

Berichte aus dem Ökolandbau 2022

Parameterdatensätze von organischen Materialien



Ernte- und Wurzelrückstände und Nährstoffgehalte der Fruchtarten, Nährstoffgehalte organischer Düngemittel sowie Abbauverhalten und Nährstofffreisetzung von organischen Materialien im Boden

Dr. Hartmut Kolbe, Dr. Wilfried Schliephake & Peter Müller

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
2	Material und Methoden	9
3	Ergebnisse und Diskussion	11
3.1	Nährstoffgehalte sowie Ernte- und Wurzelrückstände der Fruchtarten	11
3.1.1	Körnerfrüchte	11
3.1.2	Hülsenfrüchte	14
3.1.3	Ölfrüchte	17
3.1.4	Hackfrüchte	18
3.1.5	Samenvermehrung	19
3.1.6	Futterpflanzen.....	19
3.1.7	Zwischenfrüchte	27
3.2	Nährstoffgehalte von organischen Düngemitteln	41
3.2.1	Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger	42
3.2.2	Organische Handelsdünger einschließlich Eigenprodukte	43
3.3	Abbauverhalten organischer Materialien	50
3.3.1	Getreidestroh.....	51
3.3.2	Kartoffelkraut	54
3.3.3	Gründünger	55
3.3.4	Ernte- und Wurzelrückstände	56
3.3.5	Organische Wirtschaftsdünger	56
3.3.6	Blätter und Nadeln von Baumarten, Torf und Holz	58
3.3.7	Abbaurangfolge der organischen Materialien	59
3.4	Ableitung von Humifizierungskoeffizienten für Fruchtarten und organische Materialien zur Humusbilanzierung	62
3.4.1	Fruchtartenkoeffizienten	62
3.4.2	Koeffizienten für organische Materialien und Düngemittel	63
3.5	Nährstoff-Freisetzung aus organischen Materialien im Jahr der Anwendung	65
3.5.1	Verhältniszahlen zwischen Kohlenstoff und anderen Nährstoffen	65
3.5.2	Einfluss der C:N-Verhältnisse auf die N-Freisetzung.....	68
3.5.3	Relationen zwischen den organisch gebundenen N- und den NH ₄ -N-Anteilen der Düngemittel	70
3.6	NH ₃ -N-Verluste aus gemulchten organischen Materialien	73
3.7	Einschätzung der Gesamt-N-Effizienz von Anbausystemen mit mineralischer oder organischer N-Zufuhr	75
4	Zusammenfassung	77
5	Literaturverzeichnis	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beziehung zwischen dem Kornertrag der Wintergetreidearten und den ermittelten bzw. berechneten Ernte- und Wurzelrückständen (WG = Wintergerste; WW = Winterweizen; WR = Winterroggen)	13
Abbildung 2: Mittlerer TM-Ertrag der wichtigsten Getreidearten und die dazugehörigen EWR-Mengen aus dem vorliegenden Datenmaterial.....	14
Abbildung 3: Vergleich zwischen der aus dem ausgewerteten Datenmaterial zusammengefassten EWR- und den mit Hilfe der in Tabelle 1 angegeben Koeffizienten berechneten EWR-Mengen.....	14
Abbildung 4: Beziehung zwischen dem Kornertrag von Grobleguminosen und den ermittelten EWR-Mengen	16
Abbildung 5: Beziehung zwischen den mittleren Erträgen an Hauptprodukten und den EWR-Mengen von Grobleguminosen aus dem herangezogenen Datenmaterial	16
Abbildung 6: Vergleich der aus den vorliegenden Literaturdaten von verschiedenen Grobleguminosen zusammengefassten EWR-Mengen und den in Tabelle 1 angegeben Koeffizienten berechneten EWR-Werten.....	17
Abbildung 7: Trockenmasseertrag der Kartoffeln und die gemessenen und berechneten EWR-Mengen.....	19
Abbildung 8: Beziehung zwischen Hauptertrag und den EWR-Mengen von Rotklee, Luzerne und ihren Grasmengen...21	
Abbildung 9: Mittlerer Ertrag von Rotklee, Luzerne sowie ihren Grasmengen und die dazugehörigen Ernte- und Wurzelrückstände.....	22
Abbildung 10: Vergleich der aus den vorliegenden Literaturdaten experimentell ermittelten TM-Erträgen und EWR-Mengen und den mit Hilfe der in Tabelle 1 angegeben linearen Funktionen berechneten EWR-Werten von verschiedenen Futterleguminosen und deren Gemischen.....	22
Abbildung 11: Trockenmasseerträge von Rotklee, Rotklee gras und Luzerne sowie ihre EWR-Mengen nach Nutzungsjahren aufgeführt	23
Abbildung 12: Statistische Beziehungen zwischen den TM-Erträgen verschiedener Kleearten (ohne Rotklee), Untersaaten sowie Klee/Luzerne als Zwischenfrucht und den ermittelten EWR-Mengen.....	24
Abbildung 13: Mittlere Erträge von verschiedenen Kleearten ohne Rotklee, Kleeuntersaaten sowie Zwischenfrüchten als Klee/Luzerne und die dazugehörigen Ernte- und Wurzelrückstände.....	25
Abbildung 14: Beziehungen zwischen der Trockenmasse an Hauptprodukten und an EWR von verschiedenen Ackergräsern	25
Abbildung 15: Statistische Beziehungen zwischen den gebildeten TM-Hauptprodukten von Ackergras-Anbauformen und den ermittelten EWR-Mengen	26
Abbildung 16: Mittlerer TM-Ertrag von Ackergräsern und die experimentell ermittelten bzw. berechneten EWR-Mengen (mittels Gleichung aus Tab. 1).....	27
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen der Hauptprodukt-TM und den EWR-Mengen bei Winterzwischenfrüchten und verschiedenen Ganzpflanzensilagen (GPS).....	28
Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung des Anteils an unverrottetem Stroh verschiedener Getreidearten und C:N-Verhältnissen aus Litterbag-Versuchen nach Einbringung in den Boden.....	52
Abbildung 19: Einfluss des C:N-Verhältnis im Gerstenstroh auf den Strohabbau von in 10 cm Bodentiefe abgelegten Litterbags.....	52
Abbildung 20: Strohabbau in Litterbags nach Einarbeitung bzw. als Auflage auf dem Boden.....	53
Abbildung 21: Abbau von erntereifem Kartoffelkraut im Zeitverlauf in Norwegen und mathematisch-statistische Auswertung mit zwei unterschiedlichen Regressionsgleichungen.....	54
Abbildung 22: Abbauverhalten von Materialien zur Gründüngung nach Einarbeitung und als Bodenaufgabe	55
Abbildung 23: Abbauverhalten von Gräser- und Leguminosen-EWR nach Einarbeitung und als EWR-Auflagen auf dem Boden	56
Abbildung 24: Abbauverhalten von eingearbeitetem Stalldung zu Mais im Verlauf der Vegetation.....	57
Abbildung 25: Abbau von eingearbeitetem Schweine- und Rinderkot über die Zeit.....	58
Abbildung 26: Verlauf des Abbaus von Blättern und Nadeln als Auflage oder Einarbeitung in Wäldern	59
Abbildung 27: Mittlerer Verlauf des Abbaus von organischen Materialien innerhalb von 150 Wochen (ca. drei Jahre) in zwei verschiedenen Darstellungsformen	61

Abbildung 28: Zusammenhang zwischen den EWR-Mengen und den Humifizierungskoeffizienten (HÄQ) der Fruchtartengruppen (Daten der EWR aus Tabelle 2 und der HÄQ aus KOLBE , 2008)	63
Abbildung 29: Zusammenhang zwischen den N-Gehalten und den Humifizierungskoeffizienten (HÄQ) der organischen Düngemittel und Materialien (Daten der N-Gehalte aus Tabelle 5 und der HÄQ aus KOLBE , 2008)	64
Abbildung 30: Zusammenhang zwischen den N-Gehalten und den C:N-Verhältnissen der organischen Materialien der Fruchtarten und organischen Düngemitteln im Ökolandbau (Daten aus Tabellen 1 u. 5)	66
Abbildung 31: Zusammenhang zwischen den P-Gehalten und den C:P-Verhältnissen (oben) bzw. den S-Gehalten und den C:S-Verhältnissen (unten) der organischen Materialien der Fruchtarten und organischen Düngemittel im Ökolandbau (Daten aus Tabellen 1 u. 5).....	67
Abbildung 32: Kurzfristige N-Freisetzung (+) bzw. Festlegung (-) aus organischen Materialien in Abhängigkeit vom C:N-Verhältnis, Ergebnisse aus Feld-, Gefäß- und Inkubationsversuchen nach MÖLLER und SCHULTHEISS (2014) und mit ergänzenden Werten bei weiten C:N-Verhältnissen (Gesamt-N-Zufuhr = 100 %).....	70
Abbildung 33: Relationen zwischen den organisch gebundenen N- und den NH ₄ -N-Anteilen (Gesamt-N = 100 %) zur Charakterisierung der lang- und kurzfristigen N-Wirkung der organischen Düngemittel (Datenbasis: Tab. 5).....	72
Abbildung 34: Einfluss von auf der Bodenoberfläche abgelegten Gründüngungsmaterialien auf die in Abhängigkeit von deren N-Gehalten in 30 Tagen auftretenden aggregierten NH ₃ -N-Emissionen	74
Abbildung 35: Einfluss der Gesamt-N-Zufuhr auf die Nährstoff-Effizienzen an Stickstoff in Anbausystemen mit N-Mineraldüngung, organisch-mineralischer oder rein organischer Düngung mit Fest- und Flüssigmisten, ermittelt aus Feld-Dauerversuchen Mitteleuropas mit einer mittleren Laufzeit zwischen 15 – 20 Jahren	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gehalte an Reinnährstoffen der Fruchtarten im Ökolandbau (Angaben in % der TM) von Haupt- (HP), Nebenprodukt (NP) und Ernte- und Wurzelrückständen (EWR), durchschnittliche EWR-Mengen sowie Berechnung der EWR-Mengen aus dem durchschnittlichen HP-Ertrag (a = Achsenabschnitt, b = Steigung d. Regressionsgleichung).....	29
Tabelle 2: Überblick über die Einzelergebnisse zu Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) der Fruchtarten.....	35
Tabelle 3: Gehalte an Reinnährstoffen, mittlere C-Gehalte von HP, NP sowie C/N-Verhältnisse der EWR ausgewählter Fruchtarten im konventionellen Ackerbau (Angaben in % der Trockenmasse)	39
Tabelle 4: Umfang des Abbaus (% in Bezug auf die jeweils am Jahresende vorzufindende Menge = 100 %) an EWR von Luzerne, Rotklee, Ackergras und deren Gemische nach dem 1. – 3- Nutzungsjahr	40
Tabelle 5: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern und organischen Handelsdüngemitteln im Ökolandbau (Gehalte an Reinnährstoffen in % der TM).....	46
Tabelle 6: Nährstoff- sowie C-Gehalte und C/N-Verhältnisse der Wirtschaftsdünger im konventionellen Landbau (Gehalte an Reinnährstoffen in % der TM).....	49
Tabelle 7: Mathematisch-statistische Gleichungen zum Abbauverhalten verschiedener Gruppen an organischen Materialien (Geltungsbereich: 0 – 150 Wochen).....	60

Abkürzungsverzeichnis

a	Achsenabschnitt
b	Steigung
BEFU	Programm zur Düngeberatung, Nährstoff- und Humusbilanzierung (abgeleitet von <u>B</u> estandes- <u>f</u> ührung)
BESyD	<u>B</u> ilanzierungs- und <u>E</u> mpfehlungs- <u>S</u> ystem <u>D</u> üngung
C	Kohlenstoff
Ca	Kalzium
CCB	<u>C</u> andy <u>C</u> arbon <u>B</u> alance, Prozessmodell zur C- und N-Dynamik
C:N	Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (N = 1)
et al.	und andere
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EU-Öko-VO	Verordnung der Europäischen Union zur Erzeugung von biologischen Produkten
EWR	Ernte- und Wurzelrückstände
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
HÄQ	Humusäquivalente
HP	Hauptprodukt
K	Kalium
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Mg	Magnesium
MW	Mittelwert
N	Stickstoff
n	Anzahl
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NP	Nebenprodukt
Öko-BEFU	Ökologische Landwirtschaft als selbständiges Teilprogramm im BEFU bzw. BESyD
P	Phosphor
p	Signifikanzwert
S	Schwefel
s	Standardabweichung
TM	Trockenmasse
u. ä.	und ähnliche
VLK	Verband der Landwirtschaftskammern
WZF	Winterzwischenfrüchte
x	unabhängige Variable
y	abhängige Variable
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

Die Kenntnis von den mittleren Nährstoffgehalten der verschiedenen Fruchtarten und Düngemittel sind nützliche Hilfsmittel im Rahmen der Umsetzung einer „guten Fachlichen Praxis“. Neben den gesetzlichen Regelungen, wie der Düngeverordnung und Cross Compliance, dienen sie der Überprüfung der spezifischen Betriebsbedingungen und zur Optimierungsanalyse. Sie geben Auskunft über die Ernährungsbedingungen der Fruchtart selbst und können somit direkt für die Düngebedarfsermittlung verwendet werden. Ferner geben sie Auskunft über die Qualität der pflanzlichen Produkte für die Ernährung von Mensch und Tier. Eine genaue Kenntnis der Nährstoffgehalte kann dazu beitragen, dass die Güte von Nährstoffbilanzen sowie das gesamte Nährstoffmanagement verbessert werden. Somit liefern diese Berechnungen wichtige Informationen über die Nährstoffeffizienz der eingesetzten Ressourcen und der Umweltverträglichkeit von Anbauverfahren.

Auswertungen von Untersuchungen zu Nährstoffgehalten zeigen zudem deutliche Unterschiede in den Nährstoffgehalten zwischen konventionellem und ökologischem Landbau. Unbestritten sind beispielsweise die beachtlichen Differenzen im Rohproteingehalt bzw. in der Backqualität von Weizen zwischen den beiden Anbauverfahren oder die relativ niedrigen Gehalte an Nitrat in ökologisch erzeugtem Gemüse und Kartoffeln. Diese Unterschiede können im Wesentlichen auf ein z. T. deutlich niedrigeres Niveau der Stickstoffernährung zurückgeführt werden (KOLBE, 1993). So konnte in der Arbeit von KOLBE et al. (2003) aufgezeigt werden, dass die N-Gehalte in ökologischen pflanzlichen Produkten beispielsweise beim Stickstoff im Mittel um etwa 16 % niedriger liegen, wobei die Streubreite zwischen 5 % und 25 % lag.

Erstmals veröffentlichten KÖHLER und KOLBE (2007) eine umfangreiche Zusammenstellung zu den Nährstoffgehalten der Fruchtarten im ökologischen Landbau, die als Datenbasis vom PC-Beratungsprogramm BEFU übernommen wurde, das durch das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie bereitgestellt wird. Erfasst wurden dabei die wichtigsten Fruchtarten mit ihren typischen Hauptnährstoffgehalten. Für die Zusammenstellung wurden vornehmlich Quellen aus dem ökologischen Anbau verwendet. Nur wenn keine fundierten Werteangaben einzelner Fruchtarten vorlagen, wurden auch Quellen aus konventionellem Anbau genutzt. Ziel dieser Veröffentlichung ist es, für den Nutzer die Güte von Berechnungen im Bereich des gesamten Nährstoffmanagements zu verbessern.

Die Menge an Ernte- und Wurzelrückständen der Fruchtarten und das substanzielle Abbauverhalten inklusive der N-Freisetzung organischer Materialien liefern wichtige Zusatzinformationen im Hinblick auf eine ausgewogene Ernährung der Pflanzenbestände. Entsprechendes Wissen kann dazu beitragen, das umweltverträgliche Wirtschaften durch eine optimale Nutzung dieser Materialien in den Anbausystemen zu verbessern, wenn es gelingt, diese natürlichen Nährstoffquellen in die Maßnahmen zur Düngungsbemessung einzubeziehen und darauf abzustimmen.

Ziel der hier vorliegenden Veröffentlichung ist daher nicht nur eine aktuelle Ergänzung wichtiger Nährstoffgehalte der Fruchtarten, sondern auch Angaben zu den im Boden verbleibenden Ernte- und Wurzelrückständen in Abhängigkeit vom erzielten Ertragsniveau von verschiedenen landwirtschaftlichen Anbausystemen zu geben. Sie bilden eine weitere wichtige Parametergrundlage für treffsichere Berechnungen, wie sie in Zukunft mit computergestützten Programmen, wie z.B. BEFU bzw. BESyD oder dem Modell CCB, durchgeführt werden können.

Darüber hinaus werden Übersichten zu den im konventionellen und ökologischen Landbau vorkommenden organischen Wirtschafts- und Handelsdüngern mit ihren Hauptnährstoff- und Trockenmassegehalten, ihren C:N-Verhältnissen und anfallenden Ausbringungsverlusten an Ammoniak aus Düngern und gemulchten organischen Materialien zusammengestellt. Die limitierte Nährstoffzufuhr im ökologischen Pflanzenbau wirkt sich auch auf die Zusammensetzung und Nährstoffverfügbarkeit bei den wirtschaftseigenen Düngern aus (STEINBACHINGER et al., 2004). Besonders betroffen sind davon die Stickstoffgehalte, während die P- und K-Gehalte weniger stark von konventionellen Wirtschaftsdüngern abweichen (HÜLSBERGEN, 2003). Grundlage des hier zusammengestellten Datenmaterials sind die Ergebnisse von MEYER et al. (2011), die eine umfassende Erhebung an Wirtschaftsdüngern von ökologischen Betrieben in Sachsen durchgeführt haben. Ergänzt werden sie durch fundierte Ergebnisse aus der vorliegenden Fachliteratur.

Die Untersuchungen sind z.T. unter Mitwirkung der „Arbeitsgruppe Düngung“ (konventioneller Landbau) und des „Arbeitskreises ökologischer Landbau“ des VLK in Berlin entstanden. Die vorgestellten Datensammlungen gehen regelmäßig in fortgeschriebene und veröffentlichte Unterlagen für Praxis und Beratung ein, die u.a. von den Länderdienststellen in ihrer Zuständigkeit zum Nährstoffmanagement herausgegeben werden (z.B. ALBERT et al., 2007; ZORN et al., 2007; KTBL, 2009; KTBL, 2015). Die Veröffentlichung richtet sich daher an Einrichtungen der Praxis, Beratung und Forschung.

2 Material und Methoden

Die natürliche Streubreite in den Nährstoffgehalten der Fruchtarten wird durch Einflussfaktoren wie Boden, Düngung, Fruchtfolge, Witterung, Sorte und der Ertragshöhe beeinflusst. Wie auch im konventionellen Anbau kommt im ökologischen Landbau eine beachtliche Streubreite in den Gehalten vor, wobei das niedrigere Niveau bei entsprechender Nährstoffzufuhr lediglich beim Stickstoff durch geringere Gehalte besonders an leicht verfügbaren N-Verbindungen (Nitrat, Ammonium) sichtbar wird. Insbesondere beim Einsatz von organischen Düngemitteln erfolgt die Freisetzung und Verfügbarkeit zeitlich nicht immer mit dem Pflanzenbedarf synchron. Kaum Unterschiede im Stickstoffstatus finden sich dagegen bei den Leguminosen, wie KOLBE et al. (2002) in ihren Untersuchungen zeigen konnten. Die N-Bindungsleistung der Leguminosen steigt regelmäßig mit abnehmender Verfügbarkeit an löslichem Stickstoff im Boden an.

Grundlage der vorgestellten Datensammlung zum Ökolandbau bildet die Veröffentlichung zu den Nährstoffgehalten der Fruchtarten von KÖHLER und KOLBE (2007) und die Veröffentlichung von MEYER et al. (2011) zu den Nähr- und Schadstoffgehalten von Wirtschaftsdüngern in Sachsen. Bei den organischen Handelsdüngern sind die von MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) zusammengestellten Datensätze und die Beschreibung gewöhnlicher Labormethoden zur Nährstoffuntersuchung eine wichtige Grundlage. Ergänzungen finden sich im Datenmaterial durch verschiedene ältere prinzipielle sowie neuere Literaturquellen, die sich mit ökologischen Fragestellungen beschäftigen.

Die Ernte- und Wurzelreste (EWR) umfassen die entsprechend den gewöhnlichen Erntebedingungen der Praxis anfallenden Werte an oberirdischen Ernteresten (Stoppel, etc.) und die Wurzelmengen, die je nach Autor aus unterschiedlich tiefen Bodenvolumen ermittelt worden sind, aber mindestens den Bereich der Bodenkru-me umfassen (z.B. VETTER, 1955; KLIMANEK, 1987). Insbesondere bezüglich der Ernte- und Wurzelrückstände wurden unabhängig vom Anbausystem die verschiedensten grundlegenden Angaben in der Literatur genutzt und entsprechende mathematisch-statistische Beziehungen zum Ertrag abgeleitet:

- y (EWR-TM in dt/ha) = $a + b \times$ (HP-TM in dt/ha).

Im Hinblick auf den Abbau organischer Materialien im und auf dem Boden wurden entsprechende, in der Literatur verfügbare, Quellen insbesondere von Netzbeutel- bzw. Litterbag-Versuchen gesammelt, zu Gruppen ähnlicher organischer Materialien zusammengefasst und deren Abbaukurven im Zeitverlauf quantitativ dargestellt. In der Regel wurden die organischen Materialien in nativer oder gehäckselter Form in die Beutel eingefüllt (ca. 1 – 2 mm Maschendurchmesser). Zur Ermittlung des als strukturell noch nachweisbaren nicht verroteten Originalmaterials wurden in der Regel vergleichende Wägungen vorgenommen (siehe BEARE et al., 1992; KNACKER et al., 2003; KARBERG et al., 2008).

Zur Quantifizierung der N-Freisetzung im Jahr der Düngieranwendung wurde eine von K. MÖLLER (Universität Hohenheim) zur Verfügung gestellte Datensammlung über Ergebnisse der N-Mineralisation aus Bebrütungs- und anderen geeigneten Versuchsanstellungen durch Literaturdaten zu Materialien mit weiten C:N-Verhältnissen (z.B. Stroh) erweitert und in Abhängigkeit von den C:N-Verhältnissen der untersuchten vielfältigen organischen Materialien graphisch dargestellt. Die Beschreibung der Materialien und der Versuchsmethoden findet sich in MÖLLER und SCHULTHEIß (2014).

Zur Erfassung von Ammoniakverlusten aus gemulchten Leguminosengras-Aufwüchsen wurden Versuche, die meistens unter standardisierten Bedingungen durchgeführt worden sind, zusammengestellt und einer gemeinsamen graphischen Auswertung unterzogen, indem die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verluste nach 30 Tagen Versuchszeit in Relation zu den N-Gehalten der Materialien dargestellt worden sind. In Abhängigkeit von den klimatischen Umgebungsbedingungen wurden dann einfache lineare mathematisch-statistische Gleichungen formuliert, wonach unter Kenntnis der gemulchten Substanzmengen und deren N-Gehalte die zu erwartenden gasförmigen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verluste berechnet werden können. Typische Versuchsanstellungen zu dieser Auswertungsserie können bei WHITEHEAD et al. (1988) und WEBER et al. (2001) eingesehen werden.

Zur Erstellung von Zusammenhängen zwischen den ermittelten EWR-Mengen der Fruchtarten bzw. den N-Gehalten von organischen Materialien und den Humifizierungskoeffizienten wurden in der Regel die Koeffizienten, ausgedrückt als Humusäquivalente (HÄQ), der standortangepassten Methode zur Humusbilanzierung (STAND) nach KOLBE (2010) verwendet. Für die Darstellung von Zusammenhängen zwischen steigenden Gesamt-N-Zufuhren in landwirtschaftlichen Anbausystemen des Ackerbaus und deren langfristiger Nährstoffverwertung für Stickstoff wurden umfangreiche Auswertungen von Dauerfeldversuchen im Hinblick auf die Brutto-Schlagbilanzierung incl. Berücksichtigung der C_{org} - und N_r -Entwicklung in der Bodenkrume erstellt sowie genaue Berechnungen der N-Effizienzen von mineralischen und organischen Düngungsvarianten vorgenommen (KOLBE, 2016).

Die Datenanalyse zu den aufgeführten Fragestellungen erfolgte im Allgemeinen durch Aufnahme der Originalwerte aus den verschiedenen Quellen, Plausibilitätsprüfung auch im Hinblick für die Nutzung unter den praktischen Bedingungen der Landwirtschaft, Beseitigung von Extremwerten, Mittelwertbildung und ggf. Berechnung der Standardabweichung (s). Die Darstellung der erhaltenen komprimierten Ergebnisse in Tabellenform, als Stab- oder Streudiagramm wurden mit Angabe der mathematisch-statistischen Gleichungen und der Bestimmtheitsmaße (R^2) für $p = 10\%$ (*), $p = 5\%$ (*), $p = 1\%$ (** und $p = 0,1\%$ (***) vorgenommen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Nährstoffgehalte sowie Ernte- und Wurzelrückstände der Fruchtarten

Von den Haupt- (HP) und Nebenprodukten (NP) der Fruchtarten im ökologischen Landbau werden die mittleren Gehalte an Nährstoffen dargestellt und in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Angaben erfolgen fruchtartengenau oder als mittlere Werte für bestimmte Fruchtartengruppen, wenn nicht genügend Einzelwerte für eine sichere Mittelwertbildung aus dem Anbausystem zur Verfügung stehen. Es werden die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Schwefel (S), Kohlenstoff (C) sowie das C:N-Verhältnis für jede Fruchtart als Angaben in % der Trockenmasse (TM) aufgeführt.

Hinzugekommen zu den Nährstoffgehalten der Fruchtarten sind Angaben zu den C:N-Verhältnissen und den anfallenden Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) (Überblick über die Einzelwerte siehe Tabelle 2). Hierfür wurden verfügbare Angaben aus der Literatur genutzt und verarbeitet. Es besteht zudem eine Ertragsabhängigkeit der auf dem Feld verbleibenden nicht bergungsfähigen oberirdischen Erntereste (z.B. Stoppel) sowie der unterirdischen Wurzelmasse (KÄTTERER et al. 2004; PERSSON et al. 2008). Unter Nutzung der jeweiligen Trockenmasseerträge und einfachen Regressionsgleichungen kann eine Berechnung der EWR-Mengen entsprechend der jeweiligen standörtlichen Ertragsbedingungen erfolgen. Für kalkulatorische Zwecke wurden beim Getreidestroh und den EWR einheitliche C:N-Verhältnisse angesetzt, obwohl im zugrundeliegenden Datenmaterial beachtliche Streuungen auftraten.

Gegliedert wurde die Darstellung zu den Fruchtarten entsprechend ihrer Bedeutung und des Anbauumfangs. Im erläuternden Text finden sich zudem Angaben zu den Spannweiten des eingeflossenen Datenmaterials. Im Vergleich dazu werden in Tabelle 3 für ausgewählte Fruchtarten die Nährstoffgehalte pflanzlicher Erzeugnisse des konventionellen Ackerbaus dargestellt, wie sie ebenfalls im Programm BEFU (bzw. BESyD) zur Anwendung kommen. Da mit der neuen Düngeverordnung dieses Programm eine Anpassung erfährt, ist ein erneuter Abgleich der Datengrundlage mit den verschiedenen Landeseinrichtungen erfolgt und es wird eine vollständige Darstellung dieses Materials veröffentlicht. Zum konventionellen Material sind ebenfalls die C-Gehalte von HP, NP, EWR und die C:N-Gehalte der EWR hinzugekommen, die als wichtige Parameter für Prozessmodelle zur Berechnung der C- und N-Dynamik im Boden angesehen werden.

3.1.1 Körnerfrüchte

In der Datensammlung sind zu Beginn die verschiedenen Arten zur Körnernutzung zusammengestellt (Tabelle 1, Körnerfrüchte). Sie haben im ökologischen Landbau mit etwa 50 % der Fläche den größten Anbauumfang. Den überwiegenden Anteil nehmen dabei der Roggen und der Weizen ein. Dem wurde in den letzten Jahren durch umfassende Sorten- und Qualitätsversuche im ökologischen Getreideanbau Rechnung getragen. Entsprechend liegen hierzu ausreichende Ergebnisse aus bundesweiten sowie auch aus eigenen sächsischen Versuchen vor und es handelt sich hierbei um gefestigte, repräsentative Mittelwerte.

Basis ist hier entsprechend der Vorgaben der Richtlinie für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen (Getreide, Sorghumhirse, Mais, Futtererbse, Ackerbohne, Lupinen, Sojabohne) jeweils ein Gehalt von 86 % Trockenmasse (ANON., 2000). In der tabellarischen Darstellung finden sich, neben der Trockensubstanz, auch Angaben zum Verhältnis von Hauptprodukt zu Nebenprodukt der Fruchtarten. Da

die Nebenprodukte in der Praxis nicht so exakt wie die Hauptprodukte erfasst werden, lassen sich diese durch die hier vorgegebenen Werte mit ausreichender Genauigkeit kalkulieren.

Die überwiegende Zahl der Datensätze zu den Gehalten an N, P, K und Mg entspricht den bereits von KÖHLER und KOLBE (2007) veröffentlichten Werten. Anders als dort aufgeführt, sind die Gehalte in Tabelle 1 jeweils auf Basis der Trockenmasse ausgewiesen worden. Ergänzt werden diese Richtwerte um mittlere Gehalte an Schwefel und Kohlenstoff in den Haupt- und Nebenprodukten der Kulturen.

Der Gehalt an Schwefel (S) gehört in dieser Arbeit zu den neu aufgenommenen Nährstoffen und wird daher näher erläutert. Durch die sehr hohen S-Depositionen aus der Atmosphäre waren in den letzten Jahrzehnten auch z.T. deutlich erhöhte S-Gehalte in den Haupt- und Nebenprodukten der Fruchtarten festzustellen. Mit Rückgang der Emissionen konnten bis um das Jahr 2005 vor allem in Westdeutschland (in Ostdeutschland werden die Werte noch absinken) auch wieder abfallende Gehalte festgestellt werden. So konnte HEYN (2011) feststellen, dass die Gehalte an Schwefel z.B. in den Körnerfrüchten in 10 Jahren um 0,01 – 0,015 % i.d. TM von Körnern (6 – 13 %) und um 0,015 – 0,035 % S im Stroh abgenommen haben (11 – 27 %-Anteile).

Aus diesen Gründen weisen die S-Gehalte aus älteren Tabellenwerken z.T. stark überhöhte Werte auf (z.B. ANON., 1999; KTBL, 2005), so dass eine Revision der Schwefelgehalte in den organischen Materialien notwendig wurde. Zwar wurden zwischen konventionellen und ökologischen Quellen kaum Unterschiede in den S-Gehalten gefunden, dafür waren die Unterschiede zwischen Literaturwerten aus der Hochzeit der S-Deposition und neueren Quellen sowie manchmal auch aus verhältnismäßig alter Literatur umso deutlicher.

Auf Grund dieser Feststellung konnten in den meisten Fällen bisher nur wenige nachfolgend genannte Arbeiten für die Mittelwertbildung aus beiden Anbausystemen verwendet werden: SAALBACH et al. (1970), NEHRING (1972), DLG (1973), AUFHAMMER (1998), BLOEM (1998), PAULSEN et al. (1998), HAGEL (2000), HERRMANN et al. (2000), ERIKSEN und THORUP-KRISTENSEN (2002), ERIKSEN et al. (2002), PAULSEN und SCHOCHOW (2007), DITTMANN (2010), HEYN (2011). Bei den meisten Getreidearten liegen heute die S-Gehalte in den Körnern zwischen 0,10 – 0,13 % i.d. TM und im Stroh um den Wert 0,10 % S i.d. TM. Nur die HP- und NP-Pflanzenteile von Hafer und auch von Körnermais weisen etwas höhere S-Gehalte auf (Tab. 1, Körnerfrüchte).

Für den Abbau der auf dem Feld verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände sowie der gegebenenfalls verbleibenden Nebenprodukte sind deren Umsetzbarkeit, die Stickstoffverfügbarkeit sowie deren Wirkung auf den Humushaushalt im Boden von entscheidender Bedeutung. Hinsichtlich typischer C:N-Verhältnisse in den verschiedenen aufgeführten Pflanzenteilen der Körnerfrüchte flossen u.a. Daten von PINCK et al. (1950), SCHEFFER und ULRICH (1960), VAN SCHREVEN (1964a,b), SCHULZ et al. (1986), KLIMANEK (1987), HERRMANN und PLAKOLM (1993), JANNSON (1996), KLIMANEK und SCHULZ (1997), MAGID et al. (1997), WHITMORE und HANDAYANTO (1997), HENRIKSEN und BRELAND (1999), THOMSEN und OLESEN (2000), SCHLIEPHAKE (2003), sowie WOLF und SNYDER (2003) ein. Für Artengruppen bis hin zu einzelnen Arten wurden C:N-Verhältnisse für das Hauptprodukt, Nebenprodukt und die Ernte- und Wurzelrückstände etabliert.

Informationen zu den Ernte- und Wurzelrückständen der verschiedenen Getreidearten sind relativ selten. Während die Ermittlung der oberirdischen Erntereste relativ unkompliziert ist, erweist sich eine vollständige Erfassung der Wurzelmasse als wesentlich kosten- und zeitaufwendiger. Die Angaben zu den anfallenden Ernte- und Wurzelmengen der verschiedenen Getreidearten stammen im Wesentlichen von BOMMER (1955), VETTER (1955), KUNZMANN (1972), ANONYM (1978), ESSER und LÜTKE-ENTRUP (1981), KLIMANEK (1987), KÖRSCHENS et al. (1989), KLIMANEK (1997), FREYER (2003).

Die Winterungen sind unter den Getreidearten sowohl durch höhere mittlere EWR-Mengen als auch durch einen höheren proportionalen Anstieg der Mengen in Folge steigender HP-Erträge gekennzeichnet (Tab. 1, Körnerfrüchte). Auf Grund des vorliegenden Datenmaterials ist eine z.T. detaillierte Untergliederung der EWR-Mengen bei den Körnerfrüchten ermöglicht worden. Von einem Teil der EWR-Mengen liegen auch Ertragsangaben über die Hauptprodukte der Fruchtarten vor.

In Abbildung 1 sind die Beziehungen zwischen den Erträgen an Korn trockenmasse der Wintergetreidearten und den entsprechenden EWR dargestellt. Die beachtliche Streuung im vorliegenden Datenmaterial ergibt sich vor allem aus den unterschiedlichen Boden-, Bestandes- und pflanzenbaulichen Bedingungen. Da es sich auch um ältere Literaturangaben handelt, wurden durch einen höheren Stoppelanteil bei der maschinellen Ernte und den ertragreicheren Sorten für Winterweizen und Wintergerste höhere Werte angesetzt. Der Funktionswert für den Winterroggen entspricht in etwa der Funktion aus dem Datenmaterial der genutzten Literaturquellen. Bei den Sommergetreidearten lagen bis auf den Hafer und der Sommergerste nur einzelne Wertepaare vor, so dass auf eine graphische Darstellung verzichtet wird (siehe Tab. 1).

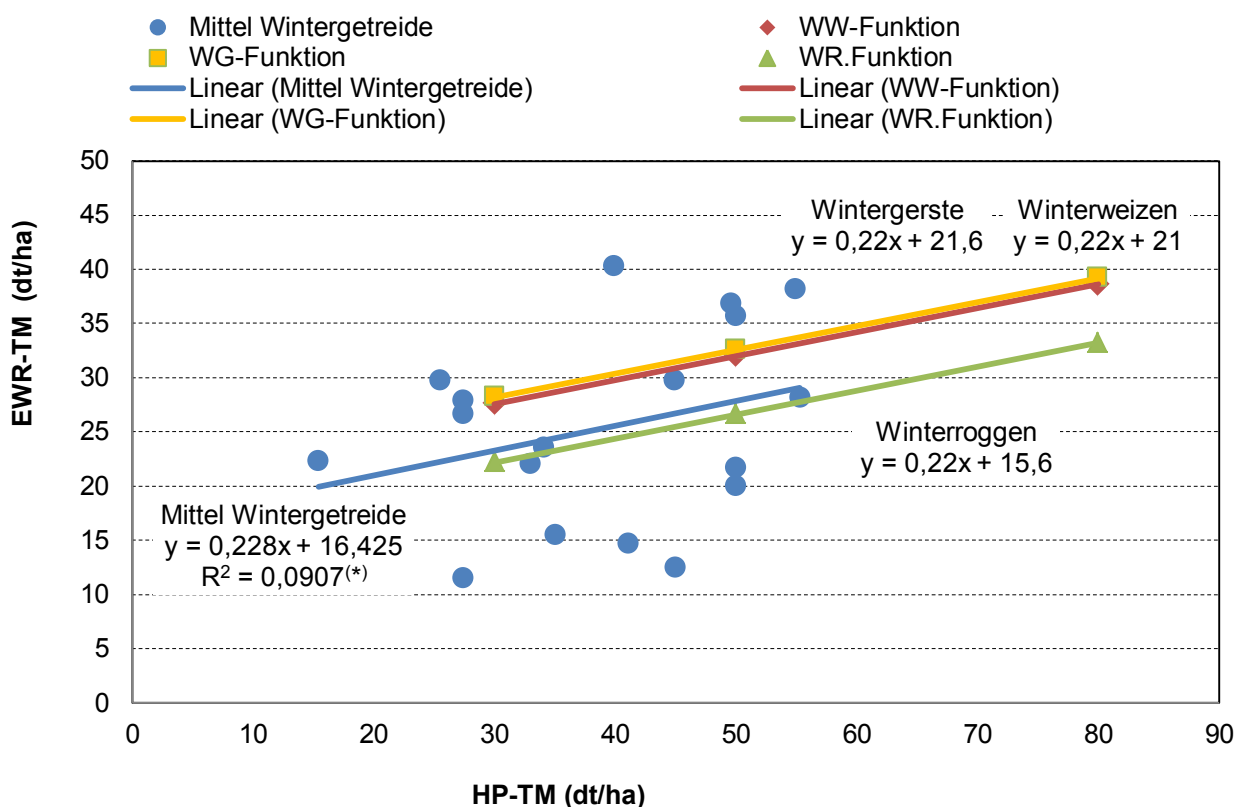


Abbildung 1: Beziehung zwischen dem Kornertrag der Wintergetreidearten und den ermittelten bzw. berechneten Ernte- und Wurzelrückständen (WG = Wintergerste; WW = Winterweizen; WR = Winterroggen)

Das mittlere Ertragsniveau der eingeflossenen Daten zu den wichtigsten Getreidearten findet sich in Abbildung 2. Während beim Winterroggen und der Wintergerste die TM-Mengen der EWR (Stoppeln und Wurzeln) etwas über 60 % des Kornertrages ausmachen, sind es bei der Sommergerste 34 % und beim Mais lediglich 22 %. Hinzuweisen ist auf die beachtliche Streuung im vorliegenden Datenmaterial. In Abbildung 3 sind die Mittelwerte der aus der Literatur stammenden Datenpaare im Vergleich zu den berechneten EWR-Mengen

(siehe Gleichungen in Tab. 1) dargestellt. Es zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung zwischen den experimentell ermittelten und den berechneten Ernte- und Wurzelrückständen.

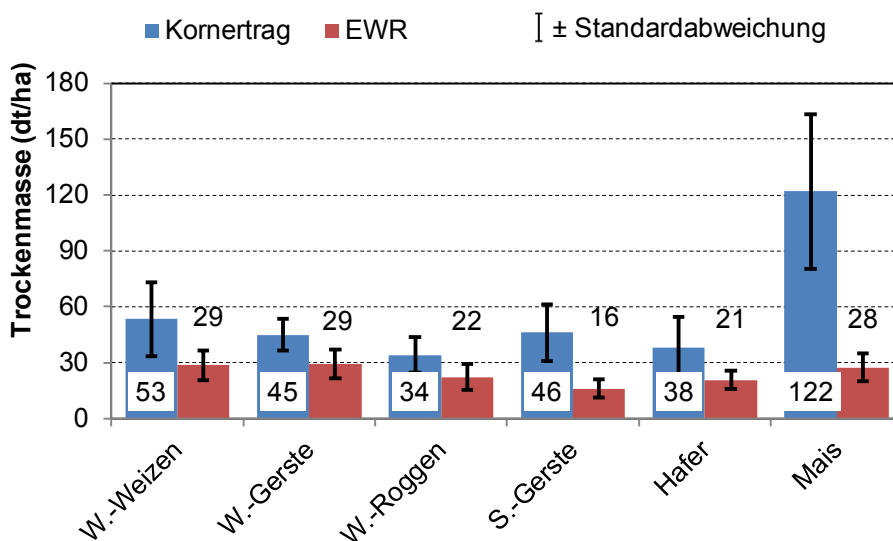


Abbildung 2: Mittlerer TM-Ertrag der wichtigsten Getreidearten und die dazugehörigen EWR-Mengen aus dem vorliegenden Datenmaterial

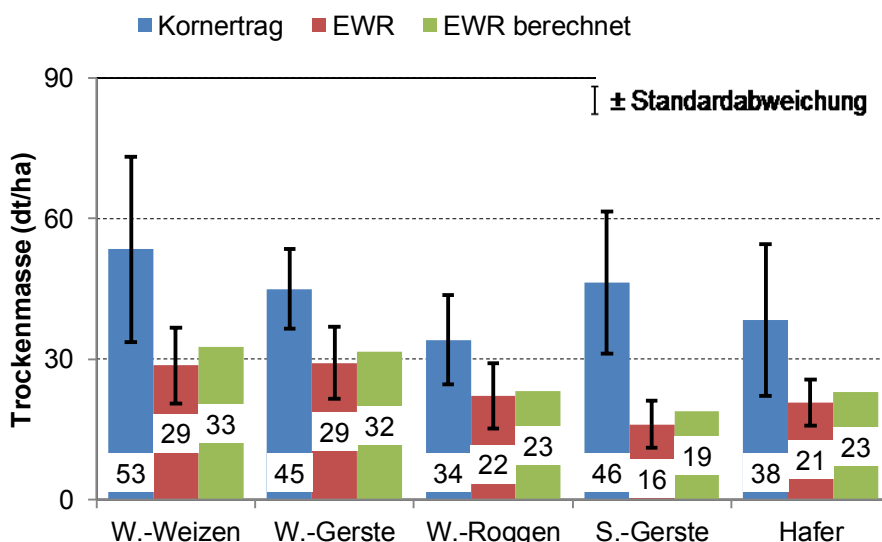


Abbildung 3: Vergleich zwischen der aus dem ausgewerteten Datenmaterial zusammengefassten EWR- und den mit Hilfe der in Tabelle 1 angegeben Koeffizienten berechneten EWR-Mengen

3.1.2 Hülsenfrüchte

In Tabelle 1 sind unter der weiteren Zwischenüberschrift „Hülsenfrüchte“ die verschiedenen Arten an Leguminosen aufgeführt. Sie reagieren auf hohe Gehalte an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden mit einem Rückgang der N₂-Fixierungsleistung (SCHMIDTKE und RAUBER, 2000) im Sinne einer Selbstregulierung der N-Zufuhr. Daher sind die Stickstoffgehalte in den Ernteprodukten von konventionellem und ökologischem Anbau relativ gleich hoch. Eine weitere Voraussetzung für eine hohe Fixierungsleistung ist zudem eine ausreichende Schwefelversorgung. So konnten SCHEERER et al. (2006) bei Erbsen durch eine angemessene S-Versorgung

feststellen, dass dadurch eine höhere Menge an Kohlenhydraten gebildet wurde und somit ein entsprechend höherer Anteil an Energie für die Knöllchenbildung und die N-Fixierungsleistung bereitstand.

Die Datenbasis für die Nährstoffgehalte der Hülsenfrüchte beruht auf eigenen Versuchsergebnissen sowie auf Untersuchungen von Haselhoff et al. (1930), Nehring (1972), LÜDDICKE (1976), HEINZMANN (1981), ANONYM (1997), REINING et al. (1999), RAUBER und SCHMIDTKE (1999), SCHMIDTKE und RAUBER (2000), KOLBE et al. (2002), JOST (2003), WICHMANN (2004), HAASE (2004), SCHLIEßER et al. (2010) sowie weiteren Arbeiten. Die Nährstoffgehalte der Grünspeiseerbse wurden mit der ernteüblichen Trockenmasse von 22 % ermittelt. Die N-Gehalte wurden aus experimentell ermittelten Werten aus dem Ökolandbau übernommen (JOST, 2003; LABER, 2004). Die P-, K- und Mg-Gehalte sind von den Werten der Körnererbse abgeleitet, indem diese auf den TM-Gehalt zum Erntezeitpunkt der Grünspeiseerbse umgerechnet wurden. Die Korn- zu Stroh-Verhältnisse der Hülsenfrüchte wurden aus den vorliegenden Daten des konventionellen Landbaus übernommen, da in beiden Produktionsweisen weitgehend keine Unterschiede auftraten. Durch den Züchtungsprozess sind die Korn- zu Stroh-Verhältnisse mit der Zeit enger geworden.

Für den Nährstoff Schwefel wurden zur Ermittlung der Gehalte in den Haupt- und Nebenprodukten der Körnerleguminosen folgende Quellen verwendet: NEHRING (1972), DLG (1973), BLOEM (1998), FRITSCH (1999), HERRMANN et al. (2000), PAULSEN und SCHOCHOW (2007), DITTMANN (2010), HEYN (2011), PFISTER (2011), LABER (2014), ANONYM (ohne Jahr). Die S-Gehalte der HP liegen mit 0,14 % S (Wicke) und 0,24 % (Lupine) etwas höher als bei den klassischen Getreidearten. Das Stroh der Hülsenfrüchte weist um ca. 0,02 – 0,06 % S niedrigere S-Gehalte auf als die Körner (Tab. 1, Hülsenfrüchte).

