgeprägte Wechselwirkung zwischen bestimmten Varianten zu erkennen. Während die Strohdüngung ohne Gründüngung zu einer geringen Absenkung der Gehalte an Rohprotein führte, erfolgte nach Gründüngungsmaßnahmen ein ausgeprägter Anstieg der Werte (Varianten ohne Strohdüngung = 100 %, Rohproteinwerte bei 86 % TM):

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -0,2 % Rohprotein (-1,9 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: +0,2 % Rohprotein (+1,8 %)
- Var. c1 – c2 Gras: +0,3 % Rohprotein (+2,7 %)
- Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: +0,1 % Rohprotein (+0,9 %)
- Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: +0,1 % Rohprotein (+0,9 %)

4.5 Ergebnisse zur Nährstoffbilanzierung

4.5.1 Nährstoffentzüge für Stickstoff

Die Nährstoffentzüge durch den Kornertrag umfassen ungefähr 80 % des Gesamtentzuges (Korn + Stroh) des Hafers. Der Einfluss der Behandlungsvarianten ist ähnlich dem der Kornerträge ausgeprägt (vgl. Abb. 8 mit Abb. 15). Die Varianten mit Gründüngung haben zu einem Anstieg der N-Entzüge um durchschnittlich 23 kg N/ha bei der Leguminosenzufuhr und um ca. 28 kg N/ha bei Graszufuhr im Vergleich zur Variante ohne Gründüngung geführt. Späte oberflächliche Ausbringung von Leguminosengrünmasse hatte zwar zu einem deutlichen Anstieg der Rohprotein-Gehalte beigetragen, die N-Entzüge sind dennoch geringer als bei Gründüngung vor dem Pflügen (Var. b2 im Vergleich mit Var. b2a, Abb. 15). Der Einfluss der Strohzufuhr ist bei den N-Entzügen sehr gering, aber in allen Strohdüngungsvarianten gleichsinnig ausgeprägt. Im Vergleich zu den Standardvarianten ohne Strohzufuhr (= 100 %), sind für die N-Entzüge folgende Werte in den Varianten mit Strohdüngung berechnet worden:

- Var. a1 – a2 Ohne Gründüngung: -5,6 kg/ha (-7,4 %)
- Var. b1 – b2 Leguminosen: -0,5 kg/ha (-0,5 %)
- Var. c1 – c2 Gras: -1,0 kg/ha (-1,0 %)

■ Var. a1 – a3/a4 Ohne Gründüngung: -0,9 kg/ha (-1,2 %)

■ Var. b1 – b3/b4 Leguminosen: -0,4 kg/ha (-0,4 %)

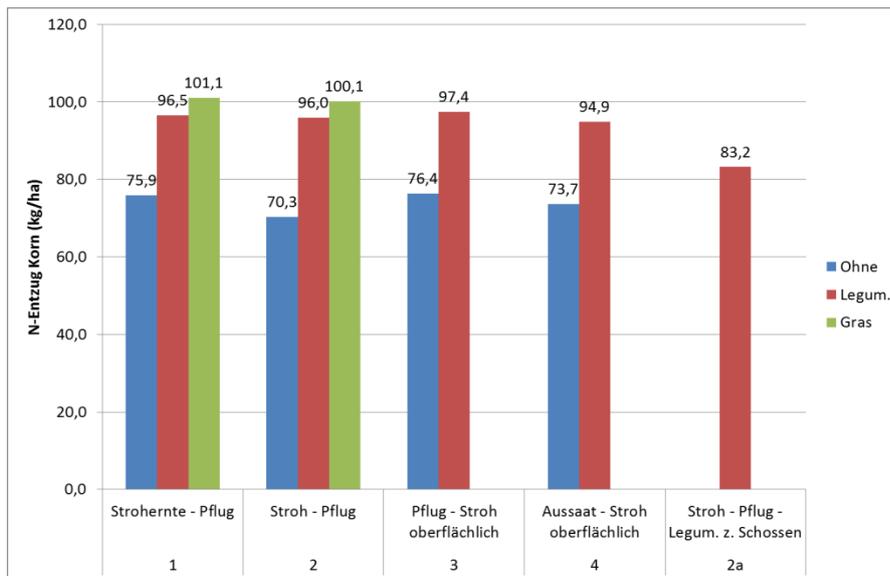


Abbildung 15: N-Entzug durch den Kornertrag der Versuchsvarianten mit Grün- und Strohdüngung

4.5.1 Nährstoffsalden

Für alle Versuchsjahre sind für die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und für Kohlenstoff einfache Schlagbilanzen für das jeweilige Anbaujahr berechnet worden. Weitere Einflussgrößen für die Stickstoffbilanz wie Immission, Denitrifikation, asymbiotische N-Bindung blieben unberücksichtigt. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der durchschnittlichen Bilanzen über drei Versuchsjahre aufgeführt worden. Es erfolgte eine Saldierung aller quantifizierbaren Nährstoffmengen, die in den einzelnen Varianten dieser Versuche zu- und abgeführt wurden. Dabei umfasste die Zufuhr das Stroh der Vorfrucht und die Grünmasse an Leguminosen und Gras, die aus den applizierten Mengen und deren Nährstoffgehalten berechnet wurden. Die Abfuhr enthielt das geerntete Korn und das von der Fläche abgefahrene Stroh. Der dann ermittelte Nährstoffsaldo entsprach den Verlusten bzw. dem Gewinn an Nährstoffen auf der Fläche. Bei dem Versuchsglied Strohernte – Pflug entsprechen die Salden den Entzügen.

Tabelle 9: Durchschnittliche Schlagsalden für Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kohlenstoff (kg Reinnährstoff/ha) im Durchschnitt der Versuchsjahre

Varianten	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium	Kohlenstoff
a1 Strohernte – Pflug	-91,1	-16,4	-74,8	-6,2	-37,2
a2 Strohzufuhr – Pflug	-58,7	-11,3	-10,9	-1,5	-14,6
a3 Pflug – Stroh oberflächlich	-69,0	-12,9	-34,2	-2,6	-20,8
a4 Aussaat – Stroh oberflächlich	-71,4	-13,0	-21,0	-2,4	-16,8
b1 Strohernte – Legum. – Pflug	0,3	-9,7	-17,0	4,1	-14,2
b2 Stroh – Legum. – Pflug	23,3	-5,4	48,9	8,0	-12,5
b2a Stroh – Pflug – Legum. zum Schossen	40,2	-4,0	49,8	8,5	-8,3
b3 Strohernte – Legum. – Pflug – Stroh	25,0	-6,1	35,4	7,8	-15,6
b4 Strohernte – Legum. – Stroh n. Aussaat	27,1	-6,6	37,2	8,3	-14,5

Varianten	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium	Kohlenstoff
c1 Strohernte – Gras – Pflug	-32,6	-10,9	-20,3	1,3	-38,0
c2 Stroh – Gras – Pflug	6,5	-5,3	36,3	6,2	-16,5

Die Stickstoffbilanz fällt bei der Abfuhr des Strohs mit -91 kg N/ha deutlich negativ aus. Aber auch die Strohzufuhrvarianten mit Einarbeitung und oberflächlicher Ausbringung weisen negative Bilanzen von -60 kg bis -70 kg N/ha auf. Wird das Stroh abgefahren und Leguminosenmasse zugeführt, wird die Bilanz leicht positiv. Die Zufuhr von Leguminosenmasse bringt so viel Stickstoff in das System zurück, dass in den Varianten mit Strohdüngung und Leguminosengründung positive Bilanzen von +23 kg bis +40 kg N/ha verzeichnet werden können. Bei den Varianten mit Strohabfuhr in Verbindung mit Graszufuhr ergeben sich noch geringfügig negative Salden. Wird das Stroh auf der Fläche belassen und Grasmasse zugeführt, werden die Bilanzen mit +7 kg N/ha positiv (Tab. 9).

Beim Phosphor zeigen alle Varianten negative Bilanzen von -16 kg bis -4 kg P/ha. Das bedeutet, dass die Rückführung an P über Stroh und Grünmasse die Abfuhr über Korn und Stroh nicht ausgleicht. Die Bilanzen von Kalium zeigen ähnliche Tendenzen wie beim Stickstoff auf. Bei der Abfuhr des Strohs entsteht eine negative Bilanz von -75 kg K/ha. Aber im Unterschied zum Stickstoff weisen alle Varianten mit Strohabfuhr und Strohzufuhr ohne Gründung negative Bilanzsalden von -34 kg bis -11 kg K/ha auf. Bei Zufuhr von Stroh in Verbindung mit der Zufuhr von Grünmasse werden die Bilanzen positiv. Die Magnesiumbilanz ist bei Strohabfuhr und den Strohzufuhrvarianten ohne Gründung leicht negativ.