Die aus der Literatur entnommenen Angaben zum TM-Ertrag der verschiedenen Hülsenfrüchte und Gemen und ihre Beziehungen zu den anfallenden Ernte- und Wurzelrückständen sind in Abbildung 4 dargestellt worden. Sie entstammen aus den Veröffentlichungen von BOMMER (1955), VETTER (1955), SIMON (1956), KÖHNLEIN (1957), KUNZMANN (1972), ANONYM (1978), KLIMANEK (1987), ESSER und LÜTHKE-ENTRUP (1999), REINING et al. (1999), FREYER (2003), JOST (2003) und WICHMANN et al. (2003). Darüber hinaus flossen zum C:N-Verhältnis der EWR Angaben von MOHAMMADI (1974), KLIMANEK und ZWIERZ (1990), KLIMANEK und SCHULZ (1997) und LABER (2002) ein.

Auffallend ist, dass im Vergleich zu den legumen Futterpflanzen (siehe Kap. 3.1.6) bei den Grobleguminosen deutlich geringere EWR-Mengen anfallen. Darüber hinaus ist im Ertragsbereich zwischen 10 – 50 dt/ha Korn-trockenmasse im Mittel der Grobleguminosen eine Zunahme an EWR von lediglich etwa 10 dt TM/ha vorhanden. Eine Gegenüberstellung der TM-Erträge mit den ermittelten EWR-Mengen macht deutlich (Abbildung 5), dass die Ackerbohne im Verhältnis zum erzielten TM-Ertrag auch den höchsten EWR-Anteil aufweist. Immerhin sind es bei dieser Frucht etwa 70 %. Bei der Erbse findet sich mit lediglich 31 % der niedrigste EWR-Anteil. Ein Vergleich der in Tabelle 1 für einzelne Hülsenfrüchte zur Kalkulation der Mengen an EWR vorgeschlagenen linearen Funktionen mit den Mittelwerten aus den Literaturdaten ergibt ebenfalls eine gute Übereinstimmung (Abbildung 6). Von den Körnerleguminosen weisen die Ackerbohnen sowohl die höchsten EWR-Mengen und den höchsten Anstieg (b) im Vergleich zum HP-Ertrag auf, während am anderen Ende der Skala für die Wicken und die Erbsen jeweils die geringsten Werte ermittelt worden sind (siehe Tab. 1, Hülsenfrüchte).

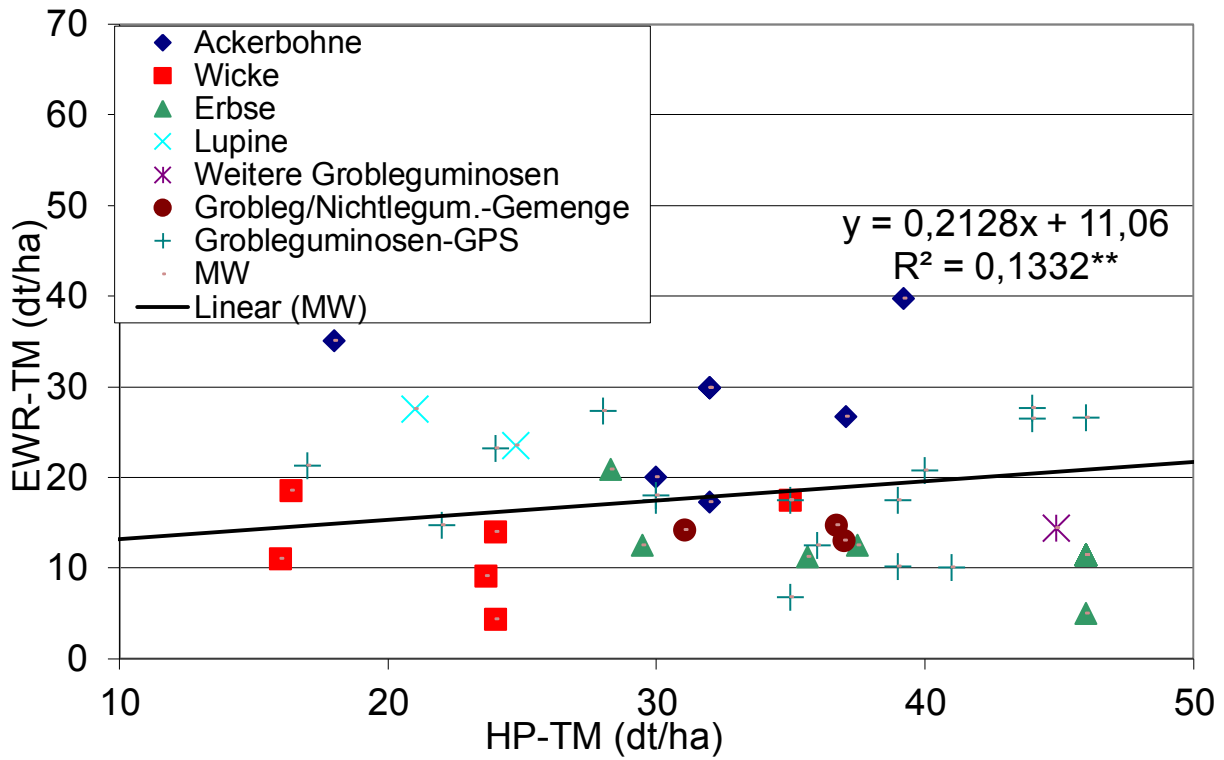


Abbildung 4: Beziehung zwischen dem Kornertrag von Grobleguminosen und den ermittelten EWR-Mengen

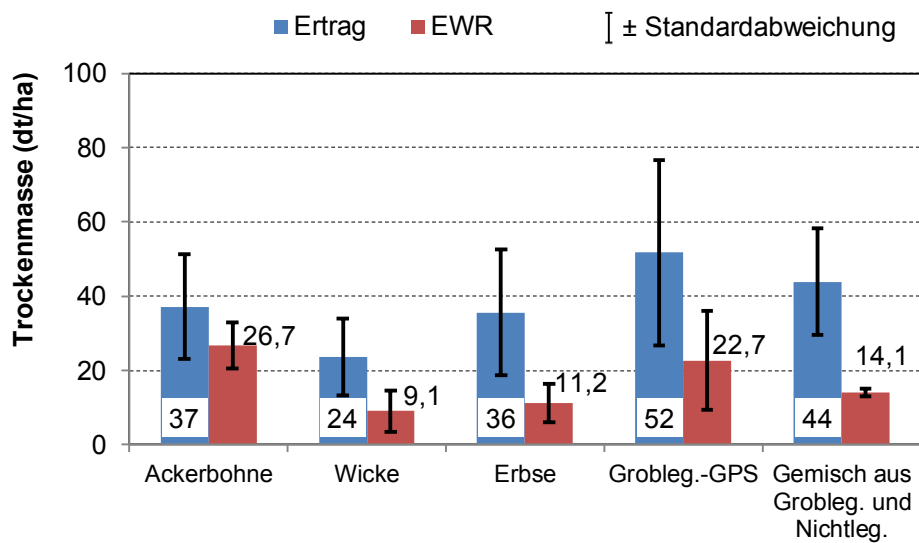


Abbildung 5: Beziehung zwischen den mittleren Erträgen an Hauptprodukten und den EWR-Mengen von Grobleguminosen aus dem herangezogenen Datenmaterial

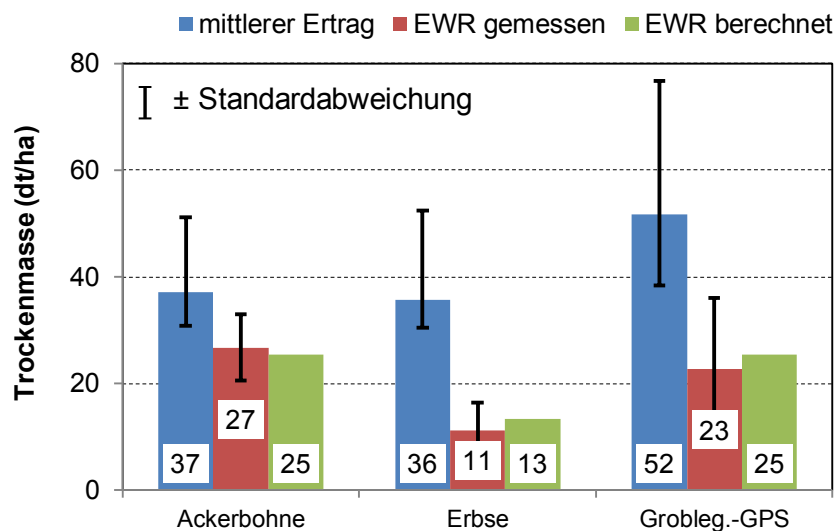


Abbildung 6: Vergleich der aus den vorliegenden Literaturdaten von verschiedenen Grobleguminosen zusammengefassten EWR-Mengen und den in Tabelle 1 angegebenen Koeffizienten berechneten EWR-Werten

3.1.3 Ölfrüchte

Im Abschnitt zu den Ölfrüchten in Tabelle 1 finden sich die in der landwirtschaftlichen Praxis im Anbau befindlichen sechs Arten. Nach wie vor liegt nur eine geringe Analysenanzahl zu den verschiedenen Ölfrüchten aus dem ökologischen Landbau vor. Es wurden die vorhandenen und neuesten Ergebnisse aus Öko-Versuchen einschließlich Ergebnisse aus eigenen Feldversuchen in die Mittelwertberechnungen für die Nährstoffe N, P, K und Mg aufgenommen. Die P-, K- und Mg-Gehalte wurden mit den Werten der konventionellen Tabellenwerke aus verschiedenen Bundesländern sowie mit den ökologischen Werten von STEIN-BACHINGER et al. (2004) abgeglichen. Die Korn:Stroh-Verhältnisse bei den Ölfrüchten wurden weitgehend von den konventionellen Angaben der Ländereinrichtungen übernommen.

Auch die Ölfrüchte waren zwischenzeitlich durch hohe S-Gehalte gekennzeichnet. Für die letzten Jahrzehnte konnte HEYN (2011) nachweisen, dass die Gehalte in Körnern des Winterraps je 10 Jahre um fast 0,03 % S (-7,2 %-Anteile) abgefallen sind. Folgende Quellen wurden für die Mittelwertbildung bei den Ölpflanzen verwendet: DLG (1973), GUPTA et al. (1997), BLOEM (1998), ANONYM (1999), FRITSCH (1999), HERRMANN et al. (2000), KTBL (2005), PAULSEN und SCHOCHOW (2007), HEYN (2011), ANONYM (ohne Jahr). Die Ölpflanzen sind allgemein durch verhältnismäßig hohe Schwefelwerte gekennzeichnet. Sie liegen in den Körnern zwischen 0,28 % S für Öllein und 0,68 % S beim Senf. Auch die Nebenprodukte weisen mit 0,19 – 0,28 % S deutlich höhere Werte auf im Vergleich zu den anderen Kulturarten (Tab. 1, Ölfrüchte).

Auch hinsichtlich der anfallenden Pflanzenbestandteile und deren Zusammensetzung und den Ernte- und Wurzelrückständen liegt nur eine geringe Datengrundlage vor. Angaben finden sich u.a. bei VETTER (1955), KLIMANEK (1989), KÖRSCHENS et al. (1989), KLIMANEK und SCHULZ (1997), SCAGNOZZI et al. (1997), FREYER (2003), SCHWEIGER (2004). Verschiedentlich wurden deshalb beispielsweise Ergebnisse genutzt, bei denen die Fruchtarten als Zwischenfrüchte angebaut und die Bestände nicht bis zur Kornreife geführt wurden. Auf eine detaillierte Darstellung soll deshalb verzichtet werden.

Von den Ölfrüchten bildet der Raps mit 24 dt TM/ha die höchsten mittleren EWR-Mengen, es folgen Senf und Leindotter, während Öllein mit 14 dt TM/ha die geringsten Werte aufweist. Im Vergleich zu anderen Hauptfrüchten sind die Ölfrüchte durch einen deutlicheren TM-Zuwachs an EWR je Einheit Ertragsanstieg gekennzeichnet (siehe Tab. 1).

3.1.4 Hackfrüchte

Bei den Hackfrüchten in Tabelle 1 stellt sich die Situation zu den Nährstoffgehalten sehr unterschiedlich dar. So liegen beispielsweise für die Kartoffeln viele Versuchsergebnisse aus ökologischem Anbau vor, so dass es sich hier um gut abgesicherte, repräsentative Mittelwerte handelt. Im Vergleich zum konventionellen Anbau zeigen sich deutlich niedrigere N-Gehalte bei den ökologisch erzeugten Kartoffeln. Auch bei der Bestimmung der Verhältnisse von Haupt- zu Nebenprodukt konnte auf eigene Versuchsdaten zurückgegriffen werden (KOLBE und STEPHAN-BECKMANN, 1997; KOLBE et al., 2003; MÖLLER et al., 2003).

Für die Zucker- und Futterrüben konnten zur Festlegung der Nährstoffgehalte nur wenige Werte aus dem ökologischen Anbau bereitgestellt werden (siehe Tab. 1). Grundlage bildeten die Veröffentlichungen von KOLBE und PETZOLD (2002) sowie von STEIN-BACHINGER et al. (2004). Die P, K und Mg-Gehalte wurden vorrangig anhand der konventionellen Tabellenwerke der Bundesländer überprüft und angepasst.

Von allen Fruchtarten beinhalten die Hackfrüchte die niedrigsten S-Gehalte in ihren Pflanzenteilen (siehe Tab. 1). Die Gehalte von Zuckerrüben sind um 0,008 % S (← 18,5 %-Anteile) in 10 Jahren zurückgegangen. Ungefähr nach dem Jahr 2005 war kein weiterer Abfall mehr registriert worden (HEYN, 2011). Auf Grund der wenigen Quellen konnte jedoch noch keine Differenzierung zwischen den verschiedenen Arten an Hackfrüchten erreicht werden. Folgende Literaturbefunde wurden hierfür verwendet: SAALBACH et al. (1970), NEHRING (1972), DLG (1973), KOLBE (1997), BLOEM (1998), ANONYM (1999), FRITSCH (1999), GUTSER und TUCHER (2000), KTBL (2005), ERIKSEN (2010), DITTMANN (2010), HEYN (2011).

Angaben zu den Nebenprodukten bzw. zu den EWR-Mengen und deren chemischer Zusammensetzung (C, N) beruhen im Wesentlichen auf denen vom konventionellen Anbau. Da die auf dem Feld verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände stark vom erzielten Ertragsniveau beeinflusst werden, wurden die Erträge wieder in die Betrachtung einbezogen. Angaben finden sich bei VETTER (1955), SCHULZ et al. (1986), KLIMANEK (1987), KÖRSCHENS et al. (1989), WRANKMORE (1990), KLIMANEK und SCHULZ (1997) SCHMIDTKE et al. (1999), FREYER (2003), ENGELS und KÖRSCHENS (2010) sowie BOLINDER et al. (2015). Bei den Kartoffeln ergibt sich insofern ein Problem, da in der Vergangenheit oft das Kraut mit in die EWR einbezogen wurde. In Abbildung 7 sind deshalb neben der „klassischen EWR“ inkl. Nebenprodukt auch die in der Literatur verfügbaren Daten ohne Nebenprodukt dargestellt worden. Bei der in Tabelle 1 (Hackfrüchte) für die Kartoffeln angegebenen linearen Gleichung wird das Nebenprodukt nicht berücksichtigt.

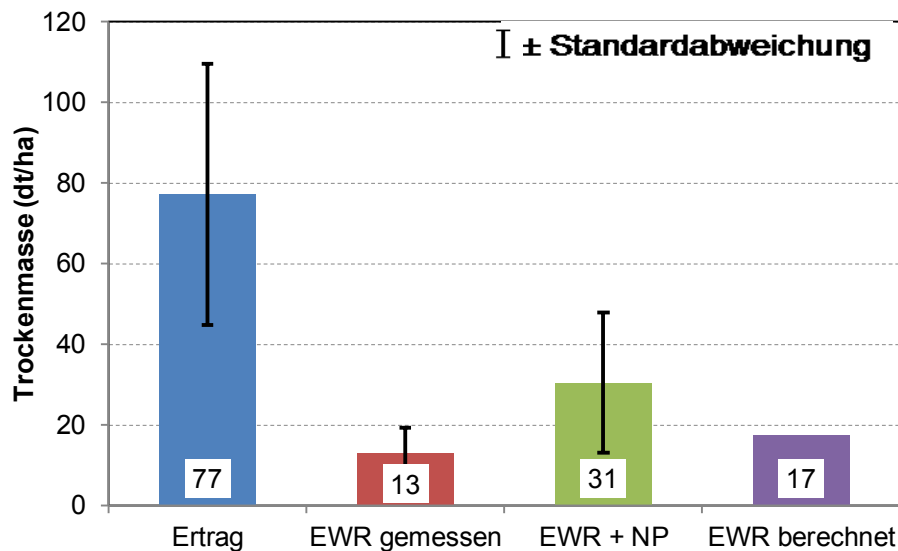


Abbildung 7: Trockenmasseertrag der Kartoffeln und die gemessenen und berechneten EWR-Mengen

Auf Grund der vorliegenden sehr geringen Anzahl an verwendbaren Untersuchungen konnten nur für alle Hackfrüchte eine mittlere EWR-Menge von ca. 14 dt TM/ha etabliert werden. Gleichzeitig ist am Anstieg (b) der Gleichung zu erkennen, dass nur eine verhältnismäßig geringe Zunahme der EWR-Werte je TM-Ertrag erfolgt.

3.1.5 Samenvermehrung

Für diesen spezifischen Produktionszweig liegen nur minimale Analysenwerte aus dem ökologischen Landbau vor. Die Quelle der in Tabelle 1 aufgeführten vier Fruchtarten wurden bereits von KÖHLER und KOLBE (2007) beschrieben. Danach wurden die Nährstoffgehalte der Leguminosen zur Samenvermehrung von den Richtwerten der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft übernommen (KERSCHBERGER et al., 2002). Entsprechend den vorliegenden Ergebnissen bei den Körnerleguminosen werden bei der Samenvermehrung keine niedrigeren N-Gehalt als bei den Leguminosen angenommen. Bei den Gras- und Rübensamen wurde ein N-Abzug von 15 % veranschlagt. Die P-, K- und Mg-Gehalte entsprechen den konventionellen Analysenwerten. Die angegebenen EWR-Mengen liegen hier ohne Berücksichtigung der auf dem Feld verbleibenden Nebenprodukte, unter denen im spezifischen Futteranbau vorgegebenen Werten (siehe Kap. 3.1.6). Als Quellen für die Bestimmung mittlerer S-Gehalte in diesen Pflanzenarten wurden Ergebnisse aus FRITSCH (1999) und anderen Arbeiten verwendet.

3.1.6 Futterpflanzen

Die Datensammlung zu den Futterpflanzen im ökologischen Anbau wurde aus langjährigen wissenschaftlichen Feldversuchen (bundesweit), eigenen Erhebungen aus der Praxis in Sachsen (von Klee grasflächen und Grünland), sowie aus verschiedenen Ergebnissen von Futterqualitätsuntersuchungen erstellt (Tabelle 1, Futterpflanzen). In den Auswertungen des vorliegenden Zahlenmaterials konnten bei den Reinbeständen von Futterleguminosen zwischen ökologischen und konventionellen Quellen keine deutlichen Unterschiede in den N-Konzentrationen festgestellt werden.

Nachfolgend werden die Hauptbezugsquellen für die Nährstoffgehalte der Futterpflanzen aufgeführt: BOMMER (1955), SCHEFFER und ULRICH (1960), NEHRING (1972), LÜDECKE (1976), ANONYM (1978), HEINZMANN (1981),

MEINSEN (1983), OEHMICHEN (1986), KIRCHMANN (1988), MANZKE (1990), ANONYM (1993), CLAUPEIN (1994), KELNER et al. (1997), SCHMIDTKE (1997), LOGES (1998), LOGES und TAUBE (1999), SCHMIDTKE und RAUBER (2000), ANONYM (2001), ROTH und REENTS (2001), JOST (2003), JUNG (2003), SCHMIDTKE (2003), ANONYM (2004), DIETEL und LEHMANN (2004), HAAS (2004), PIETSCH (2004).

Bei den Stickstoffentzügen bestehen wesentliche Unterschiede bei den Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemischen. Deshalb wurden außer für die Reinbestände die N-Gehalte für Klee- und Luzernegras in Stufen mit 30 %, 50 % und 70 % Ertragsanteil der Leguminosen angegeben. Die größten Unterschiede in den N-Gehalten bestehen bei den Nichtleguminosen. Das betrifft besonders für reine Grasbestände zu. Unterschieden wird bei den Nährstoffgehalten auch zwischen bestimmten Nutzungsverfahren, z. B. als Ganzpflanzensilage (GPS) oder Frischfutter bei Schnittnutzung.

Die S-Gehalte von grünen pflanzlichen Materialien können erheblichen Schwankungen unterworfen sein. So weisen Literaturquellen aus der Zeit hoher S-Depositionen z.B. für Luzerne und Rotklee Werte um 0,5 % S i.d. TM aus (FRITSCH, 1999; KTBL, 2005). Sowohl ältere als auch Quellen aus jüngerer Zeit kommen bei Nährstoffanalysen zu deutlich niedrigeren Werten. Auf Grund der wenigen verlässlichen Daten wurden für die meisten legumen und nichtlegumen Futterpflanzen lediglich Werte um 0,18 % S festgelegt. Einige Kulturen weisen niedrigere Werte auf (Silomais: 0,15 % S), andere Arten sind durch z.T. deutlich höhere Konzentrationen gekennzeichnet (Futerraps, Senf: 0,35 %, Sonnenblume: 0,20 %, Tab. 1). Folgende Arbeiten wurden verwendet: SAALBACH et al. (1970), NEHRING (1972), DLG (1973), KIRCHMANN (1988), FRITSCH (1999), HERRMANN et al. (2000), ERIKSEN et al. (2004), ERIKSEN (2005), KTBL (2005), DITTMANN (2010), MÖLLER und SCHULTHEIß (2014).

Bei den Futterpflanzen konnten insgesamt nur geringe Unterschiede in den P-, K-, Mg- und S-Gehalten zwischen den verschiedenen Produktionsweisen festgestellt werden. Vom Silomais lagen Nährstoffgehalte aus ökologischem Landbau vor (BECKMANN und KOLBE, 2002). Vom Corn-Cob-Mix (CCM) und vom Körnermais wurde von den konventionellen Werten ein N-Abzug von 15 % vorgenommen und daraus ein Mittelwert abgeleitet. Abweichungen in den Nährstoffgehalten von Energiemais können aufgrund fehlender Daten nicht belegt werden. Zum Kolben bzw. Korn zu Restpflanzen-Verhältnis von Mais lagen keine Ökoversuchsdaten vor. Aus den Tabellenwerken der Ländereinrichtungen wurde für den ökologischen Anbau ein HP- zu NP-Verhältnis von 1:0,8 für beide Erntevarianten abgeleitet.

Zu den Ernte- und Wurzelrückständen der Futterpflanzen und Zwischenfrüchte und ihren Gemischen liegen umfangreiche Erhebungen aus der Literatur vor. Dabei zeigt sich eine zum Teil beachtliche Spannweite, die von den jeweiligen Boden- und Nutzungsbedingungen geprägt wurde. In dem vorliegenden Datenmaterial wurden Untersuchungsergebnisse folgender Autoren berücksichtigt: HASELHOFF et al. (1930), BOMMER (1955), VETTER (1955), SIMON (1956), BERGMANN und GERMAR (1956), KÖHNLEIN (1957), PÄTZOLD (1958), BRIECKI und ROSZAK (1960), KUNTZE (1964), KUNZMANN (1972), HERMAN et al. (1977), ANONYM (1978), ESSER und LÜTKE-ENTRUP (1981), HEINZMANN (1981), STEFFENS (1984), KLIMANEK (1987), KIRCHMANN (1988), MÜLLER und SUNDMAN (1988), BRELAND (1990), KLIMANEK (1990), WRANKMORE (1990), MICHEL (1992), MEINSEN und WEGENER (1992), PIORR (1992), LOPOTZ (1996), ALBERT et al. (1997), LOGES et al. (1997), SCHMIDT (1997), WIVSTAD (1997), LOGES (1998), REINIG et al. (1999), JUNG (2003), PIETSCH (2004), SCHWEIGER (2004) und DREYMANN et al. (2005).

Die statistischen Beziehungen zwischen den Haupterträgen und der ermittelten Trockenmasse an Ernte- und Wurzelrückständen von Rotklee, Luzerne und den Gemischen mit Gräsern sind in Abbildung 8 dargestellt worden. Mit zunehmendem Ertrag steigen die EWR-Mengen an. Bei gleichen TM-Erträgen liegen die ermittelten EWR-Werte der Gemenge mit Gras immer etwas höher als bei den Reinsaaten. Die Mittelwerte bei den Erträgen der Rotklee- und Luzernereinsaaten vom vorliegenden Datenmaterial weisen das gleiche Ertragsniveau bei gleicher Standardabweichung auf (Abbildung 9). In den EWR-Mengen ist allerdings die Luzerne mit ca. 75 dt dem Rotklee mit 65 dt TM/ha deutlich überlegen. Von den Gemengen mit Gras ist das Klee gras im Ertrag geringfügig leistungsfähiger als das Luzernegras. Da Luzerne vorwiegend auf tiefgründigen und eher trockeneren Standorten zum Anbau kommt, überrascht es auch nicht, dass das Gemenge mit Gras im Ertrag im Vergleich zur Reinsaat etwas unterlegen ist.

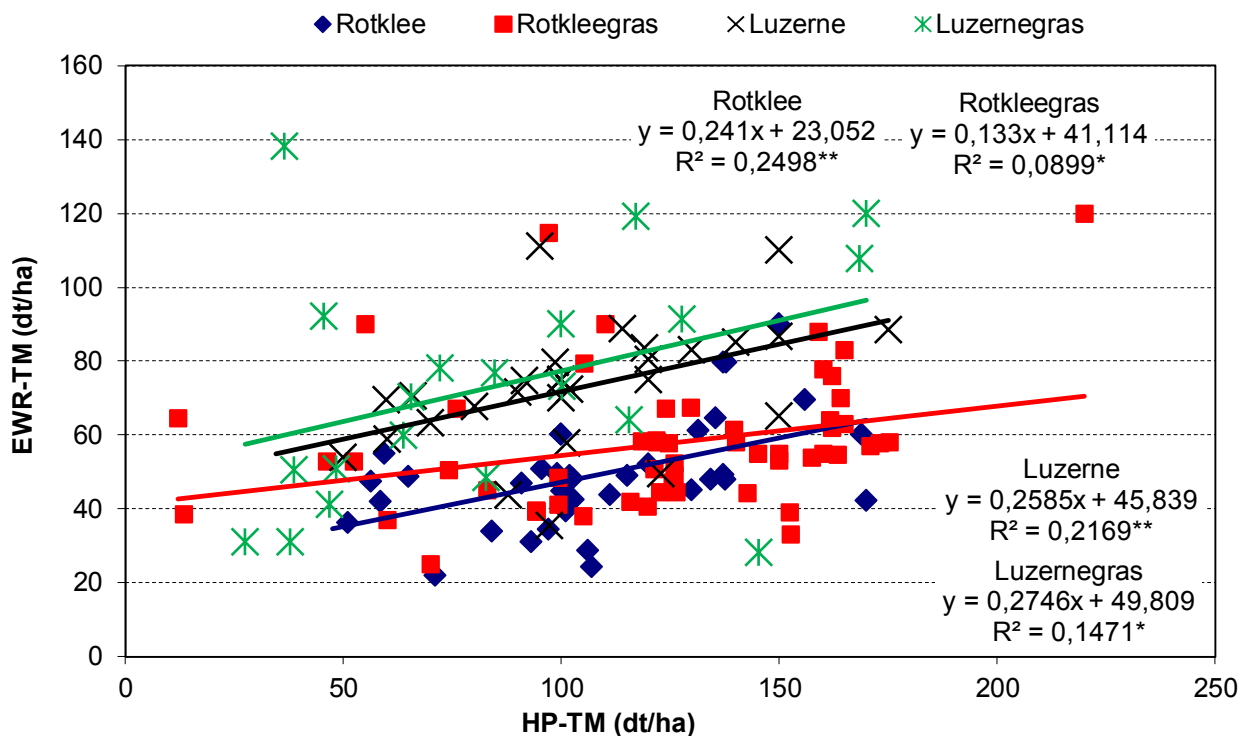


Abbildung 8: Beziehung zwischen Hauptertrag und den EWR-Mengen von Rotklee, Luzerne und ihren Grasgemengen

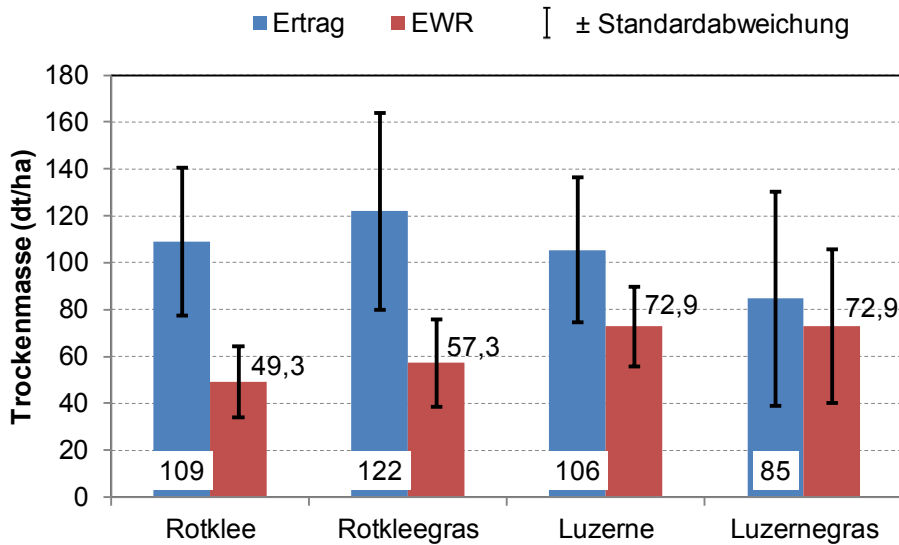


Abbildung 9: Mittlerer Ertrag von Rotklee, Luzerne sowie ihren Grasgemengen und die dazugehörigen Ernte- und Wurzelrückstände

Während beim Rotklee bzw. Rotklee gras die EWR etwa 45 % bzw. 47 % der geernteten Trockenmasse ausmachen, sind es bei der Luzerne und Luzerne gras etwa 69 % und 86 % vom erzielten TM-Ertrag. Diese Verhältnisse weisen deutlich auf die Vorzüge der Luzerne zur Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz hin. In Abbildung 10 sind die experimentell ermittelten mittleren Erträge und die damit verbundenen Mengen an EWR sowie die für dieses Ertragsniveau berechneten EWR-Mengen dargestellt. Für die Berechnung bei den Grasgemischen wurde ein Leguminosen-Grasgemisch von 50:50 angenommen. Das entspricht in etwa dem ausgewerteten Datenmaterial. Geringere Abweichungen ergeben sich lediglich bei dem Rotklee und dem Rotklee gras. Sie liegen aber immer noch deutlich innerhalb der Standardabweichung der ausgewerteten Versuchsergebnisse.

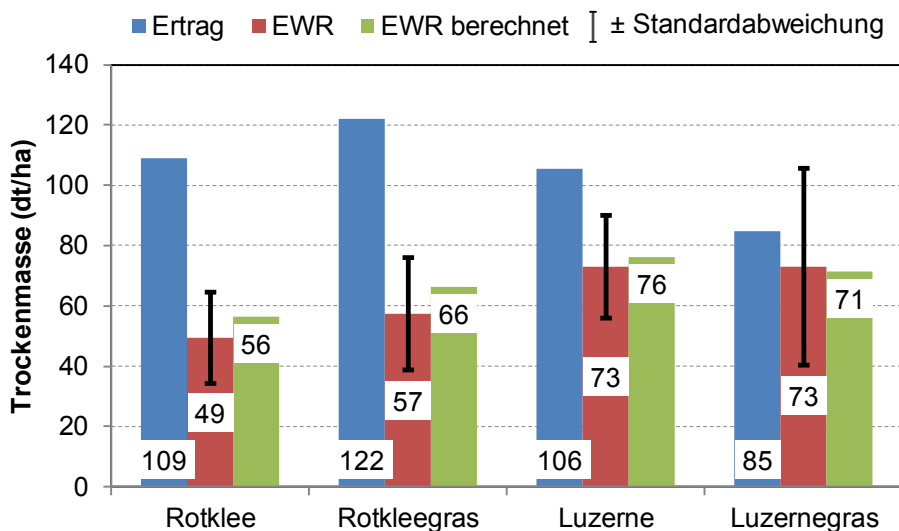


Abbildung 10: Vergleich der aus den vorliegenden Literaturdaten experimentell ermittelten TM-Erträgen und EWR-Mengen und den mit Hilfe der in Tabelle 1 angegebenen linearen Funktionen berechneten EWR-Werten von verschiedenen Futterleguminosen und deren Gemischen

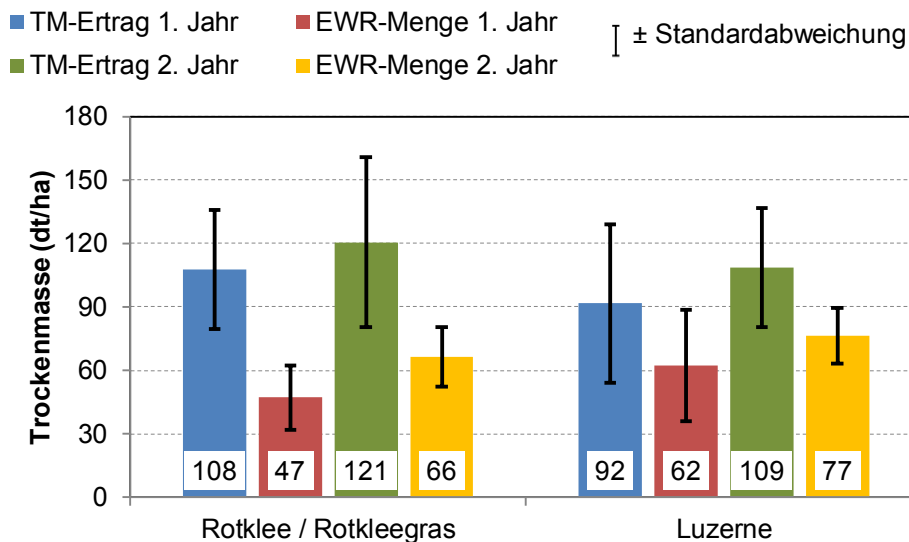


Abbildung 11: Trockenmasseerträge von Rotklee, Rotklee gras und Luzerne sowie ihre EWR-Mengen nach Nutzungsjahren aufgeführt

In Abbildung 11 sind die ermittelten Trockenmasseerträge von Rotklee und Rotklee gras sowie von Luzerne und deren jeweilige EWR-Mengen nach Nutzungsjahren zusammengefasst worden. Dabei zeigt sich bei beiden Arten, dass das erste Nutzungsjahr hinsichtlich der TM-Erträge und der EWR-Mengen jeweils etwas schwächer ausfällt. Im Vergleich zu den abgefahrenen Erträgen liegt der Anteil der EWR beim Klee und beim Klee gras im ersten Nutzungsjahr bei 43 % und im zweiten Jahr bei 54 %. Anzunehmen ist, dass zwar die oberirdischen Rückstände und auch Anteile des Feinwurzelsystems vom ersten zum zweiten Jahr abgestorben sind. Große Teile des Wurzelsystems bleiben anscheinend bei beiden Futterarten erhalten und werden im zweiten Nutzungsjahr weiter ausgebaut.

Als weiterer Aspekt muss daher die Umsetzung der Wurzelmasse unter mehrjährigen Futterpflanzen genauer betrachtet werden. Ist die Bestimmung der als Ernte- und Wurzelrückstände im Boden verbleibenden Massen mit entsprechendem Aufwand und mit Ungenauigkeiten bzw. Grenzen in der Genauigkeit behaftet, so ist die Bestimmung der Wurzelmassen, die im zeitlichen Verlauf der Vegetation und in den einzelnen Anbaujahren von mehrjährigen Futterpflanzen absterben und dem Abbau unterliegen noch schwieriger zu ermitteln. So weisen BOLINDER et al. (2001) darauf hin, dass die Vergleichbarkeit von Wurzelmassebestimmungen oft nicht gegeben ist, da methodisch sehr unterschiedlich herangegangen wird. Sie fordern deshalb eine Standardisierung der Wurzel- und Sprossprobenahme, um Werte aus der Literatur bezüglich der im Boden verbleibenden EWR zu nutzen. Zudem liegen in der Literatur nur sehr begrenzte Ergebnisse vor, die oft unter sehr spezifischen Standort- und Anbaubedingungen gewonnen wurden. Zwar sind bezüglich der Verallgemeinerung Grenzen gesetzt, sie geben jedoch, solange keine standortspezifischen Ergebnisse vorliegen, erste grobe Hinweise. Vielfach zitiert werden SAUERBECK und JOHNNEN (1976) wonach bei den meisten Bestimmungen der Wurzelmasse zum Ende der Vegetation lediglich 30 – 50 % der im Verlauf des jeweiligen Jahres vorhandenen Wurzeln erfasst werden.

Schwankungen im Verlauf des Jahres im Hinblick auf die Wurzelbiomasse beobachteten z.B. PIETZSCH (2004) sowie GOINS und RUSSEL (1996). Wurzelsysteme unterliegen einem periodischen Muster von Absterben und Erneuerung (BUTLER et al., 1959). Insbesondere mit Zunahme der Schnitthäufigkeit ist ein Absterben eines Teils des Wurzelsystems verbunden. So zeigt sich in Luzernebeständen, dass im Verlauf der Anbaujahre die

Bestandesdichte abnimmt und so nicht nur Feinwurzeln, sondern auch die mengenmäßig besonders zu betrachtenden Pfahlwurzeln absterben (HAKL et al., 2012). Die Wurzelverluste dürften stark von den jeweiligen Wachstumsbedingungen des Anbaujahres, der Assimilatreserven und des Wiedereinsetzens des Wachstums einschließlich der Assimilatversorgung in den Folgejahren zusammenhängen. Folgende weitere Quellen wurden für diese Auswertungen verwendet: BAKER und GAREWOOD (1959), BUTLER et al. (1959), DISTEL und FERNANDEZ (1988), LOU et al. (1994), PIETSCH (2004), VINTHER (2006), HAKL et al. (2011), CHEN et al. (2013), CHMELÍKOVÁ et al. (2015). Aus diesen verschiedenen Literaturquellen wurden folgende orientierende Werte abgeleitet (Tabelle 4).

In Abbildung 12 sind die verfügbaren Ertrags- und EWR-Daten zu anderen Kleearten im Hauptfruchtanbau, als Untersaaten bzw. Zwischenfrüchte (Klee und Luzerne) zusammengetragen worden. Unter der Bezeichnung „andere Kleearten“ verbergen sich Weiß-, Perser-, Alexandriner-, Inkarnat-, Schweden-, Gelb- und Hopfenklee. Diese Vielfalt mit unterschiedlichen Standortansprüchen erklärt die beachtlichen Unterschiede im Ertrag. Die Entwicklung der Untersaaten wird stark von den Beständen der Deckfrucht beeinflusst. In der Regel sind daher die gebildeten Spross- und EWR-Mengen eher gering. Die anderen Kleearten erreichen 47 – 53 dt/ha EWR-TM, die der Untersaaten nur noch 19 – 26 dt/ha TM, wobei aber die Zunahme der EWR in Folge Ertragsanstieg bei den Untersaaten deutlicher ausgeprägt ist (siehe Anstieg b, Tab. 1, Futterpflanzen).

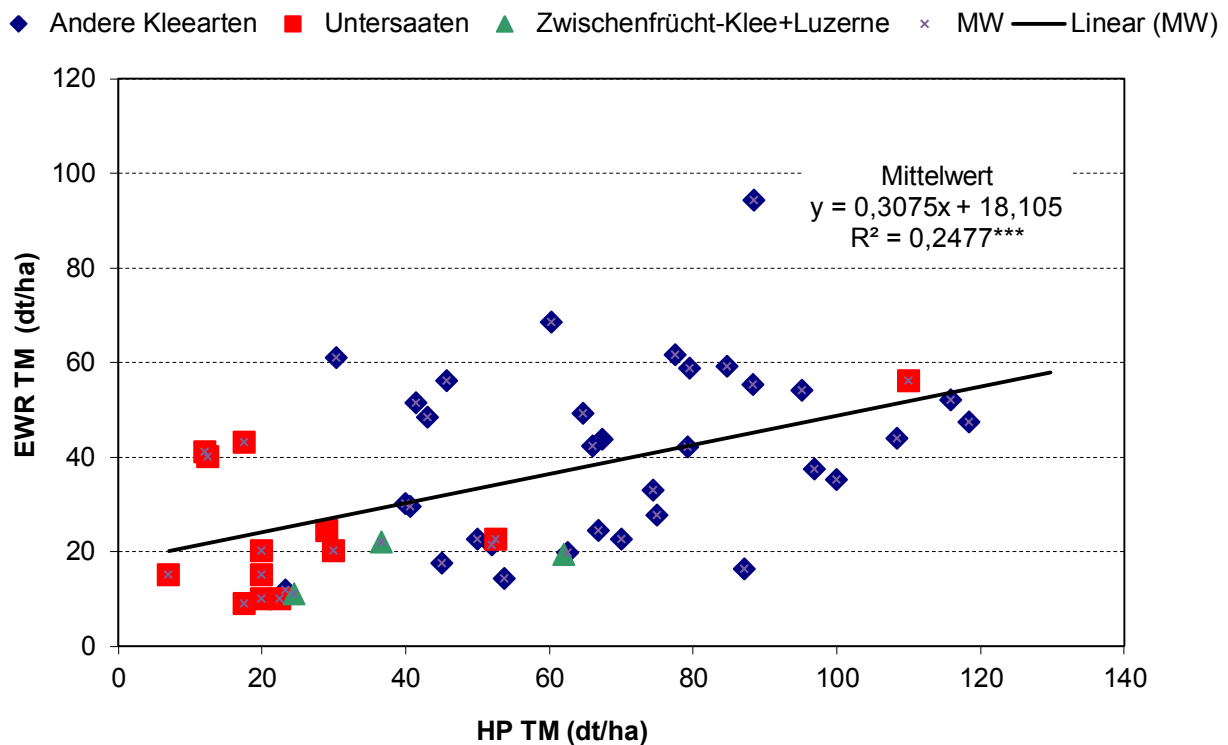


Abbildung 12: Statistische Beziehungen zwischen den TM-Erträgen verschiedener Kleearten (ohne Rotklee), Untersaaten sowie Klee/Luzerne als Zwischenfrucht und den ermittelten EWR-Mengen

Die in Abbildung 13 zusammengestellten mittleren TM-Erträge und EWR-Mengen zeigen sehr deutlich, dass in Abhängigkeit von den Anbaubedingungen neben dem Ertrag auch die jeweiligen Ernte- und Wurzelrückstände deutlichen Schwankungen unterworfen sind. Während die Kleeuntersaaten im Sprossertrag deutlich abfallen, zeigt sich bei den als Zwischenfrucht angebauten Klee- und Luzernebeständen zwar ein beachtlicher Sprossertrag, die dann erzielten Ernte- und Wurzelrückstände bleiben aber deutlich hinter den anderen An-

bauformen zurück (vgl. auch Abbildung 10). Verursacht wird dies vermutlich durch die wesentlich kürzere Vegetationszeit im Vergleich zu den mehrjährig angebauten Beständen.

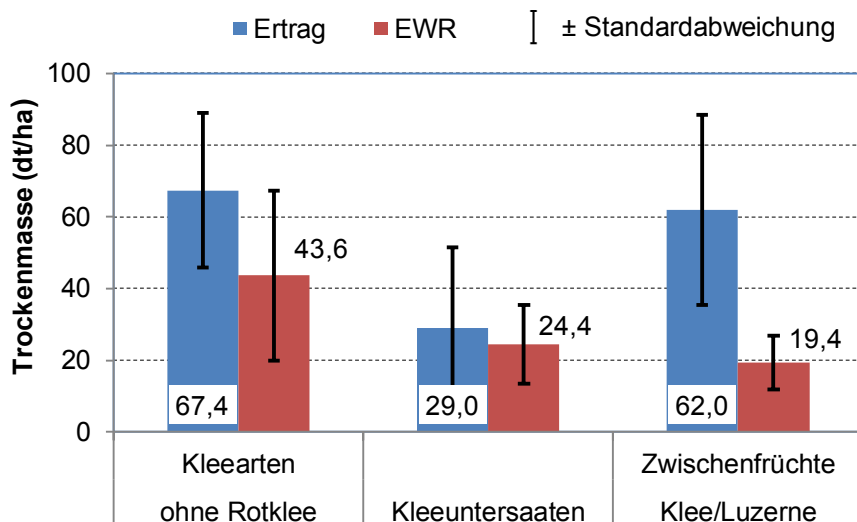


Abbildung 13: Mittlere Erträge von verschiedenen Kleearten ohne Rotklee, Kleeuntersaaten sowie Zwischenfrüchten als Klee/Luzerne und die dazugehörigen Ernte- und Wurzelrückstände

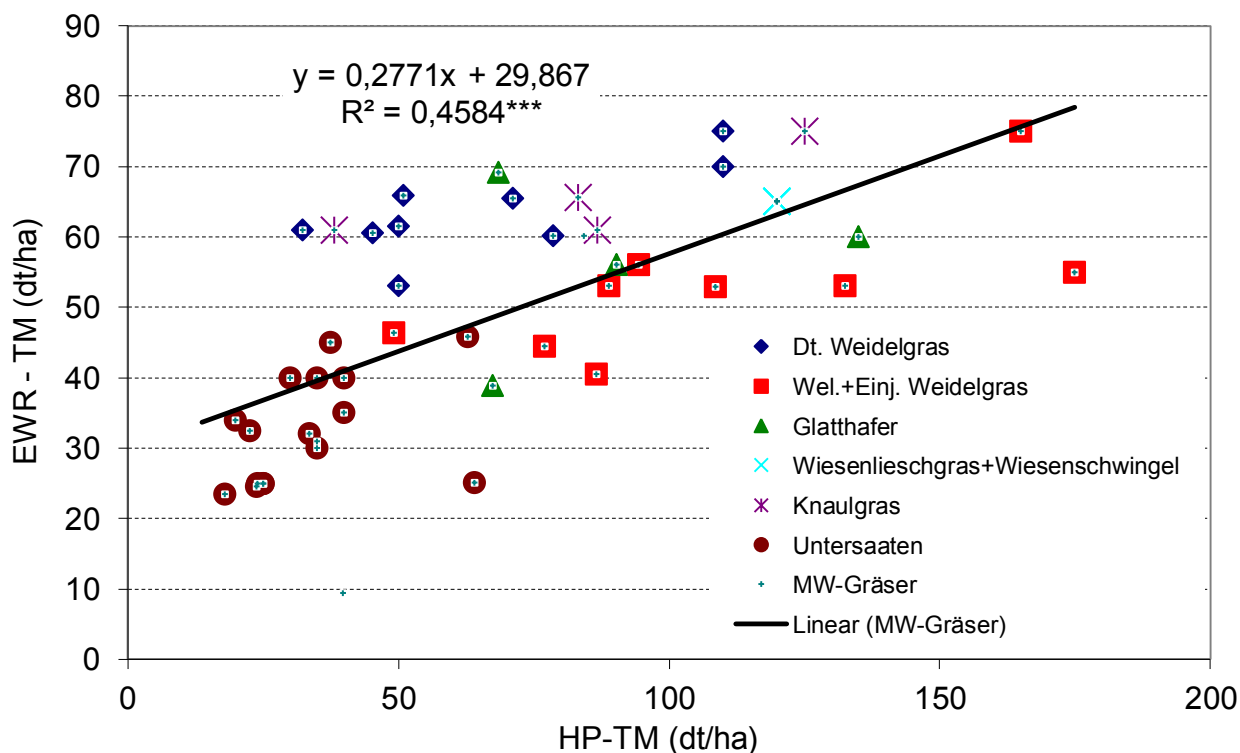


Abbildung 14: Beziehungen zwischen der Trockenmasse an Hauptprodukten und an EWR von verschiedenen Ackergräsern

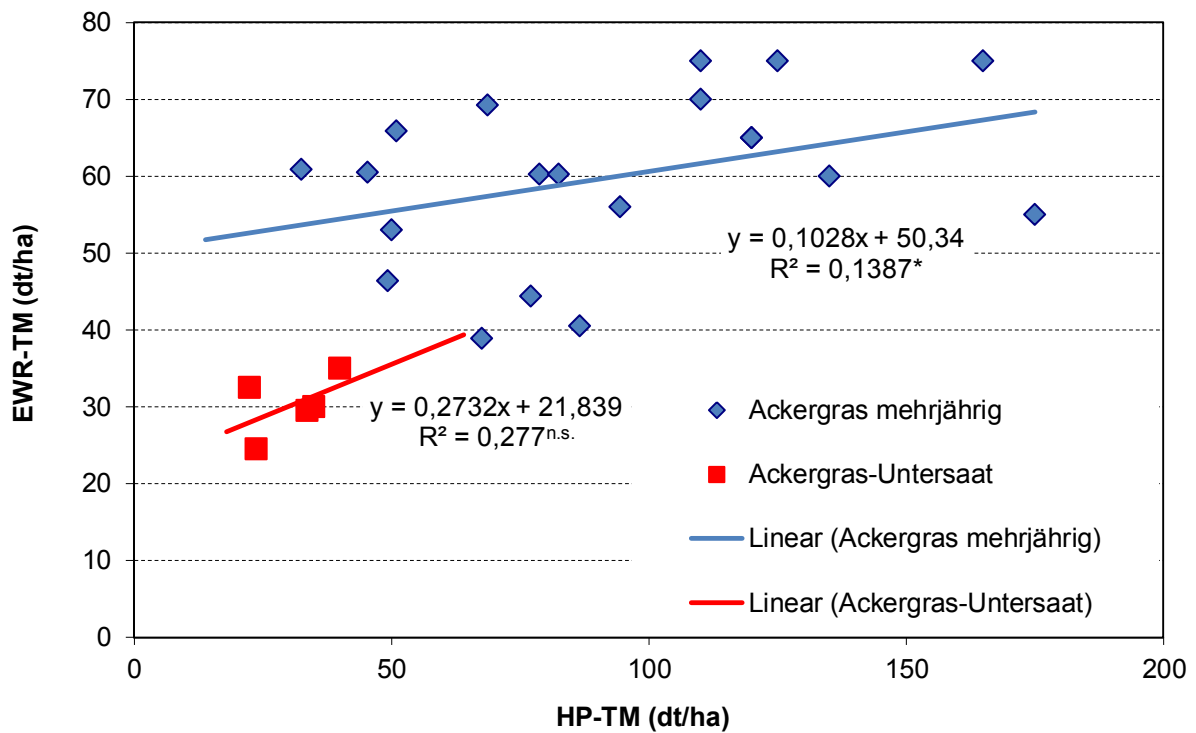


Abbildung 15: Statistische Beziehungen zwischen den gebildeten TM-Hauptprodukten von Ackergras-Anbauformen und den ermittelten EWR-Mengen

Die statistischen Beziehungen zwischen der gebildeten Trockenmasse der Ackergräser und den in den zugrundeliegenden Untersuchungen ermittelten EWR-Werten sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. In der Grundgesamtheit besonders stark vertreten sind verschiedene Arten an Weidelgräsern. Bei dem mehrjährigen Ackergras ist die gefundene Ertragsspanne beachtlich. Das trifft allerdings nicht in der gleichen Weise für die ermittelten EWR-Trockenmassen zu. Im Durchschnitt erreicht das Ackergras mit 65 dt TM/ha ähnlich hohe Werte wie bei dem Rotklee.

Das Ertragsniveau des einjährigen Ackergrases bleibt deutlich hinter dem des mehrjährigen Anbaus zurück. Bemerkenswert bei den Ackergäsern ist der im Vergleich zur geernteten Sprosstrockenmasse hohe Anteil an EWR. Die Untersuchungsergebnisse zeigen einen besonders hohen Anteil an EWR bei dem als Untersaat angebauten einjährigen Ackergras. Die Unterschiede zwischen den ermittelten und den berechneten EWR-Mengen sind minimal (Abbildung 16).

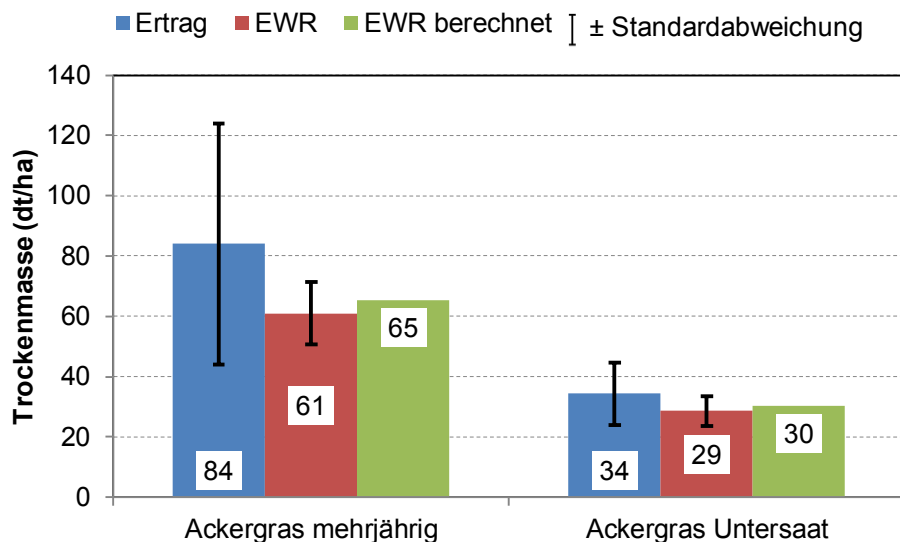


Abbildung 16: Mittlerer TM-Ertrag von Ackergräsern und die experimentell ermittelten bzw. berechneten EWR-Mengen (mittels Gleichung aus Tab. 1)

3.1.7 Zwischenfrüchte

Den Abschluss der Tabelle 1 bilden die Zwischenfrüchte. Sowohl in der Anzahl der Arten als auch in den Anbauverhältnissen gibt es hier deutliche Unterschiede. Beeinflusst durch die jeweiligen Standortbedingungen, die Aussaatzeit und die Witterungsverhältnisse erzielen die Zwischenfrüchte unterschiedliche Biomassemengen in den verschiedenen Entwicklungsstadien. Davon werden auch die entsprechenden Nährstoffgehalte beeinflusst. Auf Grund der unzureichenden Datengrundlage aus dem ökologischen Landbau wurden in dem Handbuch von STEIN-BACHINGER et al. (2004) die Nährstoffgehalte der Zwischenfrüchte lediglich in legume und nichtlegume Sommer- und Winterzwischenfrüchte unterteilt. Weiterhin wurden zahlreiche Ergebnisse aus dem konventionellen und ökologischen Anbau ausgewertet (u.a. KIRCHMANN, 1988; KOLBE et al., 2004).

Für die Zwischenfrüchte wurden bisher relativ hohe Gehalte an Schwefel zwischen ungefähr 0,35 – 1,13 % S ausgewiesen (SAALBACH et al., 1970; FRITSCH, 1999; ANON., 1999; KTBL, 2005). Für die Festlegung von Mittelwerten konnten daher wiederum nur relativ wenige Veröffentlichungen Verwendung finden: SAALBACH et al. (1970), NEHRING (1972), DLG (1973), GUPKA et al. (1997), FRITSCH (1999), HERRMANN et al. (2000), ERIKSEN et al. (2004), ERIKSEN (2005, 2010). Für die meisten legumen und nichtlegumen Arten des Zwischenfruchtbaus wurde ein mittlerer Gehalt von 0,18 % S i.d. TM festgelegt. Bei einigen Arten konnten abweichende Konzentrationen ermittelt werden: Grünmais: 0,15 %, Steckrübe, Stoppelrübe: 0,20 %, Markstammkohl: 0,35 %, Senf, Ölrettich: 0,40 % S i.d. TM (Tab. 1, Zwischenfrüchte).

Spezifische Angaben zu den gebildeten Wurzelmassen der Zwischenfrüchte finden sich nur vereinzelt und dürften stark abhängig von der Bestandsentwicklung sein (Literatur siehe Kap. 3.1.6). In Abbildung 17 sind die verfügbaren Daten hinsichtlich der statistischen Beziehungen zwischen dem Sprossertrag und den ermittelten EWR-Werten gemeinsam mit verschiedenen GPS-Mischungen graphisch dargestellt worden. Die Winterzwischenfrüchte weisen sowohl im Sprossertrag als auch in den EWR-Mengen etwas niedrigere Beträge auf. Je eher die Bestände ihre physiologische Reife erreichen und je größer die TM-Bildung ist, desto höhere Beträge an EWR wurden ermittelt.

Wie die Ergebnisse zeigen, weist diese Gruppe von Fruchtarten eine große Heterogenität auf, so dass eine spezielle Gleichung zur Berechnung der EWR-Mengen nach bisherigem Kenntnisstand nur unzureichend gelingen kann. So ist eine Zuordnung beispielsweise der Getreide-GPS zu den jeweiligen Getreidearten unter Verwendung der entsprechenden Gleichungen ebenfalls möglich (siehe Abbildung 1 u. Tabelle 1).

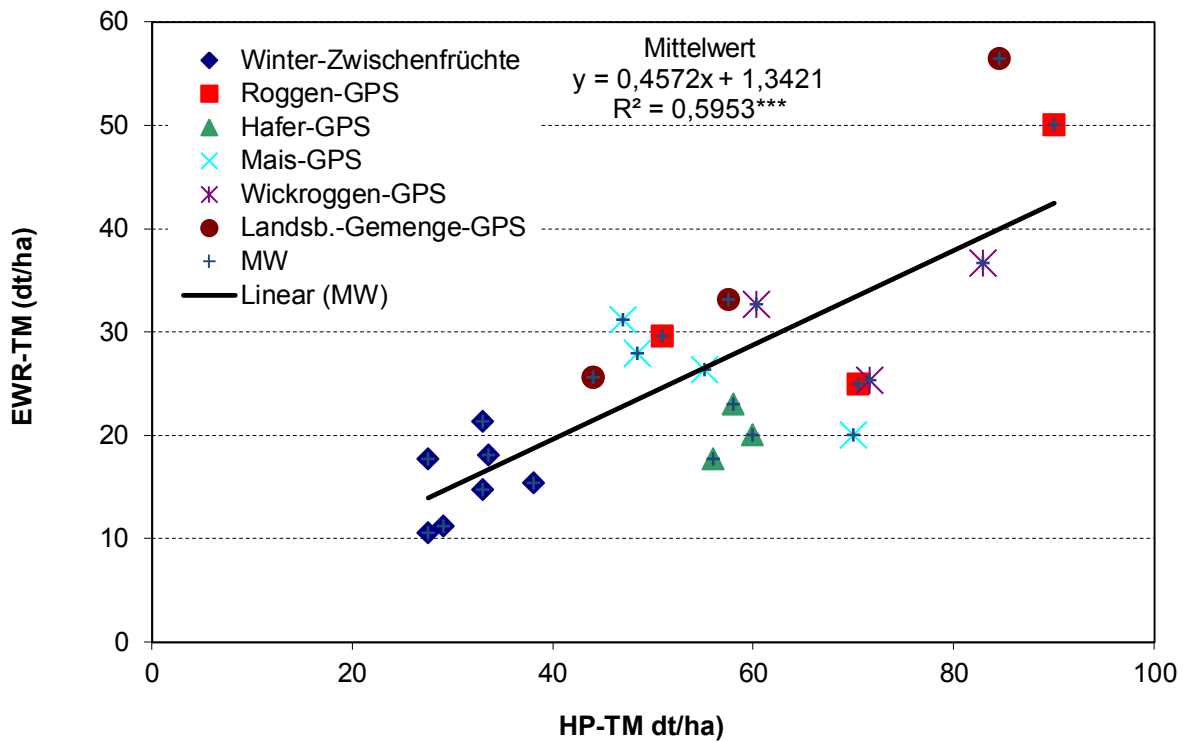


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen der Hauptprodukt-TM und den EWR-Mengen bei Winterzwischenfrüchten und verschiedenen Ganzpflanzensilagen (GPS)

Tabelle 1: Gehalte an Reinnährstoffen der Fruchtarten im Ökolandbau (Angaben in % der TM) von Haupt- (HP), Nebenprodukt (NP) und Ernte- und Wurzelrückständen (EWR), durchschnittliche EWR-Mengen sowie Berechnung der EWR-Mengen aus dem durchschnittlichen HP-Ertrag (a = Achsenabschnitt, b = Steigung d. Regressionsgleichung)

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		EWR	C:N-Verhältnis (N=1)			EWR-Menge (dt TM/ha)	EWR-Gleichung		HP-Ertrag (dt TM/ha)
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP		EWR	HP	NP		EWR	a	
Körnerfrüchte																							
Qualitätsweizen	86	86	1,1	2,04	0,51	0,41	0,15	0,58	1,35	0,14	0,14	0,13	0,10	44	45	43	21,6	87,9	48,0	29	21,0	0,220	36,4
Winterweizen	86	86	1,1	1,95	0,51	0,41	0,15	0,58	1,35	0,14	0,14	0,13	0,10	44	45	43	22,5	87,9	48,0	29	21,0	0,220	36,4
Winterweizen Brau	86	86	1,1	1,95	0,51	0,41	0,15	0,58	1,35	0,14	0,14	0,13	0,10	44	45	43	22,5	87,9	48,0	29	21,0	0,220	36,4
Wintergerste	86	86	1,1	1,57	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	28,0	87,9	48,0	29	21,6	0,220	33,5
Wintergerste Brau	86	86	1,1	1,57	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	28,0	87,9	48,0	29	21,6	0,220	33,5
Winterroggen	86	86	1,3	1,50	0,51	0,41	0,15	0,58	1,93	0,14	0,14	0,10	0,10	44	45	43	29,3	87,9	48,0	23	15,6	0,220	33,5
Triticale	86	86	1,2	1,58	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,11	0,10	44	45	43	27,8	87,9	48,0	26	18,1	0,220	36,1
Sommerweizen	86	86	1,1	2,09	0,51	0,41	0,15	0,58	1,35	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	21,0	87,9	48,0	21	14,8	0,186	33,5
Dinkel	86	86	1,1	2,48	0,51	0,41	0,15	0,87	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	17,8	87,9	48,0	21	14,8	0,186	33,5
Durumweizen	86	86	1,0	2,33	0,51	0,41	0,15	0,58	1,35	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	18,9	87,9	48,0	21	14,8	0,186	33,5
Sommergerste Futter	86	86	1,0	1,56	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	28,2	87,9	48,0	16	11,5	0,160	28,0
Sommergerste Brau	86	86	1,0	1,56	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	28,2	87,9	48,0	16	11,5	0,160	28,0
Sommerroggen	86	86	1,3	1,45	0,51	0,41	0,15	0,58	1,93	0,14	0,14	0,10	0,10	44	45	43	30,3	87,9	48,0	22	16,8	0,186	28,0
Hafer	86	86	1,1	1,84	0,47	0,37	0,15	0,55	1,64	0,14	0,07	0,18	0,17	44	45	43	23,9	96,7	48,0	21	15,8	0,186	28,0
Getreidegemenge	86	86	1,1	1,70	0,51	0,41	0,15	0,58	1,64	0,14	0,14	0,12	0,10	44	45	43	25,9	87,9	48,0	25	18,0	0,200	35,0
Körnermais	86	86	0,8	1,49	0,91	0,38	0,10	0,47	1,92	0,23	0,16	0,19	0,15	44	45	45	29,6	49,6	54,0	27	20,5	0,100	65,0
Buchweizen	86	86	2,3	1,93	0,70	0,36	0,37	0,50	2,33	0,21	0,27	0,12	0,12	44	45	43	22,8	64,5	52,0	19	16,2	0,186	15,0
Hülsenfrüchte																							
Erbse	86	86	1,0	4,07	1,63	0,50	0,16	1,23	1,40	0,15	0,24	0,16	0,12	42	43	44	10,3	26,4	26,5	12	9,1	0,120	24,1
Grünpiseseerbse	22	17	5,8	4,14	3,06	0,50	0,35	1,23	2,94	0,14	0,35	0,18	0,16	42	43	44	10,1	14,1	26,0	12	10,2	0,120	15,0
Ackerbohne	86	86	1,0	4,88	1,40	0,55	0,17	1,31	1,77	0,19	0,19	0,20	0,16	43	43	44	8,8	30,8	26,5	25	20,2	0,200	24,1
Lupine blau	86	86	1,0	5,58	1,28	0,49	0,12	1,05	1,12	0,19	0,19	0,24	0,18	45	44	44	8,1	34,4	26,5	22	17,2	0,200	24,1
Lupine gelb	86	86	1,0	7,09	1,28	0,49	0,12	1,05	1,12	0,19	0,19	0,24	0,18	45	44	44	6,3	34,4	26,5	22	17,2	0,200	24,1
Lupine weiß	86	86	1,0	6,05	1,28	0,49	0,12	1,05	1,12	0,19	0,19	0,24	0,18	45	44	44	7,4	34,4	26,5	22	17,2	0,200	24,1
Wicke	86	86	1,0	4,42	1,74	0,47	0,16	1,07	1,40	0,20	0,24	0,14	0,12	45	44	44	10,2	25,2	26,5	10	7,1	0,120	24,1

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		EWR	C:N-Verhältnis (N=1)			EWR- Menge (dt TM /ha)	EWR- Gleichung		HP-Ertrag (dt TM/ha)	
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP		EWR	HP	NP		EWR	a		b
	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	EWR	HP	NP	EWR	a	b
Hülsenfruchtgemenge	86	86	1,0	5,35	1,40	0,51	0,15	1,15	1,29	0,19	0,22	0,18	0,15	43	43	44	8,0	30,8	26,5	15	11,4	0,150	24,1	
Sojabohne	86	86	1,0	6,40	1,05	0,66	0,17	1,50	1,05	0,26	0,30	0,23	0,15	43	43	44	6,7	41,1	26,5	20	16,1	0,160	24,1	
Linse	86	86	1,0	4,54	1,74	0,45	0,16	0,88	1,40	0,14	0,24	0,19	0,15	43	43	44	9,5	24,6	26,5	17	14,1	0,160	18,0	
Hülsenfrucht-Nicht- leguminos.-Gemenge	86	86	1,0	3,52	0,95	0,47	0,15	0,87	1,47	0,13	0,20	0,15	0,13	44	44	44	12,5	46,1	35,0	23	16,7	0,180	35,0	
Ölfrüchte																								
Winterraps	91	86	2,0	3,08	0,58	0,86	0,15	0,88	1,93	0,26	0,10	0,37	0,26	60	43	43	19,5	73,9	52,3	24	15,1	0,340	26,2	
Sommerraps	91	86	2,0	3,30	0,58	0,86	0,16	0,88	1,93	0,26	0,10	0,37	0,22	60	43	43	18,2	73,9	52,3	24	16,2	0,340	23,0	
Sonnenblume	91	86	2,0	2,64	1,34	0,78	0,41	1,87	4,35	0,46	0,21	0,32	0,19	60	43	43	22,7	32,2	50,5	24	16,9	0,340	21,0	
Öllein	91	86	1,5	3,41	0,52	0,58	0,10	0,88	1,35	0,38	0,12	0,28	0,22	60	43	43	17,6	82,2	52,4	14	8,9	0,340	15,0	
Senf	91	86	1,5	4,24	0,52	0,58	0,10	0,88	1,35	0,33	0,12	0,68	0,28	60	43	43	14,1	82,2	52,4	20	14,9	0,340	15,0	
Leindotter	91	86	1,4	4,07	0,79	0,75	0,15	0,88	1,45	0,18	0,07	0,51	0,24	60	43	43	14,8	54,4	52,4	20	14,9	0,340	15,0	
Hackfrüchte																								
Frühkartoffeln	22	25	0,2	1,77	1,36	0,32	0,28	2,73	2,00	0,09	0,52	0,13	0,20	39	33	40	22,0	24,3	23,0	14	9,0	0,100	50,0	
Mittelfrühe Kartoffeln	22	25	0,2	1,41	1,36	0,27	0,28	2,28	2,00	0,09	0,52	0,13	0,20	39	33	40	27,6	24,3	23,0	14	9,0	0,100	50,0	
Spätkartoffeln	22	25	0,3	1,41	1,36	0,27	0,28	2,28	2,00	0,09	0,52	0,13	0,20	39	33	40	27,6	24,3	23,0	14	9,0	0,100	50,0	
Zuckerrüben	23	16	0,7	0,70	1,88	0,17	0,31	0,91	3,69	0,22	0,38	0,13	0,22	39	42	40	56,1	22,4	23,0	14	0,7	0,100	133,0	
Gehaltsrüben	15	12	0,4	1,07	2,17	0,20	0,33	2,73	4,33	0,20	0,42	0,13	0,22	39	42	40	36,5	19,4	23,0	14	-0,3	0,100	143,0	
Masserüben	12	12	0,4	1,17	2,08	0,25	0,17	3,08	2,67	0,25	0,67	0,13	0,22	39	42	40	33,4	20,2	23,0	14	2,0	0,100	120,0	
Samenvermehrung																								
Grassamen	86	86	7,5	2,14	1,28	0,35	0,19	0,53	2,09	0,12	0,28	0,15	0,12	-	-	45	-	-	29,0	60	-	-	-	
Klee-, Luzernesamen	91	86	8,0	6,04	1,74	0,70	0,15	1,14	2,51	0,18	0,28	0,15	0,12	-	-	42	-	-	21,0	60	-	-	-	
Serradellasamen	91	86	3,0	3,85	1,74	0,70	0,15	1,14	2,51	0,18	0,28	0,15	0,12	-	-	42	-	-	20,0	45	-	-	-	
Rübensamen	86	30	6,0	1,78	2,00	0,60	0,57	1,35	0,97	0,21	0,10	0,15	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		C:N-Verhältnis (N=1)			EWR- Menge (dt TM /ha)	EWR- Gleichung		HP- Ertrag (dt TM/ha)	
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	EWR	HP	NP		EWR	a		b
Futterpflanzen																							
Leguminosen/ Nichtleguminosen-Gemenge																							
Kleegras 30:70	20	-	-	2,15	-	0,30	-	2,60	-	0,30	-	0,18	-	45	-	43	20,9	-	24,5	65	49,7	0,153	100,0
Kleegras 50:50	20	-	-	2,35	-	0,30	-	2,60	-	0,30	-	0,18	-	45	-	43	19,1	-	24,5	63	47,7	0,153	100,0
Kleegras 70:30	20	-	-	2,50	-	0,30	-	2,60	-	0,30	-	0,18	-	45	-	43	18,0	-	24,5	60	44,7	0,153	100,0
Luzernegras 30:70	20	-	-	2,25	-	0,35	-	2,70	-	0,20	-	0,18	-	44	-	43	19,6	-	21,0	75	52,0	0,230	100,0
Luzernegras 50:50	20	-	-	2,50	-	0,35	-	2,70	-	0,20	-	0,18	-	44	-	43	17,6	-	21,0	75	52,0	0,230	100,0
Luzernegras 70:30	20	-	-	2,75	-	0,35	-	2,70	-	0,20	-	0,18	-	44	-	43	16,0	-	21,0	75	52,0	0,230	100,0
Klee-, Luzernegemenge	18	-	-	3,17	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	39	-	42	12,3	-	20,0	70	50,0	0,200	100,0
Luzerne	18	-	-	3,45	-	0,33	-	2,78	-	0,28	-	0,18	-	39	-	42	11,3	-	19,0	75	52,0	0,230	100,0
Rotklee und andere Kleearten	18	-	-	3,06	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	38	-	42	12,4	-	20,7	55	39,7	0,153	100,0
Weißklee	18	-	-	3,06	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	36	-	42	11,8	-	20,0	53	34,8	0,182	100,0
andere Kleearten	18	-	-	3,06	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	36	-	42	11,8	-	20,0	47	32,4	0,182	80,0
Esparssette, Serradella	18	-	-	3,06	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	36	-	42	11,8	-	20,0	47	32,4	0,182	80,0
Untersaaten (Ernte/Umbruch: Herbst)																							
Kleearten, Luzerne	20	-	-	3,00	-	0,30	-	2,50	-	0,30	-	0,18	-	38	-	42	12,7	-	19,0	27	15,4	0,290	40,0
Ackergräser	20	-	-	1,90	-	0,35	-	2,70	-	0,20	-	0,18	-	45	-	45	23,7	-	26,0	32	20,4	0,290	40,0
Klee-,Luzerne-Gras	20	-	-	2,40	-	0,30	-	2,30	-	0,24	-	0,18	-	45	-	43	18,8	-	22,0	32	20,4	0,290	40,0
(Einj.) Futterpflanzen, GPS (Ernte: Frühj. - Sommer)																							
Leguminosen-(grobk.), Nicht- leguminosen-Gemenge	20	-	-	2,20	-	0,35	-	2,50		0,25	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosen-(grobk.), Ge- treide-Gemenge (GPS) 30:70	30	-	-	1,53	-	0,23	-	1,67		0,17	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosen-(grobk.), Ge- treide-Gemenge (GPS) 50:50	28	-	-	1,86	-	0,25	-	1,79		0,18	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		EWR	C:N-Verhältnis (N=1)			EWR- Menge (dt TM /ha)	EWR- Gleichung		HP-Ertrag (dt TM/ha)
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP		EWR	HP	NP		EWR	a	
Leguminosen-(grobk.), Getreide-Gemenge (GPS) 70:30	25	-	-	2,36	-	0,28	-	2,00	-	0,20	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosen-(grobk.), Getreide-Gemenge (GPS) 100:0	25	-	-	2,60	-	0,28	-	2,00	-	0,20	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosengemenge (grobk.)	18	-	-	2,89	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosengemenge (fein- u. grobk.)	18	-	-	3,00	-	0,33	-	2,78	-	0,33	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silomais	30	-	-	1,13	-	0,23	-	1,33	-	0,17	-	0,15	-	45	-	45	39,7	-	45,0	27	16,2	0,100	108,0
Silomais Zweitfrucht	25	-	-	1,12	-	0,24	-	1,48	-	0,20	-	0,15	-	45	-	45	40,2	-	45,0	27	20,5	0,100	65,0
Grünmais	17	-	-	1,47	-	0,29	-	2,06	-	0,24	-	0,15	-	45	-	45	30,6	-	45,0	27	21,0	0,100	60,0
Corn-Cob-Mix (CCM)	60	60	0,8	1,39	0,94	0,33	0,10	0,53	1,94	0,23	0,18	0,19	0,15	44	45	45	31,7	48,1	54,0	27	20,5	0,100	65,0
Getreide Ganzpflanze	20	-	-	1,80	-	0,35	-	2,60	-	0,20	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Getreide, GPS	30	-	-	1,30	-	0,23	-	1,73	-	0,13	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feldgras	20	-	-	1,90	-	0,35	-	2,70	-	0,20	-	0,18	-	45	-	45	23,7	-	26,0	65	57,0	0,100	80,0
Futterraps, Rübsen	13	-	-	2,69	-	0,46	-	4,00	-	0,46	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Senf	15	-	-	2,27	-	0,40	-	3,47	-	0,40	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nichtleguminosengemenge Kreuzblütler	15	-	-	2,33	-	0,40	-	3,34	-	0,33	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonnenblume	13	-	-	2,08	-	0,38	-	4,00	-	0,46	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Getreidearten, Grünmais	-	-	-	2,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	42	18,6	-	30,0	29	3,2	0,430	60,0
Getreide-Ackerbohne, Ackerbohne, Lupine, Wicken	-	-	-	2,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	43	16,7	-	22,6	30	4,2	0,430	60,0
Getreide-Erbse, Erbsen, Wicken	-	-	-	2,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	43	16,7	-	22,6	15	9,0	0,100	60,0
Grobleguminosen	-	-	-	2,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	44	14,9	-	18,4	23	9,8	0,220	60,0
Raps, Rübsen, S.-Blumen, Krautartige	-	-	-	2,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	39	16,2	-	21,5	23	9,8	0,220	60,0

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		EWR	C:N-Verhältnis (N=1)			EWR- Menge (dt TM /ha)	EWR- Gleichung		HP- Ertrag (dt TM/ha)
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP		EWR	HP	NP		EWR	a	
Zwischenfrüchte																							
Leguminosen-/ Nichtlegum.-Gemenge																							
Klee gras 30:70	17	-	-	2,70	-	0,34	-	2,76	-	0,26	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klee gras 50:50	17	-	-	2,82	-	0,34	-	2,70	-	0,28	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klee gras 70:30	17	-	-	2,94	-	0,35	-	2,65	-	0,30	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsberger Gemenge	17	-	-	2,70	-	0,29	-	2,94	-	0,24	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luzernegras 30:70	17	-	-	2,70	-	0,34	-	2,76	-	0,26	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luzernegras 50:50	17	-	-	2,82	-	0,34	-	2,70	-	0,28	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luzernegras 70:30	17	-	-	2,94	-	0,35	-	2,65	-	0,30	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosen-/ Nichtlegum.- Gemenge	17	-	-	2,70	-	0,29	-	2,94	-	0,24	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wickroggen	17	-	-	2,65	-	0,29	-	2,94	-	0,26	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosen																							
Rotklee und andere Kleearten	15	-	-	3,54	-	0,38	-	3,00	-	0,37	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Klee-, Luzernegemenge	15	-	-	3,54	-	0,38	-	3,00	-	0,37	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luzerne	15	-	-	3,54	-	0,38	-	3,00	-	0,37	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosengemenge (fein- u. grobk.)	15	-	-	3,54	-	0,40	-	2,87	-	0,33	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leguminosengemenge (grobk.)	15	-	-	3,47	-	0,37	-	2,67	-	0,30	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FRUCHTART	TM (% FM)		HP:NP (HP=1)	N		P		K		Mg		S		C		C:N-Verhältnis (N=1)				EWR- Menge (dt TM /ha)	EWR- Gleichung		HP-Ertrag (dt TM/ha)	
	HP	NP		HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	EWR	HP	NP	EWR		a	b		
Nichtleguminosen																								
Senf, Futterraps, Rübsen, Ölrettich	15	-	-	2,47	-	0,35	-	2,53	-	0,22	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phacelia	15	-	-	2,47	-	0,35	-	2,53	-	0,22	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Buchweizen	15	-	-	2,00	-	0,32	-	2,40	-	0,39	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feldgras	15	-	-	2,87	-	0,40	-	3,13	-	0,27	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Getreide Ganzpflanze	15	-	-	2,53	-	0,38	-	3,00	-	0,26	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Markstammkohl, Futterkohl	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,80	-	0,27	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Futtermöhre	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,80	-	0,27	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonnenblume	15	-	-	2,00	-	0,32	-	2,40	-	0,39	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stoppelrübe	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,80	-	0,27	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünmais	15	-	-	1,67	-	0,37	-	3,00	-	0,25	-	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steckrübe, Kohlrübe	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,80	-	0,27	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nichtleguminosengemenge	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,80	-	0,27	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Winter-Z-Früchte (Ernte/Umbruch: Herbst - Frühj.)																								
Grobleguminosen	-	-	-	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	44	11,1	-	14,2	18	3,0	0,430	35,0	
Feinleguminosen	-	-	-	3,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	42	12,4	-	15,1	18	3,0	0,430	35,0	
Getreidearten, Mais	-	-	-	2,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	41	18,8	-	24,0	18	3,0	0,430	35,0	
Kruziferen, Phacelia, S.- Blumen, Krautartige	-	-	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	39	15,2	-	22,0	18	3,0	0,430	35,0	
Stoppel-, Z-Früchte (Ernte/Umbruch: Herbst)																								
Grobleguminosen	--	-	-	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	-	44	11,2	-	14,2	20	2,8	0,431	40,0	
Feinleguminosen	-	-	-	3,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	-	42	12,4	-	15,1	20	2,8	0,431	40,0	
Getreidearten, Mais	-	-	-	2,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	41	18,8	-	24,0	20	2,8	0,431	40,0	
Kruziferen, Phacelia, S.- Blumen, Krautartige	-	-	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	39	15,2	-	22,0	20	2,8	0,431	40,0	

Tabelle 2: Überblick über die Einzelergebnisse zu Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) der Fruchtarten

Fruchtart	Nebenprodukt (netto)			Ernterückstände, Stoppeln			Wurzeln			EWR			Ernterückstände +Wurzeln Menge (Kontrolle, dt TM/ha)
	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	
Getreidearten													
Winterweizen				14,5	3,9	24	14,9	6,4	21	28,6	8,1	22	29,4
Sommerweizen				11,7	6,6	6	9,9	2,2	6	20,9	5,9	6	21,6
Wintergerste				13,9	4,3	13	15,8	4	12	29,2	7,6	13	29,7
Sommergerste				9,7	3,7	19	6,5	2,4	20	16,1	5	19	16,2
Winterroggen				10,2	4,4	19	12,4	3,9	19	22,2	7	19	22,6
S.-Roggen				13,1	4,2	2	9	1,5	2	22	5,7	2	22,1
Hafer				10,4	3,2	13	11,3	4,4	13	20,7	5	15	21,7
MW W.-Getreide				12,7	4,4	58	13,4	5,1	54	25,7	7,8	56	26,1
MW S.-Getreide				10,5	3,9	43	8,8	3,6	44	18,9	5,4	45	19,3
Ölpflanzen													
Winterraps	36			10			13,5			23,5			23,5
Sonnenblumen				6,9	2,8	5	17,1	5,7	5	23,8	7,7	5	24,0
Hackfrüchte													
Kartoffeln	23,1	10,8	15	7,5		1	6,7	4,9	12	13	6,2	8	14,2
Rüben	44	2,8	2	7,4	3,7	4	6,5	1,7	5	15,2	7,3	7	13,9
Mais				9,6	2,3	17	17,7	6,5	17	27,5	7,3	18	27,3
Feldgemüse				20,6	12,9	9	10,8	7	4	31,4	21	8	31,4
Körnerleguminosen													
Ackerbohne	39,9	15,2	21	11,3	5,9	5	13,7	6,1	25	26,7	6,2	15	25,0
Ackerbohne (alle)				10,2	2,3	29	14,2	6	32	24,3	6,8	34	24,4
Erbsen	41,6	13	26	4,5	5,2	28	4,7	3,5	43	11,3	5,2	28	9,2
Wicken				4	3,6	5	5,5	3,5	11	9,1	5,5	11	9,5
Wicken (alle)				4	2,6	9	5,8	3,3	9	8,8	5	15	9,8
Lupine	52,1	23,3	18	8,6	5,8	5	10,9	5	26	23,5	14,5	6	19,5
Ackerbohne-Hafer-Gemenge				6			12,7			18,7			18,7
Erbse-Hafer-Gemenge				6			7,6			13,6			13,6
Groblegum.-Nichtlegum.-Gemenge				5,7	0,5	2	10	4,8	26	14,1	1,1	5	15,7
Groblegum.-Nichtlegum.-Gemenge (alle)	53,7	20	26	6	0,1	27	10	4,6	28	15,8	4,4	31	16,0

Fruchtart	Nebenprodukt (netto)			Ernterückstände, Stoppeln			Wurzeln			EWR			Ernterückstände +Wurzeln Menge (Kontrolle, dt TM/ha)	
	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)		
Einj. Futterpflanzen, GPS														
Roggen				17,2		3	14,4			3	24,9		5	31,6
Hafer				10		1	10			1	22,9		3	20,0
Wickroggen				13,1		2	21,5			2	25,3		4	34,6
Landsberger-Gemenge				12,1		3	23,5			4	33,1		5	35,6
Grünmais				8,7		3	17,6			3	26,3		3	26,3
MW-Getreide, Mais, -Gemenge				12,4	7,3	17	18,3	5,9		18	26,9	10,2	18	30,7
Sonnenblume														
Ackerbohne-Hafer-GPS				7,5	2,3	12	16,5	4,3		12	25	6,6	13	24,0
Erbsen-Hafer-Gemenge				4	1,1	11	8,1	3,2		12	14,2	4,8	15	12,1
Lupine				10,3	7,4	2	14,9	4,8		4	33,5	19	10	25,2
MW Ackerbohne-, Erbsen-, Lupinen-GPS				6,2	3,1	25	12,6	5,5		28	22,7	13,4	36	18,8
Futterleguminosen u. -Gemenge														
Luzerne				25,3	12,8	21	49,4	14,4		35	74,6	22,2	53	74,7
Luzernegras				30,3	14,4	3	92,2	42,7		10	76,8	31	23	122,5
1-jährig											62,5	33,5	23	
2-jährig											83,7	28,5	26	
Rotklee				18	7	18	31,9	11,4		29	49,4	14,6	48	49,9
Rotklee gras				15,7	6,1	23	43	18,4		27	58,1	17,3	74	58,7
Klee gras				24	12,3	8	52	10		8	69,4	18,9	10	76,0
1-jährig											52,5	12,6	39	
2-jährig											54,9	10,6	22	
Weißklee				11,7		8	39,2			10	53,8		9	50,9
Schwedenklee				9,9		2	24,3			3	50,5		3	34,2
Inkarnatklee				10		1	13,3			2	35,8		2	23,3
Perserklee				17,4		2	23,8			2	36,9		15	41,2
Perserklee											42,6	17	10	
Alexandrinerklee				13,7		2	20			2	45,8		5	33,7
Gelb-, Horn-,Steinklee				15		1	37,8			4	43,3		4	52,8
Weiß-, Steinklee											39,2	19,5	21	
Espalette, Serradella				8,5		1	24,6			5	59,7		7	33,1

Fruchtart	Nebenprodukt (netto)			Ernterückstände, Stoppeln			Wurzeln			EWR			Ernterückstände +Wurzeln
	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	
MW Andere Kleearten (außer Rotklee, Luzerne)				12,3	3,3	24	29,8	12,8	35	46,3	20,1	52	42,1
Deutsches Weidelgras				38,8	5,3	2	58,1	17,5	8	65,4	6,1	6	96,9
Welsches, Einjähriges Weidelgras				33,1	14,1	3	43	12	12	52,9	12,4	6	76,1
Glatthafer				32,1	10,4	3	44,7	24,3	7	56	15,5	3	76,8
Wiesen-Lieschgras				25		1	64,3	21,6	4	65		1	89,3
Wiesen-Schwingel				25		1	59,6	12,6	7	65		1	84,6
Knautgras				35		1	58,5	15,3	7	75		1	93,5
MW Ackergräser				32,2	7,9	17	57,5	20,9	71	61	10,3	27	89,7
1-jährig				30,7	14,3	2	50,9	20,5	25	53,2	13,5	6	81,6
2-jährig)							72,9	14,6	21	53,7	10,3	2	
Untersaaten													
Rotklee				13,8		12	21,9		14	29,1		14	35,7
Luzerne													
Weißklee				16		11	13,4		11	28,3		13	29,4
Serradella				7,9		3	9,5		5	12,7		6	17,4
Schweden-, Inkarnat-, Perser-, Alexandriner-Klee				14,2		4	12,2		6	22,6		7	26,4
MW Kleearten				14,1	7,3	20	16	10,3	36	24,4	11	29	30,1
MW Ackergräser				7,1	1,6	2	23,9	7,8	13	29,5	4,1	6	31,0
MW Ackergräser (alle)				9,6	1,2	13	23,9	7,8	13	32,1	7,7	17	33,5
Winterzwischenfrüchte													
Grünroggen				5,8	1,2	5	10,2	1,8	6	16	2,6	6	16,0
Wickroggen				5,1	1,2	5	14	3,6	5	17,6	4	5	19,1
Landsberger Gemenge				5,6	0,7	5	18,2	4,3	5	21,3	3,7	5	23,8
MW-Getreide, -Gemenge				5,5	0,9	19	13,9	4,3	20	18,2	3,6	20	19,4
W.-Raps, W.-Rübsen				3,1	0,7	6	8,7	3,3	6	10,9	1,7	8	11,8

Fruchtart	Nebenprodukt (netto)			Ernterückstände, Stoppeln			Wurzeln			EWR			Ernterückstände +Wurzeln
	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	Menge (dt TM/ha)	Standardabweichung (s)	Anzahl (n)	
Stoppelfrüchte, Z.-Früchte													
Raps, Rübsen				5,5	2,9	8	13,5	7,3	8	17,1	8,8	10	19,0
Ölrettich				6,6	3,7	6	10	4,1	6	16,6	6,1	6	16,6
Senf				4,2	1,7	5	7,8	3,6	5	12	4,5	5	12,0
Sonnenblumen				7,6	1,9	4	18,1	5	5	25,2	6,2	4	25,7
Phacelia				4,8	1,5	2	6,6	2,8	2	10,7	0,4	2	11,4
MW Krautartige				5,8	3,4	17	11,9	6,3	26	15,2	7,6	19	17,7
MW Kleearten				10		15	9,4	4,8	16	19,5	5,2	18	19,4

Tabelle 3: Gehalte an Reinnährstoffen, mittlere C-Gehalte von HP, NP sowie C/N-Verhältnisse der EWR ausgewählter Fruchtarten im konventionellen Ackerbau (Angaben in % der Trockenmasse)

FRUCHTART	TM (% FM)		HP: NP	N		P		K		Mg		C			C:N (N=1)
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	EWR	EWR
Körnerfrüchte															
Winterweizen E	86	86	0,8	2,45	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Winterweizen A,B	86	86	0,8	2,45	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Winterweizen C	86	86	0,8	2,10	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Winterweizen Brau	86	86	0,8	2,10	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Wintergerste	86	86	0,7	1,92	0,58	0,51	0,41	0,58	1,64	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Wintergerste Brau	86	86	0,7	1,92	0,58	0,51	0,41	0,58	1,64	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Winterroggen	86	86	0,9	1,76	0,58	0,55	0,41	0,58	1,93	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Triticale	86	86	0,9	1,92	0,58	0,55	0,41	0,58	1,64	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Sommerweizen	86	86	0,8	2,45	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Dinkel	86	86	1,0	2,40	0,58	0,56	0,41	0,40	1,35	0,09	0,14	44	45	43	47,9
Durumweizen	86	86	0,8	2,45	0,58	0,52	0,41	0,58	1,35	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Sommergerste Futter	86	86	1,1	1,92	0,58	0,52	0,41	0,58	1,64	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Sommergerste Brau	86	86	0,7	1,60	0,58	0,51	0,41	0,58	1,64	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Sommerroggen	86	86	0,7	1,76	0,58	0,55	0,41	0,58	1,93	0,14	0,14	44	45	43	47,9
Hafer	86	86	1,0	1,76	0,58	0,57	0,41	0,58	1,64	0,14	0,07	44	45	43	47,9
Körnermais	86	86	1,0	1,60	1,05	0,51	0,41	0,49	1,93	0,14	0,17	44	45	45	54,2
Hülsenfrüchte															
Ackerbohne	86	86	1,0	4,77	1,74	0,76	0,60	1,35	2,51	0,14	0,28	43	43	44	26,5
Erbse	86	86	1,0	4,19	1,74	0,71	0,56	1,35	2,51	0,14	0,35	42	43	44	26,5
Lupine blau	86	86	1,0	5,21	1,74	0,71	0,56	1,35	2,51	0,14	0,35	45	44	44	26,5
Ölfrüchte															
Winterraps	91	86	1,7	3,68	0,81	1,18	0,91	0,91	2,42	0,33	0,10	60	43	43	52,4
Sommerraps	91	86	1,6	3,63	0,81	1,15	0,91	0,91	2,42	0,33	0,10	60	43	43	52,4
Sonnenblume	91	86	2,0	3,21	1,16	1,63	0,81	2,19	4,83	0,46	0,21	60	43	43	36,6
Öllein	91	86	1,5	3,85	0,62	0,71	0,60	0,91	1,35	0,53	0,07	60	43	43	52,4
Senf	91	86	1,5	5,58	0,81	1,13	0,90	0,85	2,42	0,20	0,10	60	43	43	52,4
Hackfrüchte															
Frühkartoffeln	22	15	0,2	1,95	0,23	0,32	0,47	2,27	2,00	0,09	0,33	39	33	40	23,5
Spätkartoffeln	22	15	0,2	1,59	0,23	0,27	0,40	2,27	2,00	0,09	0,33	39	33	40	23,5
Pflanzkartoffeln	22	15	0,2	1,59	0,23	0,27	0,40	2,27	2,00	0,09	0,33	39	33	40	23,5
Wirtschaftskartoffeln	22	15	0,2	1,59	0,23	0,27	0,40	2,27	2,00	0,09	0,33	39	33	40	23,5
Zuckerrüben	23	18	0,7	0,78	0,47	0,35	0,22	0,91	2,78	0,22	0,33	39	42	40	23,5
Gehaltsrüben	15	16	0,4	1,20	0,35	0,33	0,25	2,80	2,63	0,20	0,31	39	42	40	23,5
Masserüben	12	16	0,4	1,17	0,29	0,33	0,19	3,08	2,06	0,25	0,50	39	42	40	23,5
Silomais	28	-	-	1,36	-	0,25	-	1,32	-	0,25	-	45	-	45	45,0
Futterpflanzen GPS															
Gerste Ganzpflanze	20	-	-	2,80	-	0,85	-	2,90	-	0,50	-	43	-	42	29,9
Roggen Ganzpflanze	20	-	-	2,80	-	0,85	-	2,90	-	0,50	-	43	-	42	29,9
Weizen Ganzpflanze	20	-	-	2,80	-	0,85	-	2,90	-	0,50	-	43	-	42	29,9
Getreide Ganzpflanze	20	-	-	2,80	-	0,85	-	2,90	-	0,50	-	43	-	42	29,9

FRUCHTART	TM (% FM)		HP: NP	N		P		K		Mg		C			C:N (N=1)
	HP	NP	(HP=1)	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	HP	NP	EWR	EWR
Futterpflanzen															
Leguminosen, Nichtleguminosen-Gemenge															
Kleegras 30:70	20	-	-	2,60	-	0,30	-	2,55	-	0,30	-	45	-	43	24,8
Kleegras 50:50	20	-	-	2,60	-	0,30	-	2,55	-	0,30	-	45	-	43	24,8
Kleegras 70:30	20	-	-	2,65	-	0,30	-	2,55	-	0,30	-	45	-	43	24,8
Luzernegras 30:70	20	-	-	2,70	-	0,35	-	2,70	-	0,25	-	44	-	43	21,2
Luzernegras 50:50	20	-	-	2,70	-	0,35	-	2,70	-	0,25	-	44	-	43	21,2
Luzernegras 70:30	20	-	-	2,75	-	0,35	-	2,70	-	0,25	-	44	-	43	21,2
Rotklee	20	-	-	2,75	-	0,30	-	2,50	-	0,20	-	38	-	42	20,9
Luzerne	20	-	-	3,00	-	0,30	-	2,70	-	0,15	-	39	-	42	19,5
Weidelgras	20	-	-	2,40	-	0,35	-	2,70	-	0,25	-	45	-	45	29,3
Ackergras	20	-	-	2,40	-	0,35	-	2,70	-	0,25	-	45	-	45	29,3
Zwischenfrüchte															
Zwischenfrucht- Nichtleguminose	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,47	-	0,47	-	41	-	39	21,5
Zwischenfrucht- Leguminose, Nichtle- guminose	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,47	-	0,47	-	41	-	41	18,1
Zwischenfrucht- Leguminose	15	-	-	2,33	-	0,33	-	2,47	-	0,47	-	41	-	42	14,7

Tabelle 4: Umfang des Abbaus (% in Bezug auf die jeweils am Jahresende vorzufindende Menge = 100 %) an EWR von Luzerne, Rotklee, Ackergras und deren Gemische nach dem 1. – 3.- Nutzungsjahr

	Umsatz in % von den EWR		
	1. Nutzungsjahr	2. Nutzungsjahr	3. Nutzungsjahr
Luzerne	50	70	90
Luzerne-Gras-Gemisch	60	75	95
Rotklee	50	70	90
Rotklee-Gras-Gemisch	60	75	95
Ackergras	50	70	90

3.2 Nährstoffgehalte von organischen Düngemitteln

Im Ökolandbau sind die Wirtschaftsdünger wichtige Betriebsmittel. Sie ermöglichen durch einen gezielten Einsatz eine verbesserte Nährstoffeffizienz und führen damit zu einer Stabilisierung der Erträge und Verbesserung der Produktqualität in der Pflanzenproduktion. Sowohl für die Planung eines bedarfsgerechten Nährstoffeinsatzes als auch für die Erfolgskontrolle des Düngemanagements bedarf es einer ausreichend genauen Kenntnis zu den Nährstoffgehalten der wirtschaftseigenen Düngemittel. Aber auch die gesetzlichen Vorgaben wie die Düngeverordnung, die EU-Öko-VO und Cross Compliance verlangen detaillierte Nährstoff- und Humusbilanzen.