Für die Bilanzierung von Kohlenstoff wurde für die Abfuhr ein Gehalt von 43 % C im Korn und im Stroh angesetzt. Die Salden fallen im gesamten Versuch negativ aus. Die Abfuhr von Kohlenstoff mit Korn und Stroh übersteigen in allen Varianten die Zufuhr über Stroh und Gründung. Zur Beurteilung der gerechneten C-Bilanzen muss aber hinzugefügt werden, dass mit den Ernte- und Wurzelrückständen auch wieder Kohlenstoff in den Boden eingebracht wird, was in diesen Bilanzen nicht berücksichtigt worden ist.

4.6 Multivariate statistische Untersuchung der Wirkung einer Strohdüngung

Wie die bisher herausgearbeiteten Ergebnisse gezeigt haben, treten bei einigen Merkmalen zwar immer wieder Unterschiede zwischen ohne und mit Strohdüngung auf, die bei univariater statistischer Prüfung mit den regulären Verfahren der Varianzanalyse aber nicht signifikant sind. In diesen Fällen kann durch eine multivariate Verrechnung der Merkmale oft Abhilfe geschaffen werden. Bei einer multivariaten Verrechnung werden die statistischen Eigenschaften mehrerer Merkmale einer Variante gleichzeitig betrachtet und gewichtet. Hierdurch kann es zu einer besseren statistisch-gesicherten Trennung zwischen Varianten kommen, die durch relativ geringe Unterschiede gekennzeichnet sind. Im vorliegenden Datenmaterial kam die Diskriminanzanalyse (DA) zur Anwendung. Hierfür wurden durch Aggregation der Daten für ausgesuchte Merkmale zwei so genannte Variantengruppen ohne und mit Strohzufuhr gebildet und mit Hilfe der schrittweisen Diskriminanzanalyse getestet (Tab.10).

Tabelle 10: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (DA) zur Trennung der Variantengruppen ohne und mit Strohzufuhr

DA-Schritt	Merkmal	Dimension	Ohne Stroh	Mit Stroh	Wilks' Lambda-Test	Signifikanz	Rel. Bedeutung (%)	Rang
Aufgenommene Merkmale								
1	Kornertrag	(dt/ha)	50,2	48,2	0,1	***	27,7	2
2	TKM	(g)	34,8	34,2	0,0	***	23,3	3
3	Wuchshöhe	(cm)	86,0	88,5	0,0	***	31,0	1
4	Chlorophyllgehalt	(rel. Wert)	49,4	48,9	0,0	**	8,6	5
5	Strohertrag	(dt/ha)	35,0	31,6	0,0	*	9,4	4
Nicht aufgenommene Merkmale								
-	Rohproteingehalt	(%)	10,8	10,9	-	-	-	-
-	Rispenzahl	(Anzahl/m ²)	349,2	366,8	-	-	-	-
-	N _{min} (Mittelwert)	(kg/ha)	44,6	40,6	-	-	-	-

Für jede der zwei Gruppen wurden die Merkmale Kornertrag, Strohertrag, Wuchshöhe, Rispenanzahl, Tausendkornmasse, Chlorophyllgehalt der Blätter, Rohproteingehalt des Korns und der mittlere N_{min}-Gehalt des Bodens in 0 – 60 cm Tiefe in die Analyse eingeführt. Hiervon wurden auf Grund von Toleranzgrenzen die Merkmale Rohprotein, Rispenanzahl und N_{min} nicht in die DA aufgenommen. Zwischen einigen der nicht aufgenommenen Merkmale bestehen relativ hohe Korrelationen mit Merkmalen, die in die DA aufgenommen worden sind. In diesen Fällen wird nur eines der Merkmale aufgenommen, die DA-Ergebnisse können dann aber oft für beide Merkmale angenommen werden. So bestehen relativ enge positive Korrelationen zwischen der Rispenzahl und der Wuchshöhe sowie zwischen den N_{min}-Werten des Bodens und den Chlorophyllgehalten der Haferblätter.

Insgesamt ist eine noch als gut zu bezeichnende DA-Trennung (***) zwischen den Merkmalgruppen ohne und mit Strohdüngung gelungen, die in der Klassifizierungsprüfung eine zu 75 % richtige Zuordnung der Werte erreichte. Die Wuchshöhe, der Kornertrag und die TKM waren in der genannten Rangfolge mit insgesamt 82 % die drei wichtigsten Merkmale, die zur Trennung entscheidend beigetragen haben. Aber auch der Strohertrag und die Chlorophyllwerte – und damit auch die N-Ernährung des Hafers – haben einen signifikanten Beitrag geleistet.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wirkung von Varianten der Strohdüngung bzw. oberflächennahen Strohzufuhr in Kombination mit Gründüngungsmaßnahmen auf Ertrags- und Qualitätsparameter von Hafer zu untersuchen. Dazu wurden 3-jährige Feldversuche (2003 – 2005) auf einem schluffigen Lehmboden auf dem Ökofeld der Versuchsstation in Roda (Landkreis Leipzig) angelegt.

In den Untersuchungen konnten folgende Ergebnisse ermittelt werden: Die C/N-Verhältnisse im zugeführten Stroh betragen Werte von 58 bis 105. Nach einer Strohdüngung in Höhe von 50 dt FM/ha (~44 dt TM/ha) waren die durchschnittlichen N_{\min} -Gehalte im Frühjahr zu Vegetationsbeginn mit 46 kg N/ha im Vergleich zu der Variante ohne Strohdüngung mit 52 kg N/ha um 6 kg N/ha vermindert. Eine Düngung mit extern erzeugter Grünmasse in Form von Leguminosen- und Grashäcksel konnte demgegenüber die N_{\min} -Gehalte im Boden deutlich steigern. Dabei gab es kaum Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Strohzufuhr. Mit Leguminosen-Gründüngung wurden N_{\min} -Werte im Frühjahr von 61 – 75 kg N/ha erreicht. Die Düngung mit Gras führte zu N_{\min} -Gehalten zwischen 62 kg und 68 kg N/ha.

Diese unterschiedlich hohe Stickstoffversorgung in den einzelnen Varianten zeigte sich auch in den gemessenen Chlorophyllgehalten in den Haferblättern zum Zeitpunkt Schossen. Eine Wirkung der unterschiedlichen Düngungsformen auf den Ertrag des Hafers konnte nachgewiesen werden. Der Ertragsrückgang beim Kornertrag in den Varianten mit Strohdüngung gegenüber ohne Strohdüngung betrug durchschnittlich 5 % und war in der statistischen Prüfung mit Hilfe der Varianzanalyse nicht signifikant. Die Varianten mit Strohecke unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant von den Varianten mit Strohdüngung und ohne Strohdüngung.

Durch die Zufuhr von Grünmasse in Form von Leguminosen und Gras konnte die Gesamtwirkung der Düngung deutlich verbessert werden und es zeigten sich signifikante Ertragssteigerungen. Die Ertragszuwächse beliefen sich nach Leguminosendüngung mit und ohne Strohzufuhr auf durchschnittlich 25 %. Die Zufuhr von Grasaufwüchsen führte in allen Jahren zu signifikanten Ertragszuwächsen von 30 % in den Varianten ohne Stroh bzw. von 27 % in den Varianten mit Stroh. Alle Formen der Gründüngung führten auch zu signifikant höheren Stroherträgen bei der Hafer-Nachfrucht. Mit einer Leguminosengründüngung kam es zu einer Steigerung der Stroherträge um 15 % und mit einer Grasdüngung konnten sogar 29 % höhere Stroherträge erreicht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung verdeutlichen den positiven Effekt einer kombinierten Stroh- und Gründüngung auf den Korn- und Strohertrag der direkten Nachfrucht.

Etwas schwieriger gestaltete sich der Nachweis der Strohdüngung auf Boden- und Pflanzenmerkmale der nachgebauten Fruchtart. An Hand der gebildeten Mittelwerte konnten immer wieder geringe Wirkungen auf verschiedene Merkmale aufgezeigt werden. Nach Strohdüngung waren neben den etwas geringeren N_{\min} -Gehalten im Boden und Chlorophyllwerten in den Haferblättern oft niedrigere Korn- und Stroherträge und eine etwas höhere Wuchshöhe aufgetreten. Bei monovariater statistischer Verrechnung sind aber keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Daraufhin wurde an einem gesondert zusammengestellten Datenmaterial ein multivariater Test mit Hilfe der Diskriminanzanalyse für zwei Gruppen mit und ohne Strohzufuhr vor dem Pflugeinsatz durchgeführt. Die schrittweise Diskriminanzanalyse führte schließlich zu einer signifikanten (**) Trennung zwischen diesen beiden Gruppenvarianten an Hand folgender Merkmale: Wuchshöhe (31 %), Kornertrag (28 %), TKM (23 %), Strohertrag (9 %) und Chlorophyllgehalt (9 %).