Wie die bereits unter Kapitel 3.1 behandelten Parameter der Fruchtarten sind die in der Tabelle 5 und in der Tabelle 6 vorzustellenden Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger Bestandteil des PC-Programms BEFU bzw. des neuen Programms BESyD. Die konventionellen und ökologischen Teilprogramme werden hierbei den Anforderungen voll gerecht und es lassen sich mit den integrierten umfangreichen Richtwerttabellen, die die besonderen Haltungs- und Anbaubedingungen berücksichtigen, qualifizierte Düngebedarfsberechnungen und Nährstoffbilanzierungen durchführen. Bei den Düngerarten, bei denen keine Daten aus ökologischer Wirtschaftsweise vorlagen, wurde auch hier in der Vergangenheit auf Richtwerte der konventionellen Bewirtschaftung zurückgegriffen. In den Tabellenwerken des ÖKO-BEFU erfolgte dann ein pauschaler Abschlag von 10 % für den N-Gehalt gegenüber den konventionellen Standardtabellen.

Die Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern unterliegen zum Teil großen Schwankungen und werden von der Tierart, der Fütterung, der Haltungsform, dem jeweiligen Trockensubstanzgehalt sowie von der Lagerung, Behandlung und Ausbringung beeinflusst. Die vielfältigen Einflussfaktoren erschweren die Gewinnung von repräsentativen Daten. Aus den bisher vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen deutet sich an, dass die Gehalte einiger Nährstoffe von Wirtschaftsdüngern aus ökologischen Betrieben im Durchschnitt etwas geringer sind als die konventionellen Faustzahlen. Zurückgeführt wird dies meistens auf das niedrigere Nährstoffniveau in den ökologisch wirtschaftenden Betrieben (STEIN-BACHINGER et al., 2004).

BLANK et al. (2011) konnten bei ihren vergleichenden Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede in den Nährstoffgehalten von Stallmistern aus ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung nachweisen. Die Spannweite in den jeweils ermittelten Parametern war in beiden Bewirtschaftungsformen sehr groß. Die Mittelwerte der erfassten Nährstoffgehalte lagen dann jedoch jeweils im gleichen Wertebereich. Anzunehmen ist, dass Lagerungs- und Rotteverluste bei entsprechend höheren Nährstoffanteilen (Stickstoff, Kalium) ansteigen und ausgleichend wirken.

Anders war es allerdings bei den Güllearten. Auch hier gab es eine große Spannweite der Einzelwerte. Insbesondere die mittleren N-Gehalte in der Gülle aus ökologischer Bewirtschaftung lagen unterhalb derer aus konventioneller Bewirtschaftung. Auch in den Untersuchungen von SHEPHERD et al. (2002) lagen die Mittelwerte der N-Gehalte der ökologischen Gülle unter denen der konventionellen Gülle. Die Unterschiede betrafen dann auch die übrigen Nährstoffgehalte. Von geringen $\text{NH}_4\text{-N}$ - und Gesamt-N-Konzentrationen bei Flüssigmistern aus ökologischen Betrieben berichten auch PAULSEN et al. (2013).

Festzustellen ist, dass sich insbesondere im Verlauf der letzten Jahre die Datenlage zum Ökolandbau deutlich verbessert hat. Einen wesentlichen Beitrag konnten hierzu auch MEYER et al. (2011) mit ihren Erhebungen zu den Wirtschaftsdüngern von ökologischen Betrieben in Sachsen leisten. Neben den Hauptnährstoffen wurde dabei auch eine Reihe von Spurenelementen mit untersucht. Einen sehr umfassenden Überblick zu den im Ökologischen Landbau verbreiteten organischen Wirtschaftsdüngern und Handelsdüngern findet sich auch bei MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) sowie KTBL (2015).

Eigene kontinuierliche Untersuchungsergebnisse der im Betrieb anfallenden Wirtschaftsdünger geben natürlich den besten Überblick zum Nährstoffanfall. Allerdings ist oft zu beobachten, dass bereits bei den Probenahmen Fehler gemacht werden. Nur repräsentative Mischproben sind aussagefähig. Hinweise für eine fachgerechte Beprobung von festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern finden sich z.B. bei RIEDEL und KÖNIG (2013). Wenn möglich, sind eigene Ergebnisse von Nährstoffuntersuchungen vorzuziehen, die bei gleichbleibenden Bedingungen in Fütterung und Haltung relativ stabile über Jahre gültige Ergebnisse liefern. Für Gärrest und Biogasgülle sind in jedem Fall separate Untersuchungen angezeigt, da für diese Dünger oft keine fundierten Richtwerte vorliegen. Durch wechselnde Ausgangsprodukte können auch die Inhaltsstoffe stärker schwanken.

3.2.1 Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger

In Tabelle 5 befindet sich die Übersicht zu den im Öko-BEFU hinterlegten Richtwerten zu den verschiedenen Wirtschafts- und ökologischen Handelsdüngern. Neben den mittleren Gehalten an Trockenmasse (TM) der jeweiligen Dungarten werden die Nährstoffgehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) als % Reinnährstoff in der TM aufgeführt. Zur besseren Einschätzung der Wirksamkeit des enthaltenen Stickstoffs finden sich neben dem Gesamt-N- jetzt auch verbesserte Angaben zu den Ammonium-N-Gehalten in den jeweiligen Düngern. Der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil sowie das C:N-Verhältnis des jeweiligen Düngers dienen zur genaueren Abschätzung, ob nach der Ausbringung mit einer schnellen oder eher langsamen Stickstoffwirkung zu rechnen ist. Mit Hilfe dieser Angaben kann der im Jahr der Anwendung der Düngemittel wirksame N-Anteil berechnet werden (vgl. Kap. 3.4).

Ein effizienter Einsatz der Wirtschaftsdünger ist nur zu erreichen, wenn die Verluste minimiert werden. Mit zunehmenden Ammoniumgehalten steigt die Gefahr von Ausbringungsverlusten. Vermeiden lassen sie sich durch direkte Einbringung der Wirtschaftsdünger in den Boden bzw. durch unverzügliche Einarbeitung nach der Ausbringung. Erfolgt die Anwendung in wachsende Pflanzenbestände, so bestimmen vor allem die Standort- und Witterungsbedingungen den Einfluss auf die Ausbringungsverluste. Wenn es möglich ist, sollte bei der Ausbringung von Gülle auf vorhandene Schlitztechnik zurückgegriffen werden. Durch das Anritzen des Bodens dringt die Dungflüssigkeit mit dem darin gelösten Ammonium schneller und vollständiger in den Boden ein.

Der Stalldung ist nach wie vor einer der wichtigsten Wirtschaftsdünger im Ökologischen Landbau. Den größten Anteil nimmt dabei der Rindermist ein. Für die Datensammlung konnte jetzt auch auf umfangreiches Material aus dem ökologischen Landbau zurückgegriffen werden. Eingeflossen sind Angaben unter anderem von VÖLKER et al. (1989), BERNER et al. (1997), DEWES und HÜNSCHE (1998), SHEPHERD et al. (2002), STEINBACHINGER et al. (2004), RAUPP (2005), BLANK et al. (2011), MEYER et al. (2011) und PAULSEN et al. (2011). Angaben zu den übrigen Mistarten einschließlich von Jauche fanden sich beispielsweise bei HÜNSCHE (1995), DEWES und HÜNSCHE (1998) und MEYER et al. (2011). Die Festmiste sind, außer bei Geflügelmist, gekennzeichnet als langsam wirkende Dünger, da sie verhältnismäßig niedrige $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile und relativ weite C:N-Verhältnisse aufweisen (Tabelle 5).

Die Werte für die verschiedenen Güllearten basieren vor allem auf den von HÜNSCHE (1995), BERNER et al. (1997), DEWES und HÜNSCHE (1998), BLANK et al. (2011), MEYER et al. (2011) und PAULSEN et al. (2011) veröffentlichten Daten. Eingeteilt sind diese Flüssigdünger entsprechend ihrer Trockensubstanz in Dünn-, Normal- und Dickgülle. Neben den verschiedenen Güllen kommen sowohl Hühnerfrischkot als auch Hühnertrockenkot zur Anwendung. Untersuchungsergebnisse dazu finden sich z.B. bei KERNMAYER (2002), JACOBS (2007) und

MEYER et al. (2011). Auf Grund der relativ hohen Werte an $\text{NH}_4\text{-N}$ und engen C:N-Verhältnissen weisen die Flüssigdünger sowie die Dünger mit Geflügelkot hohe Anteile direkt wirkender Nährstoffe auf, teilweise enthalten sie auch vergleichsweise hohe P-Gehalte (siehe Tabelle 5).

Durch die Stallmistkompostierung wird eine wesentlich bessere Homogenität dieser Dünger erzielt. Das ermöglicht bei der Ausbringung eine optimalere gleichmäßige Verteilung. Je nach den Umsatzbedingungen treten während der Kompostierung jedoch entsprechende Substanz- und auch Nährstoffverluste auf und das C:N-Verhältnis verengt sich, während der NH_4 -Anteil und auch die C-Gehalte abnehmen können. Bei entsprechender Temperaturführung werden zudem im Stallmist enthaltene Unkrautsamen keimunfähig. Die Daten zu den verschiedenen Stallmistkomposten entstammen den Veröffentlichungen von PIORR et al. (1991), BERNER et al. (1997), DEWES & HÜNSCHE (1998), SHEPHERD et al. (1999), ERIKSON (2002), SHEPHERD & WEBB (2002), RIEß (2003) und KLUGE (2009).

In Abhängigkeit von den Gehalten der Ausgangssubstrate und vom Kompostierungsgrad bzw. der Vergärung im Biogasreaktor können die Nährstoffgehalte dieser Produkte eine beachtliche Spannweite aufweisen. Deshalb bleibt hier die Empfehlung, dass für eine sachgerechte Anwendung eine Substratuntersuchung hilfreich ist. Besonders immer dann, wenn die Art und Qualität der Ausgangsstoffe häufig wechseln. Zur Orientierung wurden in Tabelle 5 aus zahlreichen Untersuchungen für Bioabfallkompost, Grünkompost, Gärrest aus Rindergülle und Gärrest aus pflanzlichen Substraten entsprechende Richtwerte aus der Literatur zusammengestellt, wobei in diesen Fällen sowohl Ergebnisse aus konventioneller als auch aus ökologischer Landwirtschaft eingeflossen sind.

3.2.2 Organische Handelsdünger einschließlich Eigenprodukte

Viehlose Markfruchtbetriebe und insbesondere der spezialisierte Gemüseanbau sind auf die Zufuhr von externen Nährstoffen angewiesen, da große Nährstoffmengen mit den Ernteprodukten exportiert werden und Wirtschaftsdünger oft nicht in ausreichender Menge zur Bedarfsabdeckung im Betrieb bereitstehen. Verfügbar ist deshalb eine Vielzahl von zugelassenen Handelsdüngern. Bei ihrem Einsatz ist jedoch auf eine Ausgewogenheit von Nährstoffzufuhr und Nährstoffabfuhr zu achten. Als ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung sind in Tabelle 5 die wichtigsten Produkte mit ihren Nährstoffgehalten zusammengestellt worden: TM, N, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Mg, S. Durch Angabe der C-Gehalte und der C:N-Verhältnisse wird in Zukunft auch eine bessere Einschätzung der C- und N-Dynamik und der Humuswirkung der Handelsdüngemittel ermöglicht (siehe auch Kap. 3.4). Einen Überblick zu den Eigenschaften der hier aufgeführten tierischen und pflanzlichen Handelsdünger sowie weiterführende Literaturhinweise geben MÖLLER und SCHULTHEIß (2014).

Auf Grund der erhöhten N-Gehalte kommt für die Verbesserung der Stickstoffversorgung besonders im Gemüseanbau der Einsatz von Luzerne- und Kleetrockenmehlen und Leguminosenschroten eine entsprechende Bedeutung zu. Die Grundlage zu den Trockenmehlen bilden die in eigenen Untersuchungen gesammelten Daten. Bei den Schroten wurde auf die in der Literatur verfügbaren Angaben zurückgegriffen. Beim Ackerbohenschrot sind die Angaben von MÜLLER und FRAGSTEIN (2003), SCHMIDT und HENKEL (2003), RAUPP (2005), GUTSER und EBERTSEDER (2006), MÜLLER und FRAGSTEIN (2006), STADLER et al. (2006), MÜLLER et al. (2007), RIEHLE et al. (2007), SCHLEGEL et al. (2007) und BRAIG (2011) eingeflossen.

Für das Erbsenschrot finden sich u.a. Angaben bei SCHMIDT und HENKEL (2003), STADLER et al. (2006), MÖLLER und SCHULTHEIß (2014). Für die Charakterisierung der im Lupinenschrot enthaltenen Nährstoffe dienen

die Angaben von MÜLLER et al. (2003), SCHMIDT und HENKEL (2003), MÜLLER und FRAGSTEIN (2006), STADLER et al. (2006), MÜLLER et al. (2007), RIEHLE et al. (2007), SCHLEGEL et al. (2007) und BRAIG (2011).

Rückstände aus der Aufarbeitung von Ölsaaten (Raps, Kürbiskerne, Sonnenblumen) gehören zu der Gruppe von organischen Handelsdüngern, die häufig mit anderen Produkten gemischt werden und auch über vergleichsweise hohe N-Gehalte und enge C:N-Verhältnisse aufweisen. Sie kommen aber auch in Reinform in den Handel. Angaben zu den verschiedenen Rückständen aus der Ölgewinnung finden sich bei ANONYM (1993b), KERNMAYER (2002), SCHMIDT und HENKEL (2003) und RÜHRER et al. (2004). Gut beschrieben sind die Inhaltstoffe von Rizinusschrot durch TRÄNKLE und ENGELMANN (2002), MÜLLER et al. (2003), SCHMIDT und HENKEL (2003), RÜHRER et al. (2004), MÜLLER und FRAGSTEIN (2006), STADLER et al. (2006), MÜLLER et al. (2007), RIEHLE et al. (2007), SCHLEGEL et al. (2007) und BRAIG (2011).

Weitere Gruppen der organischen Handelsdünger pflanzlicher Herkunft sind Vinasse, Kartoffelfruchtwasser und dessen Konzentrate, Reststoffe der Maisverarbeitung, Schlemphen und Malzkeime (Maltaflor). Angaben zu Vinasse, als Nebenerzeugnis der Melasse bei der Zuckerherstellung, wurden aus den Arbeiten von ANONYM (1993b), KERNMAYER (2002), SCHMIDT und HENKEL (2003), ROSCHKE (2008) sowie MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) entnommen. Neben den relativ engen C:N-Verhältnissen sind diese Produkte oft gekennzeichnet durch niedrige P- und hohe K-Konzentrationen (Tabelle 5). Zur Registrierung des Schwefels wurde darüber hinaus folgende Literatur verwendet: SENGER und SEVERIN (2004), MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) sowie diverse Internet-Quellen (AGRARWEB, farmfeed, DMH, KWS).

Maltaflor Bio wird für Sonderkulturen in der Landwirtschaft eingesetzt. Pflanzliche Ausgangsprodukte sind Malzkeime von frisch gekeimtem Getreide unter Beimengung von Vinasse. Für die Zusammenstellung der Daten wurden Angaben von TRÄNKLE und ENGELMANN (2002), STADLER et al. (2006), SCHLEGEL et al. (2007), MÜLLER et al. (2007), RIEHLE et al. (2007) sowie MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) genutzt.

In Provita Phytoperls sind neben Maisrückständen auch Anteile aus Getreide, Zuckerrübenmelasse und Bierhefe enthalten. Eingesetzt wird es zu Sonderkulturen und im Gemüsebau. Für die Erstellung der Richtwerte wurden Angaben von MÜLLER und FRAGSTEIN (2003, 2006), STADLER et al. (2006) sowie von MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) berücksichtigt.

Agro Biosol ist getrocknete Pilzbiomasse, die durch thermische Behandlung steril gemacht wird. Bei einem recht engen C:N-Verhältnis ist die Nährstoffwirkung eher langsam und nachhaltig. Für die Datensammlung wurden Angaben von ANONYM (1993b), RASP (1993), KERNMAYER (2002), RÜHRER et al. (2004), STADLER et al. (2006) sowie MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) genutzt. Untersuchungsergebnisse zu den Nährstoffgehalten von Pilzkultursubstraten finden sich bei SEVERIN und SENGER (2004), JACOBS (2007) sowie bei MÖLLER und SCHULTHEIß (2014).

Zu den organischen Handelsdüngemitteln tierischer Herkunft zählen Hornprodukte, Haarmehlpellets, Federmehl und Fleischknochenmehl. Aus Hörnern bzw. Hufen von Rindern werden die Horndünger gewonnen. Grob zerkleinert und gesiebt werden sie als Hornspäne angeboten, fein vermahlene Produkte kommen als Hornmehl in den Handel. Je feiner vermahlen, umso zügiger erfolgt die Zersetzung und Freisetzung der Nährstoffe. Hornprodukte gehören zu den N- und P-betonten Handelsdüngern (TRÄNKLE und ENGELMANN, 2002; MÜLLER und FRAGSTEIN, 2003, 2006; MÜLLER et al., 2007; RIEHLE et al., 2007; SCHLEGEL et al., 2007; BRAIG, 2011 sowie MÖLLER und SCHULTHEIß, 2014).

Eine weitere Gruppe von Tierabfällen betrifft die Haar- und Federnmehle. Wie die Hornmehle sind sie stickstoffbetonte organische Dünger mit sehr engen C:N-Verhältnissen. Sie enthalten allerdings deutlich niedrigere Gehalte an Kalium, Magnesium und Schwefel. In den Richtwerten für diese Gruppe organischer Handelsdünger sind Ergebnisse von ANONYM (1993b), GUTSER und EBERTSEDER (2006), RIEHLE et al. (2007), MÜLLER et al. (2007) sowie MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) eingeflossen.

Vervollständigt wird die Gruppe der tierischen organischen Handelsdünger durch Fleisch- und Knochenmehl sowie Blutmehl mit hohen N-Gehalten und sehr engen C:N-Verhältnissen (siehe Tabelle 5). Reine Knochenmehle sind besonders reich an Phosphor. Die Phosphorwirkung selbst ist aber eher verhalten, ähnlich der Wirkung von Rohphosphaten einzuschätzen. Mit höherem Anteil an Fleischresten nimmt der N-Gehalt deutlich zu. Anders als beim Phosphor wird der Stickstoff zügig in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt. Umfangreiche Ergebnisse zu den Nährstoffgehalten liegen von WOLF und SNYDER (2003), ALBERT und DITTRICH (2005), GUTSER und EBERTSEDER (2006) sowie von MÖLLER und SCHULTHEIß (2014) vor.

Zu der Gruppe von pflanzlichen Abfallprodukten gehören die verschiedenen Schlempen (Getreide, Kartoffeln und Bioethanol) und Trester (Obst, Wein und Bier) mit oftmals regionaler Bedeutung. Entsprechend der Ausgangsstoffe weisen Schlempen typische Unterschiede auf. Beruhen sie auf Getreidebasis weisen sie höhere Gehalte an Stickstoff und besonders niedrige Kaliumgehalte auf. Besonders arm an Stickstoff sind Trester und Melasse, hohe K-Gehalte weisen dagegen die Kartoffelschlempen auf (Tabelle 5). Eingegangen in die Richtwerte sind Untersuchungsergebnisse von RASP (1993), GUTSER und EBERTSEDER (2006), JACOBS (2007), ROSCHKE (2008) sowie von MÖLLER und SCHULTHEIß (2014). Entsprechende Angaben zu den verschiedenen Trestern finden sich bei ANONYM (1993b), SCHUCHARDT (1995), ROSCHKE (2008), PREIßINGER et al. (2008) sowie bei MÖLLER und SCHULTHEIß (2014).

Tabelle 5: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern und organischen Handelsdüngemitteln im Ökolandbau (Gehalte an Reinnährstoffen in % der TM)

Düngerbezeichnung/ Handelsname	TM (% FM)	N (%)	NH ₄ -N (%)	NH ₄ -N- Anteil (% von N)	C (%)	C:N- Ver- hältnis (N=1)	P (%)	K (%)	Mg (%)	S (%)	Ausbringungsverluste (%) Basis Gesamt-N (Programm BEFU)			
											keine	gering	mittel	hoch
Wirtschafts- u. Sekundärrohstoffdünger														
Stallmist Rind	25	2,22	0,35	15,8	39	17,6	0,49	2,77	0,39	0,31	0	7	14	20
Frischmist Rind	23	2,10	0,35	16,7	39	18,6	0,49	2,77	0,39	0,31	0	7	14	20
Rottemist Rind	26	2,35	0,35	14,9	39	16,6	0,49	2,77	0,39	0,31	0	7	14	20
Stallmist Schwein	25	2,80	0,49	17,5	36	12,9	0,92	2,45	0,49	0,37	0	7	15	20
Stallmist Schaf	30	2,79	0,64	22,9	38	13,6	0,64	3,87	0,40	0,38	0	5	9	15
Stallmist Ziege	30	2,59	0,56	21,9	37	14,3	0,64	4,04	0,47	0,41	0	5	9	15
Stallmist Geflügel	45	4,00	1,22	30,5	36	9,0	1,44	2,04	0,45	0,56	0	7	17	25
Stallmist Pferd	25	1,63	0,16	10,0	40	24,5	0,52	2,19	0,37	0,22	0	5	9	15
Jauche Rind	2	8,50	5,14	60,5	35	4,1	0,50	23,00	0,50	1,31	0	7	14	20
Jauche Schwein	2	11,5	9,72	84,6	35	3,0	2,00	15,00	0,50	1,31	0	7	15	20
Gülle dünn Rind	4	4,20	2,59	61,7	40	9,5	0,85	3,71	0,54	0,36	0	7	18	35
Gülle dünn Schwein	4	5,85	3,80	65,0	40	6,8	2,44	2,31	0,57	0,56	0	7	14	30
Gülle dünn Geflügel	4	7,50	4,50	60,0	40	5,3	2,86	3,69	0,58	0,60	0	7	14	30
Gülle normal Rind	8	4,15	1,78	43,0	40	9,6	0,85	3,71	0,54	0,36	0	7	18	35
Gülle normal Schwein	8	5,75	3,16	55,0	40	7,0	2,44	2,31	0,57	0,56	0	7	14	30
Gülle normal Geflügel	8	7,38	4,43	60,0	40	5,4	2,86	3,69	0,58	0,60	0	7	14	30
Gülle dick Rind	12	3,85	1,47	38,2	40	10,4	0,85	3,71	0,54	0,36	0	7	18	35
Gülle dick Schwein	12	5,40	2,43	45,0	40	7,4	2,44	2,31	0,57	0,56	0	7	14	30
Gülle dick Geflügel	12	6,17	3,10	50,0	40	6,5	2,86	3,69	0,58	0,60	0	7	14	30
Geflügeltrockenkot	50	4,31	1,90	40,0	40	9,3	1,60	2,45	0,63	0,39	0	7	17	25
getrockneter Hühnerkot	70	3,87	1,40	36,0	40	10,3	1,60	2,45	0,63	0,39	0	7	17	25
Exkremete Rind	25	3,90	0,78	20,0	40	10,3	0,80	3,16	0,55	0,16	0	-	-	-
Exkremete Schaf	30	6,10	1,77	29,0	40	6,6	1,20	0,97	?	0,18	0	-	-	-
Exkremete Pferd	25	3,60	1,00	27,8	40	11,1	0,89	3,80	0,71	0,18	0	-	-	-
Silagesickersaft	4	3,40	1,70	50,0	40	11,8	0,75	8,50	0,75	0,18	0	5	10	15
Strohdünger	86	0,51	0,00	0,0	44	86,3	0,15	1,64	0,14	0,10	-	-	-	-
Grüdünger Zwischen- frucht, Frucht	17	2,71	-	-	43	15,9	0,35	2,88	0,29	0,18	--	--	--	--
Grüdünger Blatt, Kraut	20	1,55	-	-	41	26,5	0,25	2,50	0,50	0,20	--	--	--	--
Ernterückstände Gemüse	15	3,33	-	-	41	12,3	0,27	2,40	0,20	0,30	--	--	--	--
Stallmistkompost	35	2,07	0,17	8,0	32	15,5	0,62	2,07	0,47	0,31	--	--	--	--

Düngerbezeichnung/ Handelsname	TM (% FM)	N (%)	NH ₄ -N (%)	NH ₄ -N- Anteil (% von N)	C (%)	C:N- Ver- hältnis (N=1)	P (%)	K (%)	Mg (%)	S (%)	Ausbringungsverluste (%) Basis Gesamt-N (Programm BEFU)			
											keine	gering	mittel	hoch
Stallm.-Kom. 1-3 Monate	35	2,21	0,30	13,6	41	18,6	0,62	2,07	0,47	0,31	-	-	-	-
Stallm.-Kom. 7-9 Monate	35	2,32	0,20	8,4	34	14,7	0,62	2,07	0,47	0,31	-	-	-	-
Stallm.-Kom. 13-15 Mon.	35	2,18	0,10	4,6	30	13,8	0,62	2,07	0,47	0,31	-	-	-	-
Stallm.-Kom. 19-21 Mon.	35	1,61	0,06	4,0	25	15,5	0,62	2,07	0,47	0,31	-	-	-	-
Bioabfallkompost	60	1,35	0,08	5,9	38	28,0	0,51	1,10	0,52	0,27	-	-	-	-
Grüngutkompost	60	1,12	0,07	6,3	39	34,8	0,28	0,88	0,43	0,25	-	-	-	-
Gärrest Gülle Rind	5	8,40	5,00	60,0	45	5,4	1,40	5,80	0,60	0,54	0	7	18	35
Gärrest pflanzl. Substrate	5	6,24	3,68	59,0	45	7,2	1,00	6,20	0,80	0,54	0	7	18	35
Organische Handelsdünger u. Eigenprodukte														
Luzerne- u. Kleegrasmehl	92	2,50	-	-	40	17,5	0,36	2,77	0,25	0,20	-	-	-	-
Ackerbohnschrot	86	4,54	0,11	2,4	44	9,6	0,60	1,35	0,19	0,20	-	-	-	-
Erbsenschrot	86	3,81	0,09	2,4	44	11,5	0,50	1,21	0,14	0,19	-	-	-	-
Lupinenschrot	86	5,95	0,15	2,5	45	7,6	0,50	1,10	0,19	0,24	-	-	-	-
Wickenschrot	86	4,60	-	-	46	9,9	0,53	1,00	0,20	0,21	-	-	-	-
Rapsextraktionsschrot	90	5,82	0,15	2,6	50	8,6	1,11	1,39	0,49	0,72	-	-	-	-
Rizinusschrot	92	5,40	0,14	2,6	45	8,5	0,97	1,11	0,45	0,45	-	-	-	-
Vinasse	69	5,30	0,21	4,0	35	6,6	0,25	7,40	0,20	1,45	-	-	-	-
Maltaflor BIO (Malzkeime)	90	4,50	0,16	3,6	40	8,8	0,52	4,46	0,27	3,20	-	-	-	-
Provita Phytoperls (Mais- rückstände)	95	7,40	-	-	41	5,6	2,20	1,00	0,36	1,80	-	-	-	-
AGRO BIOSOL (Pilzbio- masse)	95	7,12	0,28	4,0	41	5,8	0,50	0,80	0,20	2,00	-	-	-	-
Pilzkultursubstrate	39	1,68	0,07	4,2	31	18,5	0,73	2,19	0,30	1,12	-	-	-	-
Kartoffelfruchtwasser	4	7,32	2,25	31,0	37	5,1	1,22	12,61	0,48	0,85	-	-	-	-
Hornmehl, -gries, -späne	98	14,75	0,37	2,5	47	3,2	0,40	0,33	0,18	2,18	-	-	-	-

Düngerbezeichnung/ Handelsname	TM (% FM)	N (%)	NH ₄ -N (%)	NH ₄ -N- Anteil (% von N)	C (%)	C:N- Ver- hältnis (N=1)	P (%)	K (%)	Mg (%)	S (%)	Ausbringungsverluste (%) Basis Gesamt-N (Programm BEFU)			
											keine	gering	mittel	hoch
Haar- und Federmehl	98	14,33	0,36	2,5	49	3,4	0,34	0,17	0,07	1,75	-	-	-	-
Provita Haarmehl-Pellets	95	14,74	0,37	2,5	48	3,3	0,46	0,26	0,19	1,75	-	-	-	-
Knochenmehl	95	5,60	0,40	7,2	25	4,5	9,29	0,32	0,27	0,41	-	-	-	-
Fleischknochenmehl	95	7,71	1,25	16,2	35	4,5	6,03	0,46	0,31	2,87	-	-	-	-
Blutmehl	92	14,0	-	-	48	3,4	0,39	0,55	0,13	1,00	-	-	-	-
Schafwollpellets	90	8,27	-	-	47	5,7	0,32	4,65	0,13	1,60	-	-	-	-
Molke	5	2,89	-	-	-	-	-	0,98	3,32	0,22	-	-	-	-
Schlempe	12	2,97	0,43	14,5	40	13,5	0,44	5,40	0,48	-	-	-	-	-
Getreide-Schlempe	10	4,00	0,50	12,5	40	10,0	0,93	1,17	0,30	-	-	-	-	-
Kartoffel-Schlempe	15	3,41	0,31	9,0	40	11,7	0,75	4,11	0,57	-	-	-	-	-
Bioethanol-Schlempe	89	5,84	0,15	2,5	50	8,5	1,21	2,04	0,51	0,56	-	-	-	-
Trester	13	1,13	0,22	19,5	42	37,1	0,43	2,45	0,13	0,14	-	-	-	-
Obst-Trester	18	1,24	-	-	54	43,5	0,18	0,83	0,14	-	-	-	-	-
Biertreber	22	4,18	-	-	46	11,0	0,61	0,90	0,25	0,41	-	-	-	-
Melasse	36	1,75	0,03	2,0	40	22,9	0,04	3,50	0,05	0,35	-	-	-	-
Bioilsa	95	10,94	-	-	44	4,0	0,81	0,25	0,13	4,25	-	-	-	-
OPF(Organic Plant Feed)	46	17,20	-	42,3	32	2,8	2,19	2,91	0,24	1,59	-	-	-	-
PPL (Potato Protein Liquid)	55	4,70	-	19,4	35	7,5	0,99	12,7	0,70	2,03	-	-	-	-

Tabelle 6: Nährstoff- sowie C-Gehalte und C/N-Verhältnisse der Wirtschaftsdünger im konventionellen Landbau (Gehalte an Reinnährstoffen in % der TM)

Düngerart	Tierart	TM	N	NH ₄ -N	NH ₄ -N-Anteil	P	K	Mg	C	C:N-Verhältnis	
		(% FM)	(%)	(%)	(% von N)	(%)	(%)	(%)	(%)	(N=1)	
Stallmist	Rind	25	2,44	0,48	19,7	0,56	4,14	0,53	41	16,8	
	Schwein	25	2,84	0,72	25,4	0,94	2,16	0,86	36	12,7	
	Rind, Schwein	25	2,64	0,60	22,7	0,75	3,15	0,70	40	15,2	
	Schaf	30	3,00	0,90	30,0	0,78	5,38	0,61	40	13,3	
	Ziege	30	2,43	0,73	30,1	0,78	4,88	0,61	37	15,2	
	Pferd	25	1,80	0,56	31,1	0,66	2,00	0,73	40	22,2	
	Geflügel	45	3,76	1,31	34,9	1,47	3,20	0,85	35	9,3	
	Kaninchen	30	2,87	0,57	19,8	0,63	4,33	0,50	-	-	
Jauche	Rind	2	11,00	9,50	86,4	0,50	32,50	0,50	35	3,2	
	Schwein	2	12,50	11,00	88,0	2,00	15,00	0,65	35	2,8	
	Rind, Schwein	2	12,00	10,50	87,5	1,25	23,75	0,60	35	2,9	
Gülle dünn	Rind	4	4,75	2,25	47,4	0,83	5,53	1,03	40	8,4	
	Schwein	4	9,50	6,25	65,8	2,83	5,25	1,25	40	4,2	
Gülle normal	Rind	8	4,75	2,38	50,0	0,83	5,53	1,04	40	8,4	
	Schwein	8	9,38	6,13	65,3	2,81	5,25	1,24	40	6,5	
	Rind, Schwein	8	7,13	4,25	59,6	1,83	5,39	1,14	40	5,6	
Gülle dick	Rind	12	4,75	2,33	49,1	0,83	5,51	1,03	40	8,4	
	Schwein	12	9,42	6,17	65,5	2,82	5,25	1,24	40	4,3	
	Geflügel	12	7,58	2,50	33,0	3,92	4,75	1,24	40	5,3	
Geflügelkot	Hühnerfrischkot	28	6,11	1,79	29,2	1,70	2,46	1,42	40	6,6	
	Hühnertrockenkot	50	5,72	2,18	38,1	2,01	3,34	1,04	40	7,0	
	getrockneter Hühnerkot	70	4,59	1,57	34,3	1,93	2,58	1,12	40	8,7	
Weidegang	Rind	25	3,96	0,80	20,2	0,58	3,96	0,53	40	10,1	
	Schaf	30	6,13	1,83	29,9	0,84	5,53	0,77	40	6,5	
	Pferd	25	3,64	1,08	29,7	0,70	1,33	0,73	40	11,0	
Org. Dünger	Silagesickersaft	4	3,50	1,75	50,0	0,75	8,50	1,25	40	11,4	
	Klärschlamm flüssig <15%TM				Untersuchung erforderlich					42	10,0
	Klärschlamm fest >=15%TM				Untersuchung erforderlich					42	19,0
	Stallmistkompost	35	1,94	0,11	5,9	0,57	2,26	0,81	41	21,1	
	Bioabfallkompost	60	1,28	0,07	5,2	0,32	1,03	0,94	38	29,7	
	Grüngutkompost	60	1,07	0,07	6,3	0,25	0,73	0,72	38	35,5	
	Gärrückstand flüssig				Untersuchung erforderlich					45	4,1
	Gärrückstand fest				Untersuchung erforderlich					45	-
	Gärrückstand pflanzliche Substrate fest				Untersuchung erforderlich					45	-
	Gärrückstand pflanzliche Substrate flüssig				Untersuchung erforderlich					45	7,2
	Knochenmehl	95	5,26	0,42	8,0	9,47	0,32	0,45	40	7,6	
	Fleischknochenmehl	95	7,37	0,47	6,4	6,84	0,32	0,45	33	4,5	
	Pilzkultursubstrate	38	2,13	0,32	15,1	0,89	2,11	1,40	31	14,6	
Grünmasse	Stroh	86	0,58	-	-	0,15	1,35	0,23	40	69,0	
	Grünmasse Blatt, Kraut	15	2,67	-	-	0,33	3,33	0,66	40	15,0	
	Grünmasse Zwischenfrucht, Frucht	15	3,33	-	-	0,40	2,67	0,33	40	12,0	
	Ernterückstände Gemüse	15	2,13	-	-	0,40	3,40	0,77	-	-	
	Rebenhäcksel Hopfen	27	2,56	-	-	0,20	1,81	0,77	-	-	

3.3 Abbauverhalten organischer Materialien

Der Abbau von organischer Substanz wird von den verschiedenen physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften beeinflusst. Von den spezifischen Standortbedingungen haben, neben der Temperatur und Bodenfeuchtigkeit, der pH-Wert, die Nährstoffverfügbarkeit und der Lufthaushalt den stärksten Einfluss. Aber auch die stoffliche Zusammensetzung der abzubauenen Materialien ist von Bedeutung. Zudem ergibt sich eine deutliche stoffliche Rangfolge beim Abbau. Zu Beginn werden vor allem freie Zucker, Fruktane und lösliche organische N-Verbindungen mineralisiert (GUNNARSON, 2003). In der Regel folgen Stärke, Polysaccharide, schnell zersetzbare Teile der Hemicellulose-Fraktion und nichtlösliche organische N-Verbindungen. Am widerstandsfähigsten gegenüber dem mikrobiellen Abbau erweist sich das Lignin. Aufgrund seiner Struktur wird Lignin enzymatisch außerordentlich langsam abgebaut.

Während lösliche und leicht zersetzbare Substanzen vorwiegend von Bakterien mineralisiert werden, erfolgt der Abbau von Zellulose und Lignin insbesondere von Pilzen. Aber auch die stofflichen Unterschiede der für den Abbau verantwortlichen Mikroorganismen nehmen entsprechenden Einfluss. Während die Bakterien hauptsächlich lösliche Verbindungen zersetzen und ein engeres C:N-Verhältnis von etwa 4 aufweisen, besitzen die für den Abbau von Zellulose und Lignin verantwortlichen Pilze ein weiteres C:N Verhältnis von etwa 7 (OTTOW, 2011). Die Geschwindigkeit des mikrobiellen Abbaus wird durch eine optimale Zusammensetzung der verschiedenen Zersetzer bestimmt (COLLINS et al., 1990).

Der Einfluss der Partikelgröße wird zum Teil unterschiedlich beurteilt (ANGERS und RECOUS, 1997; JENSEN, 1994; SORENSEN et al., 1996). Es ist allerdings anzunehmen, dass insbesondere zerkleinertes Material durch die Vergrößerung der Oberfläche bessere Angriffspunkte für die mikrobiellen Zersetzer bietet. PAL et al. (2016) konnten bei Weizenstroh mit unterschiedlichen Partikelgrößen (0,2 – 2 mm und 3 – 4 mm) zu Beginn des Abbaus deutliche Unterschiede bei der CO₂-Respiration feststellen. Mit Zunahme des Tongehalts im Boden wurden diese Unterschiede noch größer. Anders als in derartigen Modellversuchen sind unter Feldbedingungen die Rückstände oft wesentlich kompakter. BENDING und TURNER (1999) konnten zeigen, dass die Partikelgröße insbesondere bei Materialien mit weitem C:N-Verhältnis (Weizenstroh, Weidelgras-Wurzeln) einen deutlichen Einfluss ausgeübt hat.

Da sich auch die stoffliche Zusammensetzung von Pflanzen im Verlauf ihrer Entwicklung bis zur Reife verändert, ergibt sich die Frage nach der Geschwindigkeit des Abbaus unterschiedlicher organischer Materialien. Daneben stellt sich aber auch die Frage nach der damit einhergehenden Freisetzung bzw. Festlegung von Nährstoffen. Der Abbau von auf dem Feld verbleibenden EWR sowie den jeweils eingesetzten unterschiedlichen organischen Materialien hat nicht nur Konsequenzen für die nachgebauten Pflanzenbestände. Von Vorteil sind in jedem Fall eine möglichst genaue Einschätzung ihres Umsatzes und die Erfassung der damit verbundenen Nährstoffflüsse.

Zur Quantifizierung dieser Umsetzungsprozesse können heute an die Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis angepasste Prozessmodelle eingesetzt werden. So bestehen mittlerweile gute Erfahrungen bei der Nutzung des Modells CCB zur Berechnung der C- und N-Dynamik in verschiedenen ackerbaulichen Anbausystemen (KOLBE et al., 2013). Im Rahmen des zeitlichen Umsatzprozesses von dem Boden zugefügten organischen Materialien ist es z.B. erforderlich, eine möglichst realistische Aufteilung in noch physikalisch bzw. strukturell anzusprechende Bestandteile der organischen Primärsubstanzen und von in Umsatz befindli-

chen bzw. bereits abgebauten Anteilen zu unterscheiden und dementsprechend den chronologischen Eingabevollzug im Modell zu gestalten.

So bestehen erhebliche Unterschiede im Ausmaß der N-Freisetzung bzw. der N-Festlegung z.B. nach einer Strohdüngung, wenn bei der Modellberechnung, wie bisher noch weitgehend üblich, der Umsatz der gesamten Strohmenge in einem Jahr zugrunde gelegt wird, oder ob eine zeitliche Aufteilung des Abbaus auf mehrere Jahre erfolgt. Zur Klärung dieser Fragestellungen sind Netzbeutelversuche gut geeignet, da hierbei eine strukturelle Unterscheidung der zugefügten organischen Materialien ermöglicht wird (siehe Kap. 2).

3.3.1 Getreidestroh

In reinen Marktfruchtbetrieben stellt neben den Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) das nicht abgefahrte Stroh eine erhebliche Zufuhrquelle an organischer Primärschubstanz dar. Zwar sind die Effekte des Strohs im Hinblick auf die Anreicherung von organischer Substanz im Boden oft nicht sehr hoch (POWLSON et al., 2012), jedoch kann der Einfluss dieses organischen Materials auf die Aktivität der mikrobiellen Biomasse erheblich sein. Durch ihre Tätigkeit beeinflusst das Bodenleben, neben den bodenphysikalischen Eigenschaften, insbesondere den Nährstoffkreislauf sowohl durch Mineralisation als auch durch Prozesse der Nährstofffestlegung (POWLSON et al., 2011).

Von besonderem Interesse sind hierbei die Geschwindigkeit und die Vollständigkeit des Strohabbaus im chronologischen Verlauf sowohl nach Einbringung in den Boden z.B. mit dem Plug als auch nach dem Aufbringen auf den Boden z.B. als Erosionsschutzmaßnahme. Zur Beantwortung derartiger Fragen sind viele Versuche mit Netzbeuteln oder Litterbags durchgeführt worden. In Abbildung 18 sind Ergebnisse zum Strohabbau von SCHRÖDER und GEWEHR (1977), CHRISTENSEN (1985, 1986), SMITH und PECKENPAUGH (1986), ANDREN und PAUSTIAN (1987), ANDREN et al. (1992), BEARE et al. (1992), CURRY und BYRNE (1997), HENRIKSEN und BRELAND (1999) sowie NIEDER und BENBI (2008) dargestellt worden.

Dabei handelt es sich um verschiedene Stroharten mit unterschiedlichen C:N-Verhältnissen. Abgelegt wurden sie einheitlich in 10 cm Bodentiefe. Erzielt wurden die Ergebnisse unter differenzierten Boden- und Versuchsbedingungen (Temperatur, Bodenfeuchtigkeit). Zunächst zeigt sich eine große Streubreite im Abbauverhalten. Nach etwa einem Jahr befanden sich noch etwa 10 – 60 %-Anteile an nicht verrottetem Strohmaterialien in den Untersuchungsbeuteln. Daraufhin wurde untersucht, ob insbesondere das C:N-Verhältnis im Stroh bzw. die Strohart für diese große Variabilität verantwortlich sein kann. Entsprechende Sortierungen der Ergebnisse nach der Rangfolge der C:N-Verhältnisse oder nach der Getreideart brachten jedoch keine eindeutigen Ergebnisse (ohne Darstellung).

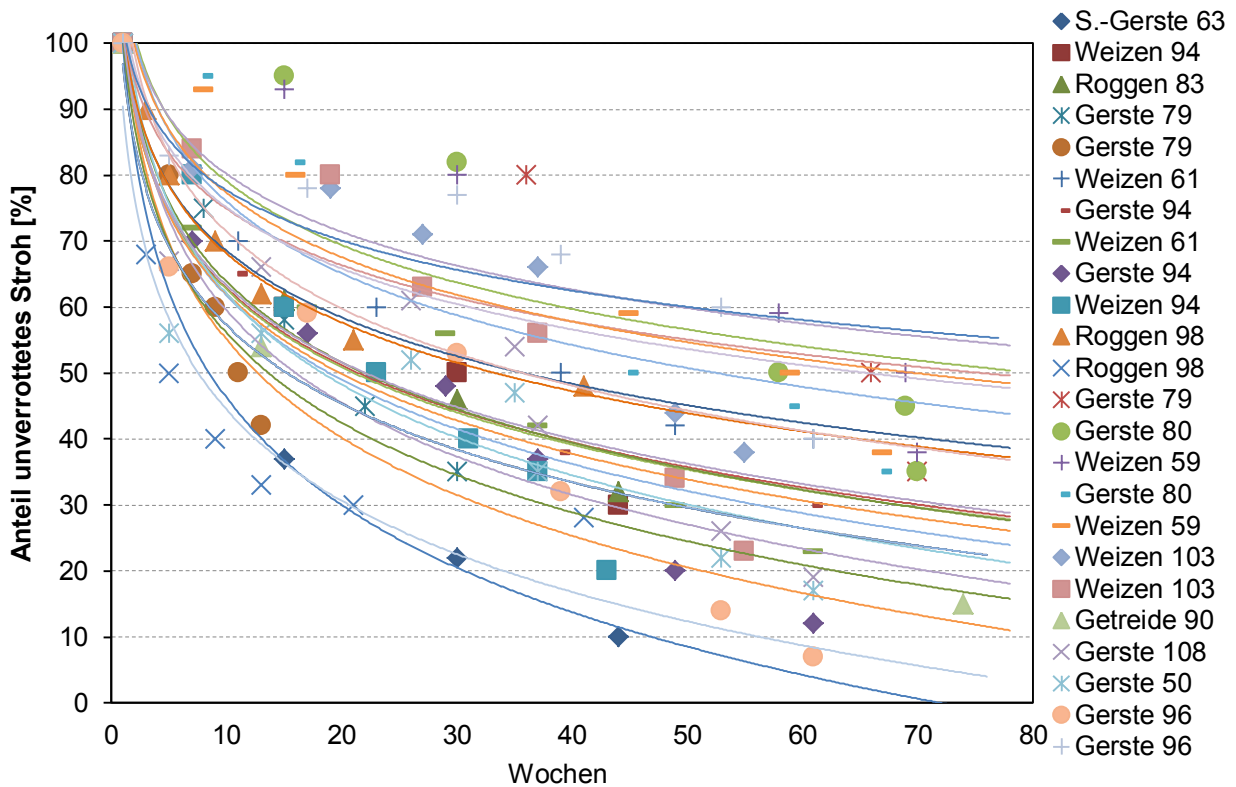


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung des Anteils an unverrottetem Stroh verschiedener Getreidearten und C:N-Verhältnissen aus Litterbag-Versuchen nach Einbringung in den Boden

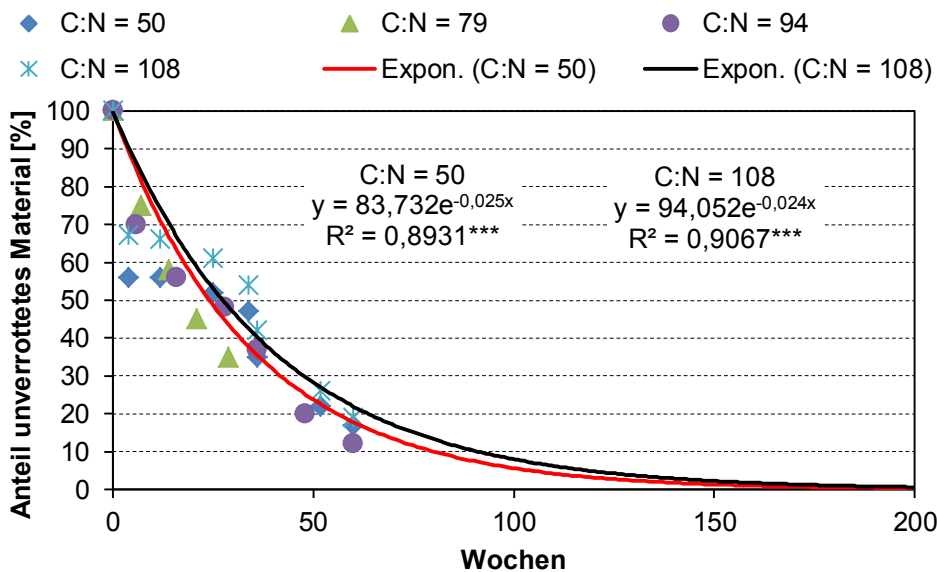


Abbildung 19: Einfluss des C:N-Verhältnis im Gerstenstroh auf den Strohabbau von in 10 cm Bodentiefe abgelegten Litterbags

Um den Einfluss des C:N-Verhältnisses nochmals näher aufzuzeigen, wurden am Beispiel von Wintergerste Ergebnisse zum Abbauverhalten in Abbildung 19 dargestellt. Sie stammen aus Untersuchungen von ANDREN und PAUSTIAN (1987) und von CHRISTENSEN (1985, 1986). Dabei zeigen sich keine deutlichen Unterschiede. Nach etwa 50 Wochen finden sich noch etwa 20 % unverrottetes Stroh in den Litterbags. Die dargestellten

Trends weisen darauf hin, dass der verbliebene Rest dann einem deutlich verlangsamten Abbau unterliegt. Dass zwischen den unterschiedlichen C:N-Verhältnissen keine wesentlichen Unterschiede vorhanden sind, ist auch deshalb bemerkenswert, weil die Abbauergebnisse bei engem C:N-Verhältnis unter den Bedingungen von reichlichem löslichen Boden-N- und bei weitem C:N-Verhältnis unter niedrigem N-Angebot erzielt worden sind.

Auch aus weiteren Literaturquellen ist zu entnehmen, dass unter gleichen Abbaubedingungen sich zwischen Weizen- und Roggenstroh keine wesentlichen Unterschiede eingestellt haben (Ergebnisse nicht dargestellt). Gerstenstroh wurde im Vergleich dazu jedoch etwas schneller abgebaut (SCHRÖDER und GEWEHR, 1976; SUMMERELL und BURGESS, 1989).

Aus Abbildung 20 geht hervor, dass Strohaufgaben wesentlich langsamer abgebaut werden als in den Boden eingearbeitetes Stroh. Ein intensives Einmischen in den Boden befördert einen zügigen Abbau insbesondere der löslichen organischen Verbindungen aus dem Stroh. In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungsergebnisse von SUMMERELL und BURGESS (1989) aufschlussreich. Sie konnten nachweisen, dass bei eingearbeitetem Gerstenstroh während des Abbaus der Gesamtstickstoffanteil im verbleibenden Material zunahm, während im Auflagestroh eine Abnahme und damit eine Erweiterung des C:N-Verhältnisses erfolgte. Respirationsversuche von COGLE et al. (1989) zeigten, dass im Vergleich zwischen eingearbeitetem Stroh und einer Strohaufgabe sich nach den ersten 15 Tagen die Abbauraten weitgehend angeglichen hatten. Allerdings wurde der Strohabbau insgesamt nur über 35 Tage verfolgt.

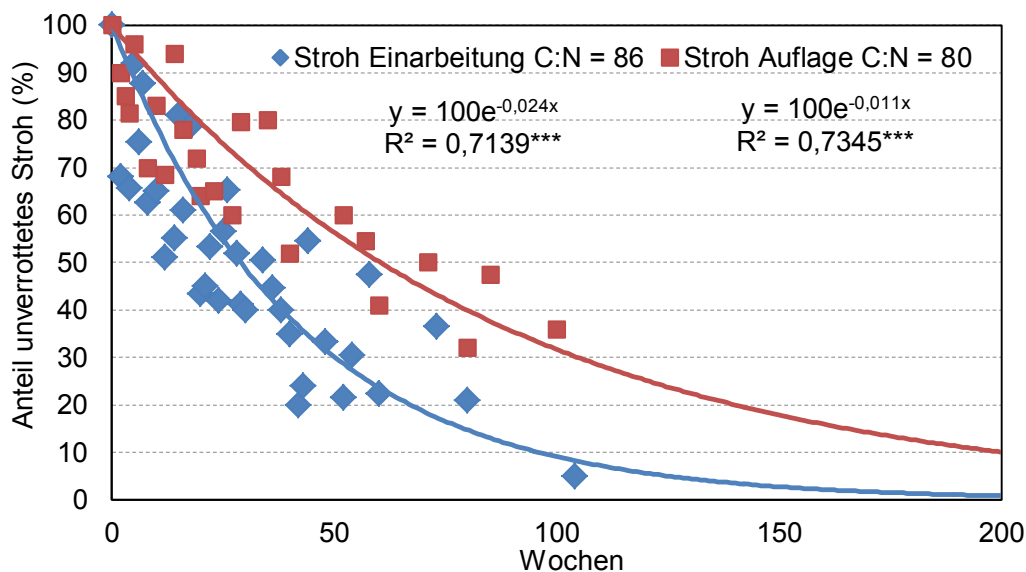


Abbildung 20: Strohabbau in Litterbags nach Einarbeitung bzw. als Auflage auf dem Boden

Die hier aus Langzeitversuchen dargestellten Ergebnisse mit Einarbeitung entstammen den Untersuchungen von SCHRÖDER und GEWEHR (1977), CHRISTENSEN (1985, 1986), ANDREN und PAUSTIN (1987), SUMMERELL und BURGESS (1989), ANDREN et al. (1992), BEARE et al. (1992), BUCHMANAN und KING (1993), CURRY und BYRNE (1997), HENRIKSEN und BRELAND (1999) und NIEDER und BENBI (2008). Eingeflossen in die Darstellung des Abbaus von Strohaufgaben sind Untersuchungsergebnisse von CHRISTENSEN (1986), BEARE et al. (1992), BUCHMANAN und KING (1993), BOHLEN et al. (1997), CADISCH und GILLER (1997) sowie HENRIKSEN und BRELAND (1999).

Die für das Gerstenstroh dargestellten Ergebnisse belegen, dass bei Einarbeitung nach dem ersten Versuchsjahr etwa 70 – 80 %, nach dem zweiten Jahr etwa 90 % und im dann folgenden Jahr nahezu das gesamte organische Material abgebaut wurde. Bleibt das Stroh in den Litterbags auf dem Boden, so verzögert sich der Abbau deutlich. Mineralisiert werden hier nach dem ersten Jahr lediglich 40 – 50 %, im zweiten Jahr 64 % und nach drei Jahren gerade einmal 80 % vom Ausgangsmaterial. Werden Weizen- und Roggenstroh mit einbezogen so ergeben sich Abbauraten, die in etwa um 10 % niedriger ausfallen.

3.3.2 Kartoffelkraut

Die Untersuchungen zum Abbauverhalten von erntereifem Kartoffelkraut in Abbildung 21 stammen von HENRIKSEN und BRELAND (1999). Dargestellt sind die Mittelwerte aus zwei unterschiedlichen Versuchsansätzen. Die jeweiligen Litterbags wurden in 10 cm Bodentiefe abgelegt. Das C:N-Verhältnis des Materials betrug jeweils 18:1. Innerhalb der ersten Wochen nach der Einarbeitung in den Boden ist dabei ein zügiger Abbau zu verzeichnen, der je nach gewählter mathematischer Gleichungsform unterschiedlich genau abgebildet werden kann und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

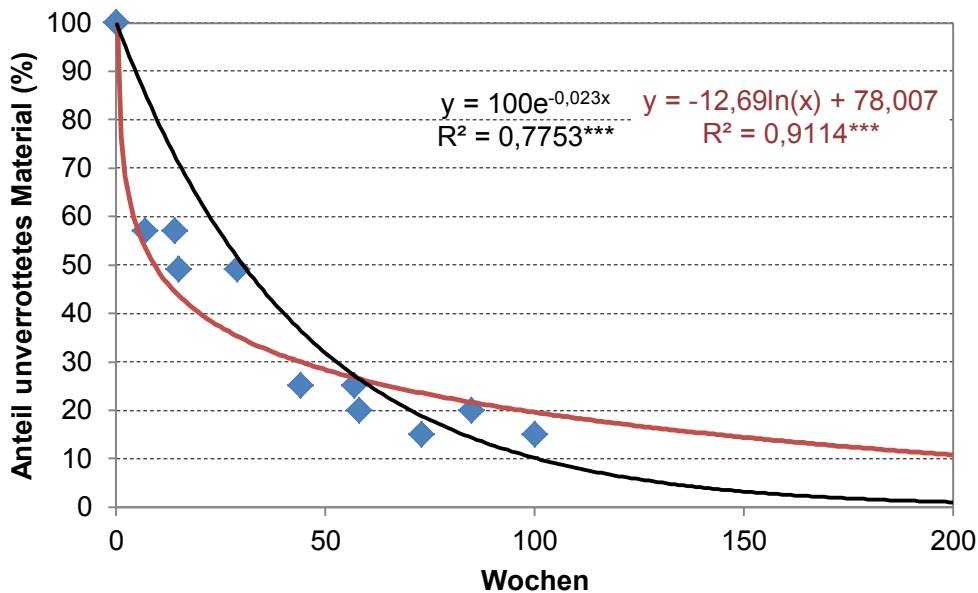


Abbildung 21: Abbau von erntereifem Kartoffelkraut im Zeitverlauf in Norwegen und mathematisch-statistische Auswertung mit zwei unterschiedlichen Regressionsgleichungen

Im ersten halben Jahr nach Einbringung sind etwa 60 % der organischen Substanz mineralisiert worden. Nach 100 Wochen fanden sich noch etwa 20 % des Krautes wieder. Anzumerken ist, dass unter den norwegischen Versuchsbedingungen der Boden über Winter etwa 29 Wochen gefroren ist und damit die mikrobielle Aktivität über einen längeren Zeitraum weitgehend unterbunden war. Unter den Bedingungen in weiten Teilen Mitteldeutschlands ist das allerdings nicht der Fall. Hier sollte der Abbau von Kartoffelkraut so verlaufen, wie es bei den Ernte- und Wurzelrückständen der Fall ist (siehe Kap. 3.3.4).

3.3.3 Gründünger

Der Anbau von Gründüngungspflanzen als Haupt- bzw. - Zwischenfrucht dient neben der allgemeinen Bodenverbesserung vor allem zur Nährstoffkonservierung über den Winter und zur Nährstoffbereitstellung für die Folgekultur. Im Besonderen dient der Anbau im Ökolandbau auch dazu, die N-Zufuhr zu verbessern. Deshalb kommen meistens Leguminosen und deren Gemische mit Nichtleguminosen zum Anbau. Diese Fruchtarten bilden auch die Datengrundlage für das in Abbildung 22 dargestellte Abbauverhalten. Da Gründüngungspflanzen in der Regel nicht zur Reife gelangen sind deren C:N-Verhältnisse im Ausgangsmaterial relativ eng. Bei den in Litterbags in den Boden eingebrachten organischen Primärschubstanzen handelt es sich vorwiegend um verschiedene Kleeaufwüchse und vereinzelt auch um Kleeergrasgemische. Eingeflossen sind Ergebnisse von KONONOWA (1958), MÜLLER und SUNDMAN (1988), CORNELISSEN et al. (2003) und FOSU et al. (2007).

Bei den auf dem Boden abgelegten Litterbags ergaben sich bei einem etwas weiteren C:N-Verhältnis und deutlich geringerer Anzahl an Versuchsergebnissen keine wesentlichen Abweichungen im Vergleich zu den eingearbeiteten Gründüngungsmengen. Zum Zeitpunkt der letzten Beprobung nach sieben Wochen wurden je nach verwendeter Pflanzenart noch 25 – 42 % des Ausgangsmaterials wiedergefunden (QUEMADA, 2004).

Anders als beispielsweise beim Stroh oder den EWR ist nach einem Jahr bei der Gründüngung ohne Einbeziehung von Wurzeln ein Anteil von mehr als 80 % der Biomasse abgebaut. Da Gründüngungspflanzen gewöhnlich auch höhere N-Gehalte aufweisen, ist hiermit auch eine entsprechend hohe Freisetzung an Stickstoff und anderen Nährstoffen verbunden. Die verbliebenen organischen Reste setzen sich im zweiten Jahr dann in deutlich geringerem Umfang um. Beim Umbruch von Feldbeständen trägt der Wurzelanteil mit weiteren C:N-Verhältnissen und höherem Anteil schwer zersetzbarer organischer Substanz zu einem insgesamt verzögerten Abbau bei (siehe nächstes Kapitel).

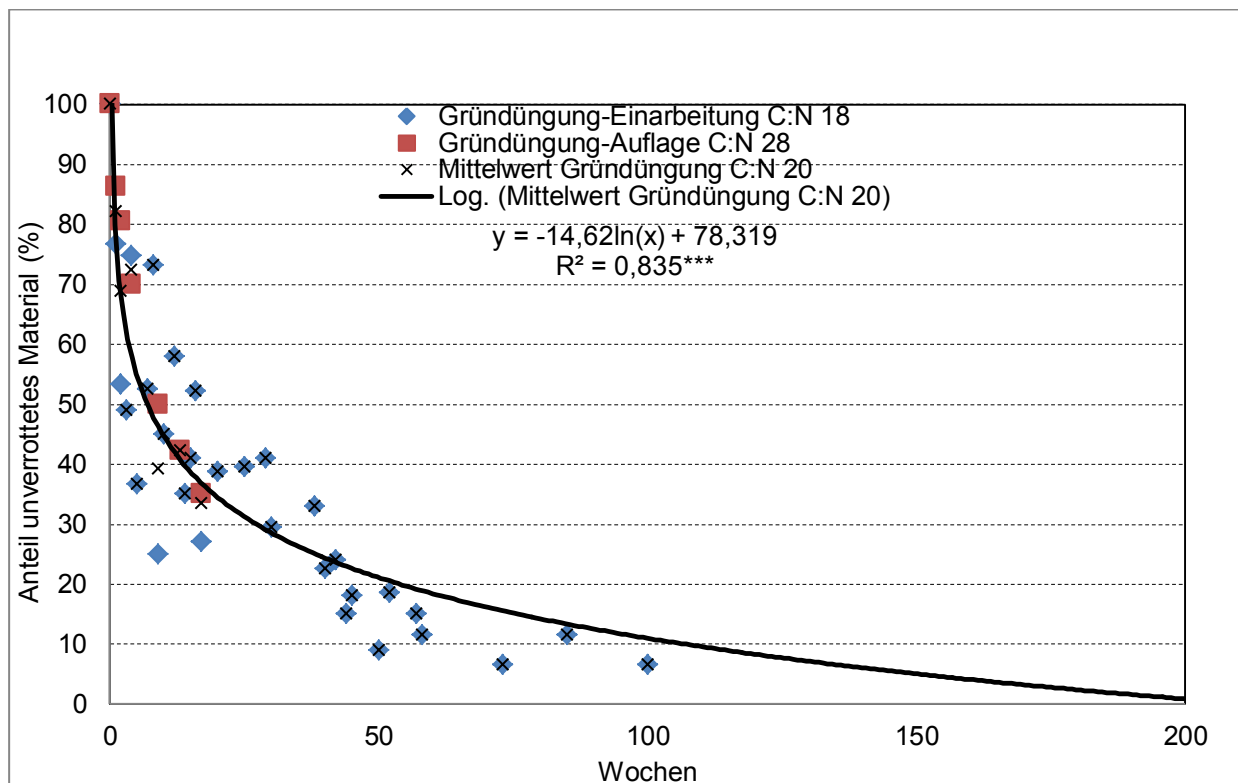


Abbildung 22: Abbauverhalten von Materialien zur Gründüngung nach Einarbeitung und als Bodenauf- lage

3.3.4 Ernte- und Wurzelrückstände

Der in Abbildung 23 dargestellte Abbau von EWR betrifft im Wesentlichen Rückstände von Gräsern, Leguminosen und deren Gemischen. Die Ergebnisse stammen von KONONOWA (1958), KUNTZE (1964), HERMAN et al. (1977), CADISCH und GILLER (1997) sowie BUCHANAN und KING (1993). Das C:N-Verhältnis der organischen Primärsbstanz, deren Litterbags in den Boden eingebracht worden sind, betrug im Mittel 28:1. Damit repräsentieren sie im Wesentlichen die Leguminosen, verschiedene Futterpflanzen und die Hackfrüchte (vgl. Tabelle 1). Nicht vertreten sind die EWR von Getreide und Ölfrüchten bei denen in den EWR ein C:N-Verhältnis von etwa 50 – 90:1 vorliegen und deren Abbauverhalten deshalb eher mit dem von Stroh vergleichbar ist.

Von den hier untersuchten EWR-Materialien sind nach etwa einem Jahr von dem in den Litterbags in 10 cm Tiefe abgelegten organischen Material erst etwa 80 % abgebaut. Bei Ablage auf dem Boden waren es zum gleichen Zeitpunkt etwa 60 %. In beiden Fällen war auch nach dem zweiten Jahr der Abbau noch nicht vollständig erfolgt.

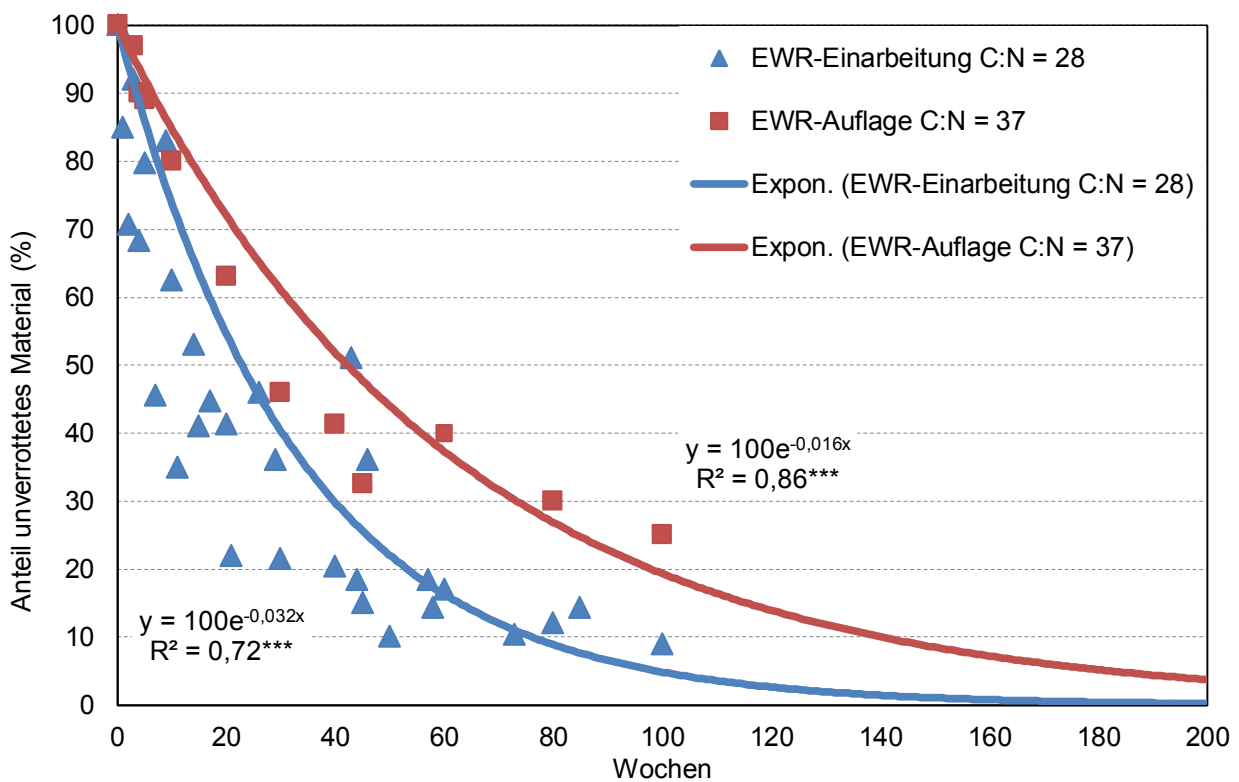


Abbildung 23: Abbauverhalten von Gräser- und Leguminosen-EWR nach Einarbeitung und als EWR-Auflagen auf dem Boden

3.3.5 Organische Wirtschaftsdünger

Zum Abbauverhalten von organischen Düngern in Litterbags wurden nur wenige Arbeiten gefunden, daher sind auch andere Untersuchungsmethoden in die Auswertungen mit einbezogen worden. In einem Brutversuch bei 20 °C über eine Zeit von 30 Tagen unter aeroben Bedingungen mit verschiedenen Stalldungarten (Hühner-, Schweine-, Pferde- und Rinderdung) konnten AJWA und TABATABAI (1994) einen zügigen Beginn der CO₂-Freisetzung feststellen. Mehr als 50 % des CO₂ wurden in den ersten 6 Tagen freigesetzt. In der Folge

verlangsamte sich die CO₂-Abgabe. Zwischen den Dungarten bestanden jedoch deutliche Unterschiede. Während vom Pferdemit lediglich 21 % vom zugeführten Kohlenstoff freigesetzt wurden, waren es beim Schweinedung 62 %. Die beiden übrigen untersuchten Dünger ordneten sich zwischen diesen Werten ein.

In Abbildung 24 ist das Abbauverhalten von Rinderstaldung nach Cusick et al. (2006) dargestellt. Zugrunde liegen hier die Ergebnisse von Felduntersuchungen unter gleichen Bodenbedingungen aus zwei verschiedenen Jahren. Eingearbeitet wurde der Staldung zu Mais. Über einen Zeitraum von jeweils 24 Wochen wurde der Abbau im Verlauf der Vegetation beobachtet. Dabei ergab sich zu Beginn etwa eine gleich zügige Abbauintensität. Im Verlauf der jeweiligen Vegetationsperiode wurden jedoch Abweichungen sichtbar. Nach 24 Wochen waren dann beachtliche Unterschiede vorhanden.

Aus den dargestellten Ergebnissen lässt sich ableiten, dass im Durchschnitt der beiden Versuchsjahre etwa 75 – 80 % der organischen Substanz des Stallunges abgebaut werden. Durch die jeweilige Jahreswitterung mit ihren unterschiedlichen Bodenfeuchte- und Temperaturverläufen wird der Abbau modifiziert. In den von Cusick et al. (2006) zur Begleitung der Felduntersuchungen durchgeführten Inkubationsversuchen wurde insbesondere der Einfluss der Temperatur auf die Abbaugeschwindigkeit deutlich. Bei ihren Inkubationsversuchen mit Rinderstaldung bei 30 °C stellten REDDY et al. (1980) einen C-Abbau von etwa 50 % bereits nach 100 Tagen fest.

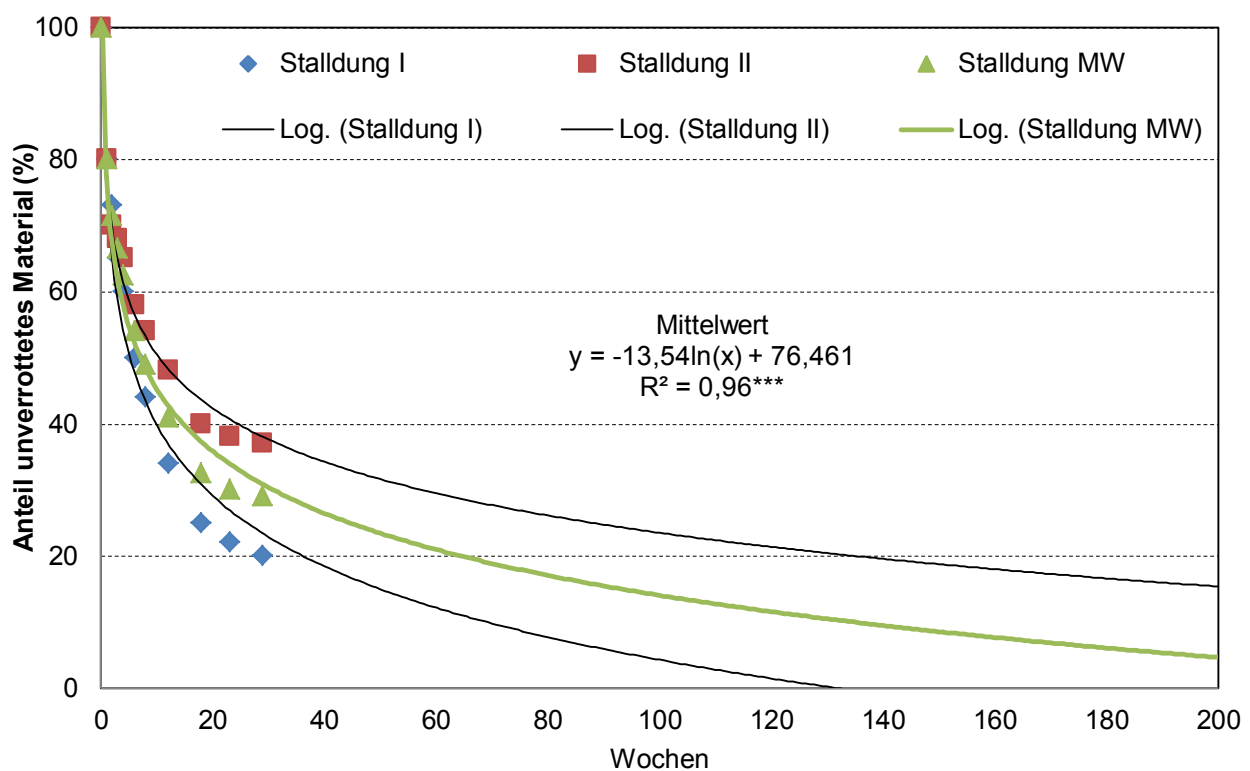


Abbildung 24: Abbauverhalten von eingearbeitetem Stallung zu Mais im Verlauf der Vegetation

ROCHETTE et al. (2006) weisen darauf hin, dass für die Umsetzungsgeschwindigkeit die Bodenbedingungen einen entscheidenden Einfluss ausüben. So war der Abbau auf lehmigen Böden wesentlich schneller als auf tonigen Böden. Unter Feldbedingungen wurde die Umsetzung des Düngers außer von dessen spezifischen Eigenschaften auch von den bodenphysikalischen Eigenschaften und insbesondere von dem Sauerstoffgehalt

der Bodenluft bestimmt. Einen deutlichen Einfluss auf die Umsetzungsgeschwindigkeit übt aber auch die vorhandene Mikroorganismenpopulation aus (MARY et al., 1996).

Während die Untersuchungen von CUSICK et al. (2006) im Feld lediglich eine Vegetationsperiode umfassten und der weitere Abbau sich nur aus den angepassten Funktionswerten ableiten lässt, wurden die Ergebnisse von CHEN et al. (2003) mit Rinder- und Schweinekot im Brutversuch bei 30 °C über drei Jahre verfolgt. In der Abbildung 25 wird ebenfalls ein anfänglich zügiger Abbau von nahezu 50 % der organischen Substanz innerhalb der ersten 10 Wochen sichtbar. Nach insgesamt drei Jahren waren nach wie vor mehr als 10 % des Ausgangssubstrats nicht abgebaut. In dieser Zeit haben sich die C:N-Verhältnisse des Düngers von ausgangs 30:1 auf 11:1 verengt.

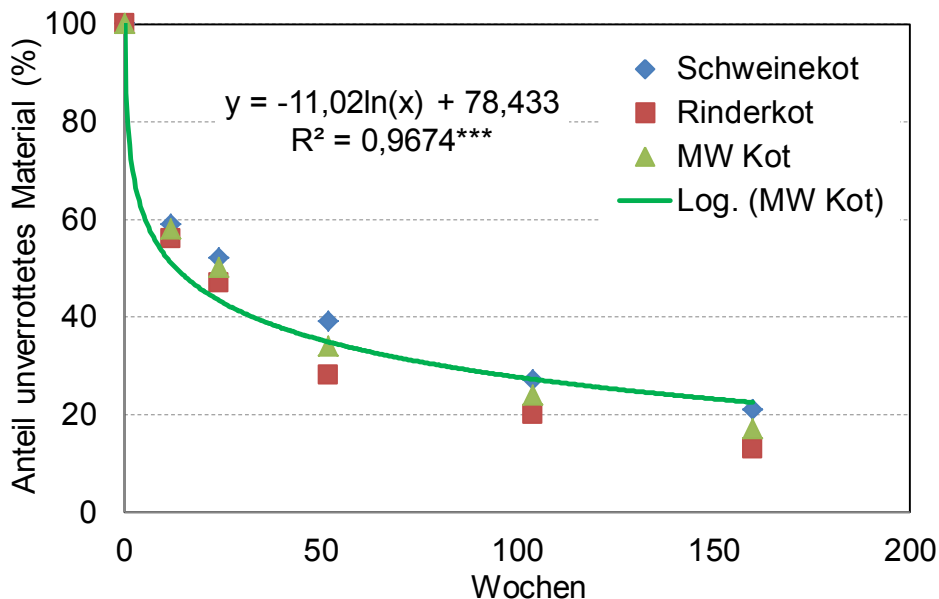


Abbildung 25: Abbau von eingearbeitetem Schweine- und Rinderkot über die Zeit

3.3.6 Blätter und Nadeln von Baumarten, Torf und Holz

Die Blätter und Nadeln der verschiedenen Baumarten weisen ein differenziertes C:N-Verhältnis auf. BRUCKNER und KALUSCHE (1990) geben für eine Auswahl verschiedener Baumarten eine Spanne von 15 – 113:1 an. In den in Abbildung 26 dargestellten Abbauntersuchungen liegen die C:N-Verhältnisse bei den Laubbäumen von 21 – 51:1 und bei den Nadelbäumen von 66 – 140:1. Verantwortlich für diese beachtlichen Spannen dürften in erster Linie die Baumart, das Alter sowie die jeweils typischen Standorte und die damit verbundene N-Versorgung sein. Bei den Abbauntersuchungen wurden die mit dem Laub befüllten Litterbags auf bzw. in die Mullschicht des Bodens abgelegt. Eingeflossen in die Darstellung sind Ergebnisse von KONONOWA (1958), MELILLO et al. (1989), CADISCH und GILLER (1997), CORNELISSEN et al. (2003) sowie BERG und LASKOWSKI (2006).

Bei den verschiedenen Blättern der Laubbäume ist ein zügiger Abbau zu beobachten. Nach einem Jahr sind bereits 70 % der organischen Substanz mineralisiert. Der Abbau der Nadeln erfolgt in der Regel wesentlich langsamer. Nach Angaben von SLOBODDA (1988) ist der natürliche Abbau der Blattstreu beispielsweise von Schwarzerlen und Eschen bereits nach einem Jahr weitgehend abgeschlossen. Der Abbau von Nadeln der Kiefer und der Lärche dauern dagegen 4 – 5 Jahre. Neben den C:N-Verhältnissen und der stofflichen Zu-

sammensetzung dürften auch der Standort und die jeweiligen Feuchtebedingungen einen deutlichen Einfluss auf den Abbauprozess ausüben.

Der Abbau von Holz in Form von Wurzelholz der Kiefer (C:N-Verhältnis 300) verläuft sehr verhalten (BERG und LASKOWSKI, 2006). Nach einem Jahr kann ein Anteil von 70 – 80 %, nach zwei Jahren von 65 % und nach ca. sechs Jahren wird immer noch ungefähr ein Anteil von 45 % strukturell nachgewiesen. Nach den vorliegenden Informationen von SPRINGER und LEHNER (1951) geschieht der Abbau von Torf (C:N-Verhältnis 24) noch etwas langsamer, während Hochmoortorf (C:N-Verhältnis 60) nach ungefähr vier Jahren noch einen strukturellen Nachweis für 90 % der Primärsubstanz erbracht hat.

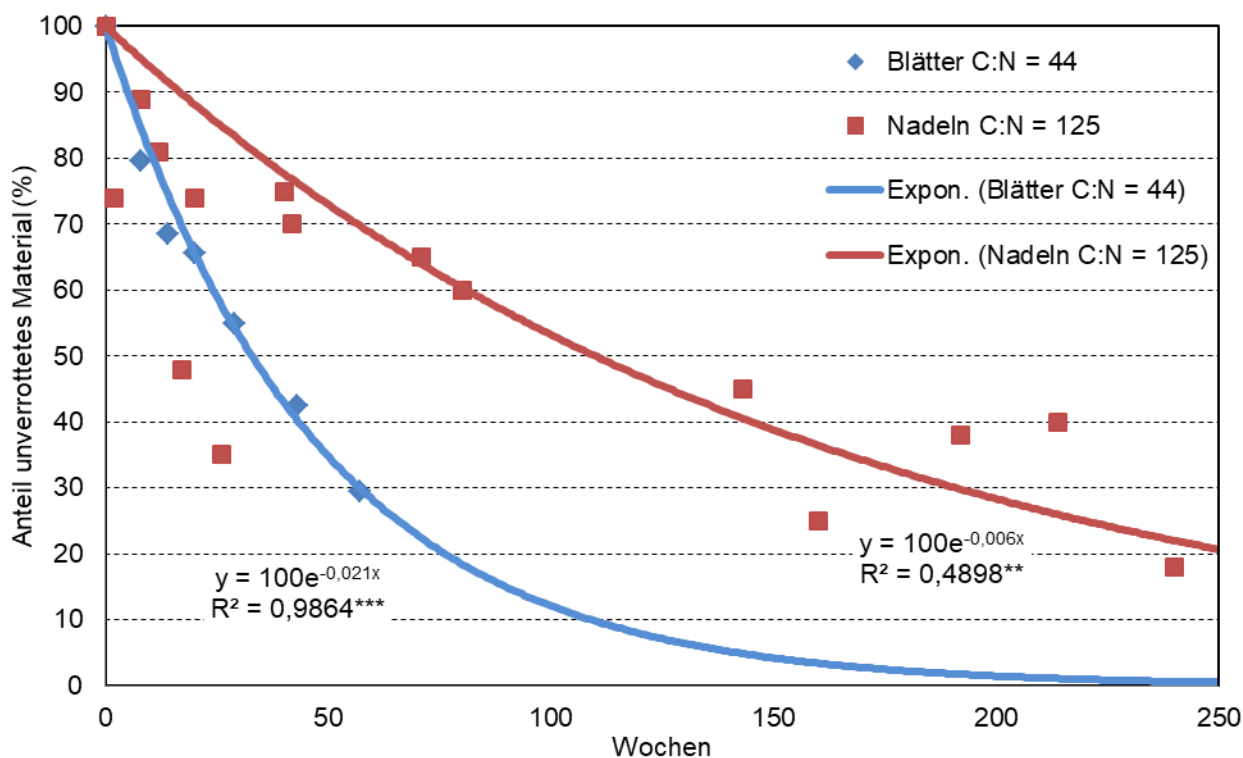


Abbildung 26: Verlauf des Abbaus von Blättern und Nadeln als Auflage oder Einarbeitung in Wäldern

3.3.7 Abbaurangfolge der organischen Materialien

Eine Zusammenfassung nach Stoffgruppen des hier vorliegenden vielfältigen organischen Materials aus der Literatur findet sich in Abbildung 27. Es wird deutlich, dass organische Primärsubstanzen, wie Gründüngung und deren EWR, zu Beginn einen zügigen Abbau unterliegen. Nach etwa einem Jahr sind bis zu etwa 80 % des organischen Materials abgebaut. Auch der Stallmist weist einen nur geringfügig geringeren Abbau auf. Bei dem Ausgangsmaterial für die einbezogenen Untersuchungen handelt es sich nicht um einen verrotteten Mist, sondern um einen Frischmist (CUSICK et al., 2006). Die einbezogenen Kotformen verschiedener Tierarten, die den Güllearten gleichgesetzt werden können, weisen ebenfalls im ersten Jahr einen verhältnismäßig hohen Abbau auf.

Insbesondere junge, wenig Lignin haltige bzw. durch Verdauungs- und Rotteprozesse beeinflusste Materialien werden relativ zügig und bereits nach ca. drei Jahren weitgehend abgebaut. Die Geschwindigkeit und die Vollständigkeit der Zersetzung werden von einer Vielzahl standorttypischer Faktoren (Temperatur, Feuchtig-

keit, Sauerstoff usw.) beeinflusst. Die Einarbeitung in den Boden beschleunigt den Abbauprozess deutlich (siehe Beispiel Stroh in Abbildung 27).

Bleibt das organische Material auf dem Boden, so können Abbauprozesse zum Teil beachtlich verlangsamt werden. Periodisches Austrocknen oder das Auswaschen leicht abbaubarer Stoffe verzögert den vollständigen Abbau. Auch kann das Material oft erst stärker abgebaut werden, nachdem der Bodenkontakt erhöht wird. Als eine Ursache für den zügigeren Abbau eingemischter organischer Substanz wird daher auch die Vielfalt des dort anzutreffenden Bodenlebens angesehen. So geben BEARE et al. (1992) an, dass im Durchschnitt eingearbeitete organische Substanzen in etwa 2,5-mal so schnell abgebaut werden wie gleiche Materialien, die nicht eingearbeitet wurden.

Neben Strohaufgaben weisen auch Blätter und Nadeln von verschiedenen Baum- und Straucharten in ihrem natürlichen Umfeld einen langsameren, über mehrere Jahre andauernden Abbau auf. Nach drei Jahren können immer noch ca. 40 % des eingebrachten Blattmaterials strukturell nachgewiesen werden. Noch länger dauert der durchschnittliche Abbau von Torf und Holzarten, deren Nachweis nach einem Jahr zu 75 % und nach drei Jahren noch zu 60 % der ursprünglichen Primärschubstanzen gelingt.

Die Zusammenfassung der vorliegenden Daten erlaubt die Erstellung mittlerer Abbaufunktionen, die in Tabelle 7 dargestellt sind. Da in den mathematischen Gleichungen eine hohe Anzahl an Untersuchungen mit unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtebedingungen sowie differenzierter stofflicher Zusammensetzung eingeflossen sind, dürften die erlangten Ergebnisse für mittlere Umsetzungsbedingungen durchaus aussagekräftig sein.