Zusammenfassend kann auf Grund dieser Ergebnisse ausgesagt werden, dass eine Strohdüngung über eine reduzierte N-Ernährung (N_{\min} , Chlorophyll), aber auch anderen Wirkungen des Stroh auf Bodeneigenschaften

ten, einerseits zu einer gewissen Stimulierung des Längenwachstums und der Ährenzahl der Haferpflanzen und andererseits zu etwas niedrigeren Korn- und Stroherträgen und geringerer TKM geführt hat. Besonders die niedrigeren Kornerträge waren immer wieder verhältnismäßig stabil aufgetreten. Andere Merkmale waren durch eine höhere Streuung und zudem durch häufig auftretende Wechselwirkungen schwerer einzuschätzen.

6 Literaturverzeichnis

- ALBERT, E. (1999): Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalt, Netto-N-Mineralisierung und N-Bilanz. *Archiv Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde* 46, 187-213.
- ASMUS, F. & H. GÖRLITZ (1991): Zur Bedeutung der Wirkung der Strohdüngung. *Feldwirtschaft* 32, 470-472.
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1959): Das Zusammenwirken von Gründüngung und Stickstoffdüngung auf den C- und N-Umsatz im Boden. *Zeitschrift Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 84, 85-93.
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1964): Die Verwertung der Strohernten als Strohdüngung. *Arbeiten der DLG* 96, DLG-Verlag, Frankfurt.
- BOGUSLAWSKI, E. v. (1992): Die Wirkung verschiedener organischer Dünger auf die Ertragsbildung und Faktoren der Bodenfruchtbarkeit. *VDLUFA-Schriftenreihe* 33, Kongressband 1991, 673-683
- DEBRUCK, J. (1976): Untersuchungen über getreidereiche Fruchtfolgen unter besonderer Berücksichtigung der mineralischen und organischen Düngung. *Dissertation, Univ. Gießen.*
- DIEZ, TH.; TH. BECK; R. BRANDHUBER; P. CAPRIEL & M. KRAUSS (1997): Veränderungen der Bodenparameter im internationalen organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV) Puch nach 12 Versuchsjahren. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 113-121.
- ELLMER, F. & M. BAUMECKER (2002): 65 Jahre Thyrower Dauerfeldversuche. Ergebnisse für nachhaltigen Pflanzenbau auf sandigen Böden. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 48, 521-531.
- FRIEBE, B. (1992): Strohabbau im Ackerboden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. In: FRIEBE, B. (Hrsg.), *Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden*. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 131-138.
- FRIEBE, B. & A. GRAMS (1990): Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf Strohabbau und Besiedlung des Stroh mit Bodentieren – ein Netzbeutelversuch. *Verh. Ges. Ökol.* 19 (2), 276-281.
- GUTSER, R. & K. VILSMEIER (1988): Mineralisierung verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen. *Kali-Briefe* 19 (3), 199-211.
- HAAS, G. (2004): Stickstoffversorgung von Weißkohl, Silo- und Körnermais durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen. *Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau*, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HAIDER, K. & J. P. MARTIN (1979): Abbau und Umwandlung von Pflanzenrückständen und ihren Inhaltsstoffen durch die Mikroflora des Bodens. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 142, 456-475.
- KAHLE, P. & H. SCHULZ (1994): Einfluss von Gülle, Stroh und Gründüngung auf ausgewählte fruchtbarkeitsrelevante Eigenschaften eines lehmigen Sandbodens. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 38, 59-67.
- KAHNT, G. (1983): Gründüngung. *DLG-Verlag*, Frankfurt/Main.
- KLIMANEK, E. M. (1997): Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten für die organische Substanz des Bodens. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 485-511.
- KLIMANEK, E. M. & P. ZWIERS (1992): Die chemische Zusammensetzung von Ernte- und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 36, 431-439.
- KLIMANEK, E. M. & E. SCHULZ (1997): C/N-Transformationsprozesse beim Umsatz von organischer Primärschubstanz (OPS) im Boden. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 513 – 525.

- KÖHN, W. & P. LIMBERG (1996): Der internationale organische Stickstoffdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem nach drei Rotationen. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 40, 75-95.
- KOLBE, H. (1990): Kartoffeldüngung unter differenzierten ökologischen Bedingungen. Severin Verlag, Göttingen.
- KOLBE, H.; M. SCHUSTER; M. HÄNSEL; A. GRÜNBECK; I. SCHLIEßER; A. KÖHLER; W. KARALUS; B. KRELLIG; R. POMMER & B. ARP (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de>
- KOLLER, M.; A. VIEWEGER; R. TOTAL; R. BAUERMEISTER; D. SUTER & P. MÄDER (2008): Stickstoffwirkung von Gründüngungen auf Bio-Weißkohl. *Agrarforschung* 15 (6), 264-269.
- KÖNIG, U. J. (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Schriftenreihe Band 6, Institut f. biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.
- KÖRSCHENS, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 41, 435-463.
- KRAUSS, M. & U. HEGE (1999): Erträge und N-Verbleib im internationalen organischen Stickstoffdüngungsversuch (IOSDV) Puch. *Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde* 44, 457-471.
- KUNDLER, P. & M. SMUKALSKI (1983): Einfluß mineralischer und mineralisch-organischer Düngung auf ausgewählte Bodenfruchtbarkeitsparameter eines grundwasserfernen Sandes. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 27, 307-315.
- KUZYAKOV, Y.; J. K. FRIEDEL & K. STAHR (1997): Die häufigsten Ursachen und Quantifizierung von Priming-Effekten. Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Konstanz. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 6.-14.09.1997.
- LEITHOLD, G., C. BROCK, U. HOYER & K.-J. HÜLSBERGEN (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: *Bewertung ökologischer Anbausysteme*, KTBL Schrift 458, 24-50.
- LOSCHAKOW, V. (2002): Einfluss der langjährigen Stoppelfruchtgrün- und Strohdüngung auf die Fruchtbarkeit von Rasenpodsolböden und den Kornenertrag in Getreidefruchtfolgen. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 48, 593-602.
- NIEDER, R. & J. RICHTER (1989): Die Bedeutung der Umsetzung von Weizenstroh im Hinblick auf den C- und N-Haushalt von Löss-Ackerböden. *Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde* 152, 415-420.
- NAWRATH, M. (1998): Einfluss von organischer Düngung (Stroh- und Gründüngung, Stallmist) auf Humusgehalt, Humusqualität und Pflanzenertrag. Dissertation, Univ. Gießen.
- NAWRATH, M. & M. ZOSCHKE (1995): Zur Wirkung langjähriger Stroh- und Gründüngung auf Bodeneigenschaften und Pflanzenertrag (Dauerfeldversuch auf einer Löss-Parabraunerde). *Gießener Beiträge aus Pflanzenbau und Züchtung*, 121-136.
- MENGEL, K. (1991): *Stoffwechsel und Ernährung der Pflanze*. 7. Auflage, Fischer Verlag, Jena.
- OTTOW, J. C. G. (2011): *Mikrobiologie von Böden*. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg.
- PAUL, E. A. & F.E. CLARK, (1988): *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego, USA.
- REICHE, D. (1974): Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur, Feuchtigkeit und Lagerungsdichte des Bodens sowie einer Strohdüngung auf die biologische Festlegung und Mineralisierung des Stickstoffs im Boden. Dissertation, Univ. Halle.
- ROGASIK, J.; S. OBENAUF; M. LÜTTICH & R. ELLERBROCK (1997): Faktoreinsatz in der Landwirtschaft – ein Beitrag zur Ressourcenschonung. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 42, 247-263.

- SAUERBECK, D. R. & M. A. GONZALEZ (1977): Field decomposition of carbon-14-labelled plant residues in various soils of the Federal Republic of Germany and Costa Rica. In: Proceeding of a symposium on organic matter studies, International Atomic Energy Agency and FAO (Hrsg.), Vol. I, Soil organic matter studies, IAEA, Wien, 159-170.
- SAUERLANDT, W. & C. TIETJEN (1970): Humuswirtschaft des Ackerbaus. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- SCHERER, H. W., WERNER, W. & U. ORTSEIFEN (1990): N-Haushalt und N-Nachlieferungsvermögen einer Lößparabraunerde nach langjähriger Strohdüngung mit unterschiedlichen N-Düngeformen. VDLUFA-Schriftenreihe 32, Kongressband 1990, 199-203.
- SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SCHMEER, H. (1984): Einfluss der Strohdüngung auf gasförmige Stickstoffverluste und die Stickstoffmobilisierung in Ackerböden. Dissertation, Univ. Gießen.
- SCHNIEDER, E. (1972): Die Humusdynamik im Thyrower Dauer-Düngungsversuch. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 16, 679-687.
- SCHNIEDER, E. (1980): Einfluss der organischen Düngung auf den Ertrag und den Humushauhalt in den 40jährigen Thyrower Dauerversuchen. Dissertation, Univ. Berlin.
- SCHNIEDER, E. & W. BREUNIG (1978): Ergebnisse eines 15-jährigen Dauerversuches mit Stroh und Stallmist. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 22, 653-660.
- SCHOPFER, P. & A. BRENNICKE (2010): Pflanzenphysiologie. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- SCHRÖDER, D. & H. GEWEHR (1977): Stroh- und Zelluloseabbau in verschiedenen Bodentypen. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 140, 273-284.
- SPRINGER, U. & A. LEHNER (1951): Stoffabbau und Humusaufbau bei der aeroben und anaeroben Zersetzung landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich wichtiger organischer Stoffe. Zeitschrift Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 58 (103), 193-231.
- STOCKFISCH, N. (1997): Strohabbau durch Mikroorganismen und Regenwürmer in zwei Bodenbearbeitungssystemen. Dissertation, Univ. Göttingen.
- TAMM, E. & G. KRZYSCH (1966): Zur Intensität des Abbaus organischer Düngestoffe im Winterhalbjahr. Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau 123, 101-111.
- THOMSEN, I. K.; M. SAMSON, M.; CARCEA & V. NARDUCCI (2011): The influence of long-term inputs of catch crops and cereal straw on yield, protein composition and technological quality of a spring and winter wheat. International Journal of Food Science and Technology 46, 216-220.
- WIEDOW, D. (2007): Beschleunigung des Strohabbaus in Ackerböden, Selektion saprotropher Pilze und Nachweis ihrer Wirksamkeit. Dissertation, Univ. Rostock.

7 Anhang

Tabelle A1: Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen

Versuchsjahr 2002/03	
Ausbringung Häcksel (Stroh, Gründüngung)	05.11.2002 (Prüfglieder a2, b1, b2, b2a, b3, b4, c1, c2)
Bodenbearbeitung	07.11.2002 Pflügen
Ausbringung Strohäcksel	13.11.2002 (Prüfglieder a3, b3)
Aussaat Hafer	25.03.2003
Ausbringung Strohäcksel	12.04.2003 (Prüfglieder a4, b4)
Striegeln	06.05.2003 (außer Prüfglied a4, b4) 21.05.2003
Ausbringung Leguminosenäcksel	28.05.2003 (Prüfglied b2a)
Ernte	31.07.2003
Versuchsjahr 2003/04	
Ausbringung Häcksel (Stroh, Leguminosen)	23.10.2003 (Prüfglieder a2, b1, b2, b2a, b3, b4, c1, c2)
Bodenbearbeitung	28.10.2003 Pflügen;
Ausbringung Strohäcksel	14.11.2003 (Prüfglieder a3, b3)
Bodenbearbeitung	30.03.2004 Kreiselegge
Aussaat Hafer	01.04.2004
Walzen und Striegeln	05.04.2004
Ausbringung Strohäcksel	16.04.2004 (Prüfglieder a4, b4)
Ausbringung Legum.-Häcksel	20.05.2004 (Prüfglied b2a)
Ernte	19.08.2004
Versuchsjahr 2004/05	
Ausbringung Häcksel (Stroh, Leguminosen)	25.10.2004 (Prüfglieder a2, b1, b2, b2a, b3, b4, c1, c2)
Bodenbearbeitung	04.11.2004 Pflügen
Ausbringung Strohäcksel	08.11.2004 (Prüfglieder a3, b3)
Bodenbearbeitung	04.04.2005 Kreiselegge und Saatbettkombination (Grubber und Egge)
Aussaat Hafer	05.04.2005
Walzen	06.04.2005
Ausbringung Strohäcksel	13.04.2005 (Prüfglieder a4, b4)
Ausbringung Legum.-Häcksel	02.06.2005 (Prüfglied b2a)
Ernte	18.08.2005

Inhalt

1	Standort- und Wirtschaftsbedingungen	46
1.1	Fruchtfolge	46
1.2	Material und Methoden.....	47
2	Ergebnisse	48
2.1	Erträge.....	48
2.2	Entwicklung der Bodennährstoffgehalte	51
2.3	Nährstoffbilanzen	52
2.4	Humusbilanz.....	53
3	Schlussfolgerungen	54
4	Ausblick	55
5	Literaturverzeichnis	56
6	Anhang	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zusammenhang zwischen dem Kornertrag an Winterweizen und der Niederschlagsmenge von April bis Juli	50
Abbildung 2:	Vergleich zwischen Grünland- und Luzerneerträgen sowie den Niederschlagsmengen der Jahre 2001–2010.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standortbedingungen des LVG Köllitsch	46
Tabelle 2:	Fruchtfolgevarianten im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch	47
Tabelle 3:	Übersicht der Ernteerträge im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch von 2001 bis 2010	48
Tabelle 4:	Entwicklung der Bodennährstoffgehalte auf den Schlägen 52 und 63	51
Tabelle 5:	N _{min} -Gehalte im Frühjahr	52
Tabelle 6:	Nährstoffsalden der Fruchtfolgevarianten im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch	53
Tabelle 7:	Übersicht über die Humussalden (Humusäquivalente, kg C/ha und Jahr) der Fruchtfolgevarianten im Ökolandbau des LVG Köllitsch.....	53
Tabelle 8:	Einstufung Boden-pH-Werte für sandigen Lehm bei Humusgehalten unter 4 %	57
Tabelle 9:	Gehaltsklassen Phosphor, Kalium, Magnesium für sandigen Lehm	57
Tabelle 10:	Humuseinstufung	57

Abkürzungsverzeichnis

BEFU	Programm zur Düngebedarfsermittlung (abgeleitet von <u>B</u> estandes <u>f</u> uehrung)
CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
FM	Frischmasse
HÄQ	Humusäquivalente
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
IS	lehmiger Sand
LVG	Lehr- und Versuchsgut
NS	Niederschlag
sL	sandiger Lehm
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Standort- und Wirtschaftsbedingungen

Das Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch bewirtschaftet seit dem Jahr 2000 ca. 47 ha Ackerland und 40 ha Grünland ökologisch nach den Vorschriften der EG-Öko-Verordnung (Nr. 834/2007) in einer 6-feldrigen Fruchtfolge. Nach 10 Jahren soll nunmehr eine Bewertung der Entwicklung der Erträge und der Bodenfruchtbarkeit erfolgen. Das LVG wird nicht nach der EG-Öko-Verordnung zertifiziert und gehört keinem Anbauverband an, weil die Erzeugnisse nicht als Bio-Ware vermarktet werden. Gleichwohl werden die Bewirtschaftungsvorgaben der EG-Öko-Verordnung eingehalten, weil mit der Öko-Bewirtschaftung der Lehr-, Demonstrations- und Untersuchungsauftrag des LVG zum Ökolandbau erfüllt wird.

Die ökologisch bewirtschafteten Flächen liegen in der Elbaue in der Wasserschutzzone 3 elbseits des Deiches, werden also bei entsprechendem Hochwasser (wie z. B. im Jahr 2002) überflutet. Die klimatischen Bedingungen, die Lage und die Bodenverhältnisse können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Standortbedingungen des LVG Köllitsch

Lage	
Landschaft	Leipziger Tieflandsbucht
Höhenlage	88 m über NN
Oberflächengestalt	eben
Klima	
Mittlerer Jahresniederschlag	542 mm
Niederschlag April – August	330 mm
Mittlere Jahrestemperatur	9,0 °C
Boden	
Bodenart	Alluvialer Auelehm, von Sandrücken durchzogen
Bodentyp	Al 3 Auelehm-Vega, Auelehm Vegagley
Durchschnittliche Bodenzahl	59 (50 – 80)

1.1 Fruchtfolge

Die sechsgliedrige Fruchtfolge des LVG wird variabel ausgestaltet. Zwei grundlegende Varianten können unterschieden werden: In der Futterfruchtfolge werden Silomais und Triticale als betriebseigene Futtermittel verwendet. Bei der Marktfruchtfolge werden stattdessen Körnermais und ein zweites Mal Winterweizen angebaut. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die zwei Varianten der Köllitscher Fruchtfolge.

Tabelle 2: Fruchtfolgevarianten im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch

Futterfruchtfolge Schlag 63, 2004 – 2009	Marktfruchtfruchtfolge Schlag 52, 2005 – 2010
Luzerne	Luzerne
Luzerne	Luzerne
Winterweizen	Winterweizen
Silomais	Körnermais
Erbse	Erbse
Triticale	Winterweizen

Für jede Fruchtfolgevariante wurden die mittleren Erträge aus den Schlagaufzeichnungen verwendet. In der Praxis wurde das Stroh immer für die Verwendung in der Tierproduktion abgefahren. Ein marktfruchtorientierter Betrieb ohne Tierhaltung würde es jedoch auf dem Feld belassen. Für den vorliegenden Vergleich wurden beide Varianten berechnet.