Tabelle 7: Mathematisch-statistische Gleichungen zum Abbauverhalten verschiedener Gruppen an organischen Materialien (Geltungsbereich: 0 – 150 Wochen)

Organisches Material	C:N-Verhältnis	Abbaufunktion	Bestimmtheitsmaß
Gründünger	20	$y = -13,03\ln(x) + 71,432$	$R^2 = 0,9939^{***}$
Ernte- u. Wurzelrückstände	28	$y = -12,98\ln(x) + 72,633$	$R^2 = 0,9879^{***}$
Stalldung (Rind)	17	$y = -12,35\ln(x) + 72,833$	$R^2 = 0,9613^{***}$
Kot (Rind/Schwein)	30	$y = -11,66\ln(x) + 77,392$	$R^2 = 0,9613^{***}$
Stroh (Einarbeitung)	86	$y = -11,15\ln(x) + 80,133$	$R^2 = 0,9261^{***}$
Stroh (Auflage)	86	$y = 0,0032x^2 - 0,9494x + 99,001$	$R^2 = 0,9902^{***}$
Baum-Blätter/Nadeln	44 – 125	$y = -8,289\ln(x) + 84,888$	$R^2 = 0,9326^{***}$
Torf, Holz	24 – 300	$y = 0,0021x^2 - 0,5563x + 99,023$	$R^2 = 0,9916^{***}$

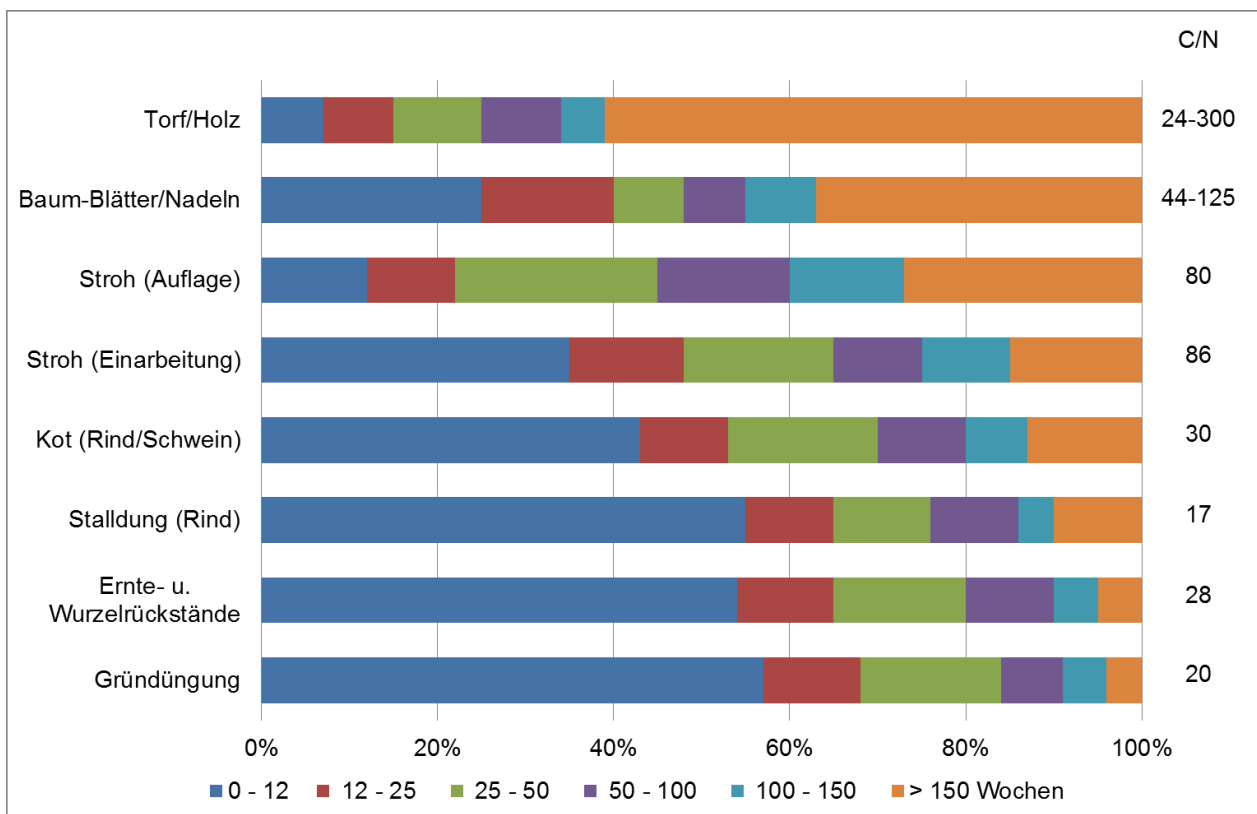
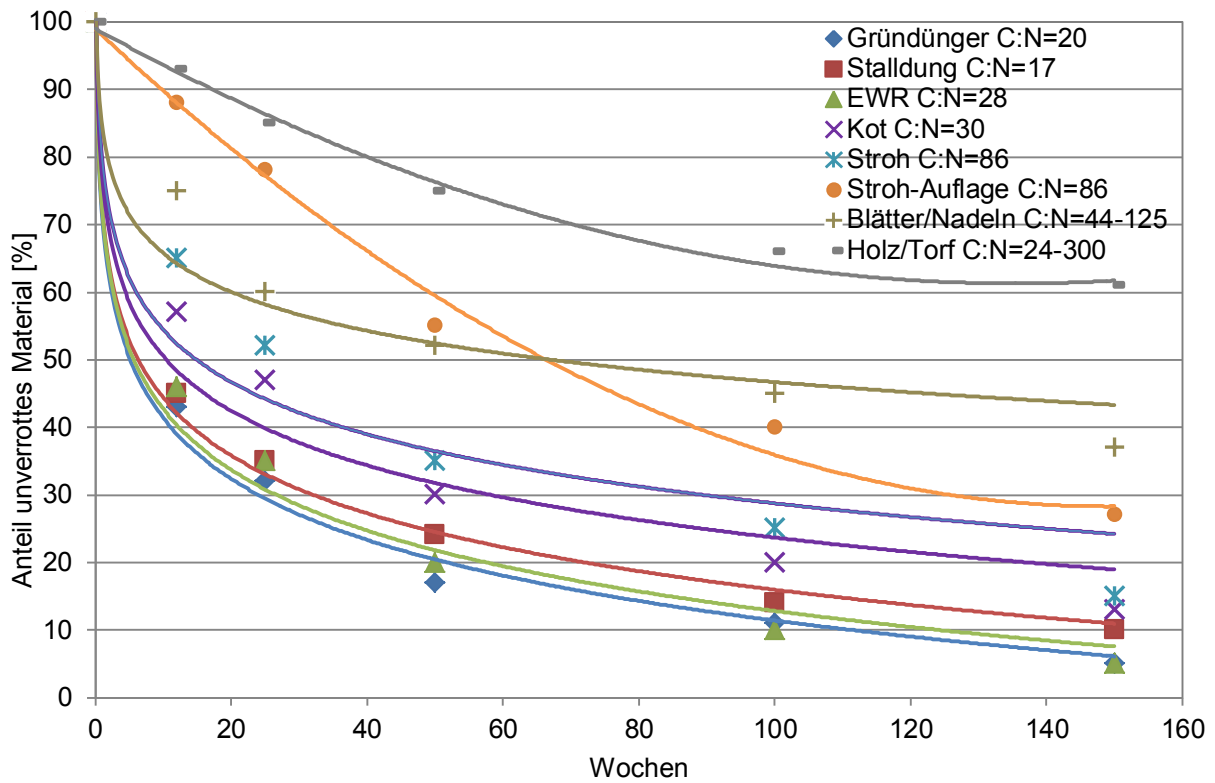


Abbildung 27: Mittlerer Verlauf des Abbaus von organischen Materialien innerhalb von 150 Wochen (ca. drei Jahre) in zwei verschiedenen Darstellungsformen

3.4 Ableitung von Humifizierungskoeffizienten für Fruchtarten und organische Materialien zur Humusbilanzierung

Besonders im ökologischen Landbau ist es üblich, mit Methoden der Humusbilanzierung die Versorgungslage mit organischer Substanz von Anbauverfahren und zur Fruchtfolgegestaltung abzuschätzen (KOLBE, 2013; KOLBE und ZIMMER, 2015). Hierzu kommen verschiedene Methoden zu Anwendung, die die Humuswirkung der angebauten Fruchtarten und der angewendeten organischen Düngemitteln und anderen Materialien mit Hilfe von Humifizierungskoeffizienten einschätzen (LEITHOLD et al., 1997; KOLBE, 2010; EBERTSEDER et al., 2014).

Mit dem Wandel der Anbauverfahren kommen mit der Zeit auch unbekannte Fruchtarten und z.T. neue organische Materialien zum Einsatz, von denen bisher keine Koeffizienten zur Bestimmung der Humuswirkung vorliegen. Durch verschiedene Untersuchungen wurden hierzu Hilfsmittel entwickelt, wie eine erste Einschätzung der Koeffizienten erfolgen könnte, bis es über tiefergehende und meistens auch zeitaufwendige Untersuchungen (z.B. über Bebrütungsversuche, Dauerfeldversuche, etc.) zu einer quantitativen Bestimmung gekommen ist. Auf der Grundlage der Koeffizienten der STAND-Methode, wobei auch die wichtigsten Koeffizienten der VDLUFA-Methode (untere Werte) berücksichtigt sind, können durch nachfolgende graphische Abbildungen erste Einschätzungen vorgenommen werden.

3.4.1 Fruchtartenkoeffizienten

Zwischen den Fruchtartenkoeffizienten in der Frischmasse (FM) und den Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) der Fruchtarten in der Trockenmasse (TM) bestehen gewisse korrelative Zusammenhänge, die u.a. bei KOLBE und ZIMMER (2015) näher beschrieben worden sind. Aus Abbildung 28 ist zu ersehen, dass die Koeffizienten der Fruchtarten in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Mit der durchgezogenen Linie wurde der Zusammenhang zwischen den Koeffizienten und den EWR-Mengen der verschiedenen Formen des mehrjährigen Feldfutterbaus mit Leguminosen und Ackergräsern dargestellt. Die erst kurzfristig angebauten Untersaaten und Sommerblanksaaten stellen hierbei eine Übergangsguppe dar, die auch bei den Fruchtarten mit der unterbrochenen Hilfslinie erfasst worden ist. In dieser zweiten Gruppe sind darüber hinaus alle übrigen Fruchtartengruppen berücksichtigt, von den Körnerleguminosen und den Zwischenfrüchten, über die Getreide- und Ölfrüchte bis zu den Hackfrüchten. Winterformen des Zwischenfrucht- und Getreideanbaus weisen höhere EWR-Mengen auf als die Sommerformen. Bei den Hackfrüchten bestehen große Unterschiede zwischen Rüben und Kartoffeln und den angebauten Maisformen.

Zwischen den Getreidearten und den Hackfrüchten können auch die verschiedenen Formen des Ackergemüseanbaus eingeordnet werden, die in Abbildung 28 nicht dargestellt worden sind. Anhand von Analysen oder Einschätzungen der EWR-Mengen können die Humifizierungskoeffizienten weiterer Fruchtarten mit Hilfe dieser graphischen Darstellung besser festgelegt werden. Neben der EWR-Menge spielt hierbei auch die Anbau-dauer z.B. beim Ackerfutter oder der Umfang der Bodenbewegung bei den Hackfrüchten zur Einschätzung der Fruchtarten eine z.T. entscheidende Rolle. Darüber hinaus sind ebenfalls die C:N-Verhältnisse der EWR und das Ertragsniveau der Früchte sowie auch die Standortverhältnisse des Anbauortes (Boden, Klima) zu berücksichtigen.

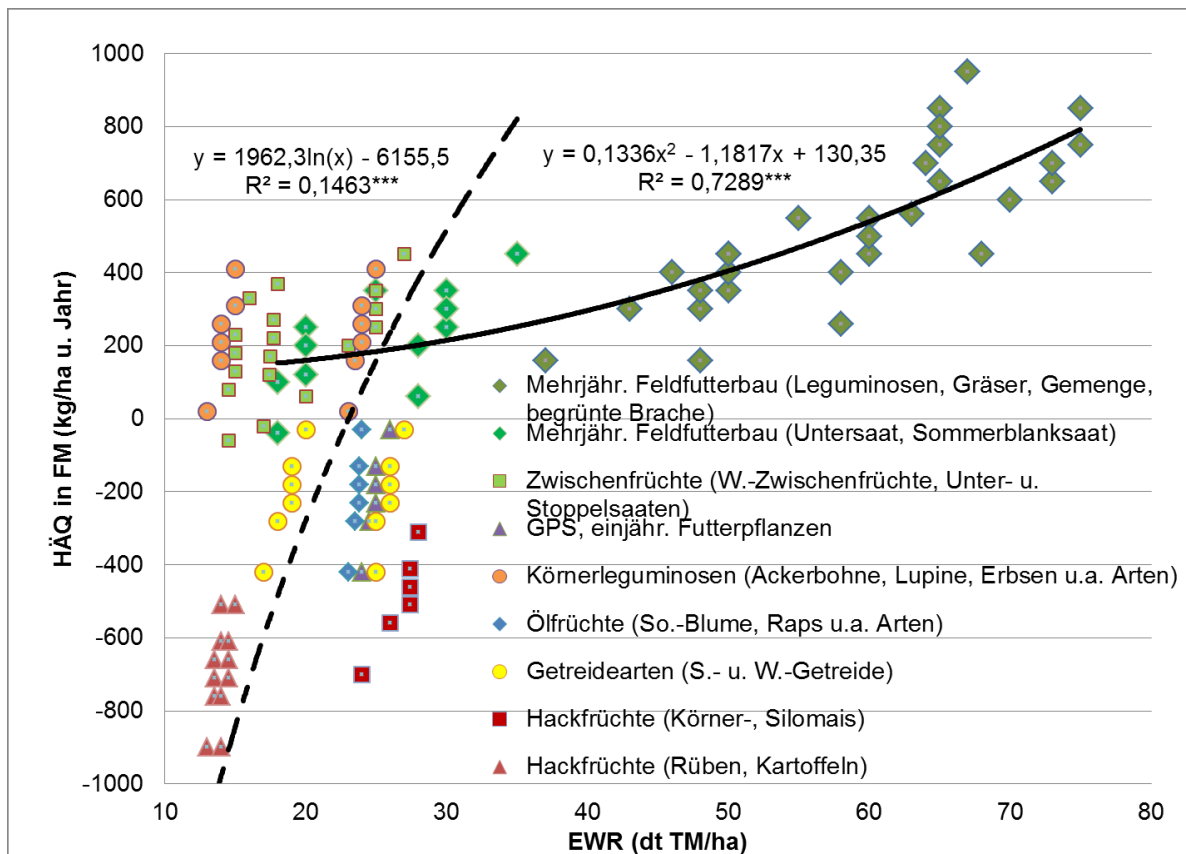


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen den EWR-Mengen und den Humifizierungskoeffizienten (HÄQ) der Fruchtartengruppen (Daten der EWR aus Tabelle 2 und der HÄQ aus KOLBE, 2008)

3.4.2 Koeffizienten für organische Materialien und Düngemittel

Einige Einflussgrößen auf die Humifizierungskoeffizienten der organischen Materialien wurden von KOLBE und ZIMMER (2015) beschrieben. Eine vorläufige Einschätzung der Humuswirkung von neuen organischen Materialien kann aus Abbildung 29 entnommen werden. Untersuchungen haben hierzu ergeben, dass die N-Gehalte dieser Materialien i.d. TM hierzu am besten geeignet sind, weil diese Werte mit den Humusäquivalenten i.d. FM der Materialien am engsten korreliert sind. Auch bei den organischen Materialien können zwei Gruppen mit unterschiedlichen Wirkungen auf die Humifizierung erkannt werden. Auf der einen Seite stehen zunächst die mehr oder weniger nativen organischen Materialien der Fruchtarten (durchgezogene Regressionslinie), die von den mehr „verarbeiteten“ Materialien durch Kompostierung, Vergärung und als feste Ausscheidungsprodukte als Wirtschaftsdünger durch die Tierhaltung anzusehen sind (unterbrochene Linie, Abbildung 29). Die flüssigen organischen Wirtschaftsdünger und Gärreste können demgegenüber besser zur ersten Gruppe gezählt werden.

Unter Kenntnis dieser Einflussgrößen kann eine vorläufige Einstufung der Humifizierungswirkung von bisher unbekannt organischen Materialien erfolgen. Materialien mit niedrigeren N-Gehalten weisen höhere HÄQ auf als die mit höheren N-Gehalten. Pflanzliche Materialien mit längerer Lebensdauer oder in abgestorbenem Zustand (z.B. Stroh) weisen relativ hohe Werte auf. Grüne junge oberirdische pflanzliche Materialien haben z.T. nur sehr geringe Humifizierungswerte. Bei den verarbeiteten Materialien sind die frischen Miste oder Komposte durch relativ geringe HÄQ gekennzeichnet, verrottete Miste oder stark kompostierte Materialien

weisen höhere Werte auf. Neben den genannten Einflussgrößen können auch die C:N-Verhältnisse der organischen Materialien zur besseren Einstufung berücksichtigt werden.

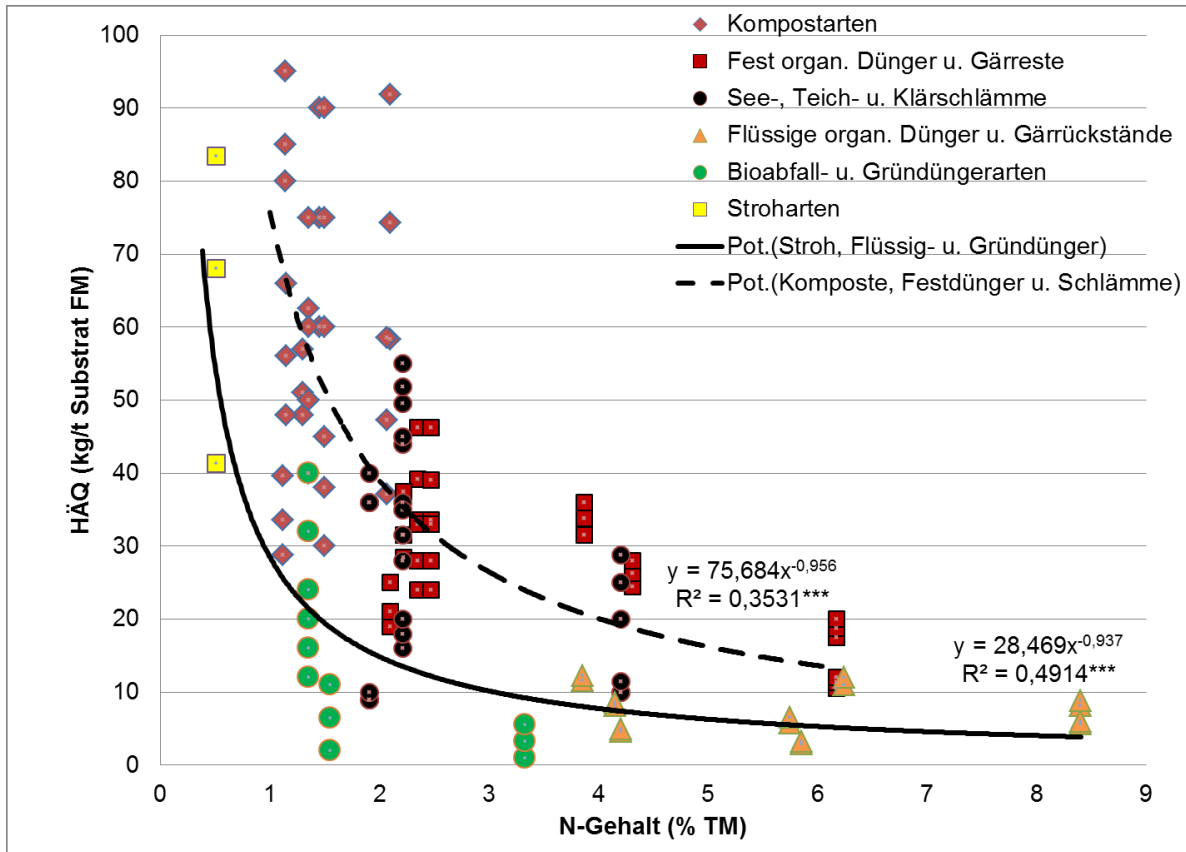


Abbildung 29: Zusammenhang zwischen den N-Gehalten und den Humifizierungskoeffizienten (HÄQ) der organischen Düngemittel und Materialien (Daten der N-Gehalte aus Tabelle 5 und der HÄQ aus KOLBE, 2008)

3.5 Nährstoff-Freisetzung aus organischen Materialien im Jahr der Anwendung

Neben den Leguminosen tragen die verschiedenen Wirtschafts- und Handelsdünger besonders im ökologischen Landbau zur Nährstoff-Versorgung der Bestände bei. Im Hinblick auf eine möglichst hohe Effizienz der eingesetzten Nährstoffe und der Schonung der Umwelt sind die organischen Materialien so zu bemessen, dass die Zufuhr an Nährstoffen dem Bedarf des Pflanzenbestandes bei einem angestrebten Ertragsziel entspricht. Für eine optimale Bemessung der eingesetzten Düngerarten im Jahr der Anwendung ist es daher notwendig, die Nährstofflieferung im Verlauf der Vegetationsperiode möglichst genau abschätzen zu können.

3.5.1 Verhältniszahlen zwischen Kohlenstoff und anderen Nährstoffen

Versuche haben ergeben, dass die Umsatzraten der dem Boden zugeführten organischen Materialien vor allem von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängen. So spielt für die kurzfristige Verfügbarkeit z.B. an Stickstoff das C:N-Verhältnis der organischen Materialien eine wesentliche Rolle. Es ist zwar für den C-Umsatz selbst nicht der entscheidende Einflussfaktor (SCHULZ, 1988; KLIMANEK und SCHULZ, 1997), gibt aber die Richtung vor, ob es zu einer Freisetzung oder Festlegung an Stickstoff kommt. Ähnliche Zusammenhänge gelten auch für die anderen in die organische Substanz der Materialien eingebundenen Nährstoffe (Bauelemente) Phosphor und Schwefel. Die am Abbau der organischen Materialien beteiligten Bodenlebewesen können die Nährstoffe am besten verwerten, wenn sie möglichst in den Relationen vorhanden sind, wie sie in den Organismen selber vorliegen bzw. benötigt werden.

Um eine Vorstellung von der verhältnismäßig kurzfristigen Verfügbarkeit der Nährstoffe zu bekommen, kann zunächst eine Gegenüberstellung zwischen den meistens bekannten Gehalten dieser Nährstoffe mit den Verhältniszahlen zwischen Kohlenstoff (C) und diesen Nährstoffen dienen, um z.B. neue organische Materialien für weitere Ableitungen besser einstufen zu können. Für den Nährstoff Stickstoff wurden hierzu die in der Tabelle 1 und in der Tabelle 5 aufgeführten N-Gehalte und C:N-Verhältnisse der Materialien für den Ökolandbau verwendet (Abbildung 30).

Da es sich zum Teil um Eigenkorrelationen handelt (Merkmal N ist in der unabhängigen und abhängigen Variable enthalten), werden sehr enge statistische Beziehungen zwischen den N-Gehalten und den C:N-Verhältnissen erhalten, zudem bestehen zwischen den organischen Materialien der Fruchtarten (HP, NP, EWR) und den organischen Düngemitteln (Wirtschaftsdünger, Handelsdünger) keine nennenswerten Unterschiede in den ermittelten mathematischen Gleichungen. Bei gleichem N-Gehalt werden durch die Fruchtarten geringfügig höhere C:N-Werte ermittelt. Die Fruchtarten sind generell durch geringere N-Gehalte und weitere C:N-Verhältnisse gekennzeichnet, während die organischen Düngemittel z.T. deutlich höhere N-Gehalte aufweisen können. Mit Hilfe dieser Gleichungen bzw. manuell durch Ablesung in der graphischen Darstellung können an Hand weiterer N-Gehalte von neuen organischen Materialien deren C:N-Verhältnisse mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden (Abbildung 30).

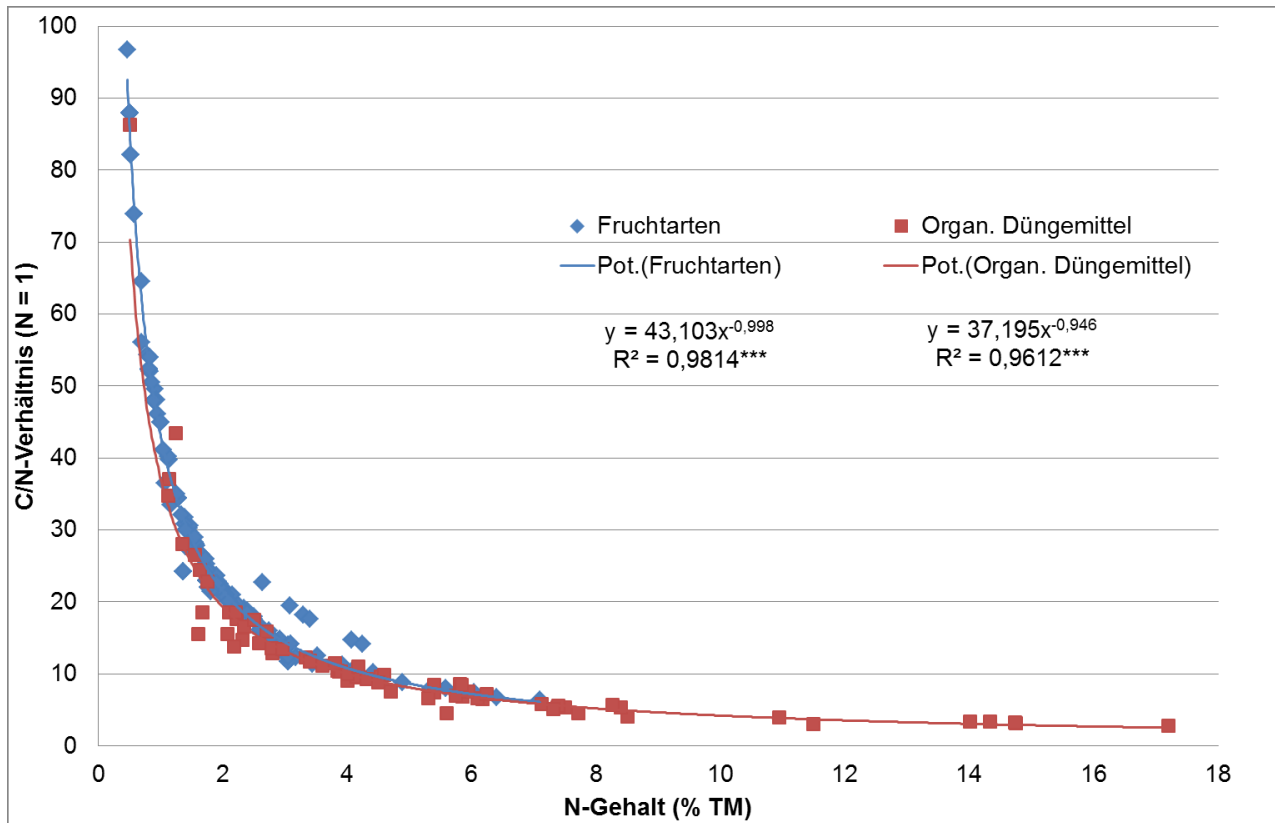


Abbildung 30: Zusammenhang zwischen den N-Gehalten und den C:N-Verhältnissen der organischen Materialien der Fruchtarten und organischen Düngemitteln im Ökolandbau (Daten aus Tabellen 1 u. 5)

Beim Vergleich des erhaltenen Zahlenwerkes mit den Bodenlebewesen, die durch C:N-Verhältnisse zwischen 4 – 10:1 gekennzeichnet sind (KIRKBY et al., 2011), wird deutlich, dass die meisten organischen Materialien, insbesondere pflanzlichen Ursprungs, z.T. über weit höhere C:N-Verhältnisse aufweisen. Je weiter die C:N-Verhältnisse vorliegen, umso knapper ist daher die Verfügbarkeit an Stickstoff anzusehen. Aus vielen Versuchen zur N-Mineralisation von organischen Materialien ist bekannt, dass unterhalb von Gehalten um 1,5 % N i. d. TM bzw. ab C:N-Werten zwischen 25 – 30 es zusehends zu einer Immobilisierung von Stickstoff im Boden kommt (siehe Abbildung 30). Kritische Bereiche werden für Stickstoff mit Werten zwischen 2,0 – 1,2 % N bzw. C:N-Verhältnisse von 20 – 35 angesehen (VAN SCHREVEN, 1964a; HAYNES, 1986; WIVSTAD, 1997; PAUL und CLARK, 1988; FOSU et al., 2007).

Aus der Tabelle 1 und der Tabelle 5 können auf Grund der angegebenen Gehalte an C und P bzw. S ebenfalls die C:P- und die C:S-Verhältnisse der organischen Materialien berechnet und in Abbildung 31 graphisch dargestellt werden. In diese Auswertungen sind von den Fruchtarten die aufgeführten HP- und NP-Werte und von den Düngern die organischen Düngemittel und die Handelsprodukte eingegangen. Weder bei den Fruchtarten (P-Gehalte von 0,1 – 0,9 % u. C:P-Verhältnisse zwischen 450 – 70, S-Gehalte zwischen 0,1 – 0,7 % u. C:S-Werte zwischen 450 - 88) noch bei den Düngemitteln (P-Gehalte von 0,04 – 9,3 % u. C:P-Verhältnisse zwischen 1000 – 3, S-Gehalte zwischen 0,14 – 4,3 % u. C:S-Werte zwischen 300 - 10) gab es größere Unterschiede zwischen den ermittelten mathematischen Gleichungen. Da die Bakterien und Pilze der Bodenlebewesen in etwa C:P-Verhältnisse von 20 – 90 und C:S-Werte zwischen 38 – 106 aufweisen (KIRKBY et al., 2011), wird auch bei diesen Nährstoffen deutlich, dass bei Vorlage von relativ weiten Nährstoffverhältnissen es beim Abbau der organischen Materialien zu einem Mangel bzw. zu einer vorübergehenden Festlegung von pflanzenverfügbarem P und S im Boden kommen kann.

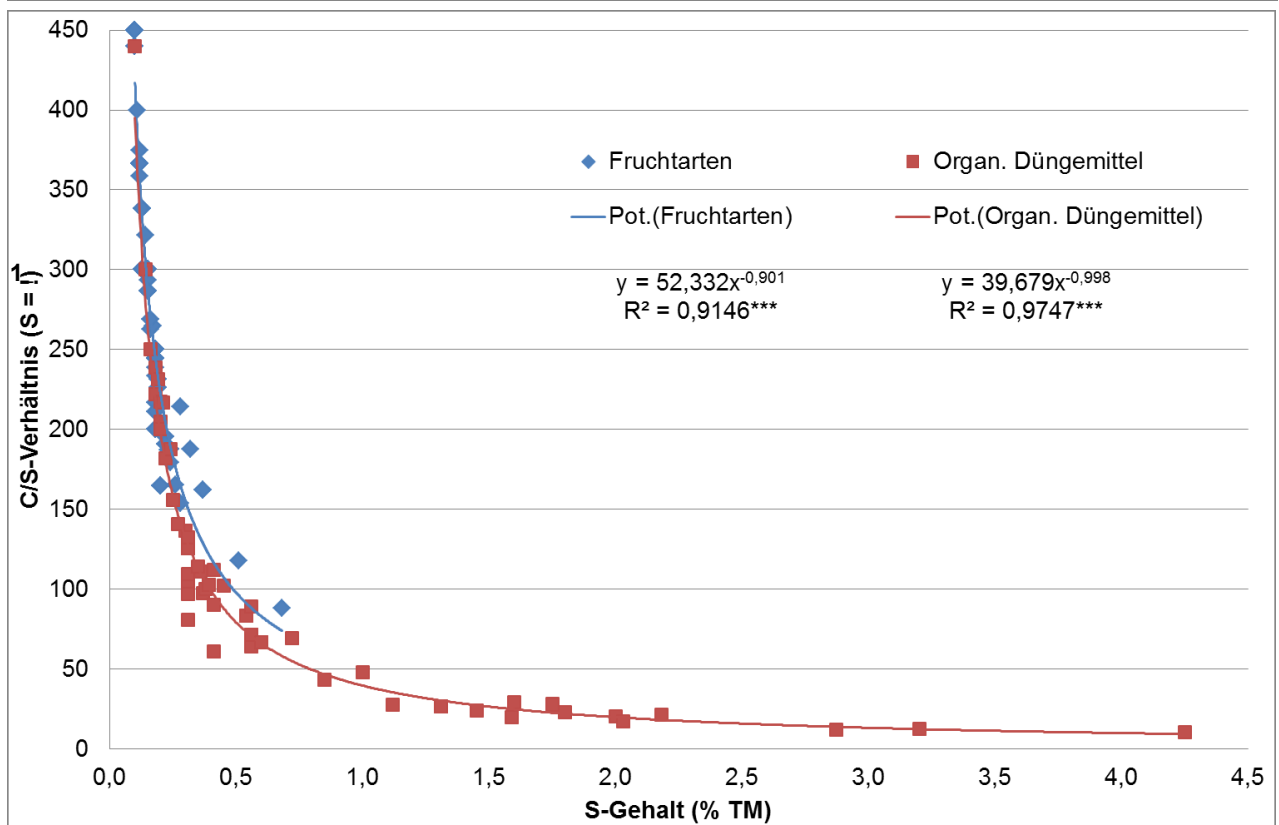
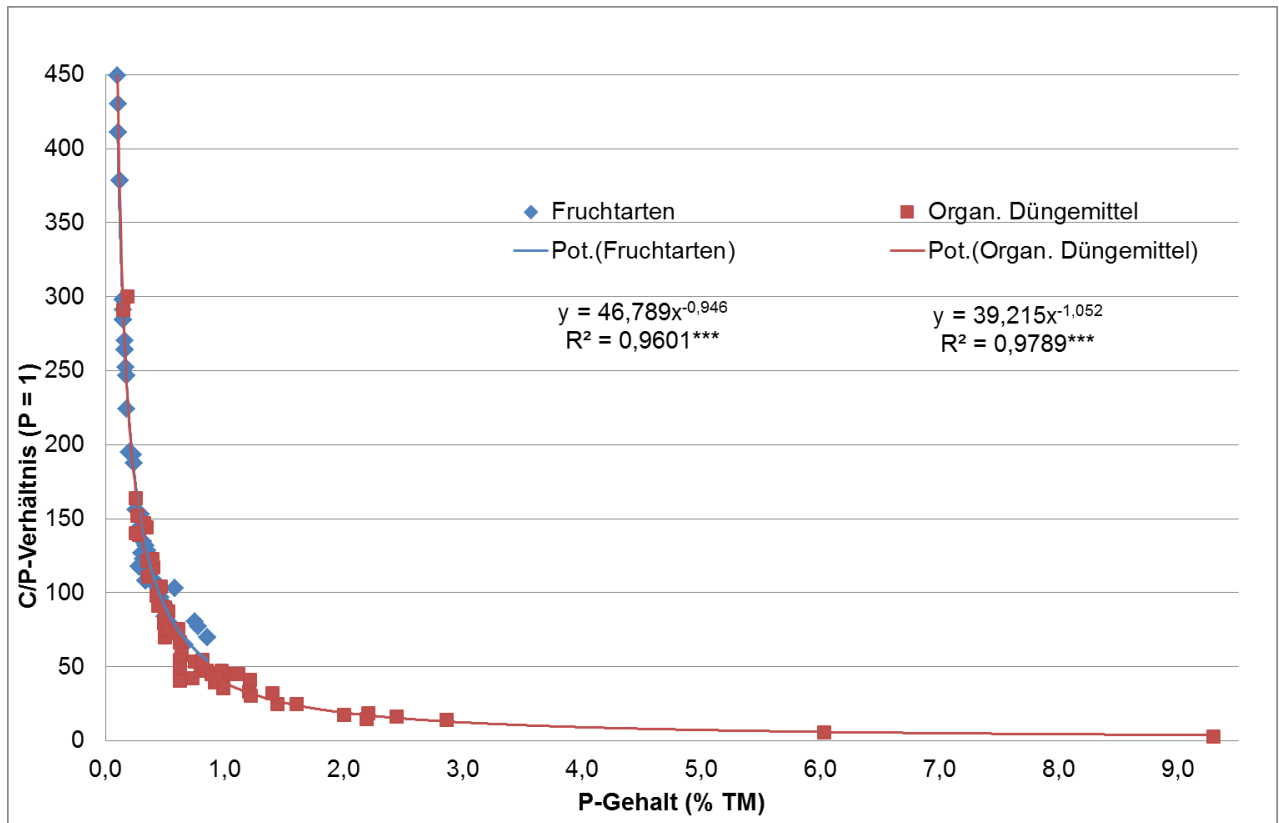


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen den P-Gehalten und den C:P-Verhältnissen (oben) bzw. den S-Gehalten und den C:S-Verhältnissen (unten) der organischen Materialien der Fruchtarten und organischen Düngemittel im Ökolandbau (Daten aus Tabellen 1 u. 5)

Für den Nährstoff Phosphor werden in der Literatur oft minimale Werte um 0,2 % P in den organischen Materialien genannt, bei weiter abfallenden Werten ist dann mit einer Immobilisierung an löslichem Boden-P zu rechnen. Wie aus Abbildung 31 abgeleitet werden kann, entsprechen diese P-Gehalte in etwa C:P-Werten, die zwischen 150 – 200 einzuordnen sind (vgl. KAILA, 1949; FULLER et al., 1956; SCHEFFER und ULRICH, 1960; IVANOV und SAUERBECK, 1972; SCHOMBERG et al., 1994; SCHNUG et al., 2003; BAGGIE et al., 2005; VARINDERPAL-SINGH et al., 2006; IQDAL, 2009; VALADARES et al., 2016). Nach BUCHANAN und KING (1993) steigt während des Abbauvorgangs im Boden das C:P-Verhältnis bei hohen Schwankungen meistens etwas an, während das C:N-Verhältnis der organischen Materialien in der Regel abfällt.

Für den Nährstoff Schwefel liegen nur wenige experimentelle Arbeiten vor. Ausgehend von engen C:S-Verhältnissen erfolgt bis zu Werten von ungefähr 200:1 eine abnehmende S-Freisetzung aus den organischen Materialien im Boden. Dieses C:S-Verhältnis entspricht in etwa einem Gehalt von ca. 0,2 % S i.d. TM (siehe Abbildung 31). Unter diesem S-Gehalt bzw. über diesen C:S-Verhältnissen erfolgt in zunehmenden Maße im Rahmen des Abbaus der organischen Materialien eine vorübergehende Immobilisierung und Abnahme des pflanzenverfügbaren Schwefels im Boden (BARROW, 1960; ERIKSEN, 2002; SCHERER, 2009; NIKNAHADGHARMAKHER et al., 2012; ASSEFA et al., 2014; VALADARES et al., 2016).

Die Nährstoffe Kalium und Magnesium gehören zu den sog. Funktionselementen. Sie sind weitgehend nicht in den Zellstrukturen der organischen Materialien eingebunden. Nach der Ausbringung in den Boden stehen diese Nährstoffe daher in weit höherem Umfang direkt in pflanzenverfügbarer Form zur Verfügung. Von den in der Tabelle 1 und der Tabelle 5 aufgeführten organischen Materialien wurden ebenfalls die C:K- und die C:Mg-Verhältnisse berechnet und mit den K- und Mg-Gehalten die mathematischen Gleichungen bestimmt. Für den Nährstoff Kalium wurden folgende Gleichungen ermittelt ($x = K \% TM$, $y = C:K$):

- Fruchtarten: $y = 44,66x^{-1,065}$, $r = 0,986^{***}$
- Organ. Düngemittel: $y = 40,97x^{-1,037}$, $r = 0,991^{***}$

Für den Nährstoff Magnesium wurden folgende Gleichungen erhalten ($x = Mg \% TM$, $y = C:Mg$):

- Fruchtarten: $y = 41,67x^{-1,028}$, $r = 0,974^{***}$
- Organ. Düngemittel $y = 36,98x^{-1,07}$, $r = 0,977^{***}$.

3.5.2 Einfluss der C:N-Verhältnisse auf die N-Freisetzung

In Abbildung 32 ist der Einfluss der C:N-Verhältnisse aus sehr verschiedenen organischen Materialien auf die verhältnismäßig kurzzeitige Netto-N-Freisetzung bzw. auf die N-Festlegung im Boden dargestellt worden. Die Ergebnisse können im Jahr der Anwendung der Düngemittel auf eine Vegetationsperiode bezogen werden. Wie die Zusammenstellung zeigt, besteht insgesamt ein relativ enger Zusammenhang zwischen den C:N-Verhältnissen der Materialien und der während des Abbaus durch die Bodenorganismen vollzogenen N-Transformation im Boden.

Eingeflossen sind hier zahlreiche Ergebnisse aus Feld-, Gefäß- und speziellen Inkubationsversuchen von folgenden Autoren (siehe Kap. 2): RUBINS und BEAR (1942), BREMNER und SHAW (1957), VILSMEIER und AMBERGER (1981), LYNCH und HARPER (1983), CHRISTENSEN (1986), NIEDER und RICHTER (1989), VAN KESSEL et al. (2000), QIAN und SCHOENAU (2001), AGEHARA und WARNACKE (2005), CORDOVILO et al. (2005), GALE et al. (2005), FURUKAWA und HASEGAWA (2006), HARTZ und JOHNSTONE (2006), STADLER et al. (2006), ENGELMANN et al. (2008), CUIJPERS und HOSPERS-BRANDS (2008), KELDERER et al. (2008, 2010), MOORE et al. (2010), DELIN et al. (2011) sowie MOHANTY (2015).

Im Einzelnen handelt es sich, neben wirtschaftseigenen Düngern und Eigenprodukte, um verschiedene tierische und pflanzliche Materialien sowie industriell hergestellte Düngemittel (siehe auch Tabelle 5). Es zeigt sich, dass bei engem C:N-Verhältnis eine kurzfristige Düngewirkung nach hoher Netto-N-Freisetzung zu erwarten ist. Bei C:N-Verhältnissen enger als 10:1 werden Freisetzungsraten von 60 % bis weit über 80 % des Gesamt-N-Gehalts der Düngestoffe gemessen (Abbildung 32). Unter den unterschiedlichen Versuchsbedingungen finden sich allerdings auch bei annähernd gleichen C:N-Verhältnissen beachtliche Unterschiede im Umsetzungsverhalten. So kann die Netto-N-Freisetzung bei einem C:N-Verhältnis von 10:1 in den verschiedenen Materialien auch zwischen nahezu 0 % und 60 % streuen. Als Ursachen für diese Streubreite sind zum einen die unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung der Substanzen, die betrachteten Zeitabschnitte sowie die jeweiligen Umsetzungs- und weiteren Standortbedingungen für die Bodenlebewesen zu nennen. In vielen Untersuchungen wurden hohe N-Freisetzungsraten bei Vorlage von C:N-Verhältnissen bis ca. 15 gefunden (HIROSE, 1973; VILSMEIER und AMBERGER, 1981; LABER, 2002; DERSCH et al., 2003; JENSEN et al., 2005; STADLER, 2006; KATROSHAN, 2011).

Bei C:N-Verhältnissen um 20:1 kommt es bei Anwendung dieser organischen Stoffe kaum noch zu einer Freisetzung an Stickstoff (Abbildung 30). Es können bereits erste Fälle auftreten, in denen pflanzenverfügbarer Stickstoff des Bodens festgelegt wird. Als kritischen Bereich für die N-Mineralisierung bzw. die N-Immobilisierung geben KLIMANEK und SCHULZ (1997) ein C:N-Verhältnis von 20 – 24:1 an. Wie aus dem vorliegenden Datenmaterial geschlossen werden kann, liegt der Bereich sogar noch auf etwas breiterem Niveau (vgl. HARMSSEN und KOHLENBRANDER, 1965; CHRISTENSEN, 1985; GUTSER und VILSMEIER, 1988; WHITEMORE und HANDAYANTO, 1997; ODOKONYERO, 2013).

Bei engeren C:N-Verhältnissen erfolgt im Verlauf des Abbaus der organischen Substanz eine Netto-Freisetzung an Stickstoff, so dass auch die Gehalte z.B. an N_{\min} (= NO_3-N + NH_4-N) im Boden ansteigen. Bei weiteren C:N-Werten wird Stickstoff zusehends zum knappen Nährstoff, so dass die Bodenlebewesen immer häufiger auf den noch freien Stickstoff aus dem Boden zurückgreifen müssen, um den weiteren Ab- und Umbau der zugeführten organischen Primärsubstanzen bewerkstelligen zu können. Hierdurch kann dann auch ein Rückgang der N_{\min} -Werte des Bodens beobachtet werden.

Bei C:N-Verhältnissen oberhalb von 30:1 ist dann beim Abbau der organischen Substanz mit einer steigenden vorübergehenden N-Festlegung zu rechnen. Diese Ergebnisse werden durch viele Untersuchungen bestätigt: SCHEFFER und ULRICH (1960), VAN SCHREVEN (1964a), HIROSE (1973), HAYNES (1986), KLIMANEK und SCHULZ (1997), WHITEMORE und HANDAYANTO (1997), JENSEN et al. (2005).

Die Festlegung von Stickstoff resultiert in diesen Versuchen aus einmaligen Gaben an organischem Material. Aus Abbildung 32 ist zu ersehen, dass im Allgemeinen keine höhere Festlegung an Stickstoff als ca. 30 – 35 % im Vergleich zur insgesamt zugeführten N-Menge erfolgt. Gerade in Materialien mit weiten C:N-Werten wird der Abbau über einen längeren Zeitabschnitt verteilt (siehe Kap. 3.3.6).

Aus konventionellen und ökologischen Feldversuchen zur Strohdüngung ist bekannt, dass die N_{\min} -Werte sich auch nach hoher Strohzufuhr in der Regel lediglich um ca. 10 – 30 kg N/ha reduzieren (SCHUSTER und KOLBE, 2015). Auch nach entsprechenden Versuchen von NIEDER und RICHTER (1989) wurde eine N-Immobilisierung von höchstens 37 kg N/ha beobachtet.

Unter natürlichen Feldbedingungen wird daher die N-Festlegung zwischen den Prozessen der N-Immobilisation und N-Remineralisation deutlich begrenzt. Von besonderer Bedeutung ist dies natürlich auch bei wiederholter Zufuhr dieser Materialien. So stellte STUMPE (1999) bei der Auswertung eines Dauerversuchs zur Strohdüngung fest, dass bei langjähriger regelmäßiger Strohzufuhr eine zusätzliche N-Ausgleichsdüngung immer weniger notwendig wurde, um Ertragsausfälle bei den nachgebauten Früchten zu verhindern.