1.2 Material und Methoden

In diesem Bericht wird die ökologische Bewirtschaftung beginnend mit der Umstellung im Jahr 2000 bis zum Jahr 2010 beschrieben. Die Datenerfassung im LVG fand bis zum Jahr 2004 handschriftlich in Ackerschlagkarteien statt. Seit 2004 werden diese in dem Programm „AgroWin“ geführt.

Die Ackerflächen werden im 3-jährigen Rhythmus zu Vegetationsbeginn beprobt und auf die N_{\min} -Gehalte sowie die Grundnährstoffe untersucht. Die Nährstoffbilanzierung erfolgt mit dem Programm BEFU vergleichend einfach und erweitert (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2007). Die erweiterte Nährstoffbilanzierung berücksichtigt zusätzlich die asymbiotische N-Bindung durch Bodenbakterien, mit dem Saatgut eingebrachte Nährstoffmengen und den N-Eintrag aus der Atmosphäre.

Mit Humusbilanzen wird die Wirkung von Fruchtarten und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Humusgehalt des Bodens bewertet. Die durch Bodenuntersuchungen ermittelten Humusgehalte zeigen demgegenüber erst nach deutlich längeren Zeiträumen eine Veränderung. Sinnvoll ist es, mit der Humusbilanz immer eine gesamte Fruchtfolge zu bewerten. Für die Humusbilanz nach CC-Vorgaben wird die BEFU-Berechnung „einfache Humusbilanz VDLUFA untere Werte“ durchgeführt.

Die Humusumsetzung im Boden wird durch weitere Faktoren beeinflusst, die in der einfachen Humusbilanz keine Berücksichtigung finden:

- die Aktivität des Bodenlebens, welches wiederum von Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert und Nährstoffversorgung abhängig ist
- spezifische Standortfaktoren wie Höhenlage, Relief und Bodenart

Diese Faktoren werden bei der Berechnung der standortdifferenzierten Humusbilanz mit dem BEFU-Programm berücksichtigt, das somit ein realistischeres Bild der tatsächlichen Vorgänge widerspiegelt. Die differenzierte Humusbilanz wurde mit dem BEFU-Programm für beide Fruchtfolgevarianten berechnet (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2007).

Ziel einer nachhaltigen Bewirtschaftung ist es, ein Humussaldo in der Versorgungsgruppe C, im ökologischen Landbau -75 bis 400 kg Humusäquivalente (HÄQ) pro Hektar und Jahr, zu erhalten. Damit ist die langfristige Stabilität des Humusgehaltes gesichert. Für eine Erhöhung der Humusgehalte sind sowohl eine positive Humus- als auch eine positive Stickstoffbilanz nötig (HÜLSBERGEN & DIEPENBROCK 2000: Seite 6). Die verwendeten Versorgungsstufen für Bodennährstoffe befinden sich in den Tabellen 8–10 im Anhang.

2 Ergebnisse

2.1 Erträge

Die Ernteerträge werden in Tabelle 3 zusammengefasst, Kornerträge beziehen sich immer auf 86 % TS-Gehalt.

Tabelle 3: Übersicht der Ernteerträge im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch von 2001 bis 2010

Ertrag in dt/ha	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Ø
1. Luzerne TM	153	90 ¹	ne ²	104	28	32	51	38	27	99	69
2. Luzerne TM		96 ¹	79	(86) ³	91	56	62	76	82	87	79
3. Winterweizen Korn	39	38	23 ⁴	63	41	ne ⁵	39	54	39	56	44
4.a Silomais TM	100	ne ¹	84	77	41		ne ⁵	136	129		95
4.b Körnermais Korn						71				53	62
5. Erbse Korn	17	17	23	33	21	ne ⁵	21	16	26		22
6.a Triticale Korn	58	22 ⁶	52	57	56	58	32	Fruchtfolgeumstellung			48
6.b Winterweizen Korn								64	44	(40) ⁷	54

■ Ertrag liegt unter Mittelwert	1	Ernteaufälle durch Hochwasser	5	Kein Anbau wegen ungünstiger Aussaatbedingungen
■ Ertrag liegt über Mittelwert	2	Ernteaufälle durch Trockenheit		
ne Nicht erfasst	3	Saatgutgewinnung, unvollständige Ernte	6	Frühes, vollständiges Lager
() Vom Mittelwert ausgeschlossen	4	Auswinterung	7	Winterweizen nach Mais

Je Kultur wurden die über- (grün) bzw. unterdurchschnittlichen (gelb) Erträge farblich gekennzeichnet. Es wird deutlich, dass die Erträge stark schwanken, jedoch keine eindeutigen Tendenzen erkennen lassen.

Die geringen Weizenerträge der ersten drei Jahre wurden in den darauffolgenden Jahren teilweise erheblich gesteigert. Weil die Flächen in der Wasserschutzzone liegen, wurden sie bereits vor der Umstellung auf ökologischen Anbau extensiv bewirtschaftet. Aufgrund stark verringerter mineralischer Stickstoffdüngung konnte sich dabei wahrscheinlich kein Stickstoffdepot bilden, aus dem in den ersten Umstellungsjahren hätte gezehrt werden können.

Die erzielten Durchschnittserträge von 4,4 bzw. 4,8 t Getreide je Hektar entsprechen den auf diesem Boden zu erwartenden Erträgen. Der mittlere Erbsenertrag von 2,2 t je Hektar bleibt deutlich hinter den Erwartungen von 3 bis 4 t je Hektar zurück (KTBL 2009: Seite 841). Die größten Ertragsschwankungen weist die Luzerne im jeweils ersten Anbaujahr auf. Dabei scheint der Aussaattermin ein entscheidender Faktor zu sein. Eine Sommeraussaat im Vorjahr ermöglicht durch die längere Vegetationszeit eine höhere Anzahl an Schnitten im

ersten Erntejahr und damit höhere Erträge. So erfolgte für das Jahr 2004 die Aussaat am 17.07.2003, es wurden 104 dt TM je Hektar geerntet. Die Aussaat für das Jahr 2010 am 12.08.2009 erbrachte 99 dt TM je Hektar. Die Erträge beider Jahre liegen deutlich über dem Durchschnitt für das erste Anbaujahr.

Die angebauten Kulturen nutzen die Bodenfeuchte über Herbst und Winter gut aus. Deutlich wird dies im Jahr 2003: Von April bis Juli fielen mit 100 mm Niederschlag weniger als die Hälfte der üblichen Menge. Trotzdem erzielten Luzerne (2. Anbaujahr) und Triticale überdurchschnittliche Ernteergebnisse. Das Jahr 2007 brachte bei allen Kulturen unterdurchschnittliche Erträge. Dies ist wahrscheinlich auf das extrem trockene Frühjahr zurückzuführen: Im gesamten April fiel kein und in den übrigen Frühjahrsmonaten sehr wenig Niederschlag, sodass die Wintervorräte an Bodenwasser schnell erschöpft waren. Nachfolgende Niederschläge fielen in Zeiten hoher Verdunstungsraten und konnten die Bodenvorräte nicht wieder auffüllen.

Im Jahr 2002 vernichtete das Auguthochwasser einen Teil der Ernte. Im Jahr 2006 verhinderte das Frühjahrshochwasser die Aussaat von Erbsen und die Nachsaat von Weizen. Deshalb wurde in diesen Jahren Weidelgras angebaut und als Ackerfutter in der Tierproduktion eingesetzt.

Der zweijährige Luzerneanbau dient in dieser Fruchtfolge neben der Futtergewinnung vor allem der Stickstoffversorgung der Folgekulturen. Weil die Stickstoffanreicherung durch die Luzerne im Boden mit deren Erträgen korreliert, könnte auch ein Zusammenhang zwischen den Luzerneerträgen und den Erträgen der Folgekulturen vermutet werden. Korrelationsberechnungen konnten diesen Zusammenhang jedoch nicht bestätigen. Für die Berechnungen wurden von der Luzerne stets die Ergebnisse des zweiten Anbaujahres herangezogen, weil die Erträge des ersten Anbaujahres aus oben genannten Gründen zu stark schwanken.

Zwischen Luzerne (2. Anbaujahr) und Winterweizen (Folgejahr) ergab sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,099$ (8 Datenpaare). Luzerne (2. Anbaujahr) und Mais (2. Folgejahr) zeigt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,0211$ (7 Datenpaare). Ein Zusammenhang kann somit nicht nachgewiesen werden, andere Faktoren wie die Witterung beeinflussen offensichtlich die Ertragsbildung der Folgekulturen stärker.

Auch die Erbse wird als Leguminose neben der Futternutzung zur Stickstoffanreicherung eingesetzt. Der Zusammenhang zwischen den Erträgen von Erbse und der Folgefrucht Triticale zeigt mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,2441$ (5 Datenpaare) allenfalls einen schwachen Zusammenhang. Die geringe Anzahl gültiger Datensätze schränkt die Aussagekraft der Berechnungen zusätzlich ein.

Ein weiterer Zusammenhang kann zwischen der Niederschlagsmenge und den Erträgen herausgearbeitet werden, wobei für die Ackerkulturen besonders die Regenmengen in der Vegetationsphase von April bis Juli relevant sind. Die Niederschläge in diesem Zeitraum korrelieren mit dem Winterweizenertrag mit $R^2=0,4946$ (Abb. 1).

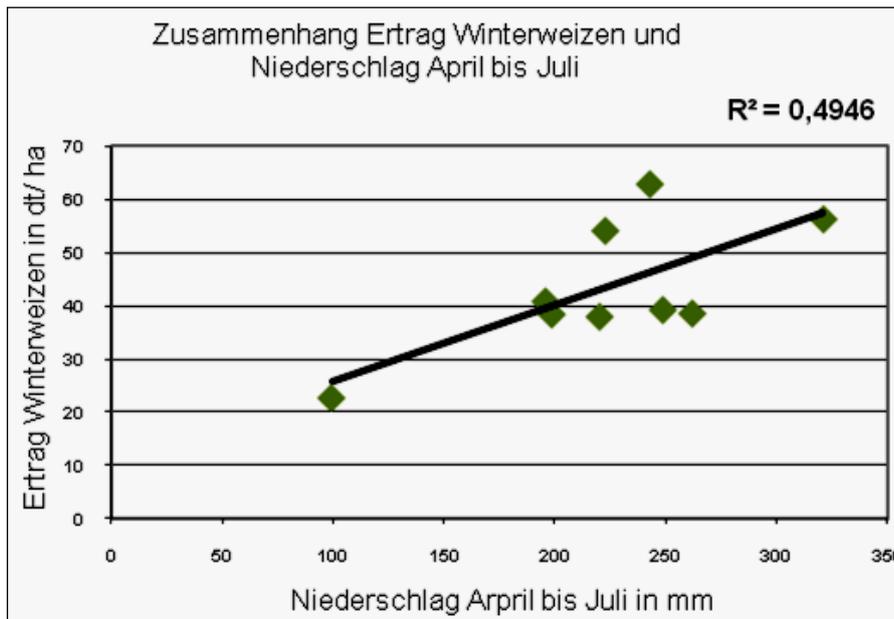


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag an Winterweizen und der Niederschlagsmenge von April bis Juli

Der Korrelationswert zwischen der Niederschlagsmenge und den Triticaleerträgen beträgt dagegen nur $R^2=0,1544$. Der Vergleich der Niederschläge mit dem Luzerneertrag zeigt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,1224$. Von einem Zusammenhang kann nicht gesprochen werden. Beide Fruchtarten können offensichtlich die Bodenwasservorräte gut erschließen und bringen damit auch in trockenen Jahren stabile Erträge.

Zwischen dem Gesamtjahresniederschlag und den Grünlanderträgen konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Abbildung 2 zeigt die Ertragsentwicklung auf den zwei ökologisch bewirtschafteten Grünlandschlägen Koppel 3 und Koppel 4. Für die Erfassung der Daten wurden die Erträge der Grundfutterwerbung und der Beweidung geschätzt. Koppel 3 zeigt sich dabei immer ertragsstärker als Koppel 4. Zum Vergleich wurde die Ertragsentwicklung der Luzerne im Ackerbau jeweils im 2. Anbaujahr (als Frischmasse = FM) wiedergegeben. In den Jahren 2001 bis 2003 sind vergleichbare fallende Tendenzen der Ertragshöhe erkennbar. Im Jahr 2006 dagegen scheint das Grünland den mangelnden Ertrag der Luzerne als Grundfutter mengenmäßig zu kompensieren. In den Jahren 2009 und 2010 ergibt sich ein gegenteiliges Bild: Luzerne erscheint ertragsstark, während das Grünland mit ca. 100 dt FM je Hektar lediglich die Hälfte der mittleren Erträge von 180 dt je Hektar erreicht. Damit bleiben die Erträge deutlich hinter den Erwartungen von 25 bis 30 t je Hektar zurück (KTBL 2009: Seite 841).

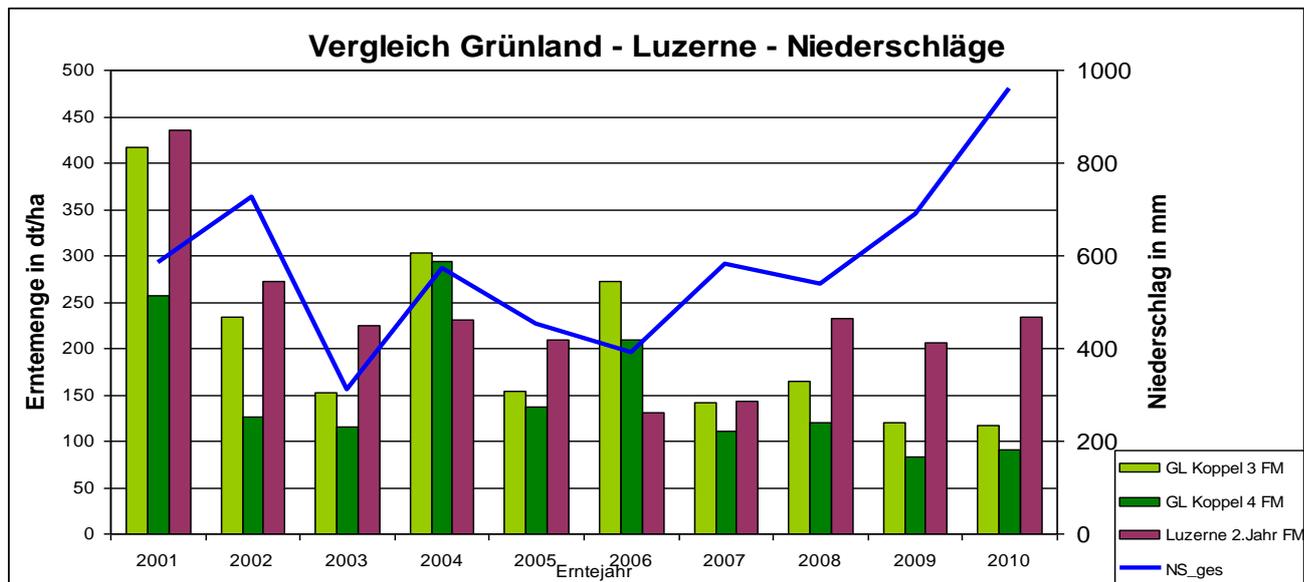


Abbildung 2: Vergleich zwischen Grünland- und Luzerneerträgen sowie den Niederschlagsmengen (NS) der Jahre 2001–2010

2.2 Entwicklung der Bodennährstoffgehalte

Seit der Umstellung im Jahr 2000 wurden keine mineralischen Düngemittel mehr eingesetzt. In Tabelle 4 werden am Beispiel der Schläge 51 und 63 die Veränderungen der Bodennährstoffe dargestellt.

Tabelle 4: Entwicklung der Bodennährstoffgehalte auf den Schlägen 52 und 63

Schlag 51	Kultur	pH	P	K	Mg	Humus	Schlag 63	Kultur	pH	P	K	Mg	Humus	
			mg/100 g Boden			%					mg/100 g Boden			%
2001	Triticale	6,3	4	3,8	9,9	2,2	2001	Luzerne	6,2	4,2	3,9	11,8	2,2	
2004	Weizen	5,9	3,2	5,8	14,4	2,3	2004	Mais	5,5	5,3	4,4	12,5	2,1	
2007	Triticale	5,9	2,5	3,5	10,2	1,9	2007	Triticale	5,7	3,5	4,7	14,2	2,5	
2010	Weizen	5,9	3,4	5,5	14,4	2,5	2010	Weizen	5,6	3,1	4,1	15,9	2,5	

Im Laufe der Jahre ist der pH-Wert aus der optimalen pH-Klasse C nach B gesunken. Damit sind die optimalen Anbaubedingungen nicht mehr für alle Kulturen gegeben. Vor allem Luzerne bevorzugt Standorte mit einem pH-Wert von 6,5 bis 7,5 und findet auf den nun leicht sauren Böden keine optimalen Bedingungen vor. Andere Kulturen, wie z. B. Weizen und Erbse, haben einen breiteren Toleranzbereich, der auch bei pH-Klasse B keine Ertragseinbußen erwarten lässt (FRUHSTORFER et al. 2004: Seite 178).