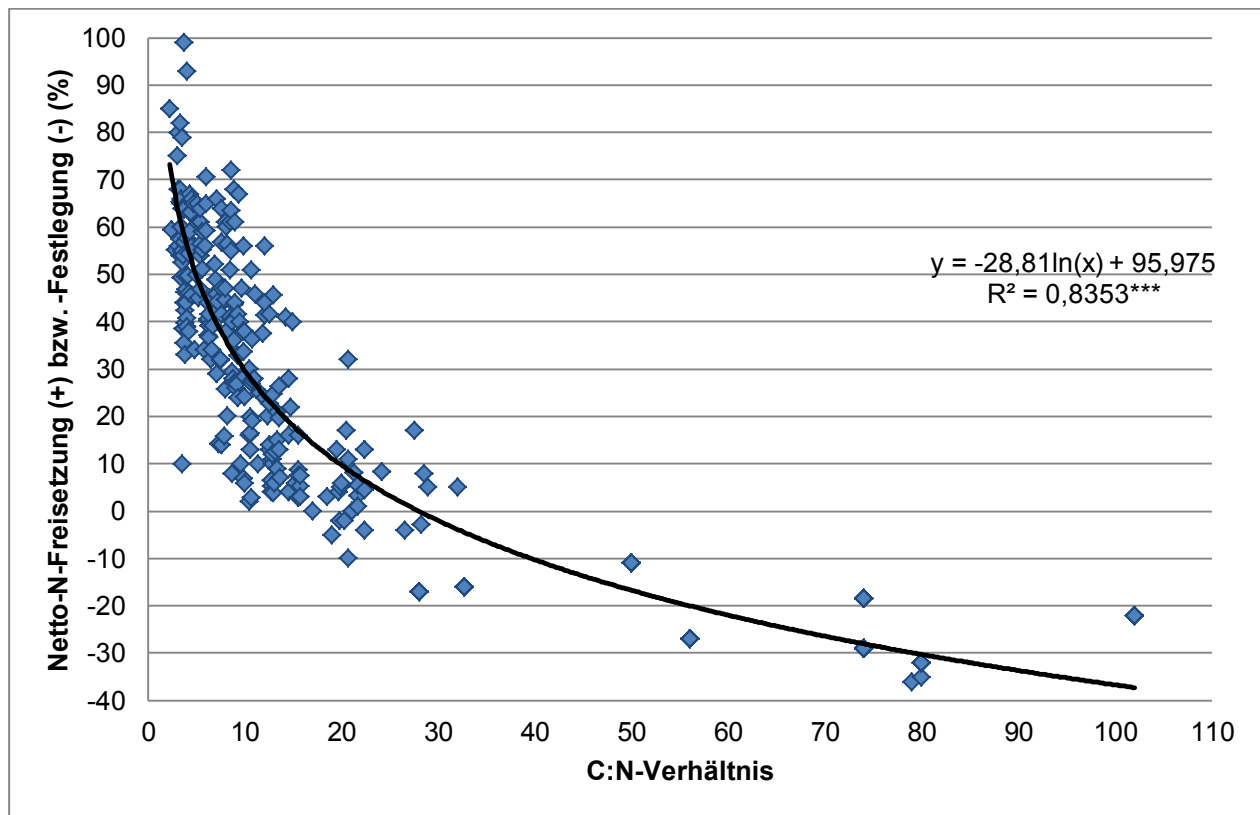


Abbildung 32: Kurzfristige N-Freisetzung (+) bzw. Festlegung (-) aus organischen Materialien in Abhängigkeit vom C:N-Verhältnis, Ergebnisse aus Feld-, Gefäß- und Inkubationsversuchen nach MÖLLER und SCHULTHEISS (2014) und mit ergänzenden Werten bei weiten C:N-Verhältnissen (Gesamt-N-Zufuhr = 100 %)

3.5.3 Relationen zwischen den organisch gebundenen N- und den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteilen der Düngemittel

Die Bestimmung der kurzfristigen N-Freisetzung aus den organischen Düngemitteln nach deren Ausbringung in den Boden kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen. Wenn es sich vornehmlich um pflanzliche und tierische Materialien handelt, von denen nur die C:N-Verhältnisse bekannt sind (siehe Tabelle 1 u. Tabelle 5), dann kann an Hand der Abbildung 32 der N-Anteil im Vergleich zum Gesamt-N-Gehalt des zu bestimmenden Düngemittels verwendet werden, um die kurzfristige N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung zu berechnen.

Bei den klassischen Düngemitteln sind außer den C:N-Werten auch die Gehalte an Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) und -Anteile in Tabelle 5 und Tabelle 6 angegeben worden. Hierdurch besteht die Möglichkeit für beide Anbausysteme, von diesen organischen Materialien die N-Verfügbarkeit im Jahr der Anwendung aus der Ammonium-N-Zufuhr zu bestimmen. Zur Ergänzung wurden in Abbildung 33 die Relationen zwischen den langfristig zur Verfügung stehenden organisch gebundenen N-Anteilen und den kurzfristig verfügbaren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteilen der

Düngemittel am Beispiel des ökologischen Landbaus dargestellt. Aus der abgebildeten Rangfolge der Verfügbarkeit kann eine hohe Variationsbreite durch die unterschiedlichen Düngemittel abgedeckt werden.

Es sind Düngemittel mit hohen Anteilen an direkt verfügbaren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Quellen von über 80 % bis ca. 40 % vorhanden. Hierzu zählen die meisten Flüssigdünger, wie Güllearten, Gärprodukte und Jauchen (Abbildung 33). Es folgen die festen Düngemittel mit mittleren NH_4 -Anteilen von ca. 40 – 15 %, zu denen der Geflügelkot, einige Festmiste und Handelsdünger gezählt werden können. Zur Gruppe mit relativ geringen NH_4 -Anteilen von meistens 15 – 5 % und dafür ausgeprägter langanhaltender Nachwirkung auch auf Grund der guten Humuswirkung können weitere Festmiste sowie die verschiedenen Kompostarten aufgeführt werden. Viele Handelsprodukte weisen dagegen sehr niedrige NH_4 -Werte auf oder enthalten kein Ammonium-N. Die kurzfristige N-Freisetzung dieser Dünger kann besser durch Nutzung der C:N-Verhältnisse mit Hilfe von Abbildung 32 abgeschätzt werden.

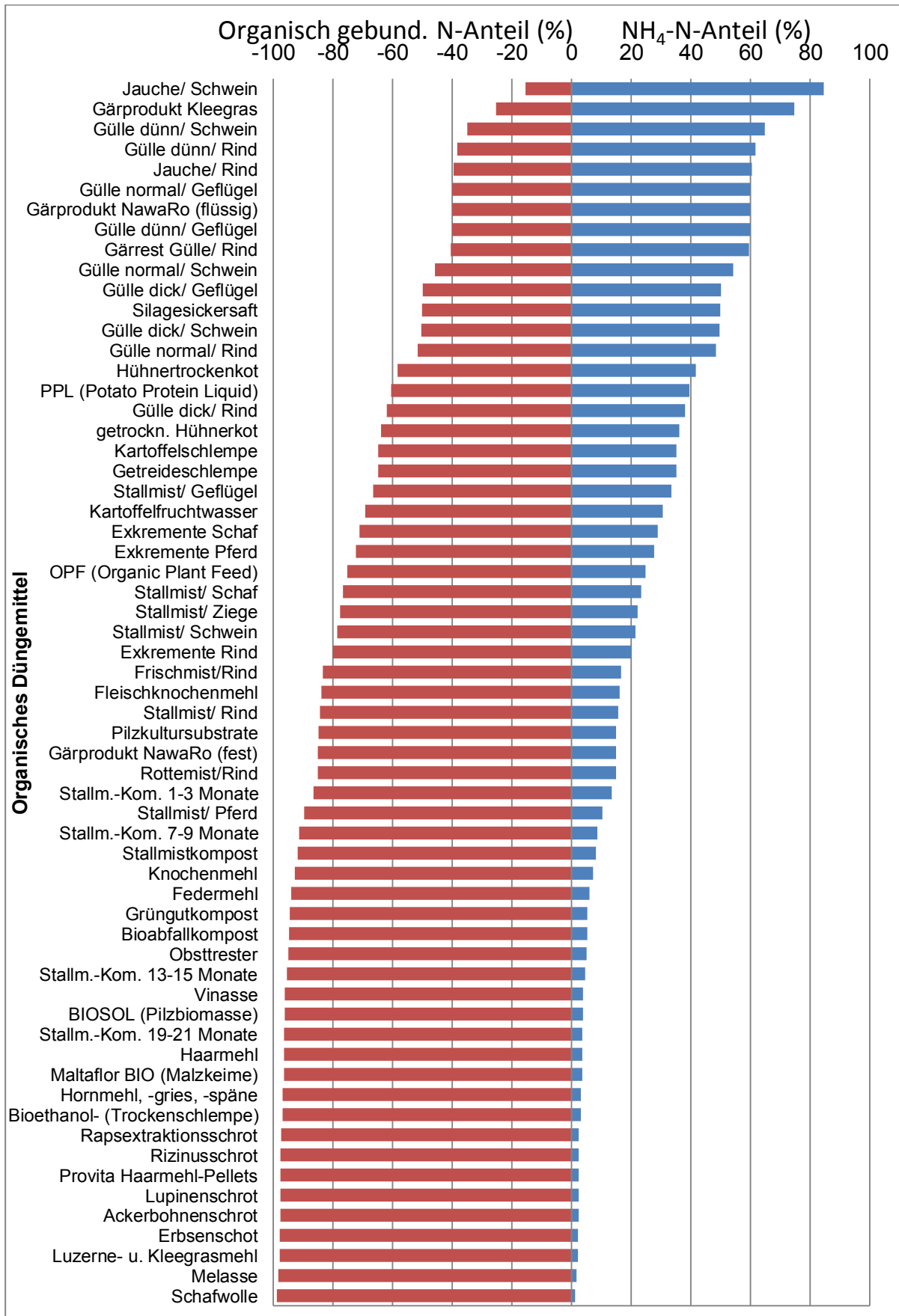


Abbildung 33: Relationen zwischen den organisch gebundenen N- und den NH₄-N-Anteilen (Gesamt-N = 100 %) zur Charakterisierung der lang- und kurzfristigen N-Wirkung der organischen Düngemittel (Datenbasis: Tab. 5)

3.6 NH₃-N-Verluste aus gemulchten organischen Materialien

Neben der Ausbringung von organischen Düngemitteln stellen die gasförmigen Emissionen an Ammoniak (NH₃-N) aus geschnittenem und oberflächlich belassenen (gemulchten) Leguminosengras-Aufwüchsen eine weitere Verlustquelle an Stickstoff dar, von denen insbesondere viehlos wirtschaftende Ökobetriebe betroffen sein können, wenn sie keine anderen Verwertungsmöglichkeiten für dieses wichtige Glied der Fruchtfolgen haben. Besonders bei ungünstigen Wetterbedingungen (feucht und warm im Gegensatz zu trocken und kühl) können auf Grund mikrobieller Umsetzungen und beginnender Abbauvorgänge in den Mulchauflagen gasförmige N-Verluste entstehen.

Nach 2 – 5 Wochen wird schließlich die Mulchauflage von den nachfolgenden Aufwüchsen der Leguminosengras-Bestände überwachsen, so dass flüchtiges Ammoniak meistens bereits wieder direkt von den feuchten Pflanzen absorbiert und in deren Stoffwechsel aufgenommen werden kann. Außerdem sorgen in den biologisch oft tätigen Pflanzenbeständen vorhandene Regenwürmer innerhalb weniger Wochen dafür, dass die organischen Materialien der Mulchauflagen in den Boden eingezogen und abgebaut werden können. Zum Anfall an NH₃-N-Verlusten sind also meistens nur die ersten Wochen nach dem Mulchen von Bedeutung.

Zur Abschätzung der Ammoniakverluste wurden hierzu aus speziellen Versuchen Ergebnisse von gasförmigen NH₃-N-Ausgasungen von organischen Gründüngungsmaterialien unterschiedlicher N-Gehalte ermittelt, die auf der Bodenoberfläche in meistens gehäckselter Form aufgebracht und unter differenzierten klimatischen Bedingungen im Zeitverlauf beprobt worden sind. Die aggregierten NH₃-N-Emissionen von bis zu 30 Tagen nach Versuchsbeginn von folgenden Autoren wurden in diese Auswertungen übernommen: WHITEHEAD et al. (1988), WHITEHEAD und LOCKYER (1989), JANZEN und MCGINN (1991), GLASENER und PALM (1995), MANNHEIM et al. (1997), QUEMADA und CABRERA (1997), LARSSON et al. (1998) sowie WEBER et al. (2001).

In Abbildung 34 wurden die Ergebnisse zu den NH₃-N-Verlusten in Abhängigkeit von den N-Gehalten der Mulch-Materialien dargestellt. In einem Zeitumfang von 30 Tagen erfolgt mit steigenden N-Gehalten eine im Wesentlichen lineare Zunahme der gasförmigen N-Verluste. Die sichtbare erhebliche Streuung kann auf Unterschieden in den klimatischen Untersuchungsbedingungen zurückgeführt werden. Daher ist es möglich, die dargestellte mathematisch-statistische Gleichung, die für den mitteleuropäischen Klimaraum für mittlere „gemäßigte“ Wetterverhältnisse anzusehen ist, für entsprechend abweichende Wetterbedingungen anzupassen. Für Vorlage von „feuchtes und warmes“ Wetter können die mit Hilfe der ausgewiesenen Gleichung ermittelten Werte mit dem Faktor 2 und für „kühles und trockenes“ Wetter mit dem Faktor 0,5 multipliziert werden.

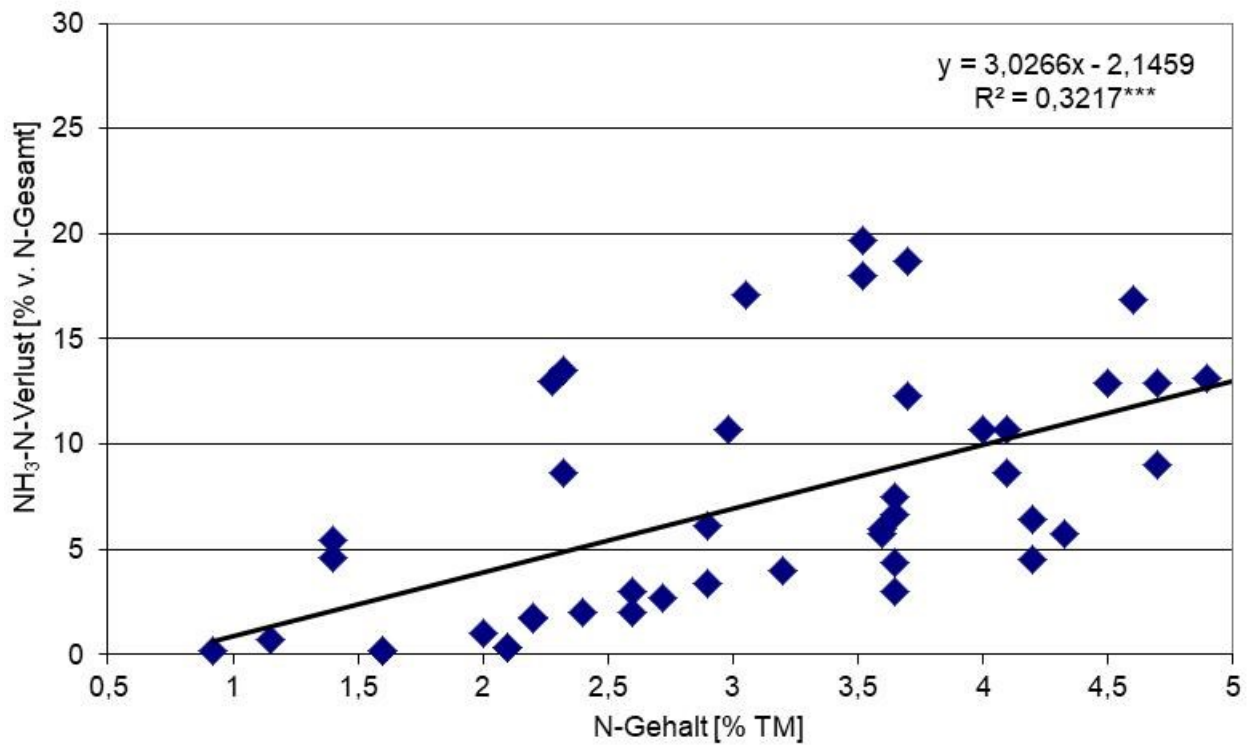


Abbildung 34: Einfluss von auf der Bodenoberfläche abgelegten Gründüngungsmaterialien auf die in Abhängigkeit von deren N-Gehalten in 30 Tagen auftretenden aggregierten NH₃-N-Emissionen

3.7 Einschätzung der Gesamt-N-Effizienz von Anbausystemen mit mineralischer oder organischer N-Zufuhr

Eine weit verbreitete Auffassung auch in Lehrbüchern besteht darin, dass eine vorwiegend mineralische Düngung mit Stickstoff zu höheren Erträgen, N-Gehalten und Nährstoffzügen führt, wodurch es dann auch zu einer vergleichsweise besseren Nährstoffverwertung kommt als im Vergleich zu einer Düngung vorwiegend mit festen organischen Düngern (GUTSER et al., 2005; MÖLLER und SCHULTHEIß, 2014; BOXBERGER et al., 2020). Es ist bekannt, dass einerseits bei der direkten Anwendung mineralischer N-Düngemittel oder organischer Düngemittel mit hohem NH_4 -Anteil wie bei GülLEN, nicht nur Ertragsvorteile, sondern andererseits langfristig auch hohe Verluste an Stickstoff entstehen können (NH_3 -N, N-Auswaschung, legume N_2 -Bindung). Auch aus diesen Gründen ist die Anwendung leichtlöslicher Mineraldünger im Ökolandbau verboten.

Doch in letzter Zeit häufen sich Hinweise, wonach diese auch für ökologische Anbauformen allgemein negativen Annahmen nicht immer zutreffen bzw. sogar ins Gegenteil verkehrt werden könnten. In Anbauphasen relativ kurzer Dauer mögen diese Feststellungen zutreffen, nach langer Anbauzeit bestehen aber berechtigte Zweifel. Ausführliche Auswertungen von vielen Dauerfeldversuchen, bei denen auch die Veränderungen der C_{org} - und N_t -Bodenreserven zur Charakterisierung der Bodenfruchtbarkeit genau berücksichtigt wurden, haben zu einer erweiterten Sichtweise auf das Themenfeld der Nährstoffeffizienzen beigetragen (siehe SCHRÖDER et al., 2005; KOLBE, 2016).

Von einer Datenbasis an Feld-Dauerversuchen Mitteleuropas mit einer durchschnittlichen Laufzeit zwischen 15 – 20 Jahren wurden folgende Versuchsvarianten herausgefiltert und über die Nährstoffbilanzierung in Form der Bruttoversion incl. N-Deposition über die Atmosphäre, der legumen N_2 -Bindung und N_t -Veränderung in der Ackerkrume umfangreich ausgewertet:

- N-Mineraldüngung (Varianten mit mineralischer N-Zufuhr, Zwischenfruchtanbau, Gründüngung, Strohzufuhr), n = ca. 2000
- Mineralisch-organische Düngung (Kombivarianten mit mineralischer N-Zufuhr, Zwischenfrüchten, Gründüngung, festen und flüssigen organischen Düngern), n = ca. 2400
- Zufuhr als feste oder flüssige organische Düngung (Varianten ohne N-Mineraldüngung, auch Versuche des Ökolandbaus, Zwischenfrüchte, Gründüngung, Leguminosen), n = 710.

Bei Unterstellung einer sorgfältigen Versuchsdurchführung, wie sie vielleicht mit einer „besten fachlichen Praxis“ vergleichbar ist, und unter Berücksichtigung ortstypischer Standorte und Klimaregionen ist zunächst aus Abbildung 35 zu ersehen, dass die Nährstoffausnutzung vor allem mit einer steigenden Nährstoffzufuhr in charakteristischer Weise abnimmt, die maßgeblich von der allgemeinen Wirkung des abnehmenden Ertragszuwachses (MITSCHERLICH, 1909) der Fruchtarten des Ackerbaus Mitteleuropas beeinflusst wird. Hier werden nur die Mittelwerte dargestellt, die aus einer großen Anzahl an Versuchsvarianten gebildet worden sind, die aber gewöhnlich auch in Exaktversuchen einer hohen Streuung unterliegen.

Bei Anbauverfahren mit annähernd keiner Nährstoffzufuhr, wie sie in der Praxis kaum vorkommen, können auch Verwertungsraten von über 100 % ermittelt werden. Im Hauptanbaubereich des Ökolandbaus (ca. 90 – 200 kg N/ha) und des konventionellen Ackerbaus (ca. 150 – 275 kg N/ha u. Jahr) werden unabhängig von der Düngerart entsprechend niedrigere Werte erreicht, die ebenfalls noch relativ eindeutig fixiert werden können. Bei sehr hoher N-Zufuhr können schließlich nur noch N-Effizienzen zwischen 50 – 60 % berechnet werden. In diesen Anbausystemen können langfristig bis zu 50 % der insgesamt zugeführten N-Menge nicht mehr nach-

weisbar sein. Dieser Nährstoffanteil muss dann weitgehend als Verlustgröße angesehen werden ($\text{NH}_3\text{-N}$ u. andere gasförmige Verluste, N-Verlagerung u. Auswaschung).

Es ist zu erkennen, dass ein sicherer Vergleich der Düngemittelarten nur auf Basis gleich-hoher Nährstoffzufuhren gelingen kann. Wie die Ergebnisse zeigen, sind unter Berücksichtigung aller Zufuhrquellen und auch der Veränderung der N_t -Gehalte des Bodens zwischen den mineralischen und organischen Düngemitteln keine großen Unterschiede in der Nährstoffverwertung zu erkennen, wodurch in den meisten Fällen auch keine gesicherte Differenzierung zwischen den Düngerarten möglich ist. Es hat den Anschein, als ob insgesamt die mineralischen und die mineralisch-organischen Varianten eine etwas geringere Gesamt-Nährstoffwirkung erzielen als die organischen Varianten mit Berücksichtigung flüssiger und fester Dünger.

Zusätzliche separate Auswertungen von Anbauverfahren mit organischen Düngern ergaben quasi keine langfristigen Unterschiede in der N-Effizienz zwischen Festdüngern (Komposte, Stalldung, $n = 618$) und Flüssigdüngern (vorwiegend Rinder- u. Schweinegülle, $n = 367$). Auf lange Sicht ist daher zusammenfassend festzustellen, dass in Abhängigkeit von der Zufuhrhöhe mit den üblichen Düngerarten jeweils ähnlich hohe Raten an Nährstoffverwertungen erzielt werden können, wenn eine fachlich ordnungsgemäße Anwendung erfolgt.

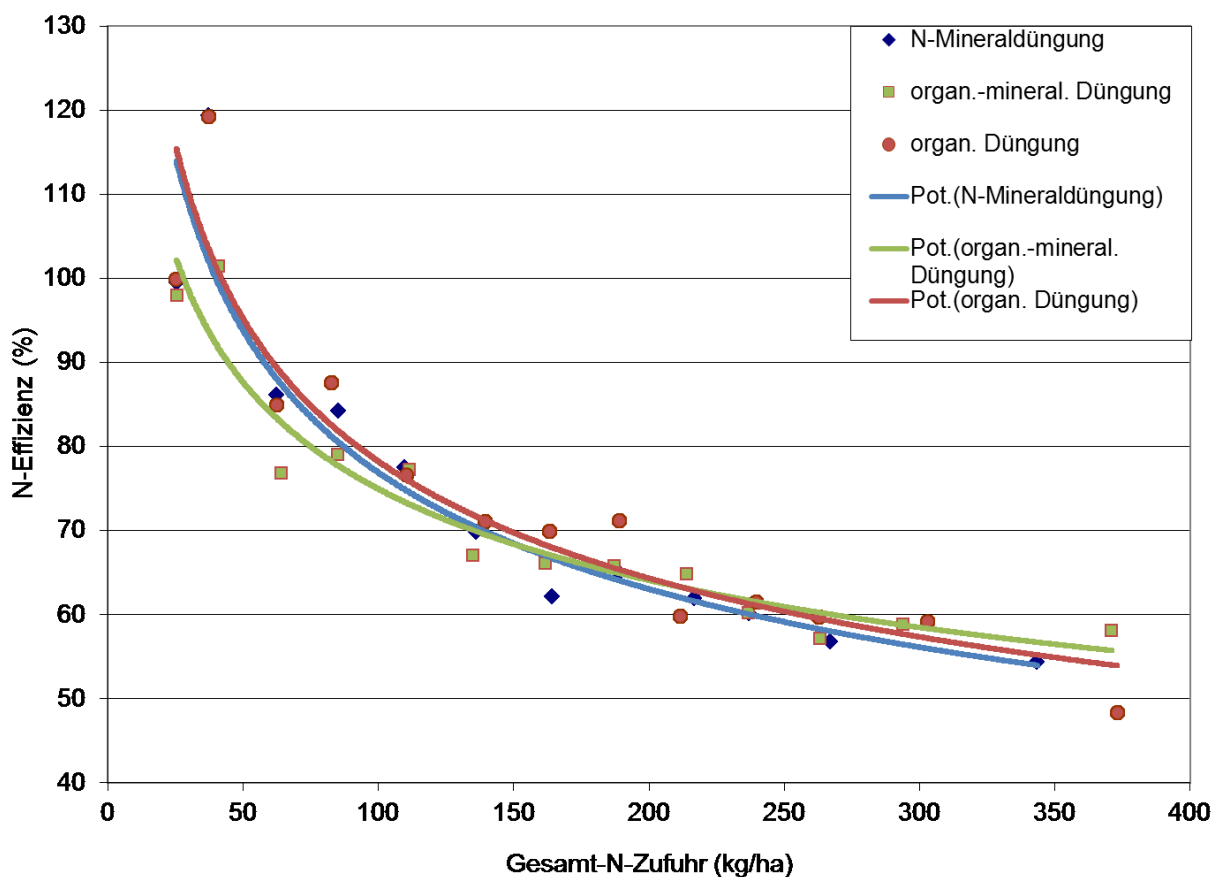


Abbildung 35: Einfluss der Gesamt-N-Zufuhr auf die Nährstoff-Effizienzen an Stickstoff in Anbausystemen mit N-Mineraldüngung, organisch-mineralischer oder rein organischer Düngung mit Fest- und Flüssigmisten, ermittelt aus Feld-Dauerversuchen Mitteleuropas mit einer mittleren Laufzeit zwischen 15 – 20 Jahren

4 Zusammenfassung

In den verschiedenen Landbauformen wird die Nährstoffversorgung im Pflanzenbau zu großen Teilen aus der Umsetzung der organischen Substanz, der Nährstoffmobilisierung durch das Bodenleben, dem Einsatz betriebseigener und zugekaufter Wirtschafts- und Handelsdünger und auch durch den Anbau von Leguminosen und Nichtleguminosen in den Fruchtfolgen gesichert. Einen beachtlichen Beitrag für die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit erbringen auch die anfallenden Ernte- und Wurzelrückstände (EWR). Ihr regelmäßiger Anfall und der anschließende Abbau durch die Bodenmikroorganismen tragen wesentlich zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der Ernährung der Pflanzenbestände bei.

Ziel dieses Beitrages ist es, die für Beratungsprogramme hinterlegten Richtwerttabellen und Parametersätze zu überarbeiten, neue Entwicklungen einzuarbeiten und zu vertiefen sowie für die wichtigsten Datensätze die zu Grunde liegenden Literaturquellen zusammenfassend darzustellen. Auf Grund des Nachholbedarfs trifft das besonders für den ökologischen Landbau zu, auszugsweise werden auch die gegenwärtig im konventionellen Landbau angewendeten Richtwerte für die Kulturarten und Düngemittel dargestellt.

Beim Vergleich der Tabellen zeigen sich Unterschiede zwischen den ökologischen und konventionellen Anbausystemen. Insbesondere betraf dies den Stickstoffgehalt der Fruchtarten, zeigte sich aber auch in den N-Gehalten und besonders im $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil der verschiedenen organischen Wirtschafts- und Handelsdünger. Weniger deutlich sind die Unterschiede bei den übrigen Makronährstoffen, die selbst bei oft niedrigeren Bodengehalten, wie sie für viele ökologisch bewirtschaftete Standorte typisch sind, im Vergleich zum konventionellen Anbau kaum Unterschiede aufweisen. Auch gibt es Unterschiede im Spektrum an angewendeten organischen Düngemitteln zwischen den Anbausystemen.

Mit der Aufnahme und Auswertung der vorliegenden unzähligen Literaturquellen aus vielen Jahrzehnten kann die Bedeutung der vielfältigen experimentellen Versuchsanstellungen nicht hoch genug eingeschätzt werden. Eine Vielzahl von Untersuchungen auf verschiedenen Standorten und Institutionen bildet die Grundlage für fundierte Ergebnisse zu den verschiedenen zusammengestellten Parametern, die dann mit einer hohen Präzision in der praktischen Landwirtschaft und Beratung eingesetzt werden können. In der Vergangenheit musste häufig in der Zusammenstellung auf Werte des konventionellen Landbaus zurückgegriffen werden bzw. es wurden Parameter für den ökologischen Landbau von diesen Werten abgeleitet. Heute trifft das nur noch für wenige Ausnahmen zu, wie z.B. für die Nährstoffgehalte der Ölfrüchte, der Samenfrüchte, einzelner Futterpflanzen sowie einiger Düngemittel. Wünschenswert sind daher weitere wissenschaftliche Anstrengungen, die es erlauben diese umfassende und auf vorhergehende Arbeiten aufbauende Zusammenstellung zu kompletieren.

Eine Erweiterung erfuhren die bereits von KÖHLER und KOLBE (2007) veröffentlichten Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau. Von insgesamt einzeln oder in Gruppen aufgeführten ca. 115 Pflanzenarten von Hauptfrüchten, des Futterbaus und des Zwischenfruchtanbaus wurden, neben den TM-Gehalten der Haupt- (HP) und Nebenprodukte (NP) und den HP:NP-Verhältnissen folgende Nährstoffe in ihren mittleren Gehalten aufgeführt (% i.d. TM): N, P, K, Mg, S, C. Von den HP, NP und den Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) wurden mittlere C:N-Verhältnisse der organischen Materialien für beide Anbauverfahren ermittelt. Von den EWR der Fruchtarten wurde ebenfalls ein umfangreiches Datenmaterial zur Ermittlung von Durchschnittsmengen (in dt TM/ha) zusammengestellt. An Hand der HP-Erträge (in dt TM/ha) können durch Nutzung vereinfachter mathematisch-statistischer Gleichungen die zu erwartenden ertragsabhängigen EWR-Mengen für

jede Fruchtart berechnet werden. Daher können diese Parameter auch in ökologischen und konventionellen Anbausystemen und unterschiedlichen Standorten genutzt werden.

Durch Angabe der Nährstoffe und EWR können für den Praktiker die Nährstoffaufnahme der angebauten Kulturen quantifiziert werden. Unter Zuhilfenahme verschiedener EDV-Programme wird eine Präzisierung von Nährstoff- und Humusbilanzen ermöglicht, wodurch letztendlich auch der erreichte Grad an Nachhaltigkeit der standortspezifischen Anbausysteme dargestellt werden kann. Durch Hinzunahme der jeweiligen C:N-Verhältnisse der organischen Materialien lässt sich weiterhin die N-Mineralisation besser abschätzen.

Als geeignete Bewertungskriterien für pflanzliche und industriell aufbereitete organische Handelsdünger zum Einsatz im ökologischen und konventionellen Landbau sollten vor allem der Nährstoffgehalt und das C:N-Verhältnis herangezogen werden. Im Jahr der Anwendung wird die N-Düngerwirkung vor allem von dem C:N-Verhältnis, dem N-Gehalt und dem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil bestimmt. Daneben wird die Düngewirkung aber auch durch den Boden und die klimatischen Einflüsse, bei denen die Düngungsmaßnahmen zum Einsatz kommen, beeinflusst.

Zu den Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern wurden Daten zu folgenden Inhaltsstoffen für 38 Arten zusammengetragen (% Reinnährstoff i.d. TM): TM, N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil, C:N-Verhältnis, P, K, Mg, S, sowie Ausbringungsverluste für Stickstoff für die wichtigsten Düngerarten. Neu hinzugekommen und komplettiert wurde diese Liste nicht nur durch genauere Angaben für den Gehalt an $\text{NH}_4\text{-N}$ sondern auch für das C:N-Verhältnis und den S-Gehalt dieser Düngemittel. Erweitert wurde die Datensammlung durch 32 verschiedene organische Handelsdüngemittel und Eigenprodukte, die besonders im Ökolandbau von Bedeutung sind.

Im Hinblick auf die Abbaubarkeit und mögliche N-Freisetzung bzw. -Festlegung aus den unterschiedlichen organischen Materialien gibt das C:N-Verhältnis einen orientierenden Wert. Damit der Freisetzunganteil an Stickstoff im Anwendungsjahr von pflanzlichen und tierischen organischen Materialien mit einem Spektrum an C:N-Werten zwischen 3:1 und 105:1 noch besser eingeschätzt werden kann, wurden entsprechende Ergebnisse für die Netto-N-Freisetzung (bzw. für die N-Festlegung bei weiten C:N-Verhältnissen) von ca. 240 organischen Substraten aus verschiedenen speziellen Versuchen zusammengetragen und in einer graphischen Darstellung den C:N-Verhältnissen gegenübergestellt. Zur Abschätzung der N-Düngewirkung bestehen somit zwei Möglichkeiten:

- Auf Grund der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte bei gewöhnlichen organischen Düngemitteln tierischen Ursprungs, wie den Wirtschaftsdüngemitteln
- Auf Grund der C:N-Verhältnisse von organischen Materialien pflanzlicher und tierischer Herkunft.

Darüber hinaus wurden auch die C:P-, C:S-, C:K- und C:Mg-Verhältnisse aus den vorhandenen Daten der Fruchtarten und organischen Düngemittel berechnet und einer ausführlichen Diskussion über deren Aussagekraft zur Nährstofffreisetzung und -immobilisierung beim Prozess des Abbaus der organischen Materialien nach Einbringung in den Boden unterzogen.

Nicht nur für bestimmte moderne prozessgesteuerte Modellberechnungen ist es von Nutzen, den zeitlichen Verlauf des Substanzabbaus der organischen Materialien genau einschätzen zu können. Eine Abschätzung, ob das Material noch physikalisch sichtbar vorliegt, oder ob bereits ein struktureller Abbau erfolgt ist, kann in Netzbeutel- oder Litterbag-Versuchen gut untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden Ergebnisse entsprechend geeigneter Versuchsanstellungen für folgende organische Materialien zusammengestellt und die Abbaukurven an Hand des Anteils unverrotteten Materials (%) im Zeitverlauf bis zu einigen Jahren dargestellt:

- Getreidestroh (n = 21)
- Getreidestroh (Auflage, n = 7)
- Gründünger (n = 28)
- Ernte- und Wurzelrückstände (n = 28)
- Organische Düngemittel (n = 4)
- Blätter und Nadeln von Baumarten (n = 10)
- Torf und Holz (n = 3).

Die richtige Einschätzung von Verlustgrößen ist ein weiteres Gebiet, auf denen Tabellenwerte zum Einsatz kommen und in entsprechenden Modellen in den Parametersätzen hinterlegt werden. So besteht ein umfangreicher 3- bis 4-stufiger Parametersatz zur Einschätzung von z.B. Ammonium-Verlusten an organischen Düngemitteln unter verschiedenen Umgebungsbedingungen, die für die wichtigsten festen und flüssigen Düngemittel in dieser Arbeit beschrieben werden.

Weniger Erfahrungen bestehen zu den Verlusten, die aus oberflächlich belassenen und gemulchten Futterbeständen bis zum nächsten Aufwuchs entstehen können. Zu diesem Thema liegen ebenfalls spezielle Versuchsergebnisse vor, die meistens unter standardisierten Umgebungsbedingungen ermittelt worden sind. Die gasförmigen N-Verluste von 45 Varianten organischer Materialien wurden entsprechend ihrer deutlich unterschiedlichen Gehalte von unter 1,0 % bis annähernd 5,0 % N i.d. TM für 30 Tage erfasst, graphisch dargestellt und durch lineare mathematisch-statistische Gleichungen in Abhängigkeit von verschiedenen klimatischen Bedingungen quantitativ beschrieben.

Zur orientierenden Einordnung und Bestimmung von bisher unbekanntem Humifizierungskoeffizienten von Fruchtarten und organischen Materialien, die gewöhnlich zur Humusbilanzierung erforderlich sind, wurden einfache graphische Darstellungen zwischen bekannten Koeffizienten und den EWR-Mengen der Fruchtarten bzw. den N-Gehalten von organischen Materialien ermittelt. Für die schnelle Einordnung der Nachhaltigkeit von Anbausystemen wurden schließlich aus Dauerversuchen Mitteleuropas die Gesamt-N-Effizienzen für verschiedene mineralische bzw. organische Düngungsvarianten in Abhängigkeit von den Gesamt-N-Zufuhren berechnet und ebenfalls graphisch dargestellt.

5 Literaturverzeichnis

- AGEHARA, S., WARNACKE, D.D. (2005): Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69, 1844-1855.
- AJWA, H.A., TABATABAI, M.A. (1994): Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fertil. Soils* 18 (3), 175-182.
- ALBERT, E., DITTRICH, B. (2005): Fleischknochenmehl – ein wertvoller organischer NP-Dünger. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung, Nr. 4, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 39-49.
- ALBERT, E., ERNST, H., BIERMANN, S., MICHEL, D. (1997): Stickstoffbindung durch Leguminosen sowie Möglichkeiten zu ihrer Abschätzung. Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung Nr. 5, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 67-71.
- ALBERT, E., FÖRSTER, F., ERNST, H., KOLBE, H., DITTRICH, B., LABER, H., HANDSCHACK, M., KRIEGHOFF, G., HEIDENREICH, T., RIEHL, G., HEINRICH, S., ZORN, W. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Broschüre. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- ANDRÉN, O., PAUSTIAN, K. (1987) Barley straw decomposition in the field: A comparison of models. *Ecol.* 68, 1190-1200.
- ANDRÉN, O., STEEN, E., RAJKAI, K. (1992). Modelling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. *Soil Biol. Biochem.* 24 (8), 727-736.
- ANGERS, A., RECOUS, S. (1997): Decomposition of wheat and rye residue as affected by particle size. *Plant Soil* 189, 197-203.
- ANONYM (1978): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Ruhr-Stickstoff, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- ANONYM (1993a): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. 12. Auflage. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- ANONYM (1993b): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung. KTBL-Arbeitspapier 191, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- ANONYM (1997): DLG-Futterwerttabellen-Wiederkäuer, 7. Auflage. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main.
- ANONYM (1999): Schwefelgehalte in landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und organischen Düngestoffen. Merkblatt, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- ANONYM (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Bundessortenamt, Hannover.
- ANONYM (2001): Klee grasuntersaaten. Grundfutterproduktion in der Praxis des ökologischen Landbaus. Sommergetreide/Erbsen GPS. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.
- ANONYM (2004): Grundwasserschutz durch Ökologischen Landbau in Futterbaubetrieben. Abschlussbericht des Versuchsvorhabens. Landwirtschaftskammer, Hannover.
- ANONYM (ohne Jahr): Schwefel-Gehalte von Lebensmitteln. Rohkost-Wiki. www.rohkostwiki.de/wiki/Schwefel-Gehalt_von_Lebensmitteln.
- ASSEFA, M.K., TUCHER, S. VON, SCHMIDHALTER, U. (2014): Soil sulfur availability due to mineralization: Soil amended with biogas residues. *J. Soil Sci. Environm. Management* 5, 13-19.
- AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Bedeutung, Nutzung und Anbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BAGGIE, I., ROWELL, D.L., ROBINSON, J.S., WARREN, G.P. (2005): Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. *Agroforestry Sys.* 63, 125-131.
- BAKER, H.K., GAREWOOD, E.A. (1959): Studies on the root development of herbage plants. *Grass Forage Sci.* 14 (2), 94-104.

- Barrow, N.J. (1960): A comparison of the mineralization of nitrogen and of sulfur from decomposing organic materials. *Australian J. Agricul. Res.* 11, 960-969.
- BEARE, M.H., PARMELEE, R.W., HENDRIX, P.F., CHENG, W., COLEMAN, D.C., CROSSLEY JR, D.A. (1992): Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs* 62 (4), 569-591.
- BECKMANN, U., KOLBE, H. (2002): Maisanbau im Ökologischen Landbau. Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- BENDING, G.D., TURNER, M.K. (1999): Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biol. Fertil. Soils* 29, 319-327.
- BERG, B., LASKOWSKI, R. (2006): Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. *Advances Ecolog. Res.* 38. Elsevier, San Diego, USA.
- BERGMANN, W., GERMAR, R. (1956): Der Einfluss verschiedener Leguminosen-Grasgemische auf den Ertrag der Folgefrüchte und den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. *Die Deutsche Landwirtschaft* 7, 492-496.
- BERNER, A., SCHERER, D., ALFÖLDI, T. (1997): Stickstoffeffizienz von unterschiedlich aufbereiteten Misten in einer Ackerfruchtfolge auf Lösslehm. Posterbeitrag zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- BLANK, B., PAULSEN, H.M., KASSOW, A., RAHMANN, G., AULRICH, K. (2011): Zusammensetzung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe im Rahmen des Projekts Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen. Beiträge 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bd. 1, Boden - Pflanze - Umwelt, Lebensmittel und Produktqualität. Verlag Dr. Köster, Berlin, 199-202.
- BLOEM, E.M. (1998): Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften. *Landbauforschung Völkenrode*, SH 192.
- BOHLEN, P.J., PARMELEE, R.W., MCCARTNEY, D.A., EDWARDS, C.A. (1997): Earthworm effects on carbon and nitrogen dynamics of surface litter in corn agroecosystems. *Ecol. Appl.* 7 (4), 1341-1349.
- BOLINDER, M.A., ANGERS, D.A., BELANGER, G., MICHAUD, R., LAVERDIERE, M.R. (2001): Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian J. Plant Sci.* 82 (4), 731-737.
- BOLINDER, M.A., KÄTTERER TH., POEPLAU, CH., BÖRJESSON, G., PARENT, L.E. (2015): Net primary productivity and below-ground crop residue inputs for root crops: Potato (*Solanum tuberosum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Canadian J. Soil Sci.* 95 (2), 87-93.
- BOMMER, D. (1955): Untersuchungen über die Ernterückstände von Feldfutterpflanzen in verschiedenen Höhenlagen. *Z. Acker- Pflanzenb.* 99, 239-258.
- BOXBERGER, J., MAYER, J., MÖLLER, K., PÖLLINGER, A. (2020): Praxishandbuch organische Düngung, effizient und nachhaltig. Erling Verlag, Cleze.
- BRAIG, M. (2011): Vergleich organischer Düngemittel. *Bioland*, Nr. 3.
- BRELAND, T.A. (1990): Catch crops and green manuring in ecological agriculture. NJF Seminar No. 166. Proceedings Ecological Agriculture, Alternativ Odling (Sweden), No. 5, 142-153.
- BREMNER, J.M., SHAW, K. (1957): The mineralisation of some nitrogenous materials in soil. *J. Sci. Food Agric.* 8, 341-347.
- BRIECKI, M., ROSZAK, W. (1961): Der Einfluss der mehrjährigen Leguminosen und deren Gemische mit Gräsern auf die Nachfruchterträge. *Wiss. Z. Univ. Halle, Math.-Nat. Reihe* 10/23, 341-345.
- BRUCKER, G., KALUSCHE, D. (1990): Boden und Umwelt: bodenökologisches Praktikum 2. Auflage, Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg.
- BUCHANAN, M., KING, L.D. (1993): Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues. In: No-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.* 85 (3), 631-638.
- BUTLER, G. W., GREENWOOD, R.M., SOPER, K. (1959): Effects of shading and defoliation on the turnover of root and nodule tissue of plants of *Trifolium repens*. *New Zealand J. Agricul. Res.* 3, 415-426.

- CADISCH, G., GILLER, K.E. (1997): Driven by nature. Plant litter quality and decomposition. CAB International, Wallingford, UK.
- CHEN, S., LOGES, R., TAUBE, F. (2013): Root growth of grass-clover swards depending on grassland age. Mitt. AG Grünland Futterbau 14.
- CHEN, X., CABRERA, M.L., ZHANG, L., SHI, Y., SHEN, S.M. (2003): Long-term decomposition of organic materials with different carbon/nitrogen ratios. Communications Soil Sci. Plant Analys. 34 (1, 2), 41-54.
- CHMELÍKOVÁ, L., WOLFRUM, S., SCHMID, H., HEJCMAN, M., HÜLSBERGEN, K.J. (2015): Seasonal development of biomass yield in grass-legume mixture on different soils and development of above- and belowground organs of *Medicago sativa*. Arch. Agron. Soil Sci. 6, 329-346.
- CHRISTENSEN, B.T. (1985): Wheat and barley straw decomposition under field conditions: Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. Soil Biol. Biochem. 17 (5), 691-697.
- CHRISTENSEN, B.T. (1986): Barley straw decomposition under field conditions: Effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. Soil Biol. Biochem. 18 (5), 523-529.
- CLAUPEIN, W. (1994). Möglichkeiten und Grenzen der Extensivierung im Ackerbau. Wirkungen der Bewirtschaftungsintensität auf die langfristige Produktivität und Stabilität von Agrarökosystemen und deren Umweltwirkungen. Habil. Univ., Göttingen.
- COGLE, A.L., SAFFINGNA, P.G., STRONG, W.M. (1989): Carbon transformation during wheat straw decomposition. Soil Biol. Biochem. 21 (3), 367-372.
- COLLINS, H.P., ELLIOTT, L. F., RICKMAN, R.W., BEZDICEK, D.F., PAPENDICK, R. (1990): Decomposition and interaction among wheat residue components. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 780-785.
- CORDOVIL, C.D.M.S., COUTINHO, J., GOSS, M., CABRAL, F. (2005): Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one-pool exponential model. Soil Use Manage. 21, 65-72.
- CORNELISSEN, J.H.C. (1996): An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. J. Ecol. 84 (4), 573-582.
- CORNELISSEN, J.H.C., LAVOREL, S., GARNIER, E., DÍAZ, S., BUCHMANN, N., GURVICH, D.E., REICH, P.B., TERSTEEGE, H., MORGAN, H.D., VAN DER HEIJDEN, M.G.A. (2003): A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian J. Bot. 51, 335-380.
- CUIJPERS, W., HOSPERS-BRANDS, M. (2008): Hulpmeststoffen – Beschikbaarheid en opname van stikstof in de biologische teelt van zomertarwe. Louis Bolk Instituut, Driebergen, NL.
- CURRY, J.P., BYRNE, D. (1997): Role of earthworms in straw decomposition in a winter cereal field. Soil Biol. Biochem. 29, 555-558.
- CUSICK, P.R., POWELL, J.M., KELLING, K.A., HENSLER, R.F., MUÑOZ, G.R. (2006): Dairy manure N mineralization estimates from incubations and litterbags. Biol. Fertil. Soils 43, 145-152.
- DELIN, S., NYBERG, A., STENBERG, B. (2011): Short term phosphorous and nitrogen fertiliser values of different residues in pot experiments and correlations to laboratory analyses. In: Utilisation of manure and other residues as fertilizer. Proceedings NJF Seminar 443, Falköping, Sweden. NJF Report 7 (8), 12-15.
- DERSCH, G., PFEFFER, M., DANNEBERG, O.H. (2003): Die anaerobe Bebrütung zur Bestimmung des N-Nachlieferungspotentials von Böden und ihre Kalibrierung im Gefäßversuch. Die Bodenkultur 54, 69-81.
- DEWES, TH., HÜNSCHE, E. (1998): Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farm. Biological Agric. Hortic. 16, 251-268.
- DIETL, W., LEHMANN J. (2004): Ökologischer Wiesenbau - nachhaltige Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf, Österreich.
- DISTEL, R.A., FERNANDEZ, O.A. (1988): Dynamics of root growth and decay in two grasses native to semi-arid Argentina. Austral Ecology 13 (3), 327-336.
- DITTMANN, B. (2010): Schwefelversorgung im ÖLB. Vortrag, Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF), Güterfelde.
- DLG (1973): DLG-Futterwerttabellen: Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. Arbeiten der DLG 62. DLG-Verlag, Frankfurt.