Die Phosphorversorgung liegt im optimalen Bereich für den ökologischen Landbau. Eine Abnahme der Werte kann im untersuchten Zeitraum bei geringfügigen Schwankungen nicht festgestellt werden. Das Nachlieferungsvermögen des Bodens vermag die Entzüge durch das Abfahren von Erntegut offensichtlich zu kompensieren.

Der Kaliumgehalt ist bereits seit der Umstellung sehr niedrig. Bei schwankenden Werten konnte keine fallende Tendenz des Kaliumgehaltes festgestellt werden. Der kolloidreiche Lössboden hat ein hohes K-Nach-

lieferungsvermögen, Kaliumverlust durch Auswaschung ist unwahrscheinlich (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: Seite 276). Die geringen Niederschlagsmengen vermindern dieses Risiko zusätzlich.

Die hohe Magnesiumversorgung besteht seit der Umstellung. Auch hier lassen variierende Werte kein Auszehren der Bodenvorräte erkennen. Sehr hohe Mg-Werte im Boden können einen K-Mangel zusätzlich verstärken (ZORN et al. 2007: Seite 28).

Die Beprobung des Bodens für die Makronährstoffanalysen erfolgte aus den oberen 20 cm. Die Durchwurzelungstiefe vieler Kulturpflanzen ist jedoch viel größer als der analysierte Bodenraum. Das Nachlieferungspotenzial der tieferen Bodenschichten ist nicht untersucht worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Ablagerungen der Auenböden nährstoffreich sind (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: Seite 510).

Mit durchschnittlich 2,3 % Humus liegen die Flächen mit sandigem Lehm (sL – IS) auf einem stabilen Niveau in der mittleren Versorgungsstufe (s. Tab. 4). Weil Humusgehalte sich nur über sehr lange Zeiträume verändern, kann in dem untersuchten Zeitraum noch kein Zusammenhang zwischen Bewirtschaftung und Humusgehalt festgestellt werden.

Die N_{min} -Gehalte im Boden im Frühjahr nach Leguminosen sind mit bis zu 106,5 kg N/ha relativ hoch, sodass eine Nitrat-Verlagerung nicht ausgeschlossen werden kann (Tab. 5). Ein Wirtschaftsdüngereinsatz ist nicht erforderlich bzw. würde die Gefahr von Nitratauswaschung erhöhen.

Tabelle 5: N_{min} -Gehalte im Frühjahr

N_{min} 0–60 cm in kg N/ha	2003	2004	2005	2006	2008	2009	2011
Schlag 52			91*		73**		59,7*
Schlag 63	81*	32		106,5**		68,5*	44,4**

* nach zweijähriger Luzerne, ** nach einjährigen Leguminosen

2.3 Nährstoffbilanzen

Die Berechnung der Nährstoffbilanzen erfolgte mit dem BEFU-Programm über die tatsächlich durchgeführte Bewirtschaftung auf Schlag 63 in den Jahren 2004 bis 2009 und auf Schlag 52 in den Jahren 2005 bis 2010. Weil keine organische Düngung aufgebracht wurde, ergeben sich aus den Berechnungen negative Salden. Die einfache Stickstoffbilanz berücksichtigt lediglich den durch legume N-Bindung zugeführten Stickstoff. In der erweiterten N-Bilanz werden zusätzlich die durch die N-Deposition, die asymbiotische N-Bindung und die organische Substanz eingebrachten Stickstoffmengen eingerechnet. Die Werte spiegeln somit besser die tatsächlich stattfindenden Prozesse im Boden wider. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die durchschnittlichen Nährstoffsalden.

Tabelle 6: Nährstoffsalden der Fruchtfolgevarianten im ökologischen Landbau des LVG Köllitsch

Nährstoffsaldo in kg/ha*a	Marktfruchtfolge		Futterfruchtfolge	
	Stroh abgefahren	Stroh verbleibt	Stroh abgefahren	Stroh verbleibt
N	-68	-54	-64	-51
N differenziert	-26	-12	-22	-9
P	-18	-15	-16	-13
K	-70	-43	-82	-54
Mg	-10	-7	-10	-7

Obwohl durch die Abfuhr des Erntegutes stetig Nährstoffe entzogen werden, ließen die Bodengehalte keine eindeutig fallende Tendenz erkennen. Die P-Werte auf beiden Schlägen variieren, bleiben jedoch in der für den Ökolandbau optimalen Gehaltsklasse B (s. Tab. 4).

KOLBE (2001) ermittelte für viehlose extensive Marktfruchtbetriebe durchschnittliche Phosphor-Salden von -11 kg P je Hektar und Jahr. Verbleibt das Stroh auf dem Feld, so werden in Köllitsch mit -13 bis -15 kg P vergleichbare Ergebnisse erzielt.

Das Kaliumsaldo weist die stärksten Entzüge auf. Bei Strohabfuhr sind die Werte 50–60 % höher als in den Varianten ohne Strohabfuhr. Die Entwicklung der Bodennährstoffgehalte spiegelt die Bilanzen bisher nicht wider. Die Kaliumgehalte des Bodens schwanken zwar stark, sie liegen überwiegend in der Gehaltsklasse A, aber eine Verarmungstendenz kann nicht festgestellt werden. Offensichtlich zeigt hier der Boden sein hohes K-Nachlieferungspotenzial.

Die hohe Versorgung mit Magnesium wird durch die vergleichsweise geringen Entzüge nicht abgebaut. Auf beiden Schlägen ist sogar eine Zunahme des Magnesiumgehaltes zu erkennen. Die Kalium- und Magnesiumgehalte sind stark bodenabhängig (KOLBE 2001: Seite 14). Das Nachlieferungspotenzial des Bodens wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt, weil es nur schwer zu erfassen ist.

Würde das Stroh auf dem Feld belassen, wären alle Bilanzen weniger stark ausgeprägt, blieben aber weiterhin negativ. Beim Stickstoff könnten weitgehend ausgeglichene Nährstoffsalden erreicht werden. Die Erträge deuten darauf hin, dass offenbar eine ausreichende Stickstoffversorgung gewährleistet ist. Die Nährstoffbilanz könnte durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger weiter ausgeglichen werden.

2.4 Humusbilanz

Die Humusbilanzen weisen erhebliche Differenzen auf, obwohl die beiden verglichenen Fruchtfolgen sich nur geringfügig unterscheiden. Im Gegensatz zu den Nährstoffbilanzen fallen sie stets positiv aus (Tab. 7). Der geringste Humuszugewinn von 40 kg HÄQ pro Hektar und Jahr wird bei der Futterfruchtfolge mit kompletter Strohabfuhr erreicht. Silomais ist mit -560 kg HÄQ pro Hektar und Jahr in dieser Fruchtfolge der stärkste Humuszehrer, wird jedoch durch zwei Jahre Luzerneanbau mit +600 kg mehr als kompensiert. Eine in tierhaltenden Betrieben übliche Versorgung der Flächen mit Wirtschaftsdüngern erfolgte im LVG nicht.

Ohne Strohabfuhr erreicht die Humusbilanz der Futterfruchtfolge einen Wert von 199 kg HÄQ bei der Berechnung mit VDLUFA-Werten. Die standortdifferenzierte Berechnung ergibt nur einen Saldo von 173 kg HÄQ. Der

geringere Betrag der differenzierten Berechnung beruht auf der schnelleren Umsetzung des Triticalestrohs auf diesem Standort gegenüber der Berechnungsgrundlage nach VDLUFA. Bei der Marktfruchtfolge fallen die Salden deutlich höher aus, weil das Maisstroh hier zur Humusreproduktion auf dem Feld verbleibt. Ohne Strohabfuhr ergibt die Standardberechnung 246 kg HÄQ pro Hektar und Jahr. Die differenzierte Berechnung weist mit 213 kg einen etwas geringeren Wert aus (Umsetzungsgeschwindigkeit des Triticalestrohs).

Tabelle 7: Übersicht über die Humussalden (Humusäquivalente HÄQ, kg C/ha und Jahr) der Fruchtfolgevarianten im Ökolandbau des LVG Köllitsch

Humussaldo in kg C/ha*a	Marktfruchtfolge		Futterfruchtfolge	
	Stroh abgefahren	Stroh verbleibt	Stroh abgefahren	Stroh verbleibt
CC relevant	171	246	40	199
Standort differenziert	150	213	40	173

Bei Strohabfuhr fällt die Bilanz mit 171 kg HÄQ je Hektar und Jahr etwas geringer aus. Gleiches gilt für die standortdifferenzierte Berechnung mit 150 kg HÄQ. Dem Anspruch der CC-Vorschriften, dass der Saldo -75 kg HÄQ pro Hektar und Jahr nicht unterschreiten sollte, wird in jedem Falle Genüge getan. Die positiven Salden gewährleisten den Erhalt des Humusgehaltes der bewirtschafteten Flächen. Die Bodenanalysen bestätigen dies, weil sie trotz schwankender Werte eine gleichbleibende gute Humusversorgung der Flächen zeigen (Tab. 4).

3 Schlussfolgerungen

Ein typischer Ertragsrückgang nach der Umstellung auf ökologischen Landbau ist im LVG nicht erkennbar. Die erzielten Getreideerträge liegen im Mittel der in Deutschland erzielten Erträge, woraus sich auf eine ausreichende Stickstoffversorgung innerhalb der Fruchtfolge schließen lässt. Die erfolgreiche Umstellung von Triticale auf den anspruchsvolleren, aber erlösstarken Weizen am Ende der Fruchtfolge bestätigt dies.

Die Phosphor- und Kaliumgehalte des Bodens weisen bei allen Schwankungen keine eindeutigen Tendenzen auf. Das Nachlieferungsvermögen des Bodens und die Fähigkeit verschiedener Kulturpflanzen, Nährstoffe aus verschiedenen Tiefen zu aktivieren und aufzunehmen, sorgen für eine ausreichende Nährstoffversorgung der Pflanzen. Die Phosphorgehalte des Bodens liegen im optimalen Bereich für den ökologischen Landbau. Die Kaliumgehalte deuten partiell eine Mangelsituation an. Die hohe Versorgung des Bodens mit Magnesium kann den Kaliummangel verstärken. Ein Abbau der überhöhten Magnesiumgehalte mit ackerbaulichen Maßnahmen ist nicht möglich, eine weitere Magnesiumzufuhr ist aber zu vermeiden. Obwohl die pH-Werte große Schwankungen aufweisen, ist hier eine abnehmende Tendenz erkennbar. Werte zwischen 5,6 und 6,1 machen eine Kalkung notwendig. Auf Grund der hohen Magnesiumversorgung des Bodens sollten dazu keine magnesiumhaltigen Kalke verwendet werden. Weil Luzerne von den angebauten Kulturen den höchsten pH-Wert-Anspruch hat, empfiehlt sich eine Kalkung vor deren Aussaat.

Die bestehende Fruchtfolge ist durch eine gute Stickstoffversorgung, Unkrautunterdrückung und Sommertrockenheitstoleranz gekennzeichnet. Auch die Versorgung der betriebseigenen Tierproduktion ist sichergestellt. Die errechneten Humusbilanzen werden durch die Ergebnisse der Bodenanalysen bestätigt: Der Humusgehalt des Bodens schwankt, ohne dass Tendenzen erkennbar sind. Mit einem Humusbilanzsaldo zwischen 40 und

171 kg HÄQ pro Hektar und Jahr liegt die Humusreproduktion im unteren Drittel der optimalen Humusgruppe C.

Die Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium sind durchweg negativ. Doch trotz der seit 10 Jahren dauernden Nährstoffabfuhr zeigen die Bodenanalysen lediglich für Kalium eine Unterversorgung an. Dies lässt vermuten, dass der Boden ein ausreichendes Nachlieferungspotenzial besitzt. Der Einsatz betriebseigener Wirtschaftsdünger würde sich sowohl auf die Nährstoff- als auch auf die Humusbilanzen positiv auswirken. Allerdings nimmt bei dem Leguminosenanteil von 50 % in der Fruchtfolge die Gefahr der Nitrat- auswaschung aufgrund stärkerer Mineralisation zu. Die Lage der Flächen in der Wasserschutzzone 3 erfordert hier erhöhte Achtsamkeit. Denkbar wäre beispielsweise eine Minderung des Leguminosenanteils und eine permanente Überwachung der Bodenstickstoffgehalte.

4 Ausblick

Seit dem Jahr 2000 werden im LVG Köllitsch 90 ha nach Vorgaben der EU-Öko-Verordnung bewirtschaftet. Die Ertragsergebnisse sprechen für die positiven Wirkungen der Fruchtfolge. Trotz besonderer Witterungsergebnisse wie extreme Frühjahrstrockenheit 2007 oder Überschwemmungen der Flächen 2002 und 2006 konnten im Schnitt zufriedenstellende Erträge geerntet werden. Die Stickstoffversorgung wird durch zweijährigen Luzerne- und einjährigen Erbsenanbau gesichert, sodass sogar im letzten Glied der sechsgliedrigen Fruchtfolge erfolgreich Winterweizen angebaut werden kann.

Obwohl kaum organische Wirtschaftsdünger eingesetzt werden, ergibt sich eine positive Humusbilanz. Die Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium sind negativ, weil Nährstoffe in Form des Ernteguts, inklusive Stroh, abgefahren werden, eine Nährstoffzufuhr in Form einer Düngung aber nicht erfolgte. Der Einsatz betriebseigener Wirtschaftsdünger könnte die Stoffkreisläufe schließen und damit die Nährstoffbilanzen sowie die Humusbilanz positiv beeinflussen.

5 Literaturverzeichnis

- FRUHSTORFER, W. et al. (2004): Agrarwirtschaft – Grundstufe Landwirt. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 2004
- HÜLSBERGEN, K.-J. & DIEPENBROCK, W. (2000): Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau – Untersuchungen auf einem mitteldeutschen Trockenlößstandort. Halle (Saale): Martin-Luther-Universität, Landwirtschaftliche Fakultät, Universitätszentrum für Umweltwissenschaften, 2000
- KOLBE, H. (2001): Grundlagen und praktische Anleitung zur P-,K- und Mg-Düngung im Ökologischen Landbau. Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2001
- KTBL (2007): Bewertung ökologischer Betriebssysteme – Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. Darmstadt: KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 2007
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage Darmstadt: KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 2009
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau, - Informationen für Praxis und Beratung. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2005): Lehr- und Versuchsgut Köllitsch Forschung und Ausblick im Überblick. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2005
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006): Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau - Informationen für Praxis und Beratung. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): BEFU – Teil Ökologischer Landbau - Methoden der Bilanzierung und Düngungsbemessung - Verfahrensbeschreibung und PC-Anleitung. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2008
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2009): Ökologischer Landbau – Was, wie, warum? Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2009
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2011): Cross Compliance 2011 – Information über die einzuhaltenden anderweitigen Verpflichtungen. Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2011
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002
- ZORN, W. et al. (2007): Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. München: Elsevier GmbH, 2007

6 Anhang

Legende zu Versorgungsstufen von Bodennährstoffen

Tabelle 8: Einstufung Boden-pH-Werte für sandigen Lehm bei Humusgehalten unter 4 %
(Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2007)

Versorgungsstufe		pH-Wert
A	Sehr niedrig, Ertrags- und Qualitätsmängel	<5,0
B	Niedrig, Ertrags- und Qualitätsmängel möglich	5,1 – 6,0
C	Mittel, optimal für landwirtschaftliche Nutzung	6,1 – 6,7
D	Hoch, Luxuskonsum, Auswaschungsgefahr	6,8 – 7,1
E	Sehr hoch, Ertrags- und Qualitätsdepression	>7,2

Tabelle 9: Gehaltsklassen Phosphor, Kalium, Magnesium für sandigen Lehm
(Quelle: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2007)

Gehaltsklasse	Erläuterung	Phosphor	Kalium	Magnesium
CAL, mg/100g Boden				
A	Sehr niedrig, Ertrags- und Qualitätsmängel	<2,4	<4,9	<3,0
B	Niedrig, optimal für ökologischen Landbau	2,5 – 4,8	5,0 – 9,9	3,1 – 5,5
C	Mittel, optimal für konventionellen Landbau	4,9 – 7,2	10,0 – 14,9	5,6 – 7,5
D	Hoch, Luxuskonsum, Auswaschungsgefahr	7,3 – 10,4	15,0 – 22,9	7,6 – 10,1
E	Sehr hoch, Ertrags- und Qualitätsdepression	10,5	>23,0	>10,1

Tabelle 10: Humuseinstufung
(Quelle: KTBL 2009, Seite 176)

Erläuterung	Humusgehalt in %
humusfrei	0
sehr schwach humos	<1
schwach humos	1 – 2
mittel humos	2 – 4
stark humos	4 – 8
sehr stark humos	8 – 15
äußerst humos	15 – 30
Torf	>30

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
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:

Martina Schuster, Dr. Hartmut Kolbe, Katharina Bauer, Ulf Jäckel

Redaktion:

Ulf Jäckel
Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau
Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen
Telefon: + 49 35242 631-7210
Telefax: + 49 35242 631-7299
E-Mail: Ulf.Jaekel@smul.sachsen.de

Fotos:

Titel: Ökologischer Anbau von Winterweizen, LVG Köllitsch

Redaktionsschluss:

10.03.2014

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> 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 Informationsständen 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 Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten 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.