- DREYMANN, S., LOGES, R., TAUBE, F. (2002): Einfluss unterschiedlicher Klee gras-Nutzungsregime und Umbrucharten auf die N-Verwertung ausgewählter Folgefrüchte bei variiert organischer Düngung. Mitt. Ges. Pflanzbauwiss. 14, 199-200.
- DREYMANN, S., LOGES, R., TAUBE, F. (2005): Schnittgutabfuhr oder Gründüngung? Auswirkungen der Klee gras-Nutzung auf Nitrat im Sickerwasser und Folgefrüchte. Beiträge 8. Wiss.-Tagung Ökologischer Landbau, Univ. Press., Kassel, 181-184.
- EBERTSEDER, T., ENGELS, C., HEYN, J., HÜLSBERGEN, K.-J., ISERMANN, K., KOLBE, H., LEITHOLD, G., REINHOLD, J., SCHMIDT, H., SCHWEITZER, K., WILLMS, M., ZIMMER, J. (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt, VDLUFA, Speyer.
- ENGELMANN, P., SCHEU-HELGERT, M., SCHUBERT, W., RAUSCHER, B., VON MANSBERG, A.Ä. (2008): Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und Verlängerung der Anbausaison. Projektbericht BLM-Projekt FKZ: 03OE031, Veitshöchheim.
- ENGELS, C., KÖRSCHENS, M. (2010): Bedeutung von ober- und unterirdischen Ernte- und Stoppelrückständen für die Humusbilanzierung. In: Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. VDLUFA, Speyer, 169-212.
- ERIKSEN, J. (2002): Organic manures as sources of fertiliser sulphur. Proceedings Internat. Fertiliser Soc. (ifs) 505, Cambridge, Paper 13.
- ERIKSEN, J. (2005): Gross sulphur mineralisation-immobilisation turnover in soils amended with plant residues. Soil Biol. Biochem. 37, 2216-2224.
- ERIKSEN, J. (2010): Sulphur cycling in agroecosystems. Diss. Univ., Aarhus, Denmark.
- ERIKSEN, J., THORUP-KRISTENSEN, K. (2002): The effect of catch crops on sulphate leaching and availability of S in the succeeding crop on sandy loam soil in Denmark. Agric. Ecosys. Environ. 90, 247-254.
- ERIKSEN, J., OLESEN, J.E., ASKEGAARD, M. (2002): Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. European J. Agron. 17, 1-9.
- ERIKSEN, J., THORUP-KRISTENSEN, K., ASKEGAARD, M. (2004): Plant availability of catch crop sulfur following spring incorporation. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167, 609-615.
- ESSER, J., LÜTKER-ENTRUP, E. (1981): Ackerfutterbau und Zwischenfrüchte haben Zukunft: Die Arten und ihr Wert. Landwirtschaftliche Schriftenreihe, Heft 9, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- FOSU, M., KÜHNE, R.F., VLEK, P.L.G. (2007): Mineralisation and microbial biomass dynamics during decomposition of leguminous residues. J. Biolog. Sci. 7 (4), 632-637.
- FREYER, B. (2003): Fruchtfolgen. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FRITSCH, F. (1999): Schwefel – ein Hauptnährstoff. Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Mainz.
- FULLER, W.H., NIELSEN, D.R., MILLER, R.W. (1956): Some factors influencing the utilization of phosphorus from crop residues. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20, 218-224.
- FURUKAWA, Y., HASEGAWA, H. (2006): Response of spinach and komatsuna to biogas effluent made from source-separated kitchen garbage. J. Environ. Qual. 35, 1939-1947.
- GALE, E.S., SULLIVAN, D.M., HEMPHILL, D., COGGER, C.G., BARY, A.I., MYHRE, E.A. (2005): Predicting nitrogen availability from organic amendments: Laboratory, field and computer simulation. Internet: <http://ucanr.edu/sites/nm/files/76591.pdf>
- GLASENER, K.M., PALM, C.A. (1995): Ammonia volatilization from tropical legume mulches and green manures on unlimed and limed soils. Plant Soil 177, 33-41.
- GOINS, G.D., RUSSELLE, M.P. (1996): Fine root demography in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Plant Soil 185 (2), 281-291.
- GUNNARSON, S. (2003): Influence of plant material chemical composition on C and N mineralisation. Diss. Univ., Uppsala, Schweden.
- GUPTA, A.K., PAULSEN, H.M., SCHNUG, E. (1997): Comparative efficiency of some selected sources of sulphur. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Völknerode. Sulphur in Agriculture 20, 15-20.

- GUTSER, R., EBERTSEDER, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stickstoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken. KTBL-Schrift 444, 7-22.
- GUTSER, R., v. TUCHER, S. (2000): Zur Schwefelwirkung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern. VDLUFA-Schriftenreihe 53, 48-51.
- GUTSER, R., VILSMEIER, K. (1988): Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte und N-Verwertung durch Pflanzen. Kali-Briefe 19, 199-211.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, TH., WEBER, A., SCHRAMM, M., SCHMIDHALTER, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168, 439-446.
- HAAS, G. 2004: Stickstoffversorgung von Weißkohl, Silo- und Körnermais durch Winterzwischenfrucht-Leguminosen. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- HAGEL, I. (2000): Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangelgefährdeter Standorte des Ökologischen Landbaus. Landbauforschung Völknerode, SH 220.
- HAKL, J., FUKSA, P., SANTRUCEK, J., MASKOVA, K. (2011): The development of lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven year period. Plant Soil Environ. 57 (2), 81-87.
- HAKL, J., MASKOWA, K., SANTRUCEK, J., HREVUSOVA, Z. (2012): Development of root morphology traits of the Czech lucerne varieties in chernozem over a three year periode. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. 60, 25-34.
- HARMSSEN, G.W., KOLENBRANDER, G.J. (1965): Soil inorganic nitrogen. In: Bartholomew, W.V., Clark, F.E.: Soil nitrogen. Am. Soc. Agron., Inc. Publisher, Madison, USA, 43-92.
- HARTMANN, H., BÖHM, T., MAIER, L. (2000): Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München.
- HARTZ, T.K., JOHNSTONE, P.R. (2006): Nitrogen availability from high-nitrogen containing organic fertilizers. Hort. Technol. 16, 39-42.
- HASELHOFF, E., HAUN, F., ELBERT, W. (1930): Versuche der landw. Versuchsanstalt in Harleshausen. In: FINGERLING, G.: Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen CX, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 247-289.
- HAYNES, R.J. (1986): Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press, Orlando, USA.
- HEINZMANN, F. (1981): Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidenachfrüchte. Diss. Univ., Hohenheim.
- HENRIKSEN, T.M., BRELAND, T.A. (1999): Evaluation of criteria for describing crop residue degradability in a model of carbon and nitrogen turnover in soil. Soil Biol. Biochem. 31, 1135-1149.
- HERMAN, W.A., MCGILL, W.B., DORMAAR, J.F. (1977): Effects of initial chemical composition of roots of three grass species. Can. J. Soil Sci. 57, 205-215.
- HERRMANN, G., PLAKOLM, G. (1993): Ökologischer Landbau, Grundwissen für die Praxis. Österreichischer Agrarverlag, Wien, Österreich.
- HEYN, J. (2011): Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel (persönl. Mitteilung).
- HIROSE, S. (1973): Mineralization of organic nitrogen of various plant residues in the soil under upland condition. J. Sci. Soil Manure, Jpn. 44, 157-163.
- HÜLSBERGEN, K.J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habil. Univ., Halle. Shaker Verlag, Aachen.
- HÜNSCHE, E. (1995): Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern ökologisch bewirtschafteter landwirtschaftlicher Betriebe und ihre Einflussfaktoren - Erhebungsuntersuchung in Schleswig-Holstein. Dipl.-Arbeit, Universität, Kiel.
- IQDAL, S.M. (2009): Effect of crop residue qualities on decomposition rates, soil phosphorus dynamics and plant phosphorus uptake. Diss., Univ., Adelaide, Australien.

- IVANOV, P., SAUERBECK, D. (1972): Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aus verschiedenen organischen Substanzen. Landw. Forsch. 25, 216-225.
- JACOBS, G. (2007): Hühnertrockenkot entlastet Düngerkonto. Landwirtschaftliches Wochenblatt, Nr. 28, 24-26.
- JANSSEN, B.H. (1996): Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. Plant Soil 181, 39-45.
- JANZEN, H.H., MCGINN, S.M. (1991): Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. Soil Biol. Biochem. 23, 291-297.
- JENSEN, E.S. (1994): Mineralisation-immobilisation of nitrogen in soil amended with low C:N ratio plant residues with different particle sizes. Soil Biol. Biochem. 26, 519-521.
- JENSEN, L.S., SALO, T., PALMASON, F., BRELAND, T.A., HENRIKSEN, T.M., STENBERG, B., PEDERSEN, A., LANDSTRÖM, CHR., ESALA, M. (2005): Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from broad variety of plant materials in soil. Plant Soil 273, 307-326.
- JOST, B. (2003): Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*, Diss. Univ., Göttingen.
- JUNG, R. (2003): Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemengen mit Poaceen. Diss. Univ., Göttingen.
- KÄTTERER, T., ANDREN, O., PERSSON, J. (2004): The impact of altered management on long-term agricultural soil carbon stocks – a Swedish case study. Nutr. Cycl. Agroecosys. 70, 179-187.
- KAILA, A. (1949): Biological absorption of phosphorus. Soil Sci. 68, 279-289.
- KARBERG, N., SCOTT, N., GIARDINA, C. (2008): Methods for estimating litter decomposition. In: HOOVER, C.M.: Field measurements for forest carbon monitoring. Springer Sciences and Business Media B.V., 103-111.
- KATROSHAN, K.-U. (2011): Narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) as nitrogen source in organic vegetable production systems. Diss., Univ., Hannover.
- KELDERER, M., STIMPFL, E., THALHEIMER, M. (2008): Stickstoffmineralisierung von organischen Bodenverbessern und Handelsdüngern bei unterschiedlichen Temperaturen (8°C und 16°C) – Übersicht über die Düngemittel. Versuchsbericht des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums, Laimburg/Südtirol, Italien.
- KELDERER, M., MATTEAZZI, A., TOPP, A., GRAMM, D. (2010): Langfristige Beobachtungen zur Stickstoffmineralisierung verschiedener organischer Handels- und Wirtschaftsdünger unter konstanten Bedingungen – Eine Übersicht. Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum, Laimburg/Südtirol, Italien.
- KELNER, D.J., VESSEY, J.K., ENTZ, M.H. (1997): The nitrogen dynamics of 1-, 2- and 3-year stands of alfalfa in a cropping system. Agriculture Ecosys. Environm. 64, 1-10.
- KERNMAYER, I. (2002): Organische Handelsdünger - Rechtliche Situation, Inhaltsstoffe, Versuchsergebnisse. Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten, Fachgruppe Boden, Fachgruppe Düngemittel und verwertbare Abfallstoffe, Jahrestagung 2002, Klosterneuburg.
- KERSCHBERGER, M., FRANKE, G., HEß, H. (2002): Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngerverordnung. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 10, Jena.
- KIRCHMANN, H. (1988): Shoot and root growth and nitrogen uptake by six green manure legumes. Acta. Agric. Scand. 38, 25-31.
- KIRKBY, C.A., KIRKEGAARD, J.A., RICHARDSON, A.E., WADE, L.J. (2011): C:N:P:S ratios in soil humus and implications for soil organic matter sequestration. Proceedings Grain Research Development Corporation Advisor Updates, Adelaide, Australia, 215-219.
- KLIMANEK, E.M. (1987): Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Fruchtarten. Wissenschaftliche Einzelveröffentlichung, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Münchenberg.
- KLIMANEK, E.M. (1990): Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen. Archiv Acker- Pflanzenb. Bodenkd. 34, 559-567.

- KLIMANEK, E.M. (1997): Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten für die organische Substanz des Bodens. Arch. Agron. Soil Sci. 41, 485-511.
- KLIMANEK, E.M., SCHULZ, E. (1997): C:N-Transformationsprozesse beim Umsatz von organischer Primärschubstanz (OPS) im Boden. Arch. Acker- Pflanzenb. Bodenkd. 41 (6), 513-525.
- KLIMANEK, E.M., ZIERNZI, P. (1990): Differenzierung der Ernte- und Wurzelrückstände nach ihrer stofflichen Zusammensetzung. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR 295, 41-48.
- KLUGE, R. (2009): Rückstände sind Wertstoffe! Neue Landwirtschaft, Nr. 3, 94-97.
- KNACKER, T., FÖRSTER, B., RÖMBKE, J., FRAMPTON, G.K. (2003): Assessing the effects of plant protection products on organic matter breakdown in arable fields – litter decomposition test systems. Soil Biol. Biochem. 35, 1269-1287.
- KÖHLER, B., KOLBE, H. (2007): Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau. In: Berichte aus dem Öko-Pflanzenbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, 1-21.
- KÖHNLEIN, J. (1957): Futterbau und Bodenfruchtbarkeit. In: Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung IV, Landw. Forsch. SH 9, 20-31.
- KOLBE, H. (1993): Acker- und pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener landwirtschaftlicher Bewirtschaftungssysteme unterschiedlicher Intensität und Schlussfolgerungen für weitere notwendige Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Bedingungen in den neuen Bundesländern. Literaturstudie. Institut für Bodenkultur und Pflanzenbau der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.
- KOLBE, H. (1997): Einflussfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Mineralstoffe und Spurenelemente. Kartoffelbau 48, 318-323.
- KOLBE, H. (2008) Einfache Verfahren zur Berechnung der Humusbilanz für konventionelle und ökologische Anbaubedingungen. Arbeitspapier, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig, 1-7. <https://orgprints.org/id/eprint/13626/>
- KOLBE, H. (2010): Site-adjusted organic matter-balance method for use in arable farming systems. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 678-691.
- KOLBE, H. (2013): Standortangepasste Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Broschüre, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 1-48. <https://orgprints.org/id/eprint/23098/>
- KOLBE, H. (2016): C_{org}- und N_T-Bilanz sowie N-Effizienz in Anbausystemen mit mineralischer und organischer Düngung. Vortrag, „Nachhaltige Sicherung der Humusgehalte und Bodenfruchtbarkeit unter Beachtung von Klimawandel und EU-WRRL“. Workshop, Kooperation der Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft u. Geologie (LfULG), Nossen.
- KOLBE, H., ZIMMER, J. (2015): Leitfaden zur Humusversorgung. Informationen für Praxis, Beratung und Schulung. Broschüre, Verbund der Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden, 1-62. <https://orgprints.org/id/eprint/29534/>
- KOLBE, H., STEPHAN-BECKMANN, S. (1997): Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. Leaf and stem. Potato Res. 40, 111-129.
- KOLBE, H., RIKABI, F., GRAUWINKEL, U. (2003): Stickstoffgehalte pflanzlicher Produkte aus dem ökologischen Landbau. SÖL-Berater-Rundbrief, Nr. 2, 25-27.
- KOLBE, H., FRANKO, U., THIEL, E., LIEß, E. (2013): Verfahren zur Abschätzung von Humusreproduktion und N-Umsatz im ökologischen und konventionellen Ackerbau. In: Humusreproduktion und N-Umsatz. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 1, Dresden.
- KOLBE, H., KARALUS, W., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., GRAMM, M., ARP, B., KRELLING, B. (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KOLBE, H., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., SCHLIEßER, I., KÖHLER, A.K., KARALUS, W., KRELLING, B., POMMER, R., ARP, B. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau, Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.

- KÖNIG, O.H. (1958): Untersuchungen über die Wirkung von Klee gras, Rotklee und Luzerne auf einige fruchtbarkeitsbestimmende Bodeneigenschaften und die Erträge der Nachfrüchte. Diss. Univ., Bonn.
- KONONOWA, M.M. (1958): Die Humus Stoffe des Bodens. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- KÖRSCHENS, M., FRANKO, U., KLIMANEK, E.M., SCHULZ, E., SIEWERT, CHR., EICH, D., WRANKMORE, U., WEDEKIND, I., PFEFFERKORN, A. (1989): Modell und Parameter des Einflusses der Wurzelmasseentwicklung der Hauptfruchtarten auf die C- und N-Dynamik des Bodens. F/E-Bericht G4 04/1989, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bad Lauchstädt.
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- KTBL (2015): Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- KUNTZE, H. (1964): Über die Umsetzung von Gräser- und Kleewurzeln im Boden. Z. Acker- Pflanzenb. 120 (4), 383-400.
- KUNZMANN, R. (1972): Quantifizierung der Wirkung ein- und mehrjähriger Leguminosen auf die Nachfrüchterträge und den C- und N- Gehalt des Bodens anhand von Ergebnissen langjähriger Fruchtfolgedüngungsversuche auf Lehmstaugley. Diss. Univ., Halle.
- LABER, H. (2002): Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 6, Dresden.
- LABER, H. (2004): Praxisversuche zur N-Düngung in sächsischen Öko-Gemüsebaubetrieben. Infodienst für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung, Nr. 1, 105-117.
- LABER, H. (2007): N-Freisetzung aus Klee gras. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 19, Dresden.
- LABER, H. (2014): S-Gehalte in Markerbsen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden (schriftl. Mitteilung).
- LARSSON, L., FERM, M., KASIMIR-KLEMEDTSSON, A., KLEMEDTSSON, L. (1998): Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. Nutr. Cycl. Agroecosys. 51, 41-46.
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D., SCHÖNMEIER, H. (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Initiativen zum Umweltschutz 5, Zeller Verlag, Osnabrück, 43-54.
- LOGES, R., (1998): Ertrag, Futterqualität, N₂-Fixierleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee grasbeständen. Diss. Univ., Kiel.
- LOGES, R., TAUBE, F. (1999): Ertrag und Futterqualität von Rotklee und Luzerne als Reinsaat sowie im Gemenge mit Gräsern. Beiträge 5. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Berlin, 501-504.
- LOGES, R., TAUBE, F., KORNER, A. (1997): Ertrag, N-Fixierungsleistung sowie Ernterückstände verschiedener Rotklee- und Rotklee grasbestände. Beiträge 4. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Bonn, 265-271.
- LOPOTZ, H.-G. (1996): Biologische N₂-Fixierung von Klee-Reinbeständen und Klee-Gras-Gemengen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der N-Nachlieferung des Bodens. Diss. Univ., Bonn.
- LOU, Y., MEYERHOFF, P. A., LOOMIS, R.S. (1994): Seasonal patterns and vertical distribution of fine roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Field Crop Res. 40, 119-127.
- LÜDDECKE, F. (1976): Ackerfutterbau. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- LYNCH, J.M., HARPER, H.T. (1983): Straw as a substrat for cooperative nitrogen fixation. J. General Microbiol. 129, 251-253.
- MAGID, J., JENSEN, L.S., MEULLER, T., NIELSEN, N.E. (1997): Size-density fractionation for in situ measurements of rape straw decomposition: An alternative to the litterbag approach? Soil Biol. Biochem. 29, 1125-1133.
- MANNHEIM, T., BRASCHKAT, J., MARSCHNER H. (1997): Ammoniakemissionen aus alternden Pflanzen und bei der Zersetzung von Ernterückständen. Z. Pflanzenern. Bodenkde. 160, 125-132.

- MANZKE, F. (1990): Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Luzerne (*Medicago media* Pers.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) mit der erweiterten Differenzierungsmethode. Diplomarbeit Univ., Göttingen.
- MARY, B., RECOUS, S., DARWIS, D., ROBIN, D. (1996): Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling. *Plant Soil* 181, 71-82.
- MEINSEN, C. (1983): Pflanzenbauliche Aspekte der Ertragsprogrammierung beim Anbau von Rotklee und Rotklee gras. Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR, Berlin.
- MEINSEN, C., WEGENER, M. (1992): Zum Stickstoff-Reproduktionsvermögen von einjährigen, zweijährigen und dreijährigen Rotklee gras-Gemenge. *Mit. Ges. Pflanzenbauwiss.* 5, 233-236.
- MELILLO, J.M., ABER, J.D., LINKINS, A.E., RICCA, A., FRY, B., NADELHOFFER, K.J. (1989): Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. *Plant Soil* 115, 189-198.
- MEYER, D., DITTRICH, B., KÖHLER, B., KOLBE, H. (2011): Nähr- und Schadstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern des ökologischen Landbaus in Sachsen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 6, 17-32.
- MICHEL, D. (1992): Stickstoff- und Humusreproduktionsleistung von Luzerne und Klee gras in Fruchtfolgen eines 30-jährigen Dauerfeldversuches im Mitteldeutschen Trockengebiet. *VDLUFA-Schriftenreihe* 35, 645-648.
- MITSCHERLICH, E. A. (1909): Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landwirtsch. Jahrb.* 38, 537-552.
- MOHAMMADI, M. (1974): Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus und der Bodenbearbeitung auf den Ertrag und den Mineralstoffentzug von Sommergetreide sowie den Humusgehalt des Bodens. Diss. Univ., Hohenheim.
- MOHANTY, M. (2015): Simulation of nitrogen release from organic materials in the soybean/wheat cropping systems of Vertisols in central India. Diss. Univ., Queensland, Australien.
- MÖLLER, K., REENTS, H.J. (1999): Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte nach Körnererbsen auf die Nitratdynamik im Boden und das Wachstum der Folgefrüchte Kartoffeln und Weizen im ökologischen Landbau. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 12, 119-120.
- MÖLLER, K., SCHULTHEIß, U. (2014): Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.
- MÖLLER, K., KOLBE, H., BÖHM, H. (2003): Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf, Österreich.
- MOORE, A.D., ALVA, A.K., COLLINS, H.P., BOYDSTONE, R.A. (2010): Mineralisation of nitrogen from biofuel by-products and animal manures amended to a sandy soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41, 1315-1326.
- MÜLLER, M.M., SUNDMAN, V. (1988): The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil* 102, 185-191.
- MÜLLER, T., v. FRAGSTEIN, P. (2003): Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüsebau. Beiträge 7. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Wien, Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau, Wien, 597-598.
- MÜLLER, T., v. FRAGSTEIN, P. (2006): Organic fertilisers derived from plant materials: I. Turnover in soil at low and moderate temperatures. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 255-264.
- MÜLLER, T., RIEHLE, J., SCHLEGEL, I., LI, Z., v. SCHENCK ZU SCHWEINSBERG-MICKAN, M., SABAHI, H. SCHULZ, R. (2007): Leguminosenkörnerschrote und andere vegetabile Dünger im Ökologischen Gemüsebau. Beiträge 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Univ. Hohenheim, Stuttgart, 49-52.
- NEHRING, K. (1972): Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen.
- NIEDER, R., BENBI, D.K. (2008): Carbon and Nitrogen in the terrestrial environment. Springer Science + Business Media B.V.

- NIEDER, R., RICHTER, J. (1989): Die Bedeutung der Umsetzung von Weizenstroh im Hinblick auf den C- und N-Haushalt von Löß-Ackerböden. *Z. Pflanzenem. Bodenkd.* 152 (5), 415-420.
- NIKNAHAD-GHARMAKHER, H., PIUTTI, S., MACHET, J.-M., BENIZRI, E., RECOUS, S. (2012): Mineralization-immobilization of sulphur in a soil during decomposition of plant residues of varied chemical composition and S content. *Plant Soil* 360, 391-404.
- ODOKONYERO, K. (2013): Soil carbon retention and nitrogen mineralization in organic farming systems. Diss., Univ., Aarhus, Dänemark.
- OEHMICHEN, J. (1986): Pflanzenproduktion. Verlag Paul Parey, Berlin.
- OTTOW, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden. Springer-Verlag, Berlin.
- PAL, S., MARSCHNER, P. (2016): Influence of clay concentration, residue C:N and particle size on microbial activity and nutrient availability in clay amended sandy soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 16 (2), 350-361.
- PÄTZOLD, H. (1958): Dreijährige Untersuchungen über die Nachfruchtwirkung von Rotklee, verschiedenen Gräsern und Klee-grasgemischen. *Z. Acker- Pflanzenb.* 105, 50-60.
- PAUL, E.A., CLARK, F.E. (1988): Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego, USA.
- PAULSEN, H.M., SCHOCHOW, M. (2007): Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Pflanzen in Mischfruchtbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. *Landbauforschung Völkenrode*, SH 309, 47-59.
- PAULSEN, H.M., HANEKLAUS, S., SCHNUG, E. (1998): Suitability of SDA-products for supplying the sulphur demand of agricultural crops. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Völkenrode. www.pb.fal.de/en/library/publications/pb1301.htm
- PAULSEN, H.M., KRATZ, S., SCHNUG, E. (2011): Nährstoffgehalte ökologischer Wirtschaftsdünger. *Beitr. 11. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Gießen*, Bd.1, 199-202.
- PAULSEN, H.M., BLANK, B., SCHAUB, D., AULRICH, K., RAHMANN, G. (2013): Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. *Landbauforsch. Appl. Agric. Forestry Res.* 63 (1), 29-36.
- PERSSON, T., BERGKVIST, G., KÄTTERER, T. (2008): Long-term effects of rotations with and without perennial leys on soil carbon stocks and grain yields of winter wheat. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 81, 193-202.
- PFISTER, M. (2011): Analyse und Bewertung des Versuches „Schwefeldüngung in Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse, Lupine) im Öko-Landbau, Versuchsjahr 2011“. In: *Versuchsergebnisse im Ökologischen Landbau 2011*. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, 120-138.
- PIETSCH, G. (2004): N₂-Fixierleistung und Wasserverbrauch von Futterleguminosen im Ökologischen Landbau unter klimatischen Bedingungen der pannonischen Region Österreichs. Diss. Univ., Wien, Österreich.
- PIETSCH, G., FRIEDEL, J.K., FREYER, B. (2004): Ertrag, N₂-Fixierungsleistung und Wassernutzungseffizienz von Futterleguminosen in einem ökologischen Anbausystem. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 16, 219-220.
- PINCK, L.A., ALLISON, F.E., SHERMAN, M.S. (1950): Maintenance of soil organic matter. II. Losses of carbon and nitrogen from young and mature plant materials during decomposition in soil. *Soil Sci.* 69, 391-401.
- PIORR, A. (1992): Zur Wirkung von residualem Klee-gras- und Wirtschaftsdüngerstickstoff auf die N-Dynamik in ökologisch bewirtschafteten Böden und die N-Ernährung von Getreide. Diss. Univ., Bonn.
- PIORR, A., BERG, M., WERNER, W. (1991): Stallmistkompost im Ökologischen Landbau: Erhebungsuntersuchungen zu Nährstoffgehalten und deren Beziehung zu Aufbereitungsverfahren. *VDLUFA-Schriftenreihe* 33, Kongressband 1991, 335-340.
- POWLSON, D.S., GLENDINING, M.J., COLEMAN, K., WHITMORE, A.P. (2011): Implications for soil properties of removing cereal straw: Results from long-term studies. *Agron. J.* 103, 279-287.
- POWLSON, D.S., BHOGAL, A., CHAMBERS, B.J., COLEMAN, K., MACDONALD, A.J., GOULDING, K.W.T., WHITMORE, A.P. (2012): The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study. *Agricult. Ecosys. Environm.* 146, 23-33.
- PREISSINGER, W., OBERMAIER, A., SÖLDNER, K., STEINHÖFEL, O. (2008): Biertreber. Futterwert, Konservierung und erfolgreicher Einsatz beim Wiederkäuer. *Information*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.

- QIAN, P., SCHOENAU, J.J. (2002): Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios. *Can J. Soil Sci.* 82, 219-225.
- QUEMADA, M. (2004): Predicting crop residue decomposition using moisture adjusted time scales. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 70, 283-291.
- QUEMADA, M., CABRERA, M.L. (1997): Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residues. *Plant Soil* 189, 127-137.
- RAUBER, R., SCHMIDTKE, K. (1999): Nutzung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung bei Leguminosen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 12, 1-6.
- RASP, H. (1993): Abfall- und Reststoffe aus der industriellen Produktion als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel im Landbau – Eine Übersicht –. In: HÖSEL, G., BILITEWSKI, B., SCHENKEL, W., SCHNURER, H. (Hrsg.): *Müll-Handbuch, Loseblattsammlung, laufende Nummer 6555, Lieferung 6/93.*
- RAUPP, J. (2005): Stickstoffmineralisation von Stallmist, Ackerbohnschrot, Luzernegrünmehl und Rizinus-schrot unter kontrollierten Bedingungen im Brutversuch. *Beiträge 8. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Kassel*, 219-220.
- REDDY, K.R., KHALEEL, R., OVERCASH, M.R. (1980): Carbon transformations in the land areas receiving organic wastes in relation to nonpoint source pollution: a conceptual model. *J. Environ. Qual.* 9, 434-442.
- REINIG, E., BACHINGER, J., STEIN-BACHINGER, K. (1999): Verfahren zur Abschätzung der symbiotisch fixierten N-Menge von Futter- und Körnerleguminosen als Grundlage von Planungswerkzeugen zur schlag- und fruchtfolgebezogenen N-Bilanzierung. *Beiträge 5. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Berlin*, 230-233.
- RIEDEL, R., KÖNIG, V. (2013): Fachinformation - Probenahme von festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena. Internet: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/wdue0713.pdf>
- RIEHLE, I., SCHULZE, R., MÜLLER, T. (2007): Purchasable and on farm produced plant based organic fertilisers: II. Yield response in organic vegetable production and nitrogen turnover (pot experiments). *VDLUFA-Schriftenreihe* 62, 413-416.
- RIEß, P. (2003): Muss wirklich jeder Mist auf den Acker? Das Konzept des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Vortrag, LUFA, Bonn. http://umwelt.landsh.server.de/servlet/is/31421/Riess_Peter_Vortrag.pdf
- ROCHETTE, P., ANGERS, D.A., CHANTIGNY, M.H., GAGNON, B., BERTRAND, N. (2006): In situ mineralization of dairy cattle manures as determined using soil-surface carbon dioxide fluxes. *Soil Sci. Soc. America J.* 70 (3), 744-752.
- ROSCHKE, M. (2008): Sachgerechte Anwendung organischer Düngemittel im Herbst. Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Güterfelde. https://www.lkee.de/media/custom/2112_191_1.PDF?1334301042
- ROTH, F.X., REENTS, H.J. (2001): Futterwert von frischem und siliertem Klee gras aus ökologischem Anbau für Mastschweine. *Beiträge 6. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Weihenstephan*, 461-464.
- RUBINS, E.J., BEAR, F.E. (1942): Carbon-nitrogen ratios in organic fertilizer materials in relation to their nitrogen. *Soil Sci.* 54, 411-424.
- RÜHRER, J., FRIEDEL, J.K., FREYER, B. (2004): Vegetabile Dünger in der Anzucht von Salbei (*Salvia off.*) und Liebstöckel (*Levisticum off.*). Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen, Jena. In: Chancen und Herausforderungen einer zeitgemäßen Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion. Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen, Jena.
- SAALBACH, E., WÜRTELE, K., KÜRTEIN, P.W., AIGNER, H. (1970): Schwefel. Natrium, Magnesium. *Landwirtschaftliche Schriftenreihe Boden und Pflanze, Nr. 14.* Ruhr-Stickstoff, Bochum.
- SAUERBECK, D., JOHNEN, B. (1976): Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur „Bodenatmung“. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.* 139 (3), 315-328.
- SCAGNOZZI, A., SAVIOZZI, A., LEVI-MINZI, R., RIFFALDI, R. (1997): Nutrient release from decomposing crop residues in soil: a laboratory experiment. *American J. Alternative Agricult.* 12 (1), 10-13.
- SCHEFFER, F., ULRICH, B. (1960): *Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil, Humus und Humusdüngung, Band I*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

- SCHERER, H.W. (2009): Sulfur in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 326-335.
- SCHERER, H.W., PACYNA, S., MANEHEY, N., SCHULZ, M. (2006): Sulphur supply of peas (*Pisum sativum*) influences symbiotic N₂ fixation. *Plant Soil Environm.* 52, 72-77.
- SCHLEGEL, I., ZHIFANG, L., V. SCHENK, Z., SCHWEINSBERG-MICKAN, M., SCHULZ, R., MÜLLER, T. (2007): Purchasable and on farm produced plant based organic fertilisers: I. N-turnover and net-N-mineralisation in incubation experiments. *VDLUFA-Schriftenreihe* 62, 409-412.
- SCHLIEPHAKE, W. (2003): C:N-Verhältnis im Getreidestroh und die Auswirkungen auf den Stickstoffausgleich nach einer Strohdüngung. *Infodienst der Sächsischen Agrarverwaltung*, Nr. 11, 65-78.
- SCHLIEßER, I., SCHUSTER, M., KOLBE, H. (2010): Zwischenfrüchte im Ökolandbau. *Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie*, Heft 27, Dresden.
- SCHMIDT, H. (1997): Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau – Auswirkungen systemeigener und systemfremder Stickstoffquellen auf Prozesse im Boden und die Entwicklung der Feldfrüchte. *Diss. Gesamthochschule, Kassel*.
- SCHMIDT, R., HENKEL, CH. (2003): Bodenabhängiger Stickstoffumsatz. *Bioland*, Nr. 3, 24.
- SCHMIDTKE, K. (1997): Einfluss von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiotische N₂-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl₂-extrahierbare N-Fractionen im Boden. *Diss. Univ., Gießen*.
- SCHMIDTKE, K. (1998): Selbstregelung der Stickstoffzufuhr im ökologischen Landbau. *Ökologie & Landbau*, Nr. 2, 33-37.
- SCHMIDTKE, K. (2003): Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität, Göttingen (schriftl. Mitteilung).
- SCHMIDTKE, K., RAUBER, R. (2000): Stickstoffeffizienz von Leguminosen im Ackerbau. In: Möllers, Chr.: *Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Initiativen zum Umweltschutz* 21, 48–69, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- SCHMIDTKE, K., RAUBER, R., STUBBE, B., HOMBURG, M., HOCKEMEIER, K. (1999): Wurzelwachstum von Kartoffeln. *Kartoffelbau* 50, 13-15.
- SCHNUG, E., ROGASIK, J., HANEKLAUS, S. (2003): Die Ausnutzung von Phosphor aus Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus. *Landbauforschung Völknerode* 53, 1-11.
- SCHOMBERG, H.H., FORD, P.B., HARGROVE, W.L. (1994): Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. In: Unger, P.W. *Managing agricultural residues*. Lewis Publishers, Boca Raton, USA, 99-121.
- SCHRÖDER, D., GEWEHR, G. (1977): Stroh- und Zelluloseabbau in verschiedenen Bodentypen. *Z. Pflanzenern. Bodenkd.* 140 (34), 273-284.
- SCHRÖDER, J.J., JANSEN, A.G., HILHORST, G.J. (2005): Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use Management* 21, 196-204.
- SCHUCHARDT, F. (1995): Grundlagen der Kompostierung. In *Komposte in der Landwirtschaft*, KTBL-Arbeitspapiere 223, KTBL, Darmstadt.
- SCHULZ, E. (1988): N-Transformationsprozesse beim Abbau von organischer Primärschubstanz im Boden in Abhängigkeit von ihrer Stabilität und dem C/N-Verhältnis. *Arch. Acker- Pflanzenb. Bodenkd.* 32, 577-582.
- SCHULZ, E., KLIMANEK, E.-M., KÖRSCHENS, M. (1986): Ein einfaches Verfahren zur Bestimmung des Umsetzungsverhaltens organischer Primärschubstanz (OPS). *Zentralbl. Mikrobiol.* 141, 503-508.
- SCHUSTER, M., KOLBE, H. (2015): Einfluss von Stroh- und Gründüngung auf die Ertrags- und Qualitätsleistung von Hafer in viehlosen Anbausystemen des ökologischen Landbaus. In: *Berichte aus dem Ökolandbau. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie*, Heft 2, 4-41.
- SCHWEIGER, P. (2004): Oberirdische und unterirdische Aufwüchse von Gründüngungspflanzen und deren N-Gehalt. *Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Rheinstetten*.
- SENGER, M., SEVERIN, K. (2004): Abgetragene Pilzkultursubstrate. *Landwirtschaftskammer, Hannover*.

- SEVERIN, K., SENGER, M. (2004): Pilzkultursubstrate – Umweltgerechte Verwertung in der Landwirtschaft. Merkblätter für Beratung, Praxis und Vollzug, Nr. 2, Landwirtschaftskammer, Hannover.
- SHEPHERD, M., WEBB, J. (2002): Tools for managing manure nutrients. In: POWELL et al.: UK Organic Research: Proceedings of the COR Conference 26-28. March, Aberystwyth, 165-168.
- SHEPHERD, M., PHILIPPS, L., JACKSON, L., BHOGAL, A. (2002): The nutrient content of cattle manures from organic holdings in England. *Biolog. Agricul. Horticul.* 20 (3), 229-242.
- SHEPHERD, M., BHOGAL, A., PHILIPPS, L., RAYNS, F., LENNARTSSON, M., PAIN, B. (1999): The environmental impacts of manure use in organic agriculture. Report to MAFF for project no. OF0161, GB.
- SHEPHERD, M.A., BHOGAL, A., PHILIPPS, L., RAYNS, F., LENNARTSSON, M., JACKSON, L., PAIN, B. (1999): The environmental impact of manure use in organic agriculture. Report of project OF0161 to MAFF, 14-16.
- SIMON, W. (1956): Luzerne, Klee und Klee gras: Von der Saat bis zur Fütterung. Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- SLOBODDA, S. (1988): Pflanzengemeinschaften und ihre Umwelt. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- SMITH, J.H., PECKENPAUGH, R.E. (1986): Straw decomposition in irrigated soil: comparison of twenty-three cereal staws. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 928-932.
- SORENSEN, P., LADD, J.N., AMATO, M. (1996): Microbial assimilation of ¹⁴C of ground and unground plant materials decomposing in a loamy sand and a clay soil. *Soil Biol. Biochem.* 28, 1425-1434.
- SPRINGER, U., LEHNER, A. (1951): Stoffabbau und Humusaufbau bei der aeroben und anaeroben Zersetzung landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich wichtiger organischer Stoffe. *Z. Pflanzenern. Düngung, Bodenkde.* 58 (103), 193-231.
- STADLER, Ch. (2006): Nitrogen release and nitrogen use efficiency of plant derived nitrogen fertilisers in organic horticultural soils under glasshouse conditions. Diss., Tech. Univ., München.
- STADLER, CH., v. TUCHER, S., SCHMIDHALTER, U., GUTSER, R., HEUWINKEL, H. (2006): Nitrogen release from plant-derived and industrially processed organic fertilizers used in organic horticulture, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169, 549-556.
- STEFFENS, D. (1984): Wurzelstudien und Phosphat-Aufnahme von Weidelgras und Rotklee unter Feldbedingungen. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 147, 85-97.
- STEIN-BACHINGER, K., BACHINGER, J., SCHMITT, L. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis. KTBL, Darmstadt.
- STUMPE, H. (1999): Organisch-mineralischer Dauerdüngungsversuch Feld F. UFZ-Bericht, Nr. 24, 13-16.
- SUMMERELL, B.A., BURGESS, L.W. (1989): Decomposition and chemical composition of cereal straw. *Soil. Biol. Biochem.* 21 (4), 551-559.
- THOMSEN, I.K., OLESEN, J.E. (2000): N and C stabilization of composted and anaerobically stored ruminant manure in differently textured soils. *J. Agr. Sci.* 135, 151-159.
- TRÄNKLE, L., ENGELMANN, P. (2002): Untersuchungen zum Umsetzungsverhalten organischer Dünger. Internetpräsentation der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau, Weinsberg.
- VALADARES, R.V., AVILA-SILVA, L. DE, TEIXEIRA, R. DA SILVA, SOUSA, R.N. DE, VERGÜTZ, L. (2016): Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In: LARRAMENDY, M.L., SOLONESKI, S.: Organic fertilizers – from basic concepts to applied outcomes. *Agricultures and Biological Sciences*. Published online CCBY 3.0 licence.
- VAN KESSEL, J.S., REEVES, J.B., MEISINGER, J.J. (2000): Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. *J. Environ. Qual.* 29, 1669-1677.
- VAN SCHREVEN, D.A. (1964a): A comparison between the effect of fresh and dried organic materials added to soil on carbon and nitrogen mineralization. *Plant Soil* 20, 149-165.
- VAN SCHREVEN, D.A. (1964b): The effect of some actinomycetes on rhizobia and *Agrobacterium radiobacter*. *Plant Soil* 21, 283-302.
- VARINDERPAL-SINGH, DHILLON, N.S., BRAR, B.S. (2006): Effect of incorporation of crop residues and organic manures on adsorption/desorption and bio-availability of phosphate. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 76, 95-108.

- VETTER, H. (1955): Die Ernterückstände der wichtigsten Kulturpflanzen, Die Dt. Landwirtschaft 6, 68-72.
- VILSMEIER, K., AMBERGER, A. (1981): Modellversuche zur Mineralisation verschiedenen Pflanzenmaterials in Abhängigkeit von der Temperatur. Landwirt. Forsch. 34 (4), 234-241.
- VINTHER, F.V. (2006): Effects of cutting frequency on plant production, N-uptake and N₂ fixation in above- and below-ground plant biomass of perennial ryegrass–white clover swards. Grass Forage Sci. 61, 154-163.
- VÖLKER, U., GÖRLITZ, H., SCIBORSKI, J., DUNKEL, H., SÜSSENBACH, D. (1989): Untersuchungen zur stofflichen Beschaffenheit von Stalldung und zu ihrem Einfluss auf Umsetzungsverhalten und Humusreproduktion im Boden. Arch. Acker- Pflanzenb. Bodenkde. 33, 587-593.
- WEBER, A., GUTSER, R., SCHMIDHALTER, U., HENKELMANN, G. (2001): Unvermeidbare NH₃-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil 2, Kongressband 2000, 175-182.
- WHITEHEAD, D.C., LOCKYER, D.R. (1989): Decomposing grass herbage as a source of ammonia in the atmosphere. Atmospheric Environ. 23, 1867-1869.
- WHITEHEAD, D.C., LOCKYER, D.R., RAISTRICK, N. (1988): The volatilization of ammonia from perennial ryegrass during decomposition, drying and induced senescence. Annals Bot. 61, 567-571.
- WHITMORE, A.P., HANDAYANTO, E. (1997): Simulating the mineralization of N from crop residues in relation to residue quality. In: CADISCH, G., GILLER, K.E.: Driven by nature: Plant litter quality and decomposition. CAB International, Wallingford, UK, 337-362.
- WICHMANN, S. (2004): Ertragsleistung, Futterqualitätsentwicklung, N₂-Fixierungsleistung und Vorfruchtwirkung von verschiedenen Körnerleguminosenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Diss. Univ., Kiel.
- WICHMANN, S., LOGES, R., TAUBE, F. (2003): Vergleich von Körnererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste in Hinblick auf Ertrag und Ertragsentwicklung sowie N-Fixierungsleistung, Ernterückstandsmengen und Vorfruchtwirkung. Beiträge 7. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Wien, 185-188.
- WIVSTAD, M. (1997): Greenmanure crops as a source of nitrogen in cropping systems. Diss. Univ., Uppsala, Schweden.
- WOLF, B., SNYDER, G.H. (2003): Sustainable soils. The place of organic matter in sustainability soils and their productivity. Food Product Press, New York, USA.
- WRANKMORE, A. (1990): Mineralisation von Ernte- und Wurzelrückständen verschiedener Vorfrüchte sowie deren Wirkung auf die N-Dynamik des Bodens und auf die Ertragsbildung von Winterweizen. Diss. Univ., Halle.
- ZORN, W., HEß, H., ALBERT, E., KOLBE, H., KERSCHBERGER, M., FRANKE, G. (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 7, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.

IMPRESSUM

Herausgeber:

Dr. Hartmut Kolbe
Altes Dorf 19
D-04435 Schkeuditz
E-Mail: hartmutkolbe@yahoo.de

Autoren:

Dr. Hartmut Kolbe, Schkeuditz
Dr. Wilfried Schliephake, Peter Müller, Landsberg

Bildnachweis:

Titelfoto: Dr. Schliephake, Landsberg

Redaktionsschluss:

1. Ausgabe: Dezember, 2018

Hinweis

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden.