

Vorhaben 14HS015
01.05.2015 – 28.02.2019

Weiterentwicklung des Entscheidungshilfesystems N-Expert zur Düngbedarfsermittlung im Gemüsebau

André Sradnick, Katia Heisterman, Matthias Fink und Carmen Feller
Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren und Erfurt (IGZ)

Schlußbericht

Berichtszeitraum: 01.05.2015 – 28.02.2019

Inhalt

1	Ziele und Aufgabenstellung des Projektvorhabens	9
1.1	Planung und Ablauf des Vorhabens	10
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	13
2	Material und Methoden	15
2.1	Literaturrecherche zur Stickstofffreisetzung organischer N-Quellen	15
2.2	Auswertung der Recherche zu organischen Düngern	17
2.3	Modell zur Vorhersage der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln	20
2.4	Berücksichtigung von Bodentemperaturen für die N-Mineralisierung	23
2.5	Zusammenfassung des Modellansatzes für die N-Freisetzung aus organischen Düngern	25
2.6	Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln	26
2.6.1	Statistik zum Einfluss der relevanten Größen auf die N-Mineralisierung	27
2.6.2	Modell zur Schätzung von N_a in organischen Düngemitteln	29
2.6.3	Schätzung der Mineralisationsratenkonstante (k) in organischen Düngemitteln ...	31
2.7	Vorhersage der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten	31
2.7.1	Modell zur Schätzung der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen	32
2.7.2	Erstellung einer Datenbank zu Zwischenfrüchten und deren gebräuchlichen Mischungen	34
2.7.3	Schätzung der Stickstofffreisetzungseigenschaften von Zwischenfrüchten	35
2.7.4	Stickstofffreisetzung und Leguminose N-Bindung aus unterschiedlichen Zwischenfrüchten und Mischungen	36
2.8	Implementierung der Mustervollzugshinweise in N-Expert	38
2.9	Recherche zur Nährstoffzufuhr in gemüsebaulichen Betrieben	38
2.10	Recherche zur Nährstoffabgabe aus gemüsebaulichen Betrieben	39
3	Ergebnisse	41
3.1	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	41
3.1.1	Handelsdünger auf pflanzlicher Basis	41

3.1.2	Handelsdünger auf tierischer Basis	50
3.1.3	Gründüngung	54
3.1.4	Wirtschaftsdünger in fester Form (Miste).....	58
3.1.5	Wirtschaftsdünger in flüssiger Form (Güllen/Jauchen)	64
3.1.6	Komposte.....	66
3.2	Vorhersage der Düngeeigenschaften von Ernterückstände.....	72
3.2.1	Implementierung des Modells und der Parameter in N-Expert.....	73
3.2.2	Zusammenfassung.....	73
3.3	Zwischenfrüchte	74
3.4	Implementierung der Mustervollzugshinweise	78
3.5	Versuche und Recherchen für die Umsetzung der Stoffstrombilanzverordnung in Gemüsebaubetrieben	78
3.5.1	Berechnungen zur Nährstoffzufuhr	78
3.5.2	Berechnungen zur Nährstoffabgabe	83
3.6	Versionen der N-Expert Software	93
4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	98
5	Zusammenfassung.....	101
6	Abstract.....	103
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen Zielen.....	105
7.1	Vergleich des Vorhabenstandes mit dem Arbeits- und Zeitplan.....	105
8	Literaturverzeichnis	113

Abkürzungsverzeichnis

Aufwuchs _{std}	mittlerer Aufwuchs
C _{org}	organischer Kohlenstoff
C _t	gesamt Kohlenstoff
DüV	Düngeverordnung
Feldabfuhr _{std}	mittlere Abfuhr
k	Mineralisationsratenkonstante
K	Kalium
Mg	Magnesium
N ₂	molekularer Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
N _a	Netto-N Mineralisierung aus organischem Stickstoff im Jahr der Anwendung des organischen Düngemittels
N _{Ab}	mittlere N-Gehalte Abfuhr
N _{Auf}	mittlere N-Gehalte Aufwuchs
N _{ER}	N-Gehalte Ernterückstände
NH ₃ -N	Ammoniak
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
N _{min}	mineralischer Stickstoff
N _{minERT}	N _{min} in Ernterückständen
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
N _{org}	organischer Stickstoff
N _{org(ERT)}	N _{org} in Ernterückständen
N _t	gesamt Stickstoff
P	Phosphor
StoffBilV	Stoffstrombilanzverordnung
t	Zeit
T _{max}	maximale Temperatur
T _{min}	minimale Temperatur
T _{opt}	optimale Temperatur

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht der festgelegten Düngemittel Kategorien und Unterkategorien für die Schätzung der Stickstofffreisetzung.....	19
Tabelle 2: Ergebnisse der schrittweisen Linearen Regressionsanalyse für den Einfluss auf die Netto-N Mineralisierung (N_a).....	28
Tabelle 3: Ergebnisse der schrittweisen Linearen Regressionsanalyse für den Einfluss auf die Mineralisationsratenkonstante (k)	29
Tabelle 4. In Datentabelle aufgenommene Zwischenfrüchte	35
Tabelle 5. Mittlere Gehalte an N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in organischen Handelsdüngern. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q0.05 und Q0.95 als Maß für die Spanne dargestellt	42
Tabelle 6. Übersicht der Mineralisationsratenkonstanten k in Abhängigkeit von der Formulierung und Verarbeitung von Körnerleguminosen.....	46
Tabelle 7. Übersicht der Mineralisationskonstante k in Abhängigkeit von der Formulierung und Verarbeitung von Rückständen aus der Lebensmittelproduktion	48
Tabelle 8. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in organischen Handelsdüngern tierischen Ursprungs. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.	50
Tabelle 9. Mittlere Gehalte an N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Gründüngern. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.....	55
Tabelle 10. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Wirtschaftsdüngern in fester Form (Miste). In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.....	59
Tabelle 11. Übersicht der Mineralisationskonstanten (k) in Misten.....	62
Tabelle 12. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Wirtschaftsdüngern in flüssiger Form (Güllen/Jauchen). In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.....	64
Tabelle 13. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Komposten. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.....	67
Tabelle 14. Netto N- Mineralisierung (N_a) aus Ernterückständen im Freilandgemüsebau und Ackerbau (Auswahl)	73
Tabelle 15. Modellierter maximale Stickstofffreisetzung im Jahr der Anwendung von Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom frühen (früh) optimalen (opt.) und späten (spät) Einarbeitungszeitpunkt bei optimaler Stickstoffversorgung.	76

Tabelle 16. Modellierter NA von Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom frühen (früh) optimalen (opt.) und späten (spät) Einarbeitungszeitpunkt bei schlechter Stickstoffversorgung	77
Tabelle 17 N-Gehalte in Anzuchsubstraten	79
Tabelle 18 N-Eintrag mit Presstöpfen	80
Tabelle 19 N und P Gehalte in Futtermitteln	81
Tabelle 20 Recherchierte Gewichte von Gemüse	83
Tabelle 21 Mittlere Gewichte von Gemüse.....	91
Tabelle 22: Standardgewichte für die Stoffstrombilanz	91
Tabelle 23: Sollgewichte und Abweichungen für ausgewählte Verpackungen	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Nährstoffkreislauf im ökologischen Landbau (Gerber et al. (2012) verändert)	14
Abbildung 2. Messpunkte während der Inkubation und ihr Anteil an dem Anteil am Gesamtstickprobenumfang.....	16
Abbildung 3. Gesamtinkubationszeit in den Publikationen und ihre Häufigkeit im Gesamtstickprobenumfang.....	17
Abbildung 4. Übersicht des Koeffizienten zur Temperaturanpassung im Vergleich zur Bodentemperatur (°C)	22
Abbildung 5. Verlauf einer einfachen exponentiellen Funktion der N-Mineralisierung	22
Abbildung 6. Typische Verläufe der Stickstoffmineralisierung oder –immobilisierung und für eine Düngemittelauswahl im Jahr der Andendung. Es sind für jede Beobachtung die Messdaten und die bestimmten Kurvenverläufe dargestellt	23
Abbildung 7. Deutsches Messnetz von Bodentemperaturen des Deutschen Wetterdienstes ...	24
Abbildung 8 Mittlere wöchentliche Bodentemperaturen von 1991-2015 in 20 cm Bodentiefe unterschiedlicher Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (Auswahl)	25
Abbildung 9. Beziehungen zwischen Netto-N Mineralisierung (N_a) und C/ N_{org} Verhältnis	31
Abbildung 10. Beziehung zwischen Gehalt an organischen Stickstoff in Ernterückständen und des C/ N_{org} -Verhältnis	34
Abbildung 11. C/ N_{org} der in der Datenbank erfassten Zwischenfrüchte mit optimaler Nährstoffversorgung a) und suboptimaler Nährstoffversorgung b) während der Kultur (0=Keimung, 1 = Blüte).....	37
Abbildung 12. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in unterschiedlichen Düngemittelkategorien	43

Abbildung 13. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Vinasse.....	44
Abbildung 14. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in unterschiedlichen Körnerleguminosendüngern.	45
Abbildung 15. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in unterschiedlichen Rückständen aus der Lebensmittelproduktion.	47
Abbildung 16. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Mischungen auf pflanzlicher Basis.....	49
Abbildung 17. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Handelsdüngern tierischen Ursprungs.....	51
Abbildung 18. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Keratindüngern	52
Abbildung 19. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Blut-, Knochen- und Fischmehlen	53
Abbildung 20. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Gründüngern	56
Abbildung 21. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Gründüngern	57

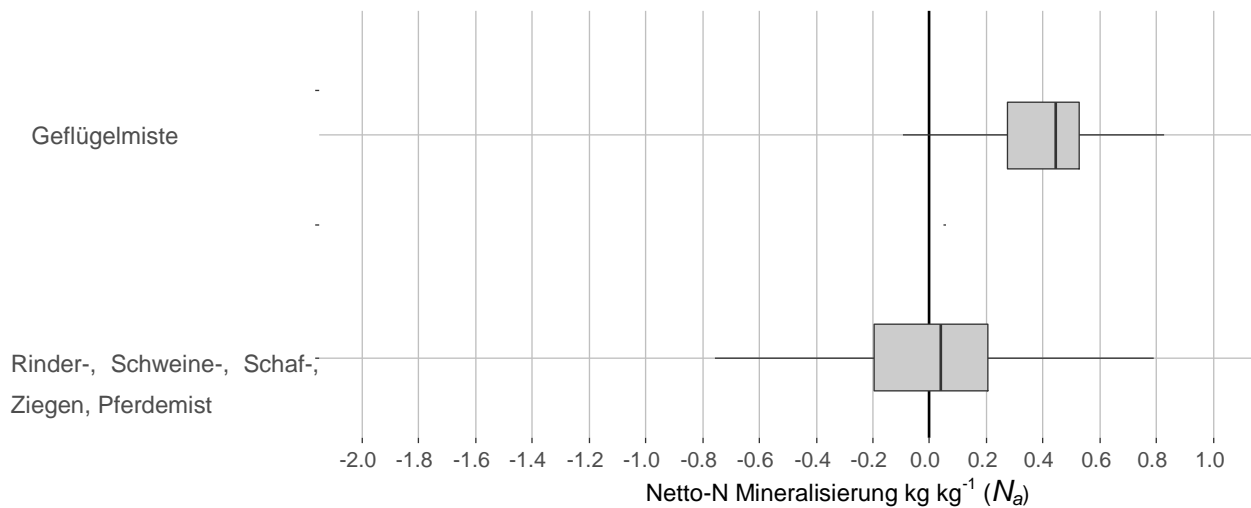


Abbildung 22. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Misten	59
Abbildung 23. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Rinder und Schweinemisten	61

Abbildung 24. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Geflügelmisten.....	63
Abbildung 25. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Biogas und Rinder-, Schweinegülle	65
Abbildung 26. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in flüssigen Wirtschaftsdüngern.....	66
Abbildung 27. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Komposten	68
Abbildung 28. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Komposten auf pflanzlicher Basis	69
Abbildung 29. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Komposten auf Mistbasis.....	70
Abbildung 30. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Champost und Wurm-/Vermikompost	71
Abbildung 31 Gewicht von Bundgemüse und Rettich.....	84
Abbildung 32 Gewicht von Kopfsalaten	85
Abbildung 33 Mittlere Gewichte von Mairüben im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum.....	86
Abbildung 34 Mittlere Gewichte von Möhren im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum	86
Abbildung 35: Mittlere Gewichte von Radieschen im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum.....	87
Abbildung 36 Mittlere Gewichte von Frühlingszwiebeln im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum.....	87
Abbildung 37: Mittlere Gewichte von Rettich in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum.....	88
Abbildung 38: Mittlere Gewichte von Bundzwiebeln in Abhängigkeit von dem Supermarkt	88
Abbildung 39 Mittlere Gewichte von Radies in Abhängigkeit von dem Supermarkt.....	89
Abbildung 40 Mittlere Gewichte von Mairüben in Abhängigkeit von dem Supermarkt	89
Abbildung 41: Mittlere Stückgewichte von Rettich in Abhängigkeit von dem Supermarkt.....	90
Abbildung 42: Mittlere Gewichte von Bundmöhren in Abhängigkeit von dem Supermarkt	90
Abbildung 43: Abweichungen vom Sollgewicht bei Verpackungen	92

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektvorhabens

Die Düngungsempfehlungen des bisherigen N-Expert Programms sind bisher nicht konform mit den zu erwartenden Vorschriften der novellierten Düngeverordnung (DüV). Dies bezieht sich einerseits auf die Methode der Bedarfsermittlung für die Stickstoffdüngung, die zwar der aktuell geltenden Düngeverordnung entspricht, nicht aber den zu erwartenden Regelungen der novellierten DüV. Auch entsprechen die in der Datenbank abgelegten Stickstoffbedarfszahlen (N_{\min} -Sollwerte) nicht den zu erwartenden Regelungen der novellierten DüV oder StoffBilV.

Zudem gibt es zwei für den Gemüsebau relevante Bereiche, die bisher von N-Expert noch nicht abgedeckt werden. Zum einen können die Stickstoff-Düngungsempfehlungen für flächenmäßig bedeutende Dauerkulturen (Spargel, Rhabarber) nicht berechnet werden. Zum anderen können nur Stickstoff-Düngungsempfehlungen für konventionell wirtschaftende Betriebe gegeben werden, nicht aber für „Bio-Betriebe“. Die Regelungen der DüV gelten jedoch gleichermaßen für konventionelle und für Bio-Betriebe.

Die verwendete Software schränkte den Kreis der möglichen Benutzer unnötig ein. Das aktuelle Programm wurde für das Betriebssystem Windows XP entwickelt, das inzwischen von Microsoft nicht mehr unterstützt wird. Die Benutzung unter modernen Windows Betriebssystemen (Windows 7) ist fehleranfällig. Unter anderen Betriebssystemen (z.B. Linux, Apple MacOS) ist das Programm gar nicht lauffähig. Die veraltete Software des aktuellen N-Expert erfordert dazu Administratorrechte auf dem PC und greift bei der Installation in Windows System Dateien ein. Aus diesen Gründen lassen die Systemadministratoren mancher öffentlicher Einrichtungen (z.B. Landwirtschaftskammern) die Nutzung nicht zu.

Ziel des Projekts ist es, das N-Expert Programm durch eine Aktualisierung für viele Benutzer (Landwirte, Wasserschutz- und Düngungsberater, Mitarbeiter von Landwirtschaftskammern) einsatzfähig zu machen, um dadurch die Umsetzung der novellierten DüV und StoffBilV zu unterstützen.

Das überarbeitete Programm soll – wie schon die aktuelle Version – auf dem Internetserver des IGZ zum kostenlosen Herunterladen angeboten werden.

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Algorithmen zur Berechnung des Stickstoff-Düngebedarfs und die Basisdaten der Datenbank sollen aktualisiert und an die Vorschriften der novellierten DüV und StoffBilV angepasst werden. Zusätzlich werden Dauerkulturen zur Datenbank hinzugefügt. Es sollen auch Algorithmen zur Berechnung der Düngungsempfehlung für den ökologischen Gemüsebau entwickelt werden. Dabei wird der Fokus auf der quantitativen Schätzung des Stickstoffbedarfs von Gemüsekulturen nach Anwendung von organischen Düngemitteln oder anderen organischen Stickstoffquellen liegen. Durch die Entwicklung einer neuen Softwarestruktur und Algorithmen soll es den Benutzern der Software erleichtert werden, die Vorgaben der novellierten DüV und StoffBilV einzuhalten.

Die Arbeitspakete für die Weiterentwicklung des N-Expert Programms ergeben sich aus den oben genannten Defiziten des aktuellen Programms.

Arbeitspaket 1 – Fachliche Überarbeitung

- Anpassung der Algorithmen zur Berechnung des Stickstoff-Düngebedarfs an die Vorschriften der novellierten DüV
- Aktualisierung der in der Datenbank abgelegten Basisdaten (N_{\min} -Sollwerte, N-Aufnahmekurven, Nährstoffgehalte, Ernterückstandsmengen etc.) für alle im aktuellen Programm verfügbaren Gemüsekulturen durch Einbeziehung von neuen eigenen und in Zusammenarbeit mit Lehr- und Versuchsanstalten gewonnenen Versuchsergebnissen durch Nutzung neuer Publikationen (Literaturrecherche)
- Zusätzliche Recherche für die Dauerkulturen Spargel und Rhabarber, sowie die Überwinterungskulturen, Bestimmung der o.g. Basisdaten für diese Kulturen und Einfügen in die überarbeitete Datenbank und Anpassung der Algorithmen zur Berechnung des Düngebedarfs
- Entwicklung von Algorithmen zur Berechnung von Düngungsempfehlung für den ökologischen Gemüsebau. Dabei wird nicht angestrebt, alle Facetten der Düngungsphilosophien abzubilden, die in den verschiedenen ökologischen Anbausystemen beachtet werden. Ziel ist es, den Betriebsleitern und Beratern quantitative Abschätzungen anzubieten, z.B. wie viel Stickstoff aus organischer Bodensubstanz oder aus organischen Düngern zur Verfügung steht und wie hoch der Pflanzenbedarf ist.

Dies soll es für ökologisch wirtschaftende Betriebe erleichtern, die Vorschriften der

novellierten DüV einzuhalten, auch wenn für diese Betriebe bei der Düngung noch weitere Kriterien relevant sind.

Arbeitspaket 2 – Datenbankdesign, Implementierung der Algorithmen und Programmierung der Benutzeroberfläche

- Entwicklung einer Softwarestruktur, die unter allen aktuellen Betriebssystemen lauffähig ist und keine Administratorenrechte erfordert (JAVA Script)
- Implementierung aller im Arbeitspaket 1 entwickelten neuen oder überarbeiteten Algorithmen
- Implementierung der Dokumentation jeder durchgeführten Düngebedarfsberechnung gemäß DüV, als Dokument zum Speichern oder Drucken (pdf-Dokument)
- Implementierung der Nährstoffbilanzierung gemäß novellierter DüV
- Implementierung des automatischen Updates von Programm und Datenbank durch Aufbau einer Internet-Verbindung mit dem Server des IGZ

Arbeitspaket 3 – Überprüfung und Verbesserung des Prototyps hinsichtlich der fachlichen Inhalte und der Usability (Benutzerfreundlichkeit der Software)

- Ein lauffähiger Prototyp, in dem die neuen Funktionen schon weitgehend enthalten sind, wird an ausgewählte Testpersonen gegeben. Als Testpersonen sind u.a. vorgesehen: die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Düngung im Freilandgemüsebau“ und die Projektpartner (Landwirtschaftskammer, Berater, Betriebsleiter) des BLE-Projekts 2810HS009 „Entwicklung eines integrierten N-Managements im Freilandgemüsebau zur Vermeidung von N-Überschüssen“. Die Testergebnisse und Verbesserungsvorschläge werden zur Verbesserung des Prototyps genutzt.

Arbeitspaket 4 (im Verlängerungsantrag Arbeitspaket 1) – Anpassung von N-Expert an den Stand der DüV vom 01.06.2017

- Einige Punkte der Düngeverordnung (DüV) vom 01.06.2017 waren noch nicht in den Entwürfen aufgeführt und wurden erst kurzfristig in den Gesetzestext übernommen. Diese waren noch nicht Bestandteil der N-Expertversion vom Juni 2017 und mussten in N-Expert implementiert werden.
- Zudem sollten Algorithmen für die Veränderungen entwickelt werden, die sich für N-Expert aus der novellierten Düngeverordnung ergeben. Ein weiterer Punkt ist die Berücksichtigung der Mustervollzugshinweise im Computerprogramm. Dazu soll

zunächst geprüft werden inwieweit eine Implementierung aufgrund von länderspezifischen Regelungen sinnvoll ist. Dafür werden Algorithmen entwickelt und die Datenbasis wird aktualisiert.

Arbeitspaket 5 (im Verlängerungsantrag Arbeitspaket 2) - Erstellung der Datengrundlage für die Stoffstrombilanz

- Ein wichtiger Punkt ist die Stoffstrombilanzverordnung, die am 14.12. 2017 zu den Düngesetzen hinzugefügt wurde. Diese Verordnung gilt für viehhaltende Betriebe bereits ab 2018. Viele gemüsebaulichen Betriebe sind aber erst ab 2023 verpflichtet eine Stoffstrombilanz zu erstellen. Der Gemüsebau weist im Vergleich zum Ackerbau einige Besonderheiten auf, die für die Dokumentation berücksichtigt werden müssen. Dazu gehört die Erfassung von Erträgen oder die Zufuhr durch Kultursubstrate.
- Für die Bewertung der Nährstoffabgabe aus den Betrieben sollte recherchiert werden, welche Gemüse- und sonstigen gartenbaulichen Kulturen nicht in Masseeinheiten gehandelt werden. Für diese musste ein Korrekturverfahren entwickelt werden, was auch die experimentelle Erhebung von Daten im Vermarktungsbereich mit einschloss. Im Rahmen der Nährstoffzufuhr sollten Basisdaten zu Jungpflanzen, Erdpresstöpfen und Saatgut erarbeitet werden. Weiter sollten mögliche Sicherheitszuschläge erfasst und in N-Expert berücksichtigt werden, da im Gemüsebau meist keine direkte Wiegung der gesamten Abfuhr erfolgt, sondern nur Mindestgewichte für Verpackungseinheiten angenommen werden.

Arbeitspaket 6 (im Verlängerungsantrag Arbeitspaket 3) - Implementierung der Stoffstrombilanz in N-Expert

- Mit Hilfe der gewonnenen Informationen sollte für die Stoffstrombilanz eine neue Datenbank entwickelt und aufgebaut werden. Zur Umsetzung der Stoffstrombilanz und Implementierung dieser in N-Expert mussten Algorithmen konzipiert werden. Dies soll dem Nutzer ermöglichen eine gemüsebaulich spezifische Stoffstrombilanz zu erstellen.

Arbeitspaket 7 (im Verlängerungsantrag Arbeitspaket 4) - Überprüfung des weiterentwickelten N-Expert

Der Prototyp mit der Stoffstrombilanz sollte hinsichtlich der fachlichen Inhalte und der Benutzerfreundlichkeit getestet und daraufhin verbessert werden. Das überarbeitete Programm und die Datenbank für die Stoffstrombilanz mussten auf dem IGZ-Server zum Herunterladen verfügbar gemacht werden.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Seit 1992 unterstützt das Computerprogramm N-Expert Landwirte und Düngungsberater bei der Ermittlung des Düngungsbedarfs von Gemüsekulturen. Da viele Kulturen im Freilandgemüsebau durch einen hohen Stickstoffbedarf verbunden mit einer kurzen Kulturzeit charakterisiert sind, müssen der Kultur zu jedem Zeitpunkt der Kulturdauer ausreichende Stickstoffmengen zur Verfügung stehen. Eine Unterschätzung des Düngerbedarfs ist mit einem erheblichen ökonomischen Risiko verbunden, da bei einigen Gemüsekulturen ein Nährstoffmangel zu nicht oder nur teilweise vermarktungsfähigen Produkten führt. Bisher wurde dem durch die Verwendung von Sicherheitszuschlägen entgegengewirkt. Da die Auflagen für die Stickstoffdüngung vor allem durch die Vorgaben zur Umsetzung der Nitratrichtlinie und Wasserrahmenrichtlinie verschärft wurden, müssen viele Betriebe ihre Stickstoffdüngung und Fruchtfolgeplanung optimieren. Im speziellen wird es mit der Novellierung der DüV durch die herkömmliche Bedarfsermittlung, z. B. durch Faustzahlen im intensiven Gemüsebau erschwert die neuen Grenzwerte einzuhalten.

Untersuchungen des IGZ und unabhängige Feldversuche der LUFA Speyer (Armbruster et al., 2006; Armbruster et al., 2008), haben gezeigt, dass durch die Nutzung des am IGZ entwickelten Düngungsberatungssystems N-Expert, Sicherheitszuschläge vermindert werden können und – im Vergleich zur praxisüblichen Düngung nach Erfahrung – Stickstoffverluste vermindert werden, ohne dass es zu Ertragseinbußen kommt. Daher ist die Software ein wirksames Instrument um die Stickstoffdüngung im konventionellen und ökologischen Gemüsebau zu optimieren.

Der Nährstoffkreislauf (**Abbildung 1**) im ökologischen Landbau unterscheidet sich vom konventionellen Landbau vor allem durch den Verzicht auf mineralische Stickstoffdünger welche künstlich (z.B. durch Haber-Bosch-Verfahren) hergestellt werden. Das bedeutet, dass ein Großteil des applizierten Stickstoffs zunächst nicht für die Kultur verfügbar ist und zunächst von der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden mineralisiert werden muss. Die Menge an Stickstoff, welcher aus organischen Düngemitteln im Jahr der Anwendung mineralisiert wird, ist sehr stark von der Herkunft und Verarbeitung des Ausgangsmaterials abhängig (Morvan and Nicolardot, 2009). Vor allem Komposte und Mist dienen primär der Verbesserung der Bodenqualität was sich in einer geringen Freisetzungsrate im Jahr widerspiegelt. Güllen, Jauchen oder organische Handelsdünger weisen dagegen eine hohe Freisetzung aus, welche teilweise mit der Stickstoffdüngewirkung von synthetischen N-Düngemitteln vergleichbar ist.

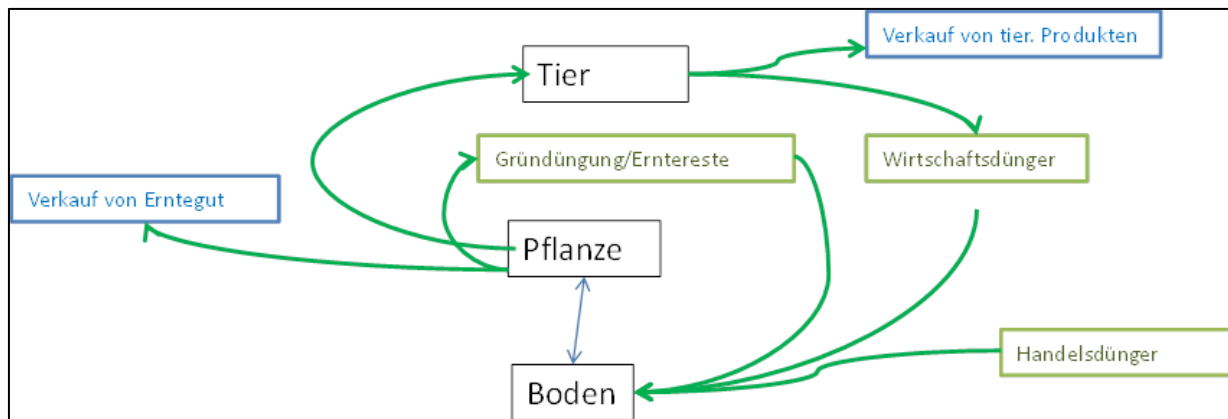


Abbildung 1. Nährstoffkreislauf im ökologischen Landbau (Gerber et al. (2012) verändert)

Ebenso wie Wirtschafts- und Handelsdünger spielen die auf den Flächen zurückgelassenen Rückstände der Ernte- und Zwischenfrüchte eine wichtige Rolle in der Düngungsbedarfsermittlung. Die Schätzung der anfallenden Mengen und die Stickstofffreisetzung nach der Einarbeitung der Rückstände ist aufgrund der großen Vielfalt von Gemüsekulturen und Zwischenfrüchten eine Herausforderung. Dies liegt auf der einen Seite an der Unsicherheit der Ertragsschätzung und auf der anderen Seite an der unterschiedlichen Abbaugeschwindigkeit und Mineralisationsrate der Kulturen. Es existieren bereits unterschiedliche Arbeiten zu den Düngereigenschaften einzelner organischer N-Quellen (Chadwick et al., 2000; Parnaudeau et al., 2006; Chen et al., 2014). Nur wenige Arbeiten bilden eine große Bandbreite von organischen Düngemitteln ab (Gutser et al., 2005).

Mit N-Expert soll es dem Anwender erleichtert werden, die Stickstofffreisetzung aus den unterschiedlichen N-Quellen zu schätzen und so die Düngung zu optimieren. Nachfolgend wird die methodische Herangehensweise zur Ermittlung von Algorithmen zur Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln, Ernterückständen und Zwischenfrüchten sowie die Implementierung der DüV und StoffBiV erläutert.

2 Material und Methoden

2.1 Literaturrecherche zur Stickstofffreisetzung organischer N-Quellen

Die Literaturrecherche erfolgte zu Versuchen welche die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln untersuchten. Dafür wurden die Internetseiten „ISI Web of Knowledge (<https://apps.webofknowledge.com>)“ und „google scholar (<https://scholar.google.com>)“ genutzt. Mit Hilfe von unterschiedlichen Abfragen konnten insgesamt mehr als tausend Quellen zusammengetragen werden. Es handelt sich dabei um englische, deutsche und spanische Quellen meist aus begutachteten Publikationen. In Anlage 1 findet sich eine tabellarische Übersicht zu den ausgewerteten Artikeln.

Unser Modell hatte zum Ziel den Verlauf der N-Mineralisierung und N-Immobilisierung möglichst detailliert zu beschreiben, weshalb hauptsächlich Inkubationsversuche ausgewertet wurden. Dies hat den Vorteil, dass unter kontrollierten Bedingungen mögliche Einflussgrößen wie zum Beispiel Starkregenereignisse, Temperaturextrema, erhöhte gasförmige Stickstoffverluste, Bodenverdichtung oder Auswaschung vernachlässigbar sind. Es wurde bereits gezeigt, dass die Stickstofffreisetzung aus Inkubationsversuchen mit denen von Feldversuchen sehr gut vergleichbar ist (Bitzer and Sims, 1988; Sistani et al., 2008).

Am Ende der Recherche wurden 120 Artikel ausgewertet welche unseren Qualitätsvorgaben entsprachen. Diese Vorgaben bezogen sich auf die zwingende Dokumentation und Analyse von organischem Kohlenstoff (C_{org}), gesamt Stickstoff (N_t) (oder organischem Stickstoff (N_{org})) und mineralischem Stickstoff (N_{min}) in den organischen Düngemitteln. Des Weiteren sollten die Inkubationstemperatur und die Feuchte im Substrat während der Inkubation beschrieben sein. Da wir einen nichtlinearen Verlauf der kumulativen Stickstofffreisetzung erwarten, sollten die Mineralisationsverläufe mindestens 4 Messpunkte und eine Inkubationszeit von mindestens 30 Tagen ausweisen. In Abbildung 2 ist die Verteilung der Messpunkte und die Inkubationsdauer dargestellt. Dabei waren in der Recherche Messungen mit einer Spanne von 4 bis maximal 13 Messung je Verlauf vorzufinden. Sechs bis sieben Messungen waren am häufigsten dokumentiert, was für die geplante Parametrisierung als „ausreichend“ eingestuft wurde. Es ist hierbei anzumerken, dass für eine optimale Parametrisierung einer nichtlinearen Funktion vor allem die Auflösungen zu Zeiträumen besonders hoher Raten entscheidend ist. Dies war vor allem in Publikationen mit vielen unterschiedlichen organischen Düngemitteln aber gleichen Versuchsbedingungen nicht immer der Fall.

In der Mehrheit der Studien betrug die Inkubationsdauer mehr als 50 Tage und war somit sehr gut für unsere Untersuchung geeignet (Abbildung 3). Die optimale Dauer für eine adäquate Darstellung von Stickstofffreisetzungsverläufen richtet sich nach den Düngemiteleigenschaften (schnelle oder langsame Freisetzung), der Durchschnittstemperatur und nach der Kultur für welche das organische Düngemittel in der gartenbaulichen Praxis verwendet wird. In der Anlage 2 " sind die bibliografischen Angaben der ausgewerteten Studien und die aus den Studien extrahierten Daten aufgeführt.

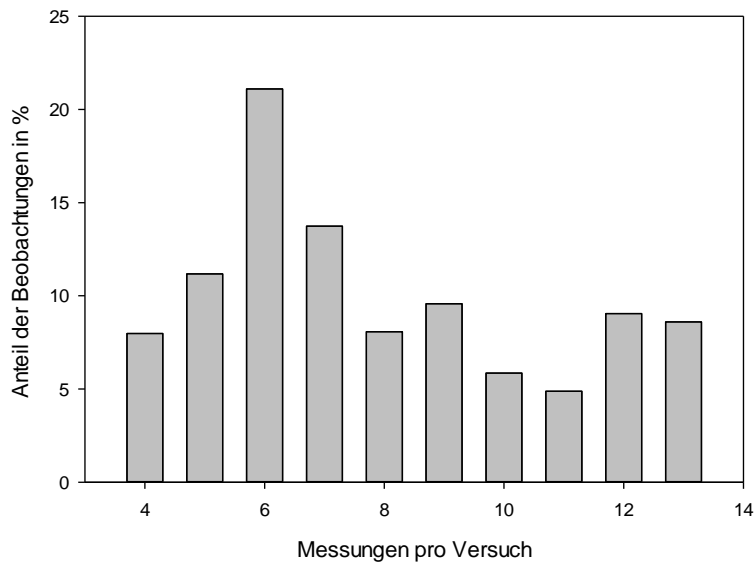


Abbildung 2. Messpunkte während der Inkubation und ihr Anteil an Gesamtstickprobenumfang

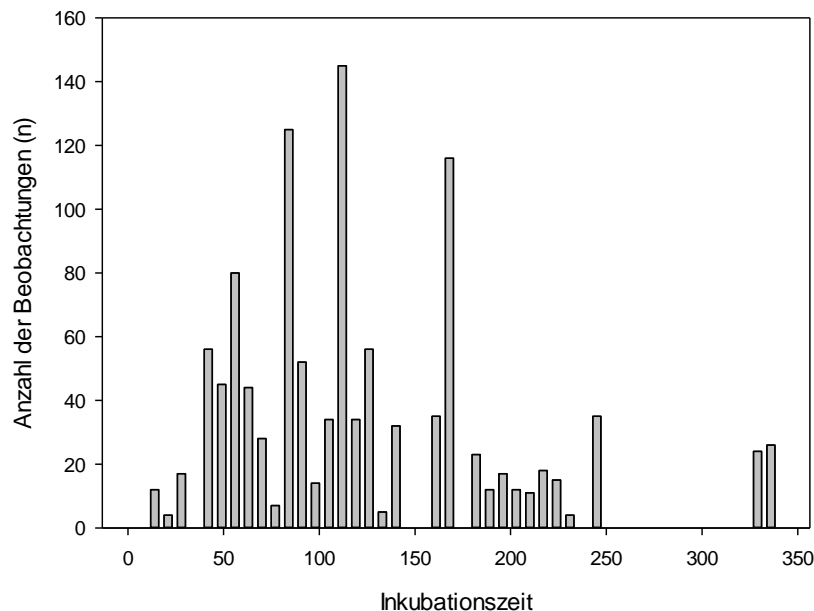


Abbildung 3. Gesamtinkubationszeit in den Publikationen und ihre Häufigkeit im Gesamtstickprobenumfang

2.2 Auswertung der Recherche zu organischen Düngern

Zunächst wurden die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Voraussetzungen geprüft. Danach erfolgte die Erfassung der Versuchsparameter des organischen Düngemittels: N_t , gesamt Kohlenstoff (C_t), organischer Kohlenstoff (C_{org}), Nitrat-Stickstoff (NO_3-N), Ammonium-Stickstoff (NH_4-N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg). Teilweise fehlten Werte für die Nährstoffe P, K und Mg, was aber für die Darstellung der Stickstofffreisetzung vernachlässigbar ist. Bei der Erfassung des Substrats welches für die Inkubationsversuche verwendet wurde handelt es sich hauptsächlich um Boden, welcher hinsichtlich der Textur, C_t , N_t , N_{min} , pH-Wert und Feuchtigkeit (bezogen auf die maximale Wasserhaltekapazität oder Feldkapazität) beschrieben wurde. Teilweise war die Datenlage nicht ausreichend um alle gewünschten Parameter zu erfassen, so dass sich die Beschreibung des Bodens in einigen Fällen allein auf die Textur und Feuchte bezog. Der Einfluss der Bodenart auf die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln kann unter Umständen sehr groß sein. Doch wurden diese Einflüsse in Versuchen mit Substraten nachgewiesen, welche bezogen auf den Boden pH und der Bodenart für gartenbauliche Nutzung untypisch sind. In unserer Auswertung konnten daher keine Effekte der Bodenart auf die Stickstofffreisetzung im Jahr der Anwendung gezeigt werden.

Für die Beschreibung der Experimente wurden auch die Applikationsmengen an Düngemittel-N, die Inkubationstemperatur, die Anzahl an Wiederholungen und das Volumen des Substrat-Düngemittelgemisches erfasst. Wie auch für die Charakterisierung des Substrats war die Datenlage hier teilweise als ungenügend zu beurteilen, was eine lückenlose Erfassung nicht möglich machte.

Das Alter und der Umfang der Publikationen erschwerte ein direktes Abfragen der Rohdaten. Deshalb wurde innerhalb der Software „R“ auf das Packet „pixmap“ zurückgegriffen um die Stickstoffmineralisierung und Immobilisierung zu dokumentieren. Diese Anwendung machte es möglich, Diagramme aus unterschiedlichen Formaten zu digitalisieren. Somit war ein genaues Auslesen von Werten aus den Abbildungen in den Artikeln möglich.

Die Beschreibung der in den Versuchen verwendeten organischen Düngemittel und Substrate sowie eine Versuchsbeschreibung wurden in einer Datenbank zusammengefasst und bildeten die Grundlage für die Auswertungen und Berechnungen. Vor der Datenauswertung wurden alle erfassten Datensätze aufgrund ihrer Eigenschaften kategorisiert. Dafür wurden unterschiedliche Kriterien festgelegt, die alle erfassten organischen Düngemittel in Haupt- und Unterkategorien einteilten. Die Hauptkategorie unterteilte die organischen Düngemittel in Wirtschaftsdünger und Handelsdünger. Wirtschaftsdünger werden in der Regel in den Betrieben bereitgestellt und umfassen alle organischen Reste aus der Tierhaltung wie Mist, Gülle oder Gründüngung. Man spricht von organischen Handelsdüngern wenn das organische Düngemittel aus Nebenprodukten der Industrie hergestellt wurde. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Reststoffe der Lebensmittelindustrie, Schlachtabfälle oder Mischungen aus unterschiedlichen Komponenten.

Wirtschafts- und Handelsdünger wurden in vier bzw. zwei Unterkategorien eingeteilt. Für die Handelsdünger sind dies Düngemittel aus pflanzlichem Ursprung und tierischem Ursprung. Wirtschaftsdünger können ferner in Mist, Gülle/Jauchen, Gründüngemittel und Komposte unterteilt werden. Hinsichtlich der Stickstofffreisetzungseigenschaften wurden die Unterkategorien in weitere Untergruppen unterteilt, welche später die Grundlage für die Modellierung der Stickstofffreisetzung bilden. In **Tabelle 1** sind diese Unterkategorien dargestellt.

Um die Vergleichbarkeit der in diesem Bericht dargestellten Funktionen mit anderen Publikationen zu verbessern, wird in den folgenden Kapiteln die maximale Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln in Prozent gesamt organisch N dargestellt.

Tabelle 1. Übersicht der festgelegten Düngemittel Kategorien und Unterkategorien für die Schätzung der Stickstofffreisetzung

Kategorie	Düngemittelbezeichnung
Handelsdüngemittel tierischen Ursprungs	
- Blut, Knochen und Fischabfälle	<ul style="list-style-type: none"> - Blutmehl - Knochen und Fleisch-Knochenmehl - Fischmehl
- Keratindünger	<ul style="list-style-type: none"> - Haarmehl - Hornmehl - Federmehl
Handelsdüngemittel pflanzlichen Ursprungs	
- Handelsmarken	<ul style="list-style-type: none"> - Biosol - Phytoperls - Maltaflor
- Vinassen	<ul style="list-style-type: none"> - Zuckerrohrvinasse - Zuckerrübensvinasse
- Leguminosenkörner	<ul style="list-style-type: none"> - Ackerbohne - Lupine - Erbse - Wicken - Soja
- Rückstände der Lebensmittelverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> - Biertreber - Schlempe - Traubenkernrückstände - Trockenschlempe - Extraktionsschrote
Wirtschaftsdünger	
Komposte	<ul style="list-style-type: none"> - Komposte aus pflanzlichen Ausgangsmaterial - Mistkomposte - Champost

Flüssigdünger	<ul style="list-style-type: none"> - Biogasgülle - Schweinegülle - Rindergülle - Abwässer
Miste	<ul style="list-style-type: none"> - Wiederkäuer-, Pferde und Schweinemist - Geflügelmist - Klärschlämme
Gründünger	<ul style="list-style-type: none"> - Gründüngung, Leguminosen - Gründüngung, Mischungen - Gründüngung, Nichtleguminosen - Gründüngung, Gemüserückstände

Die Datenbank umfasste insgesamt 1300 Datensätze zu Mineralisationsverläufen aus organischen Düngemitteln. Der für die Schätzung der Vorhersage genutzte Datensatz ist in der Excel-Mappe „N-Expert_Daten_Recherche.xls“ dargestellt. Dieser Datensatz bildete die Grundlage für unterschiedliche Modelle und Algorithmen, die in N-Expert implementiert wurden. Zur Parametrisierung der Mineralisationsverläufe wurden aufgrund der Ergebnisse der Modellparametrisierung einzelne Verläufe ausgeschlossen. Dies beinhaltete Verläufe, die mögliche Umwelteffekte wie Trockenstress oder Temperaturextrema behandelten. Zudem wurden ausschließlich Inkubationsstudien berücksichtigt. Nicht betrachtet wurden ebenso Studien mit weniger als 3 Messpunkten aus dem Raster. Um zudem untypische Versuchsbedingungen auszuschließen wurden Studien ohne adequate Informationen zur Qualität der organischen Substanz, Bodenart/typ oder zum Design des Experimentes ausgenommen. Falls keine ungedüngte Kontrolle vorhanden war wurde die Quelle ebenfalls ausgeschlossen. Einige wenige Studien wiesen Mineralisationskurven aus die stark vom erwarteten Verlauf abwichen, diese wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

2.3 Modell zur Vorhersage der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln

Es existieren in der Fachliteratur unterschiedliche Ansätze, die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln durch mathematische Funktionen darzustellen. In der Regel folgen die Funktionen einem exponentiellen Verlauf und werden mittels einfacher oder doppelt

exponentieller Funktion, eines hyperbolischen Modells oder parabelförmigen Modells beschrieben (Gil et al., 2011). Es wurde gezeigt, dass der Fehler der Vorhersage der Stickstoffmineralisierung bei Anwendung des einfachen linearen Modells für das erste Jahr nach der Applikation organischer Düngemittel am besten geeignet ist (Cordovil et al., 2005; Gil et al., 2011). Somit erfolgte die Parametrisierung der Stickstofffreisetzung für die erhobenen Datensätze mittels folgender Gleichung:

$$f(x) = N_A(1 - e^{(-k \cdot t \cdot w(T))})$$

Wobei N_a die maximale Stickstofffreisetzung aus dem N_{org} des verwendeten Düngemittels im Jahr der Anwendung pro Zeiteinheit (t) beschreibt. Die Mineralisationsratenkonstante (k) ist ein Maß für die Geschwindigkeit der Stickstofffreisetzung. Da der mikrobielle Abbau von organischer Substanz vor allem von der Temperatur abhängig ist, wurde in unserem Modell der Temperatureffekt $w(T)$ durch folgende Gleichung berücksichtigt:

$$w(T) = \frac{(T - T_{min})^{q(T)} \cdot (T_{max} - T)}{(T_{opt} - T_{min})^{q(T)} \cdot (T_{max} - T_{opt})}$$

$$q(T) = \frac{(T_{opt} - T_{min})}{(T_{max} - T_{opt})}$$

Für die Schätzung des Temperatureffekts wurde für die minimale Temperatur (T_{min}) ein Wert von -5 °C angenommen. Danach folgt ein fast konstanter Anstieg bis zu einem $T_{opt} = 40^\circ\text{C}$ gefolgt von einem starken Absinken bis zu $T_{max} = 54^\circ\text{C}$ (Abbildung 4). Abbildung 5 zeigt einen typischen Verlauf der N-Mineralisierung unter Anwendung der beschriebenen Gleichung. Es ist hier anzumerken, dass in Mitteleuropa die täglichen Durchschnittstemperaturen selten 30°C übersteigen, somit ist der Temperaturbereich zwischen 30°C - 50°C meist nur ein theoretisches Szenario.

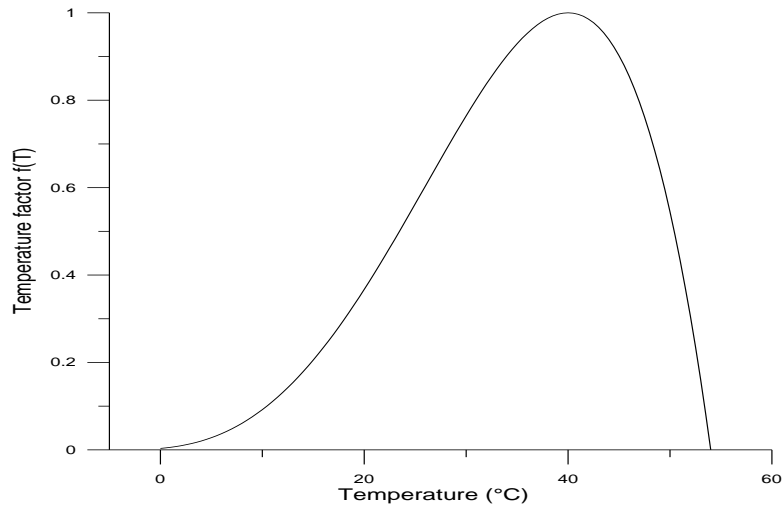


Abbildung 4. Übersicht des Koeffizienten zur Temperaturanpassung im Vergleich zur Bodentemperatur (°C)

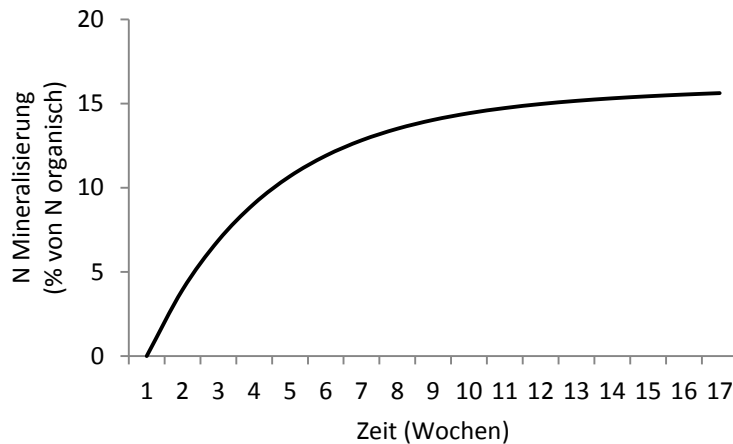


Abbildung 5. Verlauf einer einfachen exponentiellen Funktion der N-Mineralisierung

Die erfassten Mineralisationsverläufe wurden mittels der einfachen exponentiellen Funktion mit Hilfe von Excel-Solver und eines „Loop-Makros“ parametrisiert. Als Vorgabe wurde eine minimale Summe des mittleren quadratischen Fehlers gesetzt. Abbildung 6 zeigt die Parametrisierung anhand von acht typischen Mineralisations- oder Immobilisierungsverläufen.

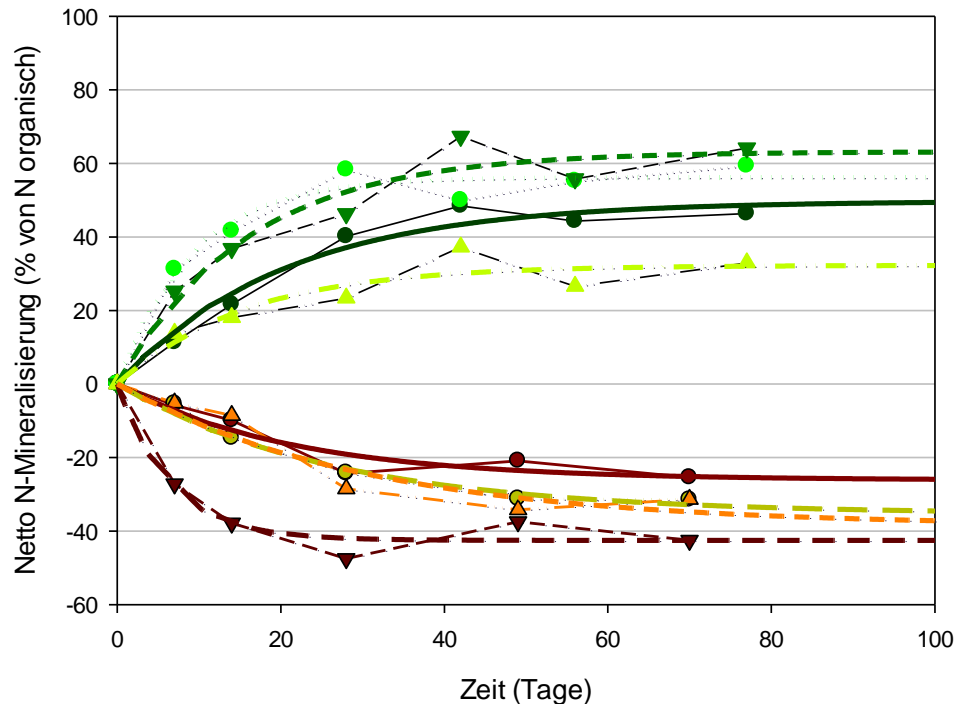


Abbildung 6. Typische Verläufe der Stickstoffmineralisierung oder – immobilisierung und für eine Düngemittelauswahl im Jahr der Andendung. Es sind für jede Beobachtung die Messdaten und die bestimmten Kurvenverläufe dargestellt

2.4 Berücksichtigung von Bodentemperaturen für die N-Mineralisierung

Durch die Temperaturanpassung ist es nun in N-Expert möglich, die durchschnittlichen Bodentemperaturen an unterschiedlichen Standorten im Modell zu berücksichtigen. Der Deutsche Wetterdienst stellt auf seinem Server:

aktuelle und langfristige Beobachtungen der Bodentemperatur zur Verfügung. Die Werte beziehen sich auf das gesamte Messnetz des Deutschen Wetterdienstes, was eine gute Abdeckung für ganz Deutschland darstellt (Abbildung 7). Für die Berechnung der Bodentemperaturen verwendet der Deutsche Wetterdienst meist ein Modell, da die Bodentemperaturen in der Regel nicht an jedem Standort gemessen werden können. Alle im Modell berechneten Werte durchlaufen aber eine indirekte Qualitätskontrolle, indem sie überprüft und durch den Deutschen Wetterdienst an externe Kunden abgegeben werden. In Abbildung 8 sind exemplarisch wöchentliche Temperaturmittelwerte für eine Auswahl an Wetterstationen zusammengetragen.



von

24

genauere Vorhersage der Düngewirkung aus der sich im Boden befindlichen organischen Substanz zu späteren Düngezeitpunkten (Humus des Bodens, organische Dünger oder Zwischenfrüchte/Ernterückstände). Der Effekt der Vorhersage des Düngebedarfs wird zukünftig noch evaluiert werden.

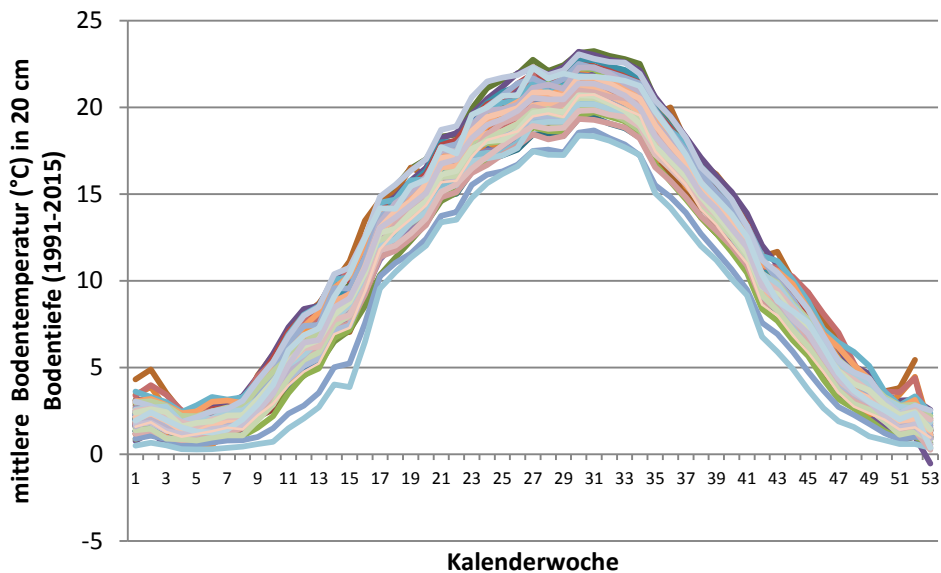


Abbildung 8 Mittlere wöchentliche Bodentemperaturen von 1991-2015 in 20 cm Bodentiefe unterschiedlicher Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (Auswahl)

2.5 Zusammenfassung des Modellansatzes für die N-Freisetzung aus organischen Düngern

Im Vergleich zu älteren Versionen von N-Expert beruht der jetzige Modellierungsansatz für organische Düngemittel, Ernterückstände und Zwischenfrüchte auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und gibt dem Anwender die Möglichkeit, standortspezifische Bodentemperaturen zu berücksichtigen. Der gewählte Algorithmus wird auch für die Auswertung der Recherche und die darauffolgende Parametrisierung genutzt. Er bildet damit die Grundlage für die Bestimmung der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten in N-Expert.

Die Nutzung eines eingliedrigen exponentiellen Modells verbessert die Robustheit der Vorhersage im Jahr der Anwendung des Düngemittels (Gil et al., 2011). Auf Grundlage des gewählten Algorithmus und der Literaturrecherche erfolgte nun eine Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischen Stickstoffquellen in Abhängigkeit von der

Düngemittelqualität. Die folgenden Kapitel beschreiben das Vorgehen zur Schätzung der Netto N-Mineralisierung (N_a) und der Mineralisationsratenkonstanten (k) für jede Düngemittelkategorie, Ernterückstände und Zwischenfrüchte in N-Expert.

2.6 Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln

Organische Düngemittel umfassen eine große Bandbreite unterschiedlicher Produkte aus der Tierproduktion, der Lebensmittelherstellung, der Lebensmittelverarbeitung und werden auf den Flächen der Land- und Gartenbaubetriebe als Gründüngungsmittel angebaut. Sie sind im Gegensatz zu synthetischen Düngern, die meist im konventionellen Landbau eingesetzt werden, meist durch eine heterogene Zusammensetzung gekennzeichnet. Ihre Ausgangsstoffe bestehen aus natürlichen organischen Verbindungen wie Eiweißen, Lignin, Hemicellulose oder polyphenolischen Verbindungen, welche innerhalb einer Düngemittelgruppe stark in ihrer Zusammensetzung schwanken können (Morvan et al., 2006; Morvan and Nicolardot, 2009)). Dies hat große Auswirkungen auf die Mineralisierungs- und Immobilisierungseigenschaften der Düngestoffe. Bei einer Immobilisierung kommt es unter N-Limitierung und gleichzeitigem C-Angebot zu einer Festlegung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs in die mikrobielle Biomasse des Bodens. Es wurde in vielen Publikationen bereits gezeigt, dass z. B. neben dem Lignin- und Polyphenolgehalt das C/N Verhältnis der Haupteinflussfaktor auf die Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln ist (Chadwick et al., 2000; Webb et al., 2013; Chen et al., 2014; Marschner et al., 2015). Dabei kommt es meist bis zu einem C/N Verhältnis von 15 zu einer Mineralisierung von pflanzenverfügbarem Stickstoff und ab einem C/N Verhältnis von 25 (bis 44) zu einer Immobilisierung in die mikrobielle Biomasse des Bodens. Das Ausmaß der Mineralisierung und auch Immobilisierung ist maßgeblich von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials des Düngemittels abhängig. So konnte Morvan et al. (2006) durch eine Typisierung von organischen Düngemitteln ähnliche Freisetzungseigenschaften innerhalb der erstellten Klassen darstellen.

In der gartenbaulichen und landwirtschaftlichen Praxis stehen dem Anwender meist nur wenige Daten zur qualitativen Beschreibung des angewendeten organischen Düngemittels zur Verfügung. Bezogen auf die Zusammensetzung werden meist nur Informationen zum Stickstoffgehalt (N_t), mineralischen Stickstoff (N_{min}) und die pflanzenverfügbaren Gehalte an Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) angegeben. Auch stehen die Informationen zum Gehalt an organischer Substanz oder dem gesamten und organischen Kohlenstoff (C_t oder C_{org})

zur Verfügung. Daraus ist es möglich, das C/N_{org} Verhältnis für die eingesetzte organische Stickstoffquelle zu bestimmen. Der Lignin-, Hemicellulose- oder Polyphenolgehalt wird nur in Ausnahmefällen bereitgestellt und kann daher nicht für die Schätzung der Düngungseigenschaften von organischen Düngemitteln herangezogen werden. Somit könnte sich für die Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischen Stickstoffquellen für jede Düngemittelkategorie das C/N_{org} -Verhältnis als relevanter Vorhersageparameter erweisen. Im folgenden Kapitel wird der Effekt der Stickstoffmineralisierung aus organischen Düngern welche für die Studie herangezogen wurden statistisch untersucht.

2.6.1 Statistik zum Einfluss der relevanten Größen auf die N-Mineralisierung

Die gesammelten Daten wurden mittels einer schrittweisen Linearen Regession durch die Software SigmaPlot ausgewertet (**Tabelle 2**). Daraus ergab sich, dass das C/N_{org} -Verhältnis den größten Einfluß auf die Vorhersage der N-Mineralisierung hat, während das C/N-Verhältnis erst im 2. Schritt der schrittweisen Regression berücksichtigt wird. Alle anderen Parameter wie die Bodenfeuchte, die Bodenart oder der organische Stickstoff im Düngemittel haben gegenüber dem C/N_{org} eine geringere Relevanz (**Tabelle 2**). Dies verdeutlicht, dass für die Vorhersage der Stickstoffmineralisierung primär das C/N_{org} ($R^2=0.40$) und weniger das C/N-Verhältnis von Bedeutung ist.

Tabelle 2: Ergebnisse der schrittweisen Linearen Regressionsanalyse für den Einfluss auf die Netto-N Mineralisierung (N_a)

		Koeffizient	Standardisierte Koeffizienten	std. Fehler	F	P
Schritt 1	Konstante	35.103		2.29		
	C/Norg	-1.154	-0.64	0.0498	537.434	<0.001
Schritt 2	Konstante	38.407		1.938		
	C/Norg	-4.343	-2.408	0.183	560.357	<0.001
	C/N	3.388	1.817	0.19	318.864	<0.001
Schritt 3	Konstante	21.648		2.979		
	C/Norg	-4.12	-2.285	0.18	522.042	<0.001
	C/N	3.256	1.746	0.185	310.931	<0.001
	organisches N	0.365	0.173	0.0504	52.449	<0.001
Schritt 4	Konstante	14.937		3.416		
	C/Norg	-4.108	-2.278	0.179	528.39	<0.001
	C/N	3.242	1.739	0.183	313.924	<0.001
	organisches N	0.329	0.156	0.0508	41.923	<0.001
	Bodenfeuchte	0.15	0.0888	0.0385	15.252	<0.001
Schritt 5	Konstante	17.116		3.474		
	C/Norg	-3.969	-2.201	0.184	467.176	<0.001
	C/N	3.086	1.655	0.189	266.012	<0.001
	organisches N	0.317	0.15	0.0507	39.012	<0.001
	Bodenfeuchte	0.154	0.0912	0.0383	16.238	<0.001
	Nmin im Dünger	-0.359	-0.07	0.119	9.098	0.003
Schritt 6	Konstante	5.704		5.727		
	C/Norg	-3.969	-2.201	0.183	470.217	<0.001
	C/N	3.061	1.641	0.189	262.7	<0.001
	organisches N	0.256	0.121	0.0561	20.91	<0.001
	Bodenfeuchte	0.143	0.0846	0.0384	13.891	<0.001
	Nmin im Dünger	-0.409	-0.0797	0.12	11.552	<0.001
	organischer Kohlenstoff	0.0404	0.063	0.0161	6.257	0.013

Die Mineralisationsratenkonstante (k) ist nach der Anpassung der Temperatur immer noch von der Inkubationstemperatur abhängig (Tabelle 3). Eine Korrektur der Temperatur hat einen deutlich geringeren Effekt auf das Modell, was positiv ist. Der Temperatureffekt auf den angepassten k -Wert ist aber mit einem R^2 von 0.295 als eher gering einzuschätzen. Parameter wie die Bodenart oder das C/N_{org} , C/N -Verhältnis oder der N-Gehalt haben hier keinen signifikanten Einfluss auf k . Daraus folgt, dass bis auf die Temperatur die vorhandenen Parameter nur einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Mineralisation aufweisen.

Tabelle 3: Ergebnisse der schrittweisen Linearen Regressionsanalyse für den Einfluss auf die Mineralisationsratenkonstante (k)

		Koeffizient	Standartisierte Koeffizienten	std. Fehler	F	P
Schritt 1	Konstante	1.764		0.107		
	Inkubationstemperatur	-0.0543	-0.4	0.00479	128.189	<0.001
Schritt 2	Konstante	3.928		0.215		
	Inkubationstemperatur	-0.341	-2.515	0.0257	175.791	<0.001
	Angepasste Temperatur	8.885	2.146	0.785	128.031	<0.001
Schritt 3	Konstante	4.147		0.225		
	Inkubationstemperatur	-0.358	-2.644	0.0262	187.41	<0.001
	Angepasste Temperatur	9.484	2.291	0.804	139.012	<0.001
	Bodenfeuchte	-0.00203	-0.103	0.000661	9.42	0.002
Schritt 4	Konstante	4.1		0.225		
	Inkubationstemperatur	-0.355	-2.619	0.0261	185.602	<0.001
	Angepasste Temperatur	9.34	2.256	0.801	135.852	<0.001
	Bodenfeuchte	-0.00198	-0.1	0.000658	9.097	0.003
	Nmin Gehalt im Dünger	0.0104	0.0948	0.00352	8.651	0.003

2.6.2 Modell zur Schätzung von N_a in organischen Düngemitteln

Alle in der Literaturrecherche extrahierten Mineralisationsverläufe wurden wie in Kapitel 2.3 beschrieben mittels einer einfachen exponentiellen Funktion parametrisiert. Da aus unterschiedlichen Gründen nicht alle Funktionen diesem Verlauf folgen, konnte ein Teil der ermittelten Werte für N_a und k nicht für die weiteren Analysen genutzt werden. Ein N_a von $<1 \text{ kg kg}^{-1}$ oder $>-5 \text{ kg kg}^{-1}$ oder ein $k > 10$ sind zum Beispiel als unrealistisch einzustufen. Diese Daten wurden für die weitere Analyse nicht weiter betrachtet.

Vor dem Hintergrund der statistischen Auswertung wird für die Vorhersage von N_a das C/N_{org} -Verhältnis herangezogen. In Anlehnung an (Laber, 2002) welcher zeigte, dass die Beziehung zwischen N_a (Netto-N Mineralisierung im Jahr der Anwendung) und dem C/N Verhältnis in drei lineare Phasen eingeteilt werden kann, wurde die Parametrisierung innerhalb jeder Düngemittelkategorie mittels einer schrittweisen linearen Regression realisiert. Für diese Regression wurden folgende Gleichungen verwendet:

$$\text{Funktion1 } y = (y_1 \cdot (x_2 - x) + y_2 \cdot (x - x_1)) / (x_2 - x_1)$$

$$\text{Funktion2 } y = (y_2 \cdot (x_3 - x) + y_3 \cdot (x - x_2)) / (x_3 - x_2)$$

$$\text{Funktion3 } y = (y_3 \cdot (x_4 - x) + y_4 \cdot (x - x_3)) / (x_4 - x_3)$$

- wenn $x \leq x_1$ dann $y(x)=y_1$
- wenn $(x > x_1)$ und $(x \leq x_2)$ dann Funktion1(y)
- wenn $(x > x_2)$ und $(x \leq x_3)$ dann Funktion2(y)
- wenn $(x > x_3)$ und $(x \leq x_4)$ dann Funktion2(y)

Beim x handelt es sich um das C/N_{org} Verhältnis des organischen Düngemittels und y ist hier als N_a zu definieren. Die Parameter x_1 , x_2 , x_3 und x_4 sowie y_1 , y_2 , y_3 und y_4 geben somit die Anfangs- bzw. Endpunkte der drei linearen Funktionen an. Analog zur Parametrisierung der Mineralisationsfunktion erfolgte für jede Düngemittelkategorie eine Parametrisierung der ermittelten Werte für N_a in Bezug auf das C/N_{org} – Verhältnis der jeweiligen Düngemittel. Abbildung 9 zeigt beispielhaft einen typischen Verlauf dieser Funktion. Die schrittweise lineare Regression bildet die Grundlage für die Parametrisierung von N_a innerhalb jeder Düngemittelkategorie.

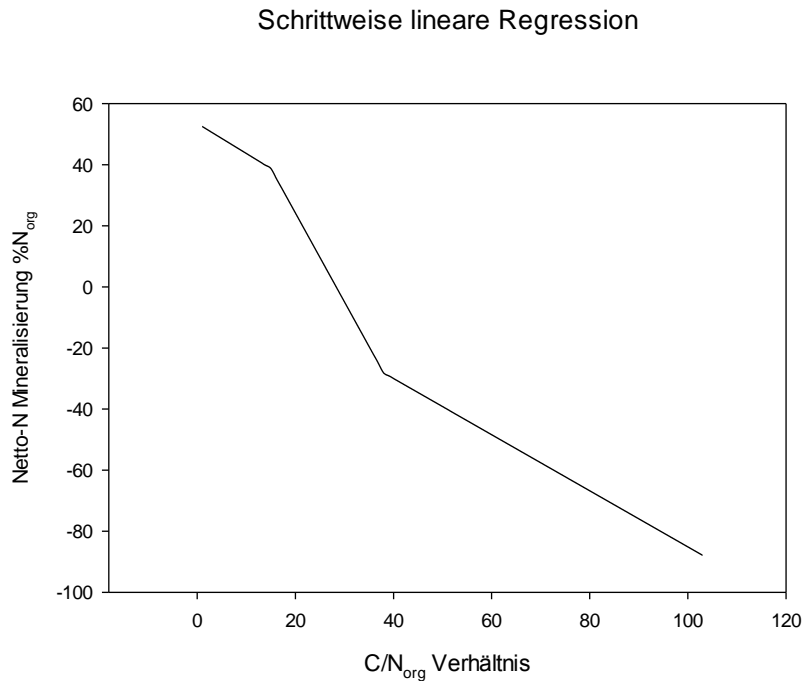


Abbildung 9. Beziehungen zwischen Netto-N Mineralisierung (N_a) und C/N_{org} Verhältnis

2.6.3 Schätzung der Mineralisationsratenkonstante (k) in organischen Düngemitteln

Die Mineralisationsratenkonstante (k) ist vor allem vom Lignin- und Polyphenolgehalt aber hauptsächlich von der Bodentemperatur abhängig. Da die Temperatur in unserem Modell bereits berücksichtigt ist und in der landwirtschaftlichen Praxis in der Regel keine Informationen zum Lignin- oder Polyphenolgehalt zur Verfügung stehen, wird der in jeder Düngemittelkategorie ermittelte Mittelwert für die Schätzung von k herangezogen. Die Mittelwerte stellen keine optimale Lösung dar, sind aber zum jetzigen Zeitpunkt der bestmögliche Weg für die Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischer Substanz.

Im Ergebnisteil wird im speziellen auf die Ermittlung von N_a und k für die einzelnen Düngemittel eingegangen.

2.7 Vorhersage der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten

Neben den Düngemitteln stellen Ernterückstände und Zwischenfrüchte eine weitere wichtige Stickstoffquelle im Gemüse- und Ackerbau dar. Zum Beispiel fallen durch die Einarbeitung von

Kohlgemüserückständen große Mengen an frischem organischem Material an, welches durch die mikrobielle Biomasse im Boden umgesetzt werden muss. Ähnliches gilt für Zwischenfrüchte, sie werden als Folgekultur oder Vorfrucht zur Verminderung von Stickstoffverlusten, zur Stickstofffixierung oder Bodenverbesserung eingesetzt. Bisher erfolgte die Beurteilung von Ernterückständen und Zwischenfrüchten in N-Expert nicht sehr detailliert. Die Vorgaben der neuen Düngeverordnung werden aber den intensiven Anbau vor neue Herausforderungen stellen. Die vorgesehene Novellierung der Düngeverordnung ab 2021 könnte die Relevanz einer Düngebedarfsplanung auf Grundlage von Zwischenfrüchten in den Fokus des intensiven Gemüsebaus rücken.

Eine bessere Vorhersage der Stickstofffreisetzung aus den organischen N-Quellen könnte somit den Düngemiteleinsatz verringern. In den folgenden Kapiteln sind die Kalkulationen und Algorithmen für die Schätzung von N_a aus Ernterückständen und Zwischenfrüchten für N-Expert erläutert. Aus Ernterückständen werden nach der Einarbeitung je nach der Qualität und dem C/N_{org} Verhältnis unterschiedliche Menge an organischem Stickstoff frei. Dieser wird wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben über einen Zeitraum von wenigen Wochen für die Folgekultur nutzbar. Es kann aber auch bei einem weiten C/N_{org} Verhältnis in den Ernterückständen zu einer Immobilisierung des mineralischen Stickstoffs im Boden kommen, was unter Umständen zu einem Stickstoffmangel in der Folgekultur führen kann. Eine Vorhersage der Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff ist daher für die Düngebedarfsermittlung von großer Wichtigkeit und ein essentieller Bestandteil der Düngebedarfsermittlung.

2.7.1 Modell zur Schätzung der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen

In der Kulturdatenbank von N-Expert wurde bisher die mittlere Zeit bis zur Freisetzung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aufgrund von Beobachtungen festgelegt. Dabei wurde weder die Bodentemperatur noch das C/N_{org} Verhältnis in den Ernterückständen berücksichtigt. Durch ein neues Modell wird es nun möglich sein die Mineralisationseigenschaften von Ernterückständen zu schätzen.

In der Datenbank von N-Expert liegen die Werte für die mittleren Aufwüchse ($Aufwuchs_{std}$), deren mittlere N-Gehalte (N_{AUF}) und die Abfuhr ($Feldabfuhr_{std}$) mit den jeweiligen mittleren N-Gehalten (N_{Ab}) vor. Daraus erfolgte die Kalkulation der N-Gehalte in den Ernterückständen (N_{ER}):

$$N_{ER} = ((N_{AUF} \times Aufwuchs_{std}) - (N_{Ab} \times Feldabfuhr_{std})) / (Aufwuchs_{std} - Feldabfuhr_{std})$$

Dies bildete die Grundlage für die Bestimmung der Freisetzungseigenschaften. Die Funktion für die „Gründüngung aus Gemüserückständen“ (siehe Kapitel 3.1.3) könnte dann für die Vorhersage von N_a genutzt werden. Um dies in N-Expert zu realisieren, musste vorher das C/N_{org} Verhältnis der Ernterückstände berechnet werden.

Zunächst wurde der Trockensubstanzgehalt der Ernterückstände aus einer bereits existierenden Datenbank berücksichtigt und der Stickstoffgehalt bezogen auf die Trockensubstanz berechnet. Die Bestimmung von organischem Kohlenstoff in Ernterückständen konnte dann aus der Beziehung zwischen C_{org} und N_t in frischem pflanzlichen Material ermittelt werden (**Abbildung 10**). Dabei wird der Fakt genutzt, dass der C_{org} Gehalt in pflanzlichem Material meist bei ca. 400 g kg⁻¹ liegt. Wie in **Abbildung 10** zu sehen, ist dieser Ansatz mit einem Fehler (RSME) von ca. 5 und einem $r=0.98$ für die Parametrisierung als sehr gut einzuschätzen. Das C/N_{org} Verhältnis in Ernterückständen ($C/N_{org(Ert)}$) kann somit aus dem N_{org} -Gehalt mit folgender Formel geschätzt werden:

$$C/N_{org(Ert)} = 389 \times (N_{Ert} - Nmin_{Ert})^{-0.991}$$

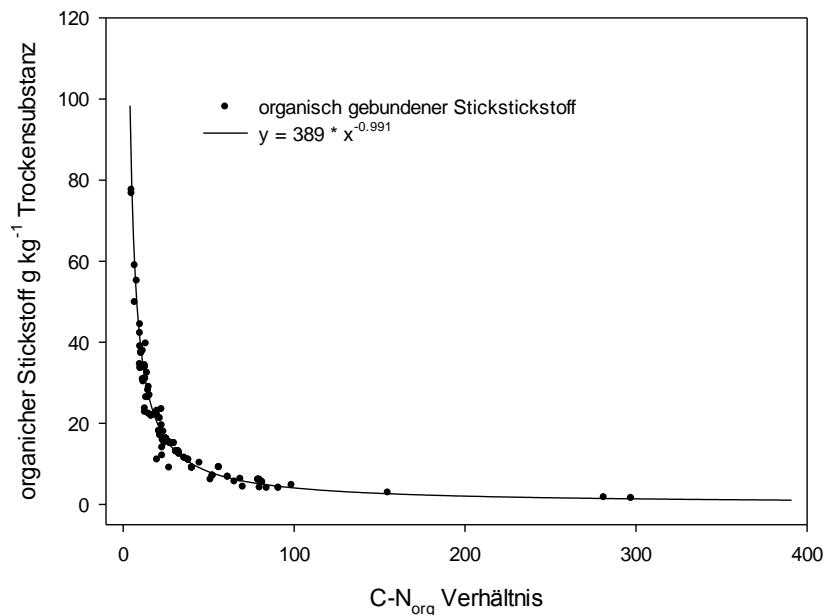


Abbildung 10. Beziehung zwischen Gehalt an organischen Stickstoff in Ernterückständen und des C/N_{org}-Verhältnis

Davor musste noch mittels einer weiteren Recherche der Gehalt an N_{min} in Ernterückständen (N_{min}_{ERT}) bestimmt werden. Einige Pflanzen besitzen hohe Gehalte an Nitrat-N im Pflanzensaft, dieses wird bei der Ernte aus den zurückgelassenen Ernterückständen freigesetzt. In unserem Modell wird dieser Anteil als N_{min} sofort dem Boden zugeführt. Die Schätzung der N-Mineralisierung erfolgt dann für das N_{org} in den Ernterückständen. Da es nur sehr wenige Publikationen zu Gehalten an Nitrat-N und Ammonium-N in Ernterückständen gibt, erfolgte eine Schätzung teilweise mit Hilfe von bekannten Gehalten des vom Feld abgefahrenen Erntegutes. Die so ermittelten Daten bildeten die Grundlage für die Schätzung der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen. In Kapitel 3.1.3 sind die durch den Berechnungsansatz ermittelten Freisetzungsraten dargestellt.

2.7.2 Erstellung einer Datenbank zu Zwischenfrüchten und deren gebräuchlichen Mischungen

Zunächst wurde für die Recherche eine große Anzahl von relevanten Zwischenfrüchten gesichtet. Es wurden Publikationen zusammengestellt, die unterschiedliche Eigenschaften von Zwischenfrüchten und Zwischenfruchtmischungen beschreiben, doch konnten nur wenige Quellen gefunden werden, die Aussagen zur Zwischenfruchtqualität in Abhängigkeit von der Kulturdauer und Nährstoffversorgung zuließen. Deshalb wurden zunächst die mittleren

Gehalte an Trockenmasse, N, P₂O₅, K, MgO, organischer Substanz, Ertrag, Erntezeitpunkt, N-fixierung, Durchwurzelungstiefe und Kulturdauer zusammengestellt.

Die sechs Quellen: (Laber, 2002; Kolbe and Köhler, 2008; Belau, 2013; Eiler and Sweers, 2014; Tribouillois et al., 2015) spiegeln die Nährstoffgehalte und Eigenschaften einer großen Anzahl von Zwischenfrüchten und Zwischenfruchtmischungen wieder und dienen als Datengrundlage für weitere Modellierungsschritte. Der Datensatz beinhaltet nach dem Erfassen ca. 70 Zwischenfrüchte. Wie aus **Tabelle 4** zu entnehmen ist, gibt es neben den einzelnen Zwischenfruchtkulturen eine große Anzahl von Mischungen. Auch variieren die Zwischenfrüchte in ihrer Nutzung. Es kann zwischen Winterzwischenfrüchten, Gründungs- und Futterzwischenfrüchten unterschieden werden.

Tabelle 4. In Datentabelle aufgenommene Zwischenfrüchte

Name	Name	Name
Ackerbohne	Klee-,Grasgemisch 30:70	Rotklee und andere Kleearten
Ackerbohne/Sommerwicke/Erbse	Klee-,Grasgemisch 50:50	Rübsen
Alexandrinerklee	Klee-,Grasgemisch 70:30	Saat-Esparssette
Äthiopischer Senf	Kolbenhirse	Saat-Hafer
Bastardweidelgras	Landsberger Gemenge	Saat-Platterbse
Bockshornklee	Leguminosen-/ Nichtleguminosen Gemenge	Sand-Hafer
Brauner Senf	Leindotter	Senf
Buchweizen	Linse	Sommerwicke
Erbsen	Lupinen	Sommerwicke/Ölrettich
Feldgras	Luzerne	Sonnenblume
Futtermöhre	Luzernegras 30:70	Sorgum
Futterwicke	Luzernegras 50:50	Steckrübe (Kohlrübe)
Garten-Senfrauke	Luzernegras 70:30	Stoppelrübe / Herstrübe
Gelber Steinklee	Markstammkohl (Futterkohl)	Sudangras
Gelbsenf	Ölrettich	Weidelgras/Inkarnatklee
Getreide (Ganzpflanze)	Perserklee	Wickroggen
Grün-/Futterroggen	Perserklee/Ölrettich	Winterroggen/Winterwicke
Gründungszwischenfrucht	Phacelia	Winterrübsen
Grünmais	Purpur-Wicke	Winterweizen/Winterwicke
Hopfenklee	Rainfarn-Phazelle	Winterwicke
Inkarnatklee	Ramtilkraut	Winterwicke/Inkarnatklee
Italienisches Weidelgras	Raps	Zottige Wicke
Klee-, Luzernegemenge	Roggen	

2.7.3 Schätzung der Stickstofffreisetzungseigenschaften von Zwischenfrüchten

Der gewählte Modellierungsansatz sollte unterschiedliche Szenarien berücksichtigen. In N-Expert kann es somit möglich sein, Zwischenfrüchte mit optimalem Erntezeitpunkt, frühem Ernte/Umbruchzeitpunkt und spätem Zeitpunkt zu berücksichtigen. Auch sollte eine schlechte Stickstoffversorgung, eine mittlere und ein guter Versorgungszustand für die 70 Zwischenfrüchte/Mischungen abgebildet werden. Die Herausforderung bestand darin, ein

möglichst genaues Modell für die unterschiedlichen Wachstumsverläufe und Eigenschaften zu erstellen.

Für die Kalkulation wurde, aufgrund der nicht optimalen Literaturdatenlage, auf das DAISY-Modell der Universität Kopenhagen zurückgegriffen (Abrahamsen and Hansen, 2000). Das DAISY-Modell wurde im Rahmen eines dänischen Forschungsprogramms zu der Belastung von Gewässern durch Einträge von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff und Phosphor, entwickelt. Das Ziel war die Entwicklung eines mathematischen Modells zur Simulation der unterschiedlichen Prozesse in der landwirtschaftlichen Produktion. Auf der Homepage der Software wird der Quelldatensatz des Modells (<https://github.com/perabrahamsen/daisy-model/tree/master/lib>) bereitgestellt, was eine Nutzung der zugrundeliegenden Parameter möglich macht. Aus dem Datensatz wurden dann die Quelldateien für Klee (wclover.dai), Gras (ryegrass.dai), Roggen (dk-rye.dai), Raps (srape.dai) und Erbse (dk-pea.dai) genutzt.

Aus den Modelldaten des DAISY –Modells konnten somit unterschiedliche Parameter extrahiert werden um generelle Aussagen zur Entwicklung der Zwischenfruchtkulturen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Stadien und Versorgungszuständen zu erlangen. Dabei bildeten die N-Gehalte für „Pt...Cnc“ in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium den optimalen Versorgungszustand ab. Eine limitierte Stickstoffversorgung stellen die Werte aus dem Datensatz der kritischen Versorgung „Cr....Cnc“ dar. Mit dieser Information ist eine Berechnung der N-Gehalte für Kulturen mit optimaler Nährstoffversorgung und Nährstoffmangel möglich. Durch Anpassung der Funktionen an die Stickstoffgehalte aus der Literrecherche für Zwischenfrüchte konnten die N-Gehalte zu jedem Kulturstadium geschätzt werden. Eine Zuordnung der Kurven erfolgte nach dem Pflanzentyp (z.B. Leguminosen zu Klee oder Erbse), dabei wurden die Mischungsverhältnisse ebenfalls berücksichtigt. Die Bestimmung der Gehalte an P, K und Mg folgten der Annahme, dass die Verhältnisse zwischen N:P, N:K und N:Mg zu jedem Entwicklungsstadium gleich sind. Diese Annahme wurde bisher nicht validiert und sollte untersucht werden.

2.7.4 Stickstofffreisetzung und Leguminose N-Bindung aus unterschiedlichen Zwischenfrüchten und Mischungen

Analog zu den Ernterückständen kann für die Zwischenfrüchte von einem C-Gehalt von ca. 400 g/kg TS ausgegangen werden. Durch Abzug eines fixen Gehaltes an mineralischem N (NH_4^+ , NO_3^-) von 4 % des Gesamt N in der Pflanze konnte für alle Zwischenfrüchte das C/N_{org} für jedes Kulturstadium und jeden Versorgungsstand berechnet werden.

In **Abbildung 11** sind alle berechneten Beziehungen zwischen Kulturstadium und C/N_{org} zusammengestellt. Das Modell zeigt, dass bei schlechtem Versorgungszustand das C/N_{org} gegenüber optimaler Versorgung erhöht wird. Dies könnte an einer beginnenden Verholzung des Pflanzenmaterials liegen, welche mit einem ansteigenden Lignin und Zellulosegehalt einhergeht. Zwischen den Kulturen konnte gezeigt werden, dass Leguminosen ein geringeres C/N_{org} als Gräser aufweisen. Dies wirkt sich somit auf die zu erwartende maximale Stickstofffreisetzung im Jahr der Anwendung aus.

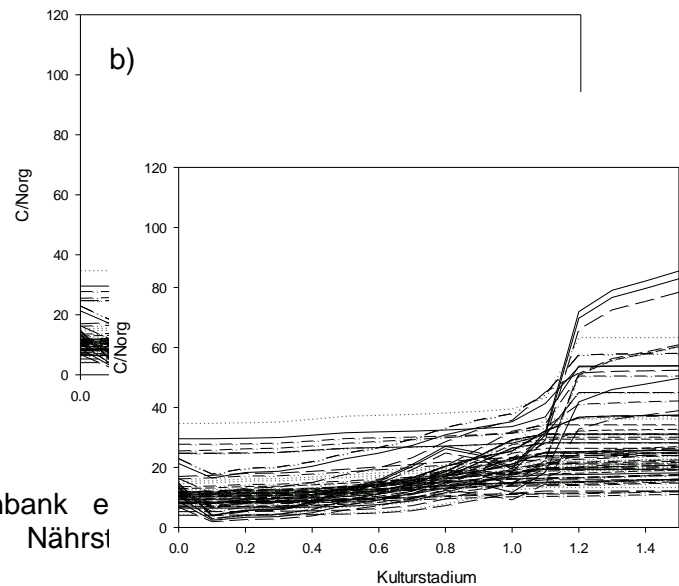
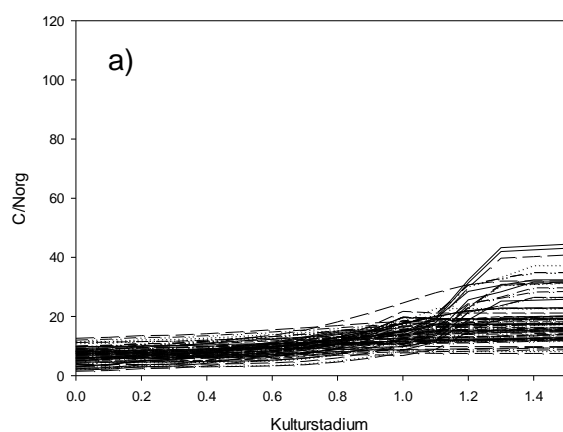
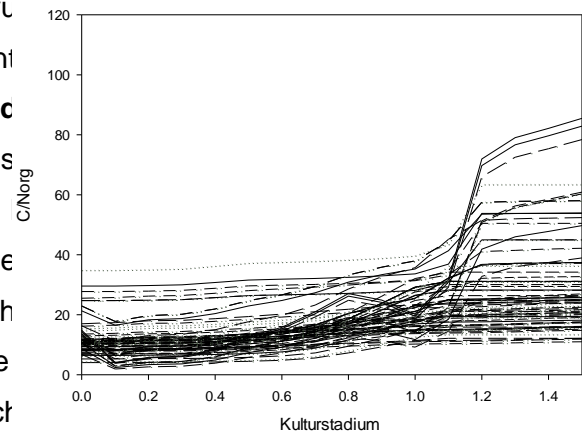


Abbildung 11. C/N_{org} der in der Datenbank e Nährstoffversorgung a) und suboptimaler Nährst (0=Keimung, 1 = Blüte).

Die Schätzung von N_a erfolgte analog zu den Ernterü Umgangs mit Mischungen wurde dabei von der Unt Nichtleguminosen Abstand genommen. Wie in **Abbilc** Funktion bis zu einem C/N_{org} von <20 Leguminos Hintergrund des Modellfehlers ist die hier genutzte nicht eindeutig zu erklären ist, weshalb Unte Nichtleguminosen parametrisiert wurden und dies nich Die Mineralisationsratenkonstante (k) wurde je Nichtleguminosen berechnet und angepasst. Je nach einer Freisetzung von N_a innerhalb von 4-10 Wochen gerechnet werden.



2.8 Implementierung der Mustervollzugshinweise in N-Expert

Am 17.05.2018 wurden die Mustervollzugshinweise (MVH-DüV) für die Umsetzung der Düngeverordnung (DüV) vom 26.05.2017 veröffentlicht. Die Vorgaben der MVH-DüV wurden auf Relevanz für die Düngungsberatung mit N-Expert geprüft und Algorithmen erarbeitet, um diese Empfehlungen in die Software einzubauen.

Dazu wurden die Hinweise evaluiert und eine mögliche Übernahme in N-Expert überprüft.

Dabei wurde der Fokus auf die Vorgaben zur Düngebedarfsermittlung und des Nährstoffvergleichs gelegt.

2.9 Recherche zur Nährstoffzufuhr in gemüsebaulichen Betrieben

Die zugeführten Nährstoffmengen an Stickstoff und Phosphor müssen von den Betriebsinhabern u.a. für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel, Kultursubstrate, Futtermittel, Leguminosen und Saatgut einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial (letzteres nur für Getreide, Mais, Kartoffeln und Körnerleguminosen) unter Heranziehung des jeweiligen Gehaltes an N und P ermittelt und auf Grundlage von Belegen (Lieferscheinen, Rechnungen usw.) dokumentiert werden (spätestens 3 Monate nach Zufuhr). Da diese Daten oft nicht vorhanden sind, oder es widersprüchliche Aussagen gibt, wurde eine Recherche zu Besonderheiten des Gemüsebaus hinsichtlich der Zufuhr von Nährstoffen in den Betrieb durchgeführt.

Für Kultursubstrate sind die Werte für N gesamt und P gesamt oft nicht verfügbar, Angaben finden sich meist nur für pflanzenverfügbares N und P. Im Gemüsebau sind Kultursubstrate in Form von Presstopferden mengenmäßig relevant, dies macht genaue Erfassung der zugeführten Mengen an Nährstoffen nötig. Für die Kultursubstrate wurden Beispielrechnungen in Abhängigkeit vom Torfgehalt durchgeführt. Für diese Berechnungen wurde nach Fiedler (2001) für Weißtorf von einem C/N Verhältnis von 65, einem C-Gehalt von 52 % und einer Dichte von 72 kg/m³ ausgegangen. Für Schwarztorf wurden ein C/N Verhältnis von 45, ein C-Gehalt von 58 % und eine Dichte von 150 kg/m³ angenommen (Fiedler, 2001). Mithilfe dieser Kalkulationen konnte für handelsübliche Anzuchtsubstrate (Presstopferden und Traysubstrate), die ausschliesslich Schwarz- und Weißtorf enthalten, eine Liste mit N Gehalten erstellt werden. Die ermittelten N Gehalte für Presstopfsubstrate wurden auf verschiedene Presstopfgrößen übertragen. Der für diese Berechnung notwendige Substratbedarf je Presstopf wurde (Koller et al., 2001) entnommen. In Abhängigkeit von der Jungpflanzenanzahl je Hektar konnte somit die Zufuhr von Stickstoff durch Presstopferden in kg N ha⁻¹ ermittelt werden.

Für handelsübliche Futtermittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel wurden Listen mit N und P Gehalten erstellt und in N-Expert übernommen. Die Daten stammen aus der Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau und den Anhängen der Stoffstrombilanzverordnung

Hinsichtlich des Saatguts einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial wurden Schätzungen vorgenommen, die die N Gehalte von Mais mit dem Saatgut relevanter gartenbaulicher Kulturen vergleichen sollten. Diese sollen zur Prüfung einer möglichen relevanten Zufuhr durch gemüsebauliches Saatgut herangezogen werden.

2.10 Recherche zur Nährstoffabgabe aus gemüsebaulichen Betrieben

Die Nährstoffgehaltswerte (N und P) für Gemüse sind im jetzigen Entwurf der Verordnung immer in Form des Gehalts je Masseinheit erfasst. Die Bestimmung der Nährstoffabgabe könnte für den Gemüsebau für Kulturen welche in Gewichtseinheiten vermarktet werden analog zum Ackerbau anhand von Belegen erfolgen. Allerdings werden im Gemüsebau meist nicht die Gewichte der Produkte direkt, sondern die Produkte in Schalen, Kisten oder Paletten vermarktet. Dabei werden in der Regel Sicherheitsmargen berücksichtigt.

Für alle übrigen Kulturen wurden Recherchen zu Vermarktungsformen, Verpackungseinheiten und Sicherheitsmargen durchgeführt. Soll bei der Kontrolle ein Abgleich mit betrieblichen Belegen erfolgen, so wird dies aus folgenden Gründen bei vielen Gemüsearten problematisch: sie werden als Stück in bestimmten Größensortierungen verkauft (Blumenkohl, Kohlrabi und Rettich), sie werden als Bund verkauft (Radieschen, Möhren) oder der Verkauf erfolgt in Verpackungseinheiten mit einer Sicherheitsmarge (Salate, Spinat).

Die nachfolgenden Untersuchungen beinhalteten auch Befragungen von Betriebsleitern, Händlern und Eichämtern und zeigten, dass es keine belegbaren Gewichtsangaben zu Gemüse welches im Stück oder Bund gehandelt wird gibt. Die Angaben von Händlern, ZMP (Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle), GfK (Gesellschaft für Konsumforschung) und Produzenten hinsichtlich relevanter Gewichte weichen oft voneinander ab.

Aus diesen Abweichungen ergab sich die Notwendigkeit des experimentellen Erhebens von Daten im Vermarktungsbereich. Ein Feldversuch wurde durchgeführt in dem an drei Terminen in fünf Supermärkten je fünf Proben von sechs gartenbaulichen Kulturen erworben wurden. Ausgewählt wurden Kulturen, bei welchen recherchierte Gewichtsangaben stark schwankten oder wenig verfügbar waren. Es wurden drei Versuchszeiträume ausgewählt, die sich jeweils über ein Zeitintervall von 3 wochen erstreckten (F = Mai-Juni, S = Juli-August, H = September-Oktober). Die Untersuchung wurde im Jahr 2018 durchgeführt und bezog sich nur auf Kulturen,

für welche es keine eindeutigen Tabellenwerte gab. Teilweise musste vom vorgesehenen Versuchsdesign abgewichen werden, da teilweise nicht alle Produkte in den Supermärkten verfügbar waren. Die Supermärkte je Kultur und Termin sind zufällig gewählt. Insgesamt wurden acht Supermärkte beprobt. Dabei handelt es sich um typische Supermarktketten. Es wurde zudem nur konventionelles Gemüse aus Deutschland beprobt. Von den Gewichten der fünf Proben einer Kultur aus einem Supermarkt an einem Termin wurde der Mittelwert bestimmt, dieser ging als ein Wert in die Auswertung ein. Daraus ergab sich ein maximaler Stichprobenumfang von $n=15$ für jede Kultur. Dieser fiel geringer aus, wenn eine Kultur zu einem Beprobungstermin nicht in fünf Supermärkten verfügbar war: Mairüben im Bund ($n=15$), Radieschen im Bund ($n=15$), Bundmöhren ($n=15$), Bundzwiebeln ($n=15$), Rettich ($n=10$), Salat ($n=7$). Die so ermittelten Angaben dienten der Entwicklung eines Systems zur Berechnung der abgegebenen Nährstoffe durch pflanzliche Erzeugnisse. Dazu wurden Pauschalgewichte für die Kulturen pro Bund bzw. Stück festgelegt. Es wurde zudem überprüft, ob es einen Effekt des Handels (Supermarktes) oder des Probenahmezeitpunktes auf die gemessenen Gewichte gibt.

Hinsichtlich der Sicherheitsmargen wurden Eichämter befragt. Leider ergab die Recherche, dass Eichämter nur Gewichte dokumentieren, sobald das Sollgewicht in den Verpackungen unterschritten wurde. Zudem treten Sicherheitsmargen nicht nur in fertig abgepackten Produkten (Flowpacks, 1 kg Beutel usw.) auf. Auch wenn beispielsweise 10 kg Kisten Kohl den Hof verlassen, wird meist ein höheres Gewicht verpackt, um das Sollgewicht nicht zu unterschreiten. Um einen Korrekturwert zu erhalten, der bei der Erstellung einer Stoffstrombilanz auf die belegbaren Gewichte angewendet werden kann, wurden Gewichtsverluste durch Austrocknung bei normaler Lagerung (Heggl, 2013) berücksichtigt.

Ergänzend wurde auch zur quantitativen Abschätzung der Sicherheitsmargen ein Feldversuch durchgeführt. Zufällig wurde in verschiedenen Supermärkten Gemüse in Verpackungen mit Sollgewichten von 125, 150, 250, 500 und 1000 g erworben, insgesamt 78 Proben. Die Abweichungen vom Sollgewicht wurden erfasst, mit den Angaben zu Gewichtsverlusten durch Austrocknung verglichen und ein Korrekturfaktor festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

In den folgenden Kapiteln wird auf die Schätzung der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln, Zwischenfrüchten und Ernterückständen eingegangen. Dieser komplexe Bereich des Gemüsebaus stellt eine Neuerung auf Grundlage von wissenschaftlich erhobenen Daten für N-Expert dar. Bisher standen für den Gemüsebau in Deutschland diese Daten nicht zur Verfügung und stellen somit eine erhebliche Verbesserung für die anwendungsorientierte Schätzung der N-Freisetzung dar. Das Kapitel ist so strukturiert, dass die in Tabelle 1 dargestellten Kategorien einzeln behandelt werden. Es werden zunächst die relevanten Kenndaten für die Stickstofffreisetzung (N_{\min} , N_t , N_{org} , C_{ges} und C/N) dargestellt. Danach folgt eine detaillierte Darstellung der Berechnung von N_a im Jahr der Anwendung sowie der Mineralisationsratenkonstante k . Danach folgen die Ergebnisse der Recherche zur Ermittlung von Gewichten von Gemüsekulturen, die nicht in Gewichtseinheiten gehandelt werden und eine Recherche zur Bestimmung von Sicherheitszuschlägen beim Handel mit Gemüse. Zunächst wird aber auf die Ermittlung der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngern eingegangen. Im letzten Teil geht es um die Datenerfassung für die Umsetzung der StoffBilV in N-Expert.

3.1.1 Handelsdünger auf pflanzlicher Basis

Zu den Handelsdüngern aus pflanzlichen Ausgangsmaterialien gehören Vinasse, Leguminosenmehle, Rückstände aus der Lebensmittelindustrie und deren Mischungen. In Tabelle 5 sind die aus der Literaturrecherche bestimmten Gehalte der Stickstofffraktionen und des Kohlenstoffs dargestellt. Die mittleren Gehalte an N_t , N_{org} und C_{org} unterscheiden sich nur wenig zwischen den vier Kategorien. Allerdings wird auch deutlich, dass der Schwankungsbereich vor allem für die Stickstoffverbindungen sehr groß sein kann. Dies spiegelt sich dann auch beim C/N_{org} -Verhältnis wieder. Im Mittel liegt dieser Wert für Vinasse und Leguminosenmehle unter zehn, was auf eine gute Freisetzung schließen lässt. Es kann aber auch bei der Zumischung von Stroh oder Spelzen zu hohen C/N_{org} -Verhältnissen in einigen Handelsdüngermischungen kommen (Verma et al., 2013).

Tabelle 5. Mittlere Gehalte an N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in organischen Handelsdüngern. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q0.05 und Q0.95 als Maß für die Spanne dargestellt

		n	N_t	N_{org}	C_{org}	C/N_{org}	N_{min}
			(g kg ⁻¹ TS)			(Verhältnis)	(% N_t)
Handelsdünger	auf	90	51	49	414	12	3.4
pflanzlicher Basis			(5 - 85)	(4 - 84)	(275 - 529)	(5.2 - 26.9)	(0 - 19.4)
Mischungen auf pflanzlicher Basis		15	49	47	338	21.4	7.1
			(4 - 149)	(3 - 120)	(75 - 521)	(2.8 - 84.2)	(0 - 20.5)
Vinasse		17	51	45	373	9.3	8.9
			(22 - 122)	(22 - 106)	(275 - 477)	(4.5 - 17.9)	(0 - 33.9)
Körnerleguminosen		37	54	54	448	8.9	0.5
			(30 - 78)	(27 - 78)	(400 - 544)	(5.6 - 16.4)	(0 - 3.3)
Rückstände aus der verarbeitenden Industrie (ohne Vinasse)		21	45	44	440	13.1	1.3
			(19 - 71)	(19 - 69)	(316 - 529)	(6.1 - 26.9)	(0 - 6.3)

Die in den Publikationen gemessenen maximalen Stickstofffreisetzungen variieren teilweise sehr stark. Dabei weisen Leguminosenmehle eine vergleichbar geringe Spanne auf, wohingegen die Handelsmischungen und Vinasse teilweise sehr starken Qualitätsunterschieden unterliegen können (Abbildung 12). Im Fall der Mischungen ist davon auszugehen, dass das C/N_{org} Verhältnis wahrscheinlich als Hauptgrund für die starke Variation ausgemacht werden kann. Bei Vinasse könnte bei einer starken Anreicherung von polyphenolischen Verbindungen die Mineralisierung reduziert sein da vor allem bei konzentrierten Vinassen Verbindungen von Polyphenolen und Eiweis entstehen können (Parnaudeau et al., 2008).

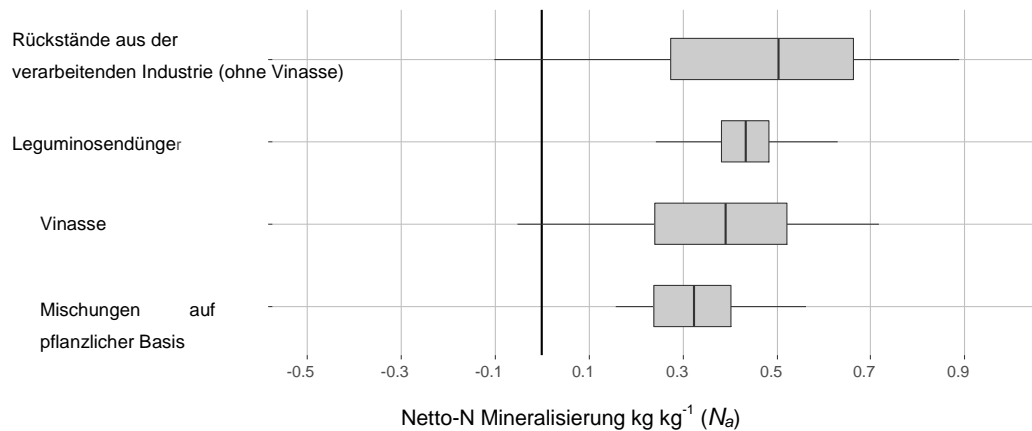


Abbildung 12. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in unterschiedlichen Düngemittelkategorien

3.1.1.1 Vinasse

Durch den umfangreichen Datensatz war es möglich für die Vorhersagefunktion von N_a für Vinasse zwischen Zuckerrohrvinasse, welche hauptsächlich in Ländern mit Zuckerrohr verarbeitender Industrie, wie Brasilien oder der USA anfällt und Zuckerrübenvinasse zu unterscheiden (Abbildung 13). Durch das meist sehr enge C/N_{org} -Verhältnis von Vinasse verbunden mit einem hohen Anteil an Eiweiß ist Vinasse eines der Düngemittel mit der höchsten N_a . Ca. 50 % des N_{org} wird bis zu einem C/N_{org} von 15 im Jahr der Anwendung frei. Mit steigendem C/N_{org} kommt es zu einer Abnahme der Stickstofffreisetzung (Abbildung 13). Da Vinasse selten ein C/N_{org} Verhältnis von kleiner 20 aufweist, wurde die schrittweise lineare Regression nur bis zu einem C/N_{org} von 25 dargestellt, wobei die dritte Funktion in der Darstellung entfällt.

Die Schätzung der Mineralisationsgeschwindigkeit erfolgte aus den mittleren Parametern für k der Literaturrecherche, da keine signifikanten Beziehungen zwischen der Qualität der Düngemittel und der Mineralisationsgeschwindigkeit gefunden werden konnten. Unsere Recherche ermittelte für beide Typen der Vinasse einen Wert von $k = 0,46$, was einer Freisetzungsgeschwindigkeit von bis zu ca. 95 % von N_a in 25 bis 30 Tagen entspricht.

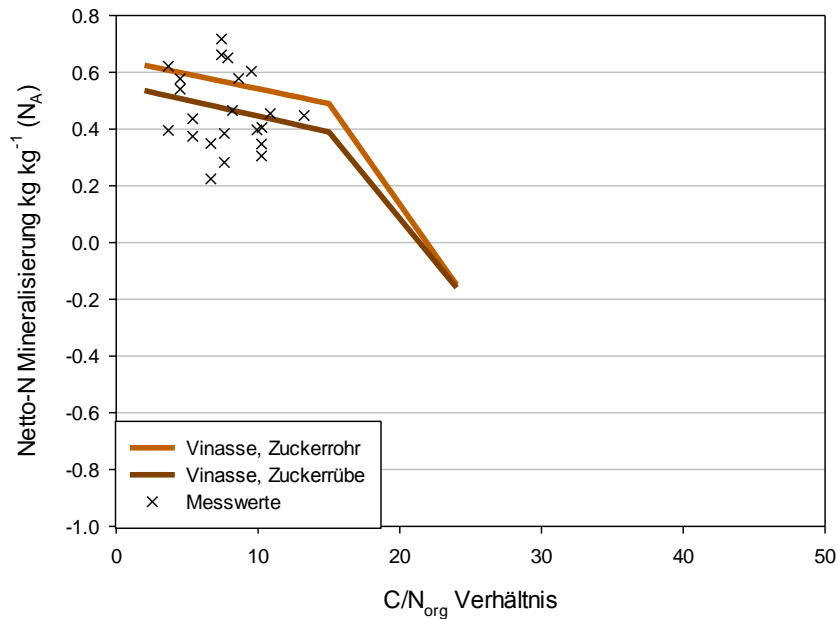


Abbildung 13. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Vinasse.

3.1.1.2 Leguminosendünger

Leguminosendünger bestehen meist ausschließlich aus Körnern der Ackerbohne, Erbse, Wicke, Lupine oder Soja. Sie werden geschrotet, als Mehl oder pelletiert angeboten. Ähnlich der Vinasse sind Leguminosendünger durch einen hohen Stickstoffgehalt und ein enges C/N_{org} Verhältnis charakterisiert (Tabelle 5). Somit sind die ermittelten Funktionen für die Vorhersage der einzelnen Leguminosendünger mit denen der Vinasse vergleichbar. Im Vergleich zu den anderen Leguminosen weicht allerdings Soja etwas vom erwarteten Verlauf ab. Dies konnte einerseits auf den etwas höheren Eiweißgehalt, andererseits auf den geringen Datenumfang der für die Parametrisierung genutzten Daten zurückzuführen sein. Da diesen Düngemitteln meist keine Zusätze hinzugefügt werden, sind Schwankungen der Nährstoffgehalte meist gering und das C/N_{org} -Verhältnis liegt meist unter 15. Dies wirkt sich auf die zu erwartende Stickstoffmineralisierung aus, welche meist bei ca. 50 % des N_{org} liegt (Abbildung 14).

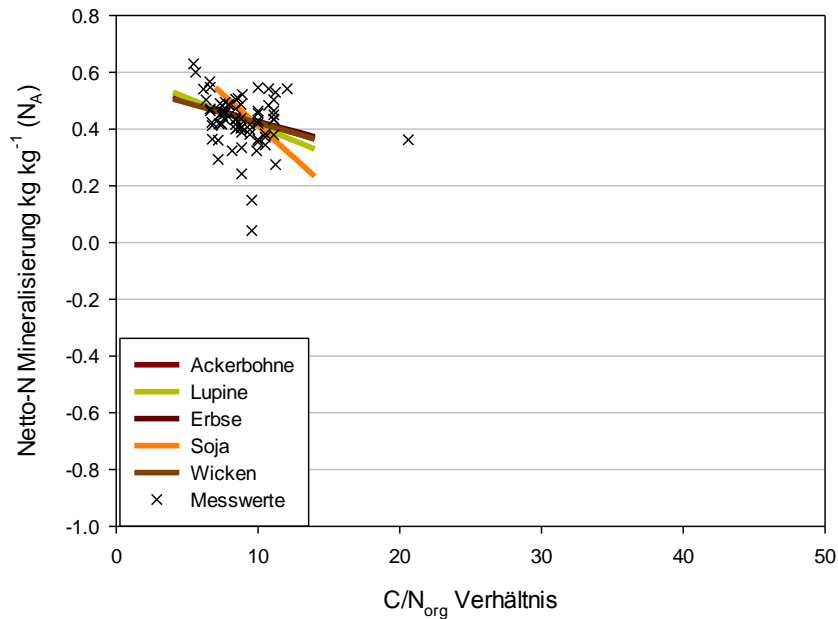


Abbildung 14. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in unterschiedlichen Körnerleguminosendüngern.

Anders als bei der Vinasse unterscheidet sich der ermittelte Wert für k der einzelnen Körnerleguminosendünger aufgrund des Ausgangsmaterials und der Behandlung. Geht man von der Literaturrecherche aus, haben die Leguminosensmehle innerhalb der organischen Düngemittel die höchsten Mineralisationsratenkonstanten. Diese nehmen aber durch das Pelletieren und das Schroten stark ab (Tabelle 6). Dabei weisen Lupinenkörnersmehle die schnellste Freisetzung auf. Sojamehl benötigt dagegen mehrere Wochen bis zum Erreichen von N_a . Es scheint, dass Körnerleguminosensmehle möglicherweise eine andere Temperaturabhängigkeit als die meisten organischen Düngemittel aufweisen, deshalb sollten die ermittelten Werte durch eine Validierung der Mineralisationsratenkonstanten (k) aus Körnerleguminosen geprüft werden. Dies könnte an den durch Züchtung reduzierten Gehalten an sekundären Inhaltsstoffen liegen. Es deutet sich in der Auswertung zwar ein Effekt der Pelletierung an, die Datengrundlage lässt hier aber keine eindeutigen Schlüsse zu. Da aber in unterschiedlichen Quellen davon ausgegangen wird, dass es durch die thermische Veränderung des Rohmaterials eine Verringerung der Mineralisationsratenkonstanten geben kann, wurde im Modell von einer Verringerung der Mineralisationsratenkonstante ausgegangen (**Tabelle 6**).

Tabelle 6. Übersicht der Mineralisationsratenkonstanten k in Abhängigkeit von der Formulierung und Verarbeitung von Körnerleguminosen

Düngemittelname	k
Ackerbohnen, Mehl	1.71
Ackerbohnen, Pellets	0.77
Ackerbohnen, Schrot	0.77
Erbsenmehl (Korn)	0.50
Erbsenschrot	0.35
Lupinen, Mehl	2.32
Lupinen, Pellets	0.86
Lupinen, Schrot	0.86
Sojabohnenmehl	0.45
Sojabohnenschrot	0.30
Wickenmehl	1.46
Wickenpellets	0.77
Wickenschrot	0.80

3.1.1.3 Rückstände aus der Lebensmittelverarbeitung

Bei der Produktion von Speiseölen oder Getränken bleiben eine Reihe von Rückständen zurück die als Düngemittel genutzt werden können. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Behandlungen während der Verarbeitung variieren die Stickstoffgehalte teilweise stark zwischen den einzelnen Düngemitteln. Die potentiell höchsten Werte für die Netto-N Mineralisierung aus organischem Stickstoff weisen laut unseres Modells Extraktionsschrote, Treber, Ölkuchen und Schlempen auf (Abbildung 15). Bei geringem C/N_{org} sind sie hinsichtlich ihres maximalen N_a mit Vinasse oder den Körnerleguminosen vergleichbar. Durch die Umwandlung von N_{org} zu Ammonium (NH_4-N) steigt das C/N_{org} in diesen Düngemitteln in der Regel an. In seltenen Fällen kann es so auch zu einer Immobilisierung des mineralischen Stickstoffs kommen. In der Regel sind diese Düngemittel aber durch ein C/N_{org} unter zehn gekennzeichnet, was eine Freisetzung vom ca. 50 % N_{org} im Jahr der Anwendung entspricht. Eine Ausnahme stellen die Rückstände aus der Weinproduktion dar. Traubenkernmehl und Traubenkernölkuchen sind durch ein weites C/N_{org} Verhältnis, bedingt durch hohe Anteile an Lignin und Polyphenolen gekennzeichnet. Dadurch kann es zu einer Stickstoffimmobilisierung kommen. Dazu ist die im Anwendungsjahr zu erwartende N_a von ca. 10 % des gesamten N_{org} als gering einzustufen.

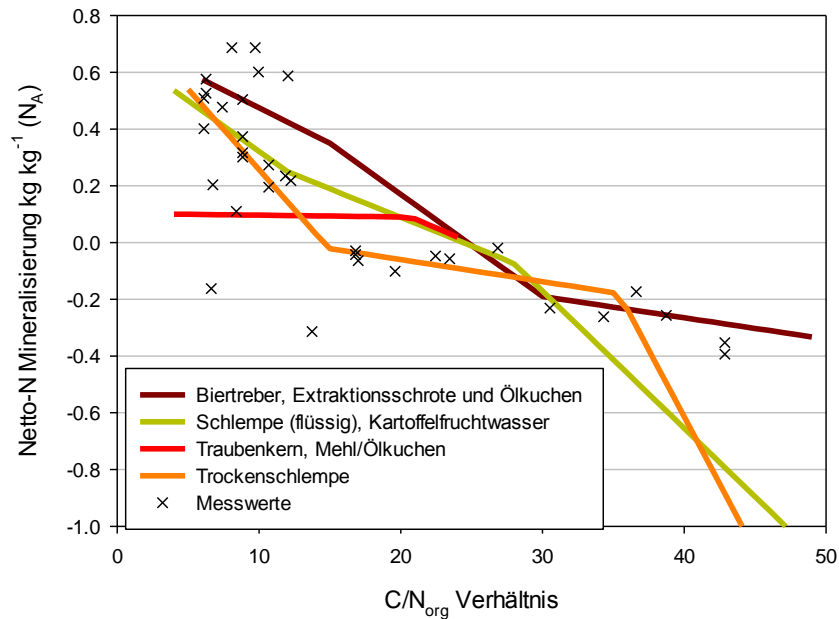


Abbildung 15. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in unterschiedlichen Rückständen aus der Lebensmittelproduktion.

Die ermittelten Werte für k sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Viele der organischen Düngemittel werden zwischen den 30 – 60 Tagen zum größten Teil (zu 95 %) freigesetzt. Eine Ausnahme bilden die Traubenkernölrückstände und Trockenschlempe, welche je nach Bodentemperatur bis zu 100 Tage zum Erreichen des N_a benötigen.

Tabelle 7. Übersicht der Mineralisationskonstante k in Abhängigkeit von der Formulierung und Verarbeitung von Rückständen aus der Lebensmittelproduktion

Düngemittelname	k
Biertreber	0.31
Kartoffelfruchtwasserkonzentrat (PPL)	0.21
Leindotter	0.34
Olivenextraktionsschrot	0.34
Rapsextraktionsschrot	0.31
Rapskuchen	0.20
Rizinusschrot	0.31
Schlempe, flüssig	0.21
Schlempe, trocken	0.14
Senfextraktionsschrot	0.31
Sojaextraktionsschrot	0.31
Sojaölkuchen	0.20
Traubenkernmehl	0.13
Traubenkernölkuchen	0.13

3.1.1.4 Mischungen auf pflanzlicher Basis

Das Angebot von Handelsdüngermischungen ist auf dem deutschen Markt sehr groß. Allerdings gibt es nur wenige Publikationen, welche die Mineralisationsverläufe einzelner Düngemittel dieser Düngemittelkategorie beschreiben. Unsere Recherche umfasste insgesamt 20 Verläufe, die die Umsetzung unterschiedlicher Düngemittelmischungen darstellten. Es zeigte sich, dass viele dieser Mischungen ein enges C/N_{org} -Verhältnis aufweisen, was auf einen hohen N_a im Jahr der Anwendung schließen lässt. Dies liegt hauptsächlich an den Hauptkomponenten der Mischungen, bei denen es sich meist um Einzeldüngemittel handelt wie sie in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurden. Mittels Parametrisierung wurde für drei Handelsdünger: Phytoperls, Biosol und Maltaflor der N_a anhand ihres C/N_{org} geschätzt (Abbildung 16). Alle drei zeigen eine ähnliche Beziehung zum C/N_{org} und unterscheiden sich nur bei höherem C/N_{org} , was sehr selten durch unsachgemäße Lagerung auftreten könnte.

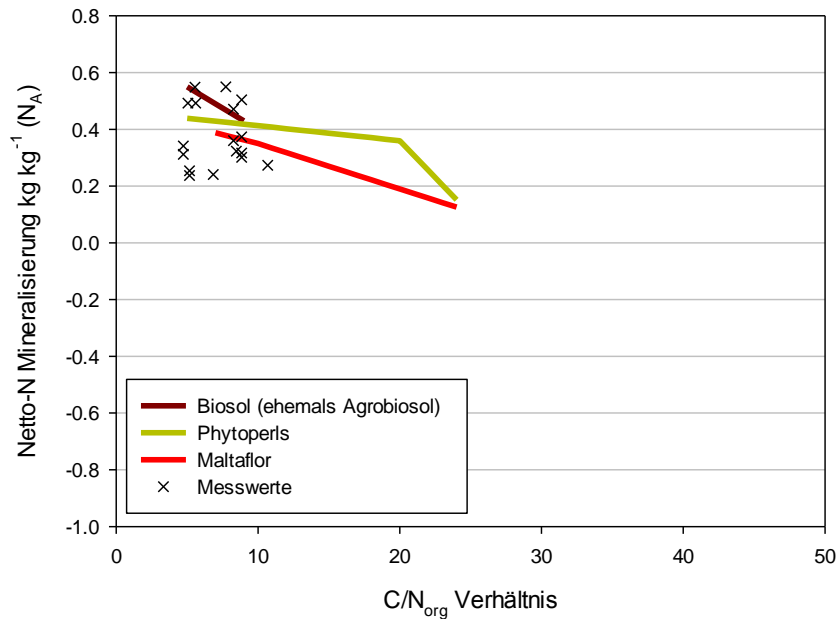


Abbildung 16. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Mischungen auf pflanzlicher Basis

Die Geschwindigkeit der Mineralisation von mineralischem Stickstoff im Jahr der Anwendung wurde für Biosol und Phytoperls mit $k = 0,43$ bzw. $k = 0,49$ bestimmt. Einen etwas höheren Wert wies Maltaflor mit $k = 0,79$ auf.

Um weitere Handelsdünger, welche z.B. in der Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau (Mäder, 2016) gelistet sind, zu beurteilen wurden die Modellparameter N_a und k für die jeweiligen Hauptkomponenten, welche in den vorherigen Kapiteln geschätzt wurden, herangezogen.

3.1.1.5 Zusammenfassung

Die organischen Düngemittel, die in der Kategorie „organische Handelsdünger pflanzlichen Ursprungs“ zusammengefasst werden können, weisen meist ähnliche Eigenschaften auf. Im Mittel kann man von einem N_a von ca. 50 % des Düngemittel- N_{org} ausgehen. Innerhalb von 1-3 Monaten wird dieser Teil des N_{org} in NH_4-N und NO_3-N umgesetzt und steht der Kultur zur Verfügung. Die meist nur geringen Unterschiede zwischen den einzelnen Düngestoffen sind hauptsächlich auf den Eiweißgehalt, Polyphenolgehalt, Ligningehalt oder die Behandlung zurückzuführen. Durch die breite Recherche wurde ein detailliertes Modell zur Stickstofffreisetzung aus pflanzlichen Handelsdüngern unter Berücksichtigung ihres C/N_{org} und der Herstellung und Verarbeitung erarbeitet. So konnten eine Vielzahl von Handelsdüngemitteln

in N-Expert implementiert werden. Nach der Auswahl der Düngemittelkategorie kann der Anwender von N-Expert, alleine durch die Angabe von N_t , N_{min} und der organischen Substanz (oder C_{org}), das angewendete Düngemittel bezüglich der Stickstofffreisetzung (N_a) bewerten.

3.1.2 Handelsdünger auf tierischer Basis

Seit der BSE-Krise am Ende des letzten Jahrhunderts finden verstärkt Produkte welche aus der Verarbeitung von Schlachtvieh stammen als Düngemittel eine Anwendung. Meist werden Haar- oder Hornprodukte eingesetzt, aber auch Blut-, Fleisch- oder Knochenprodukte dürfen unter bestimmten Bedingungen im Landbau eingesetzt werden. Diese Klasse der organischen Düngemittel ist durch hohe Gehalte an N_t und ein enges C/N_{org} Verhältnis gekennzeichnet (**Tabelle 8**). Das liegt vor allem am Keratin und anderer Eiweiße welche einen großen Anteil dieser Düngemittel ausmachen. Die ermittelten Spannen sind in der Gruppe der Keratindünger (Haar, Horn und Federmehle) sehr gering. Ein Anstieg des C/N_{org} findet man vereinzelt in kompostierten Fischabfällen doch liegt das C/N_{org} meist deutlich unter zehn. Der Anteil an sofort pflanzenverfügbarem N ist mit durchschnittlich ca. 1- 2 % als gering einzustufen.

Tabelle 8. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in organischen Handelsdüngern tierischen Ursprungs. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt.

	n	N_t	N_{org}	C_{org}	C/N_{org}	N_{min}
		(g kg ⁻¹ TS)			(Verhältnis)	(% N_t)
Handelsdünger auf pflanzlicher Basis	40	123	121	454	4.3	1.8
		(34 - 161)	(34 - 160)	(242 - 566)	(3.1 - 7)	(0 - 9.2)
Blutmehl, Fleisch, Knochenmehl, Fischmehl	14	102	101	412	5.5	1.1
		25 - 163)	(24 - 163)	(140 - 572)	(3.1 - 18.2)	(0 - 5.3)
Haar, Horn, Federmehle	26	134	131	477	3.7	2.2
		(110 - 160)	(110 - 156)	(434 - 545)	(3.1 - 4.4)	(0 - 12.2)

Keratindünger sowie Blut-, Knochen- und Fischmehl sind durch ein N_a von 40 %-60 % gekennzeichnet. Bedingt durch die geringen Spannen in den Qualitätsparametern sind ebenfalls die beobachteten Spannen für die Stickstofffreisetzung gering (**Abbildung 17**).

Abbildung 17. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Handelsdüngern tierischen Ursprungs

Handelsdünger aus Schlachtabfällen sind somit als Düngemittel mit einer hohen Netto-N Mineralisations N_a einzustufen. In den folgenden zwei Kapiteln wird im Detail auf die Vorhersage der Stickstofffreisetzung in Abhängigkeit vom C/N_{org} eingegangen.

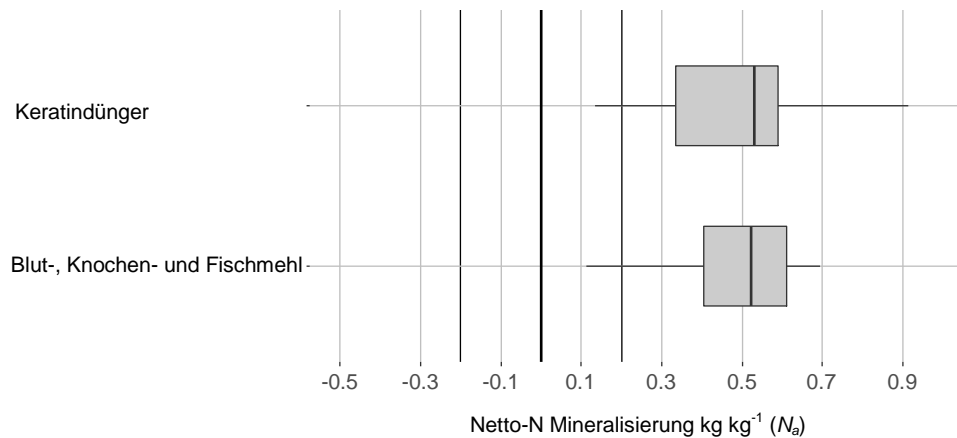


Abbildung 17. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Handelsdüngern tierischen Ursprungs

3.1.2.1 Keratindünger

In dieser Gruppe der organischen Düngemittel wird meist zwischen Haarmehl- und Hornprodukten unterschieden. Beide fallen als Nebenprodukte der Schlachtung an und finden eine breite Anwendung im ökologischen Landbau in Deutschland. Je nach Anwendungsziel werden sie als Einzeldüngemittel oder in Mischungen verwendet.

Vor der Anwendung auf dem Feld erfolgt eine Vorbehandlung in Form einer Hygienisierung und einer Aufbereitung zu Pellets, Mehl, Gries (Hornprodukte) oder Spänen (Hornprodukte). Keratindünger bestehen zum größten Teil aus dem Eiweiß, was auf eine gute Mineralisierbarkeit im Jahr der Anwendung schließen lässt. Die Parametrisierung von N_a mit dem C/N_{org} -Verhältnis zeigte, dass Haar- und Hornmehle sich in ihrer geschätzten Freisetzungsrate nicht sehr stark unterscheiden (Abbildung 18). Allerdings wiesen Federmehle etwas höhere Freisetzungsraten aus, was durch die um ca. 10 % versetzte Schätzfunktion beschrieben werden konnte.

Es ist festzuhalten, dass bei einem geringen Anteil von Verunreinigungen (C/N_{org} bis 4,5) eine maximaler N_a von 50-65 % des N_{org} zu erwarten ist. Damit haben Keratindünger eine der besten Düngewirkungen unter den Handelsdüngern und sind für den Gemüsebau sehr gut geeignet. Allerdings zeigt der Verlauf der Funktion auch, dass es bei einem Anstieg des C/N_{org} , bedingt

durch Verunreinigungen, zu einer schnellen Reduzierung der Freisetzung kommen kann (Abbildung 18).

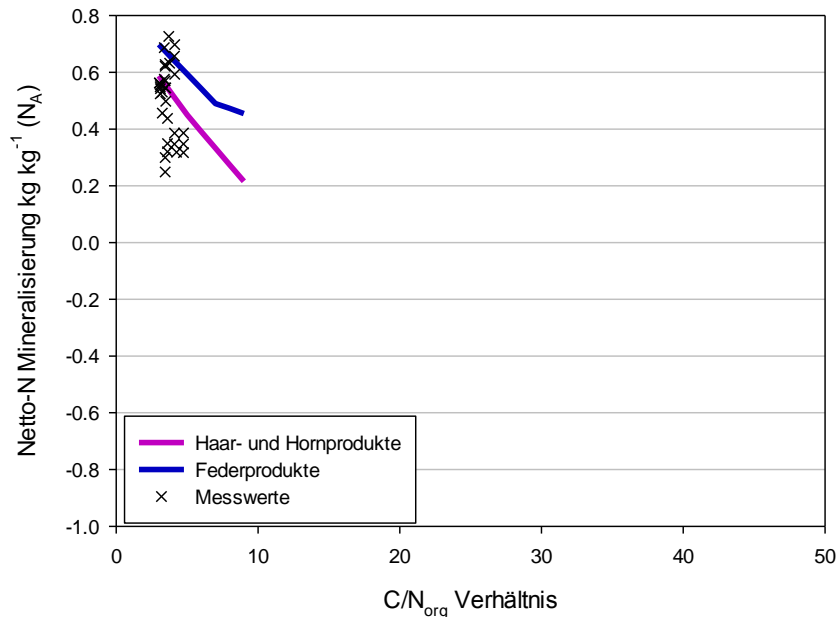


Abbildung 18. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org}-Verhältnisses in Keratindüngern

Die Mineralisationsratenkonstanten unterscheiden sich in geringem Maße zwischen den einzelnen Düngemitteln, was auf die Formulierung in Mehl ($k = 0.40-0.44$) oder Späne ($k = 0.35$) zurückzuführen ist, doch ergibt sich aus unserem Modell meist nur ein Unterschied von wenigen Tagen bis zur maximalen Freisetzung. Daraus lässt sich ableiten, dass Keratindünger im Jahr der Anwendung einen Großteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs innerhalb von ca. 20 Tagen bei 20 °C Bodentemperatur und innerhalb von 40 Tagen bei 15°C Bodentemperatur freisetzen.

3.1.2.2 Blut-, Knochen- und Fischmehl

Im Gegensatz zu den Keratindüngern werden Blut-, Knochen- und Fischdünger in Deutschland selten eingesetzt. Dies liegt auf der einen Seite an ihrer geringen Akzeptanz, welche dazu geführt hat, dass einige ökologische Anbauverbände ihre Anwendung verbieten. Auf der anderen Seite an den strengen Vorschriften für ihre Anwendung.

Wie auch die Keratindünger kann bei dieser Düngemittelkategorie mit einer sehr hohen N_a im Jahr der Anwendung gerechnet werden. Zwar konnten nur wenige Publikationen für die Parametrisierung gefunden werden doch kann eindeutig gezeigt werden, dass Fischmehl und Blutmehl bei einem geringen C/N_{org} durch eine sehr hohe Freisetzung im Jahr der Anwendung

gekennzeichnet sind (Abbildung 19). Laut unserer Recherche trifft dies nicht für die Knochenmehle zu. Die Schätzfunktion für diese organischen Dünger bezieht sich hauptsächlich auf die Publikation von Chaves et al. (2014) in welches durch unsere Parametrisierung von einem durchschnittlichen N_a im Jahr der Anwendung von 38 % zu rechnen ist (Abbildung 19). Es wird daher empfohlen, bei steigender Anwendung von Knochen- und Fleisch-Knochenprodukten die Freisetzung zu validieren.

Die Werte für k sind für Fischmehl und Blutmehl mit 0,79 und 0,55 hoch. Daraus ergibt sich, dass es bei durchschnittlichen Bodentemperaturen von 15-20 °C innerhalb von 10-30 Tagen zu einer vollständigen Freisetzung von N_a kommt. Die Freisetzungsgeschwindigkeit von Knochen- und Fleisch-Knochenmehlen ist mit einem $k = 0,22$ deutlich geringer.

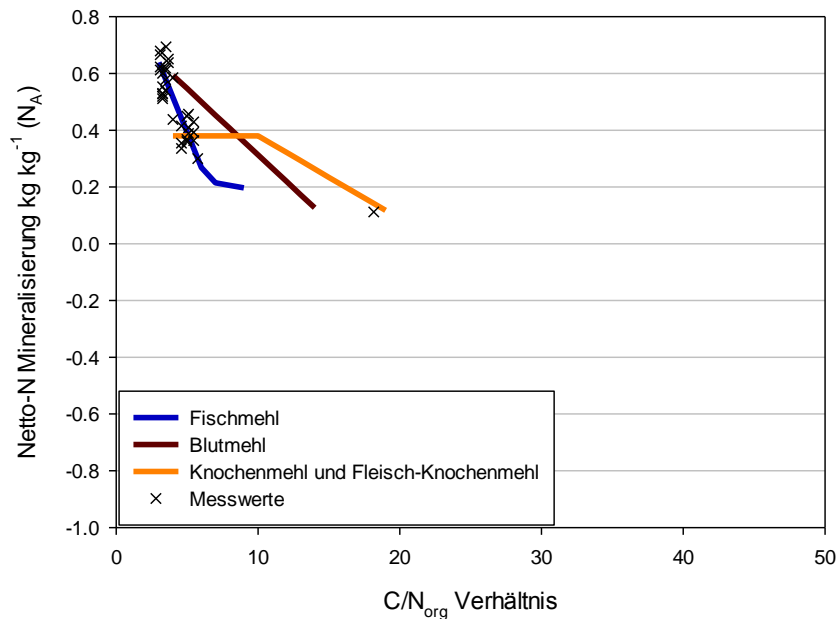


Abbildung 19. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org}-Verhältnisses in Blut-, Knochen- und Fischmehlen

3.1.2.3 Zusammenfassung

Handelsdünger auf tierischer Basis sind als Düngemittel zu beschreiben, welche durch hohe Gehalte an organischem Stickstoff und einem meist geringen C/N_{org} Verhältnis gekennzeichnet sind. Daraus ergibt sich meist ein N_a im Jahr der Anwendung von zw. 50-60 % . Wie auch in der Kategorie der organischen Handelsdünger auf pflanzlicher Basis sind die Unterschiede zwischen den Untergruppen als gering einzustufen. Mit steigendem C/N_{org} nimmt die Düngeeffizienz aber deutlich schneller ab, was wahrscheinlich durch Verunreinigungen zu

erklären ist. Die Mineralisationsratenkonstante (k) ist mit meist weniger als 30 Tagen als sehr schnell einzustufen.

Handelsdünger tierischen Ursprungs sind unter Betrachtung dieser als sehr effiziente Düngemittel zu beurteilen. Allerdings ist ihre gesellschaftliche Akzeptanz vor allem wegen der BSE-Krise teilweise schlecht. Auch sind vor einer Anwendung die Vorgaben von Anbauverbänden und des Düngegesetzes und der Düngeverordnung zu prüfen.

3.1.3 Gründüngung

Im ökologischen Landbau spielt Gründüngung aus Zwischenfrüchten eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden kann Gründüngung auch als organisches Düngemittel betrachtet werden. Durch die Einarbeitung von Rückständen einer Vor- oder Zwischenfrucht haben frische Pflanzenteile ähnliche Stickstoffmineralisationseigenschaften wie herkömmliche organische Düngemittel und können so mittels unseres Modells geschätzt werden. Sie bilden damit ein wichtiges Düngemittel im ökologischen Landbau. Die Literaturrecherche bezog sich auf eine große Anzahl von frischen pflanzlichen Rückständen. Insgesamt wurden in den erfassten Quellen 164 Gründünger beschrieben, wobei Nichtleguminosen mit 115 Beobachtungen einen Großteil ausmachten (Tabelle 9). Leguminosen und Mischungen aus Leguminosen und Nichtleguminosen stellen dagegen nur einen kleinen Anteil dar. Die Gehalte an N_{org} , N_t und das C/N_{org} weisen große Spannen aus was durch eine unterschiedliche Zusammensetzung bezüglich Lignin, Hemicellulose und Polyphenolgehalten meist in Abhängigkeit von der Kultur und dessen Entwicklungsstadium zum Zeitpunkt der Einarbeitung zu erklären ist. Leguminosen haben im Mittel einen höheren Anteil an N_{org} als Nichtleguminosen, was sich auch im C/N_{org} Verhältnis widerspiegelt (Tabelle 9). Dies könnte am Kulturstadium der Einarbeitung liegen, da zum Beispiel Stroh von Getreide zum Zeitpunkt der Einarbeitung ein deutlich weiteres C/N_{org} -Verhältnis aufweist als viele Leguminosen.

Tabelle 9. Mittlere Gehalte an N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Gründungen. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt

	n	N_t	N_{org}	C_{org}	C/N_{org}	N_{min}
		(g kg ⁻¹ TS)			(Verhältnis)	(% N_t)
Gründung	164	22	20	398	35.8	3
		(4 - 44)	(4 - 44)	(278 - 472)	(8.6 - 91)	(0 - 15.9)
Gründung, Leguminosen	36	29	28	427	18.5	2.2
		(13 - 55)	(13 - 55)	(400 - 457)	(8.2 - 36.4)	(0 - 8.8)
Gründung, Nichtleguminosen	115	19	17	390	43.3	3.6
		(4 - 46)	(4 - 43)	(262 - 480)	(7.7 - 112)	(0 - 22.2)
Gründung, Mischungen	13	26	26	383	17.8	0.1
		(11 - 38)	(11 - 38)	(337 - 443)	(9.9 - 35.9)	(0 - 0.6)

Nach der Parametrisierung aus der Literaturrecherche ergaben sich die in Abbildung 20 dargestellten Spannen von N_a . Nichtleguminosen sind dabei oft durch eine Netto-N Immobilisierung gekennzeichnet. Bei Einarbeitung von Leguminosen wurde dagegen oft eine Netto-N Mineralisierung beobachtet (Abbildung 20). Ein Grund könnte sein, dass Leguminosen auch in ihren Früchten höhere Gehalte an Eiweiß als viele Nichtleguminosen speichern, was das C/N_{org} -Verhältnis der Gesamtpflanze senken kann. Auch wurden in der Gruppe der Nichtleguminosen viele Rückstände von Stroh erfasst welche ein C/N_{org} größer 50 aufweisen. Bei einer Mischung von Leguminosen und Nichtleguminosen wurden N_a s dokumentiert, welche sich zwischen den reinen Leguminosen und Nichtleguminosen befinden. Bei den Mischungen kommt es maßgeblich darauf an, welchen Anteil den Leguminosen zuzuschreiben ist. Bei sinkendem Anteil von Leguminosen könnte es verstärkt zu einer Immobilisierung von pflanzenverfügbarem Stickstoff kommen.

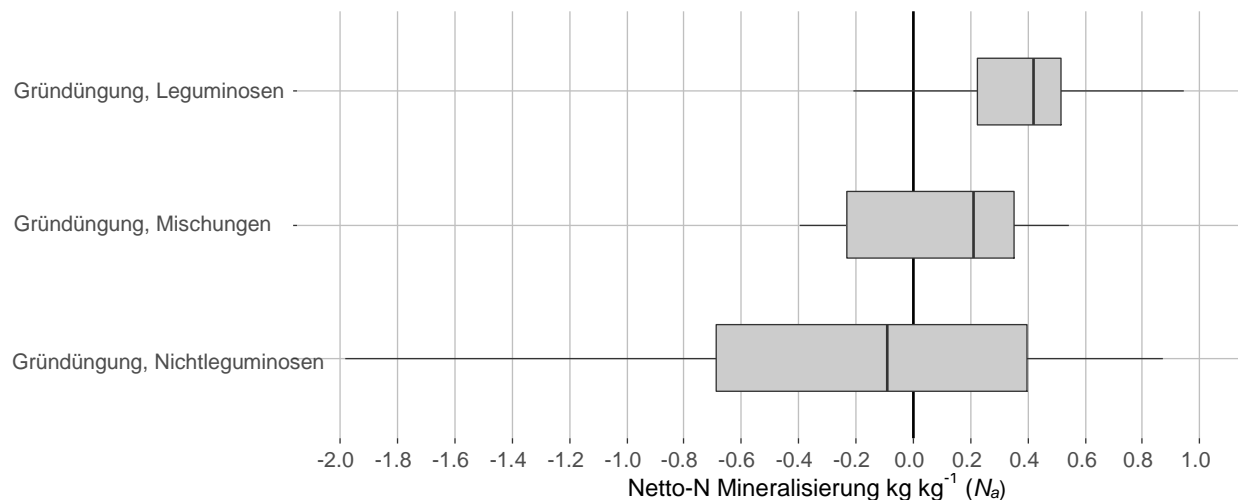


Abbildung 20. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Gründüngern

Aus den erfassten N_a wurden analog zu den anderen Handelsdüngemitteln die Stickstofffreisetzung geschätzt. Anders als für die Handelsdüngemittel wurde hier auf die Bildung von Untergruppen verzichtet. Die Zusammensetzung von Gründüngern variiert innerhalb derselben Kultur in Abhängigkeit von der Sorte, des Ernte- bzw. Einarbeitungszeitpunktes und des Versorgungsgrades so stark, dass eine Gruppierung als nicht sinnvoll erachtet wurde.

Es wurden somit vier Funktionen errechnet, die die N_a im Jahr der Ausbringung für Gemüserückstände, Leguminosen, Nichtleguminosen und deren Mischungen darstellt (Abbildung 21). Der Verlauf der Schätzfunktion ähnelt stark den Handelsdüngern pflanzlichen Ursprungs mit einer relativ gleichförmigen Rate bei niedrigem C/N_{org} . Die Schätzung des N_a aus organischem Stickstoff zeigt für Leguminosen und Nichtleguminosen bis zu einem C/N_{org} -Verhältnis von ca. 15 einen vergleichbaren Verlauf. Zwischen einem C/N_{org} von 5 bis 15 ist mit einer Freisetzung von 50 % N_{org} zu rechnen. Danach unterscheiden sich Leguminosen und Nichtleguminosen allerdings deutlich in ihren Immobilisierungseigenschaften (Abbildung 21). Für die Mischungen wurde eine Funktion geschätzt, die von einem geringeren N_a als für die Einzelkomponenten ausgeht. Gründe für dieses Phänomen konnten bisher nicht quantifiziert werden. Durch eine Validierung dieser Beziehung müsste die Netto-N Mineralisierung aus Gründüngsmischungen nochmals untersucht werden.

Für die spätere Bestimmung der Freisetzungseigenschaften aus Ernterückständen aus dem Gemüseanbau wurde eine weitere Funktion geschätzt (Abbildung 21). Für die Schätzung von N_a aus frischem Pflanzenmaterial ist anzumerken, dass der mittlere quadratische Gesamtfehler

(RSME) im Vergleich zu den Funktionen der Handelsdüngemittel mit ca. 0,2 relativ hoch liegt. Folglich ist es meist nur möglich zwischen hohen N_a und Immobilisierung zu unterscheiden. Mit einer mittleren Mineralisationsratenkonstante von $k = 0,3$ für Nichtleguminosen und Mischungen liegt laut der Literaturrecherche die Mineralisationsratenkonstante höher als für Leguminosen mit $k = 0,21$. Effektiv handelt es sich je nach Bodentemperatur um eine langsamere Freisetzung um ca. 10 Tage bei Leguminosen. Diese Diskrepanz könnte auf die Zusammensetzung der C_{org} -Fraktionen oder den Anteil an polyphenolischen Verbindungen zurückzuführen sein, der in vielen Leguminosen gegenüber Nichtleguminosen erhöht ist.

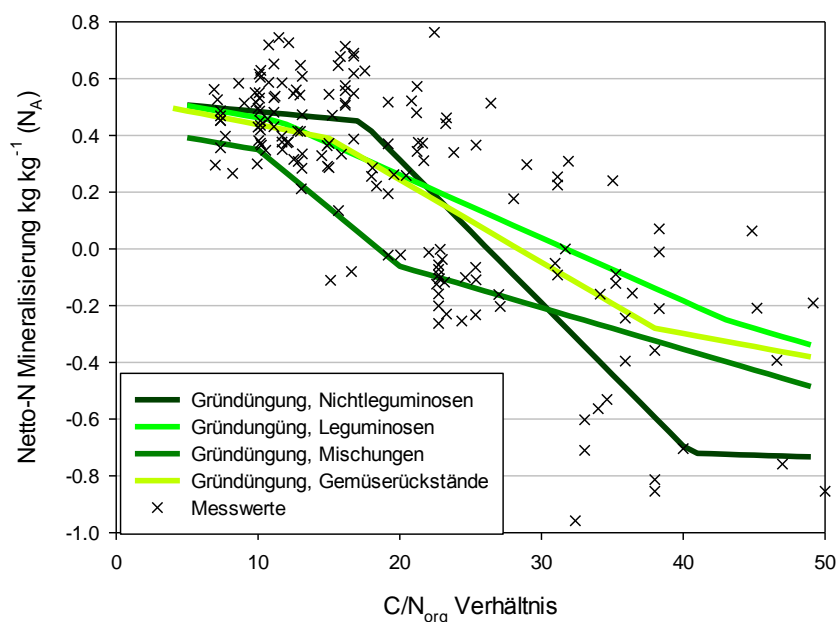


Abbildung 21. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Gründüngern

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich frisches Pflanzenmaterial in seinem Umsetzungsverhalten durch die mikrobielle Biomasse des Bodens innerhalb der Kategorien ähnlich verhält. Wird frisches Material mit einem $C/N_{org} < 15$ aus Ernterückstände oder Zwischenfrüchten eingearbeitet, kann die Hälfte des applizierten Stickstoffs von der Folgekultur genutzt werden. Sobald das C/N_{org} Verhältnis aber steigt, kann ein Teil des mineralisierbaren N in der mikrobiellen Biomasse festgelegt werden und ist so nicht mehr für die Folgekultur nutzbar. Eine gute Vorhersage zum C/N_{org} in Ernterückständen und Zwischenfrüchten sollte eine bessere

Einschätzung des Stickstofffreisetzungsverhaltens und somit eine Reduzierung der Düngung bei gleichbleibender Ertragsentwicklung ermöglichen.

3.1.4 Wirtschaftsdünger in fester Form (Miste)

Feste Wirtschaftsdünger sind eine der wichtigsten Nährstoffquellen in Gemüsebaubetrieben mit Tierhaltung. Dabei handelt es sich um Mischungen aus Einstreu, Kot und Urin. Je nach Art der Zwischenlagerung oder des Haltungssystems bestehen Miste aus unterschiedlich stark mikrobiell umgesetzten Fraktionen. Die Zusammensetzung von Misten ist hauptsächlich durch die Art der Tierhaltung bestimmt. Dies spiegelt sich zum Beispiel in den Anteilen an Einstreu und den leicht mineralisierbaren Stickstofffraktionen wieder. So weisen Geflügelmiste meist eine bessere Stickstoffverfügbarkeit aufgrund hoher Gehalte an Urinsäure auf als Miste von Rindern oder Schweinen. Ebenso ist bei Geflügelmisten der Anteil an Einstreu, das durch das Weite C/N_{org} -Verhältnis maßgeblich die Düngemiteleigenschaften beeinflusst, geringer. Geflügelmist ist aus diesem Grund als ein sehr wirksames Stickstoffdüngemittel einzuschätzen. Dagegen sind Miste von Wiederkäuern und Schweinen oft durch einen geringen N_a aber gute Humuswirkung definiert. Dies wird durch den im Mittel geringeren Gehalt an N_{org} und das weitere C/N_{org} Verhältnis bei Wiederkäuer- und Schweinemisten widerspiegelt (Tabelle 10). Miste weisen im Vergleich zu Handels- und Gründüngungsmitteln höhere Gehalte an mineralischem Stickstoff auf. Die Spannen der Gehalte N_{org} , N_{min} und C_{org} können aber weit sein (Tabelle 10). Dies führt dazu, dass die Düngewirkung aus Misten schwer hervorzusagen ist. Mit steigender mikrobieller Umsetzung nimmt der Anteil an Nitrat-N und Ammonium-N in den Misten meist ab, gleichzeitig steigt der Anteil an stabiler organischer Substanz. Dies wirkt sich maßgeblich auf den Verwendungszweck aus. Es wird daher empfohlen, die Qualität des Mistes vor der Anwendung untersuchen zu lassen.

Tabelle 10. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Wirtschaftsdüngern in fester Form (Miste). In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt

	n	N_t	N_{org}	C_{org}	C/N_{org}	N_{min}
		(g kg ⁻¹ TS)			(Verhältnis)	(% N_t)
Wirtschaftsdünger in fester Form (Miste)	122	36 (6 - 67)	32 (6 - 59)	312 (110 - 464)	12.4 (3.5 - 30)	9.2 (0 - 24.4)
Rinder/Schweine/Ziegen/Schafmist	39	21 (3 - 43)	19 (3 - 39)	323 (126 - 486)	20.8 (6.5 - 39.6)	6.8 (0 - 22.6)
Geflügelmist	83	42 (15 - 68)	38 (13 - 60)	312 (107 - 434)	8.9 (2.9 - 17.9)	10.7 (1.5 - 24.4)

Unsere Recherche ergab, dass neben der Zusammensetzung des organischen Düngemittels auch beim N_a Geflügelmist deutlich von den anderen Misten unterschied. Mit einem N_a von oft über 50 % des N_{org} ist Geflügelmist ein Düngemittel, was mit vielen Handelsdüngemitteln vergleichbar ist (Abbildung 22). Miste aus der Wiederkäuer- und Schweinehaltung weisen dagegen nicht selten eine geringe Freisetzung von oft nicht mehr als 20 % des N_{org} auf. Im Gegensatz zu Geflügelmist kommt es nicht selten zu einer Immobilisierung von mineralischem Stickstoff. Für die Schätzung von N_a anhand des C/N_{org} wird daher in der Kategorie der Miste zwischen Geflügelmisten und den anderen Misten unterschieden.

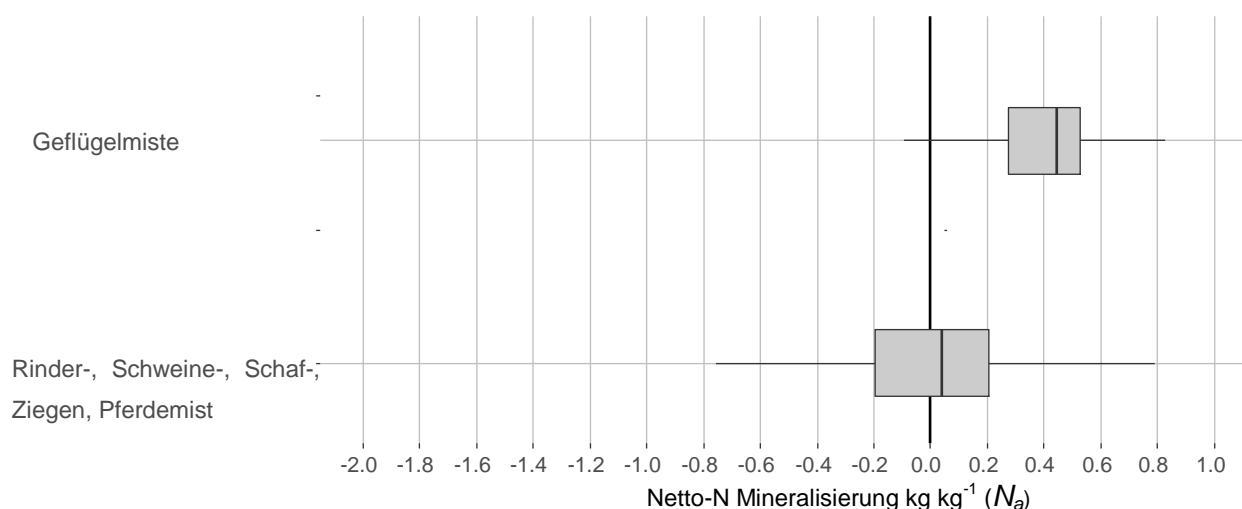


Abbildung 22. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Misten

3.1.4.1 Wiederkäuer-, Pferde- und Schweinemist

Bei der Haltung von Rindern, Pferden und Schweinen fällt meist täglich eine größere Menge an Mist an. Nach der Entfernung aus dem Stall wird dieser meist auf der Mistplatte zwischengelagert, bis er als organisches Düngemittel auf dem Feld eingearbeitet werden kann. Dabei kommt es bereits zu einer mikrobiellen Umsetzung, so dass meist unterschiedliche Rottegrade entstehen. Die aus der Recherche extrahierten Schätzfunktionen zeigen, dass unter günstigen Bedingungen ca. 30 % des im Rindermist gebunden organischen Stickstoffs im Jahr der Ausbringung freigesetzt werden kann. Meist werden nach der Anwendung jedoch nicht mehr als 20 % des N_{org} bis zu einem C/N_{org} von ca. 15-18 freigesetzt, dies liegt vor allem an der mikrobiellen Umsetzung des Materials, was ähnlich wie in der Kompostierung mit einer Stabilisierung von organischem Stickstoff einhergeht. Mit steigendem C/N_{org} , vor allem bei strohreichen Misten, kann es dadurch zu einer Immobilisierung von mineralischem Stickstoff kommen (**Abbildung 23**). Frischer Schweine- und Rindermist weist oft einen höheren Gehalt an mineralischem Stickstoff und gleichzeitig ein weiteres C/N_{org} Verhältnis als Rottemist auf, dies könnte ein Grund für den etwas geringeren N_a im Vergleich zu dem bereits mikrobiell zersetzten organischen Material sein.

Die Parametrisierung zeigt deutlich, dass die erfassten Miste im Vergleich zu Handelsdüngemitteln bei vergleichbaren C/N_{org} Verhältnissen einen deutlich verminderten N_a aufweisen. Die Stickstoffdüngewirkung von Rindermist ist daher hauptsächlich auf den Anteil an mineralisch-N zu beziehen. Trotzdem ist die langfristige Düngewirkung durch die Erhöhung der organischen Substanz im Boden und die damit verbundene erhöhte Stickstofffreisetzung in den Folgejahren zu beachten.

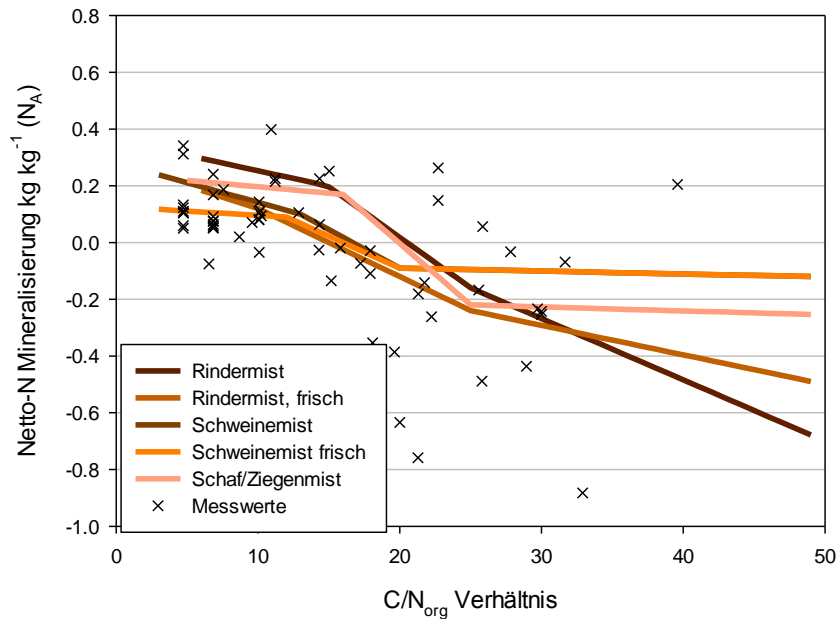


Abbildung 23. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org}-Verhältnisses in Rinder und Schweinemisten

Ausgehend von den bestimmten mittleren Werten für k wird je nach Ursprung des Mistdüngemittels und bei einer Bodentemperatur von größer 15°C innerhalb von ein bis vier Monaten die zu erwartende Menge an pflanzenverfügbarem N frei. Es scheint, dass Rindermist durch einen größeren Anteil Lignin und Hemicellulose eine etwas langsamere Freisetzungsgeschwindigkeit als Schweinemist aufweist (Tabelle 11). Hier spielen sicherlich auch die unterschiedlichen Verdauungssysteme und die damit verbundenen Fütterungsregime eine Rolle. Es ist trotzdem nicht erklärbar, weshalb Ziegenmist und Schafmist mit einem $k = 0,32$ einen etwas höheren Wert als Rindermist aufweisen. Ein Grund könnte ein geringerer Umfang der Beobachtungen sein. In nur zwei Publikationen wurde Ziegen- oder Schafmist verwendet, was eine Festlegung auf einen Mittelwert mit einer großen Unsicherheit verbindet. Es wird daher empfohlen, diesen Parameter durch eine Validierung zu prüfen.

Tabelle 11. Übersicht der Mineralisationskonstanten (k) in Misten

Düngemittelname	k
Rindermist	0.22
Rindermist, frisch	0.19
Schweinemist	0.35
Schweinemist, frisch	0.35
Ziegenmist	0.32
Schafmist	0.32

3.1.4.2 Geflügelmiste

Geflügelmiste haben meist einen hohen Anteil an Harnsäure. Durch die schnelle Umwandlung von Harnsäure in Ammonium und später in Nitrat können innerhalb eines kurzen Zeitraums größere Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff aus Geflügelmisten freigesetzt werden. Sie gelten daher als Düngemittel mit einer guten Düngewirkung aber einer schlechten Humusbilanz. In die Gruppe der Geflügelmiste wird auch Geflügeltrockenkot eingegliedert. Dabei handelt es sich um ein organisches Düngemittel mit einem sehr geringen Anteil an Streu und somit einem engen C/N_{org} Verhältnis. Es wird ebenfalls empfohlen bei Gemüsekulturen, die für den frischen Verzehr geeignet sind, aufgrund der Keimbelastung auf die Anwendung von Geflügelmisten zu verzichten (Abbildung 24). Dies gilt nicht nur für die ungenügend beschriebenen Geflügelmiste, ein Grund könnte eine mikrobielle Zersetzung und damit Veränderung der Qualität der Stickstofffraktionen sein. Die beschriebenen Miste unterscheiden sich dagegen nur im geringen Maß in ihren Mineralisationseigenschaften in Abhängigkeit vom C/N_{org} voneinander.

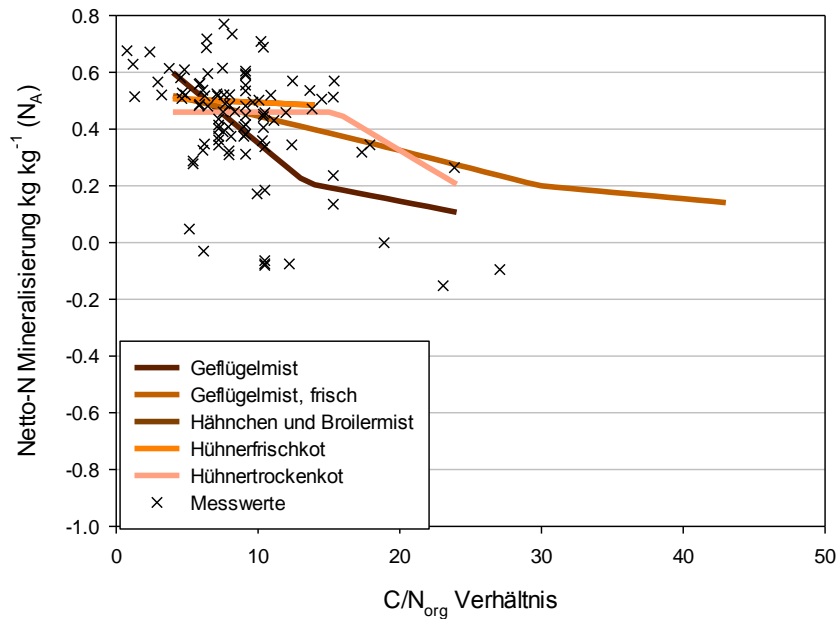


Abbildung 24. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Geflügelmisten

Der Faktor bis zum Erreichen von N_a liegt für die meisten Geflügelmiste bei $k = 0.75$. Das bedeutet, dass innerhalb von ca. 10 bis 30 Tagen der Hauptteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus Geflügelmist freigesetzt wird. Nur Hühnertrockenkot weicht mit einer Freisetzungsdauer von 20 bis 60 Tagen von den meisten Geflügelmisten ab. Möglicherweise hat die Behandlung einen Einfluss auf die Mineralisationsgeschwindigkeit. Eine Überprüfung dieses Wertes wird daher empfohlen.

3.1.4.3 Zusammenfassung

Unsere Recherche und das Erstellen von Schätzfunktionen für die Vorhersage von N_a und k zeigen sehr anschaulich, dass zwischen Geflügelmisten und Misten aus Rinder-, Pferde-, Schweine- oder Schaf- und Ziegenhaltung unterschieden werden muss. Im Gegensatz zu Geflügelmist ist die Düngewirkung der meisten Miste als gering einzustufen. Teilweise ist sogar mit einer Immobilisierung von mineralischem N zu rechnen. Diese Düngemittel werden deshalb meist als „Bodenverbesserer“ eingesetzt und sind für den Gemüsebau meist für eine Anwendung bei hohen Gehalten an organischer Bodensubstanz und guter N-Nachlieferung des Bodens anzuwenden. Dagegen können Geflügelmiste in ihren Eigenschaften zur Stickstoffdüngung mit vielen Handelsdüngern mit hoher Freisetzung verglichen werden. Es sind für die Anwendung allerdings Vorgaben zur Verminderung einer Keimbelastung zu berücksichtigen.

3.1.5 Wirtschaftsdünger in flüssiger Form (Güllen/Jauchen)

Die aktuelle Diskussion zu erhöhten Nitratwerten im Grundwasser wird häufig mit der Anwendung von Gülle und Jauche in Verbindung gesetzt. Diese organischen oder organo-mineralischen Düngemittel fallen in großen Mengen z.B. in der Schweineproduktion und als Reststoffe der Biogasproduktion an. Bei Gülle handelt sich meist um Mischungen aus Urin und Kot welcher mit mehr oder weniger Wasser oder Einstreu vermischt ist. Unter Jauche wird oft flüssiger Dünger verstanden, welcher hauptsächlich aus Urin besteht. In der internationalen Literatur wird aber nicht zwischen Gülle und Jauche unterschieden, so dass für diese Betrachtung keine Unterscheidung vorgenommen wird. Biogasgülle fallen bei der Gewinnung von Methan aus Biogasanlagen als Reststoffe an und haben durch die Förderung von regenerativen Energien an Bedeutung gewonnen.

Bezogen auf die Trockenmasse haben flüssige Wirtschaftsdünger einen N_{org} -Gehalt vergleichbar mit Festmist. Der Gehalt an N_t liegt aber aufgrund des hohen Anteils an mineralischem N von ca. 50 % meist bei ca. $50 \text{ g kg}^{-1} N_t$ (**Tabelle 12**). Dies macht die Gruppe der organischen Düngemittel zu sehr wirksamen Stickstoffdüngern, welche aber auch durch ein hohes Potential an gasförmigen Stickstoff- und Auswaschungsverlusten gekennzeichnet sind.

Für das Modell wird vor allem die Freisetzung aus dem organischen gebundenen Stickstoff betrachtet. Das mittlere C/N_{org} liegt oft über 15, was auf eine geringe Freisetzung oder Immobilisierung von mineralischem Stickstoff aus N_{org} schließen lässt.

Tabelle 12. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{min} , C_{org} und C/N_{org} in Wirtschaftsdüngern in flüssiger Form (Gülle/Jauche). In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt

	n	N_t	N_{org}	C_{org}	C/N_{org}	N_{min}
		(g kg ⁻¹ TS)			Verhältnis)	(% N_t)
Flüssiger Wirtschaftsdünger	68	53	24	425	24.4	42.4
		(18 - 130)	(11 - 42)	(215 - 510)	(8.9 - 54.9)	(0.9 - 86.3)
Biogasgülle	16	55	30	382	12.9	50.6
		(12 - 83)	(11 - 42)	(215 - 467)	(8.9 - 20.7)	(29.4 - 72.1)
Abwässer	8	44	39	368	32.9	21.5
		(20 - 100)	(19 - 80)	(175 - 531)	(6.7 - 83.2)	(0.5 - 70.3)
Rinder-, Schweinegülle	44	54	19	450	24.1	51
		(18 - 140)	(10 - 31)	(381 - 510)	(11.5 - 34.7)	(5.2 - 86.3)

In Abbildung 25 sind die in der Recherche erfassten Spannen der mittleren Stickstofffreisetzung aus dem N_{org} in flüssigen Wirtschaftsdüngern dargestellt. Wie schon aus dem C/N_{org} zu erwarten war, kam es meist zu einer Abnahme des mineralischen N. Dies könnte einerseits auf die Immobilisierung in der mikrobiellen Biomasse zurückzuführen sein, andererseits sind signifikante gasförmige N-Verluste in Form von Ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$), Lachgas (N_2O) oder molekularen Stickstoff (N_2) nicht auszuschließen. Da der Grund für die Abnahme des mineralischen N in den Publikationen meist nicht qualifiziert wurde, wird im Modell von einer Immobilisierung in der mikrobiellen Biomasse des Bodens ausgegangen.

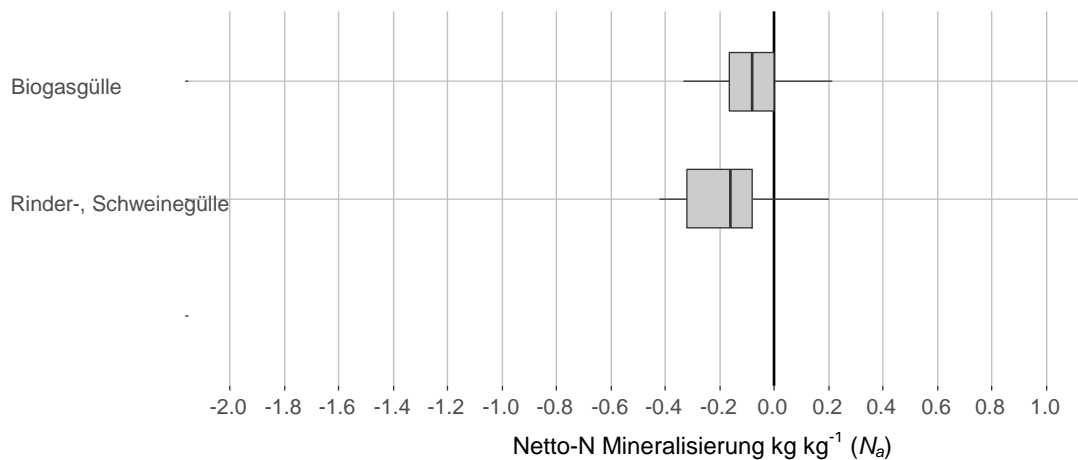


Abbildung 25. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Biogas und Rinder-, Schweinegülle

Eine Schätzung von N_a aufgrund des C/N_{org} war auch für die Gruppe der Flüssigdüngemittel möglich. Der Datensatz gab uns die Möglichkeit der Parametrisierung in den Unterkategorien: Biogasgülle, Schweinegülle und Rindergülle. Dabei folgten Schweine- und Rindergülle einem fast identischen Verlauf mit steigendem C/N_{org} (Abbildung 26). Hier ist zu beachten, dass ein C/N_{org} -Verhältnis < 10 zu einer Freisetzung von ca. 70 % des N_{org} führen kann, was als höchster Wert aller organischen Düngemittel zu beurteilen ist. Dies ist aber nur sehr selten der Fall, z.B. wenn der Anteil an Streu und Urin gering ist. Meist ist das C/N_{org} aber größer als zehn und es ist mit einer geringen Freisetzung oder Immobilisierung zu rechnen.

Anders als die Gülle und Jauchen die in der Tierproduktion anfallen, haben ist die bestimmte Vorhersagefunktion für das organische N aus Biogasgülle deutlich versetzt???. Dies lässt sich wahrscheinlich mit einem erhöhten Anteil an stabilisierter organischer Substanz in Form von Lignin, Hemicellulosen oder Polyphenolen erklären.

Es ist anzumerken, dass aufgrund der hohen Gehalte an mineralisierbarem N, der Anteil welcher im Jahr der Ausbringung für die Pflanzen genutzt werden kann, auch bei Immobilisierung ca. 50 % von N_t ausmacht.

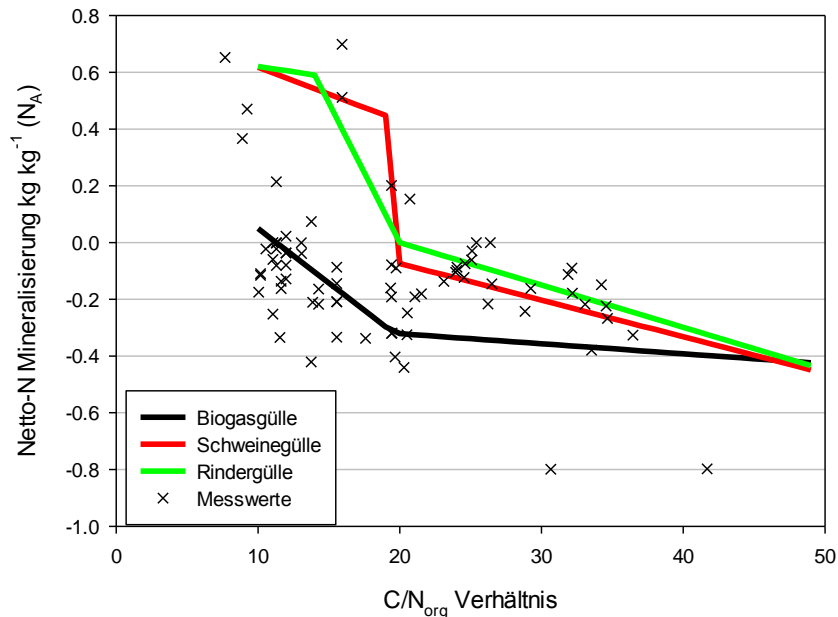


Abbildung 26. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in flüssigen Wirtschaftsdüngern

Mit einem Wert von $k = 0,25$ und $k = 0,22$ für Rindergülle bzw. Schweinegülle werden innerhalb von 30-70 Tagen die vorhergesagten Mengen an Stickstoff mineralisiert oder immobilisiert. Biogasgülle sind mit einem $k = 0,3$ um ca. 5 -10 Tage schneller.

Unser Modell zeigt, dass organische Flüssigdünger als sehr wirkungsvolle Düngemittel einzuschätzen sind, der Großteil des Stickstoffs ist in Form von mineralischem N für die Kultur nutzbar. Aus dem N_{org} wird dagegen nur ein geringer Anteil frei oder es kommt zur Immobilisierung eines geringen Anteils in der mikrobiellen Biomasse des Bodens. Die Unterschiede zwischen Güllen aus der Tierhaltung und Biogasgülle sind zwar messbar, wirken sich aber nur im geringen Maße auf den nutzbaren Anteil an N_t aus.

3.1.6 Komposte

Kompostiertes Material entsteht aus dem aeroben Umsatz organischer Substanz, durch unterschiedliche Mikro- und Makroorganismen. Durch diese sogenannte Rotte verändert sich die Zusammensetzung der organischen Substanz. Durch Atmung wird CO_2 frei, womit sich das C/N-Verhältnis verringert und der organisch-gebundene Stickstoff stabilisiert wird. Dies wirkt sich

maßgeblich auf die Stickstoffdüngungseigenschaften aus. Komposte können aus pflanzlichen Abfällen oder Mischungen aus tierischem und pflanzlichem Material gewonnen werden. Als Sonderfall gilt in dieser Gruppe der Champost, dabei handelt es sich um das Kultursubstrat aus der Speisepilzproduktion. Dieses Material wird zwar nicht klassisch kompostiert, ist aber teilweise umgesetzt und ist somit mit „klassischen“ Komposten vergleichbar.

Die organischen Düngemittel, welche in der Gruppe der Komposte zusammengefügt werden, zeichnen sich durch einen mittleren Anteil von ca. 6 % N_{\min} (Champost ca. 3 %) aus (**Tabelle 13**). Der Gehalt an N_{org} in Komposten aus reinem pflanzlichem Material oder aus Mischungen mit Misten ist mit ihren Ausgangsmaterialien vergleichbar und das C/N_{org} Verhältnis ist mit durchschnittlich 15 als relativ hoch einzustufen. Dagegen hat Champost fast doppelt so hohe Gehalte an N_{org} , gleichzeitig sind aber auch der organisch gebundene Kohlenstoff gegenüber den „klassischen“ Komposten erhöht, sodass sich dies nicht auf das C/N_{org} Verhältnis auswirkt.

Tabelle 13. Mittlere Gehalte and N_t , N_{org} , N_{\min} , C_{org} und C/N_{org} in Komposten. In Klammern sind die Quantil-Werte für Q 0.05 und Q 0.95 als Maß für die Spanne dargestellt

	n	N_t	N_{org} (g kg ⁻¹ TS)	C_{org}	C/N_{org} Verhältnis)	N_{\min} (% N_t)
Komposte	74	22	21	274	14.5	6.1
		(9 - 69)	(8 - 66)	(112 - 475)	(7.2 - 24.6)	(0 - 17.3)
Kompost, aus pflanzlichen Material	20	17	16	275	16.4	7.2
		(9 - 30)	(9 - 28)	(126 - 475)	(10 - 23.2)	(0 - 19.2)
Champost	9	43	41	458	16.9	3
		(12 - 73)	(12 - 71)	(373 - 546)	(5.6 - 42.1)	(1.4 - 4.5)
Kompost aus Misten	45	20	19	237	13.2	6.2
		(8 - 29)	(7 - 26)	(112 - 409)	(7.5 - 23.3)	(0 - 15.3)

Aus der Recherche wurden maximale N_a zwischen einer deutlichen Immobilisierung bei „Champost“, einer geringeren Immobilisierung bei pflanzlichem Kompost und einer Mineralisierung bei Mistkomposten beobachtet (**Abbildung 27**). Aus **Abbildung 27** ist zudem deutlich zu erkennen, dass diese Düngemittelkategorie aufgrund der geringen N_a als Bodenverbesserer einzuschätzen ist. Folgend wird die Modellierung der Stickstofffreisetzung aus den unterschiedlichen Komposten näher beschrieben.

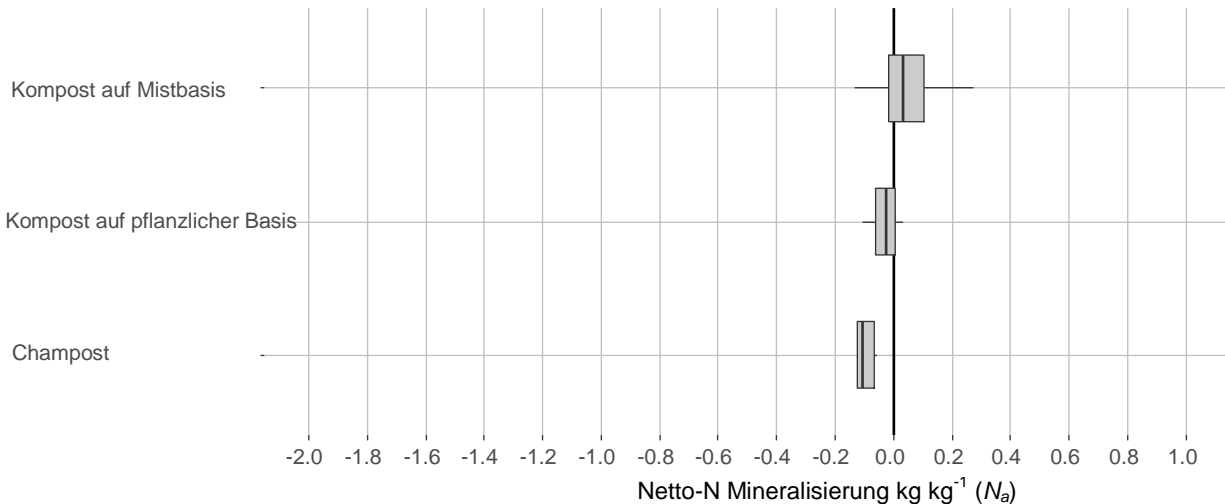


Abbildung 27. Boxplot-Abbildung der aus der Literaturrecherche ermittelten Parameter für N_a in Komposten

3.1.6.1 Kompost aus (meist) pflanzlichem Material

Diese Untergruppe organischer Düngemittel umfasst die Komposte aus Bioabfall, Grüngut und frischem pflanzlichen Material. In Abbildung 28 wurden auch nicht näher beschriebene Komposte hinzugefügt. Die Vorhersage der N_a für frischen Kompost unterscheidet sich in Abhängigkeit vom C/N_{org} -Verhältnis kaum von Gründungsmaterial. Dies liegt daran, dass durch die erste kurze Rotte nur ein kleiner Teil des organischen Materials umgesetzt wurde. Das Ausgangsmaterial ist zum Großteil noch intakt und das N_{org} kann von der mikrobiellen Biomasse bis zu einem C/N_{org} von 15 noch zu 30-40 % in mineralisches N umgewandelt werden (Abbildung 28). Bioabfallkompost und Grüngutkompost sind dagegen fast vollständig umgewandelt. Die organische Substanz in diesem Material ist in ihrer Eigenschaft des N_a mit der organischen Bodensubstanz vergleichbar. Im Laufe der Rotte nähert sich das C/N_{org} immer mehr dem C/N der mikrobiellen Biomasse, welche das Material versetzt, an und der Anteil des im Jahr der Anwendung mineralisierbaren Materials reduziert sich stark. Laut unserer Recherche werden meist nur wenige Prozent des N_{org} als Stickstoffquelle für die Pflanzen nutzbar. Ab einem C/N größer als 10 kommt es zu einer leichten Immobilisierung, die aber selten mehr 20 % des N_{org} ausmacht.

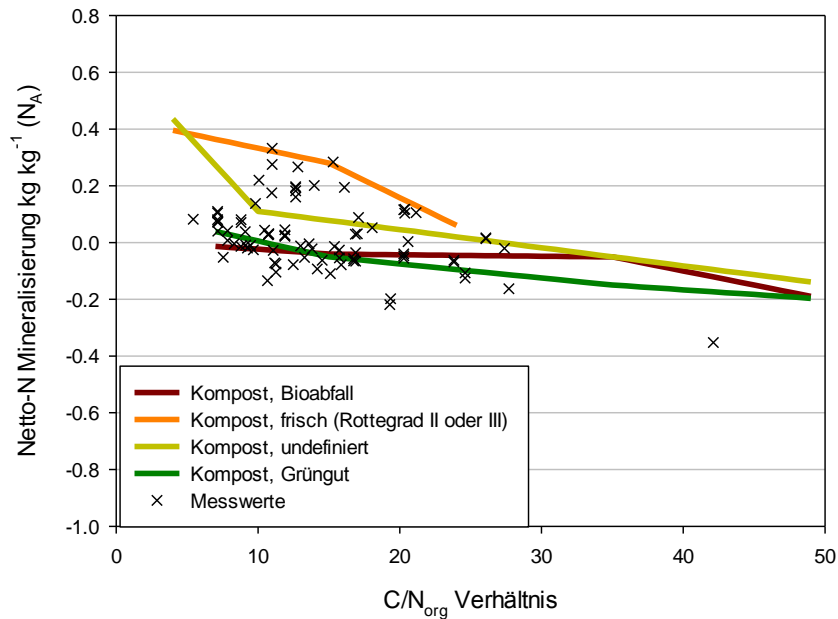


Abbildung 28. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Komposten auf pflanzlicher Basis

Die Mineralisationsgeschwindigkeit ist mit einem Wert von $k = 0,16$ und $k = 0,17$ für Bioabfallkompost und Frischkompost als langsam einzuschätzen. Dies bedeutet, dass innerhalb von 3- 5 Monaten das N_a erreicht ist. Grüngutkompost erreicht N_a mit einem $k = 0,3$ meist in der Hälfte der Zeit. Es ist hier zu beachten, dass es sich oft um eine minimale Freisetzung oder Immobilisierung handelt. Dies bedeutet, dass der Messfehler der N_{min} Messung wahrscheinlich einen starken Einfluss auf das ermittelte k hat.

3.1.6.2 Komposte auf Mistbasis

Mistkomposte bestehen aus Misten, welchen für eine optimale Kompostierung meist Pflanzenreste, wie Stroh oder Grünschnitt zugefügt werden. Für die Parametrisierung von N_a mit dem C/N_{org} wurde zwischen Komposten aus Rindermist, Schweinemist und Geflügelmist unterschieden. Im Vergleich zu „normalen“ Misten ist bei Komposten mit vergleichbaren C/N_{org} Verhältnissen mit einer etwas niedrigeren N_a zu rechnen. Unser Modell zeigt, dass es ab einem C/N_{org} von ca. 10 meist zu einem Absinken von N_a kommt, was nicht selten zu einer Immobilisierung führt (**Abbildung 29**). Es scheint, dass Schweinemistkompost etwas stärker zu einer Immobilisierung neigt als Rinder- oder Geflügelmistkompost. Geflügelmistkompost hat aufgrund der in Kapitel 3.1.4.2 beschriebenen Eigenschaften von Geflügelmist das Potential eines höheren N_a und auch einer geringeren Immobilisierung.

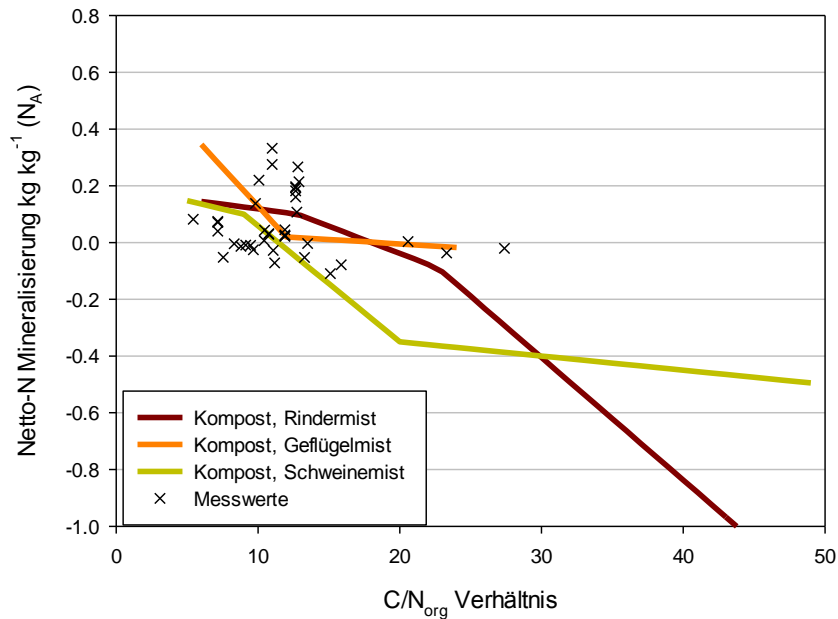


Abbildung 29. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Komposten auf Mistbasis

Laut unserer Datengrundlage scheint es, dass Rindermistkompost ($k=0,13$) am längsten für das Erreichen von N_a benötigt. Danach folgen Schweinemistkompost mit einem k von 0,25 und Geflügelmistkompost mit $k=0,5$.

3.1.6.3 Wurmkompost und Champost

Eine Sonderstellung in der Gruppe der Komposte nehmen der Wurmkompost und der Champost ein. Wurmkompost wird meist durch thermophile Würmer (z.B. *Eisenia fetida*) umgesetzt, dadurch verändert die organische Substanz ihre Eigenschaften und kann als Düngemittel verwendet werden. Champost ist ein Abfallprodukt aus der Speisepilzproduktion, es handelt sich hierbei um eine Mischung aus Mist, Streu und Pilzsubstrat. Beide organischen Düngemittel weisen in der Regel nur eine geringe Freisetzung im Jahr der Anwendung auf. Vielmehr kommt es bei Wurmkompost zu einer leichten Immobilisierung von mineralischem N (**Abbildung 30**). Champost kann dagegen meist durch eine Freisetzung von ca. 10 % im Jahr der Anwendung charakterisiert werden. Der Datensatz zu Wurmkompost und Champost war sehr umfangreich. Es wird daher empfohlen, durch eine Validierung die Freisetzung in Abhängig vom C/N_{org} für die ermittelte Vorhersagefunktion zu überprüfen.

Gleiches gilt für die Parameter für k , die mit einem Wert von 0,4 für Wurmkomposte und 0,1 für Champost ermittelt wurden.

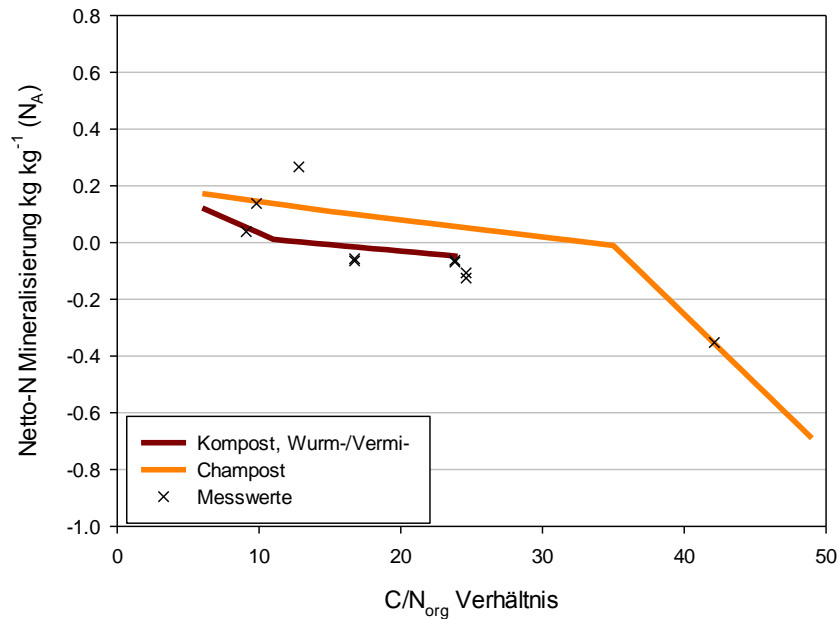


Abbildung 30. Ermittelte Funktionen zur Bestimmung von N_a aufgrund des C/N_{org} -Verhältnisses in Champost und Wurm-/Vermikompost

3.1.6.4 Zusammenfassung

Aufgrund der meist geringen Freisetzung von pflanzenverfügbarem Stickstoff im Jahr der Anwendung sind Komposte für die Stickstoffdüngung nicht gut geeignet. Die Düngewirkung im Jahr der Anwendung bezieht sich meist auf die Zufuhr von P und K sowie der Bodenverbesserung. Dies wurde bereits in der neuen DüV bezogen auf die erlaubten Applikationsmengen berücksichtigt.

3.2 Vorhersage der Düngeeigenschaften von Ernterückstände

Die Parameter der schrittweisen linearen Regression für die Netto-N Mineralisierung konnten für alle Ernterückstände von Gemüsekulturen als gleich angenommen werden. Die Datengrundlage dafür bildet zum einen der Datensatz der Literaturrecherche ($n=91$) und zum anderen die Daten aus (Jensen et al., 2005) ($n = 67$). Die Funktion hat einen Fehler von 23 % (24 % Literaturrecherche 2016, 21 % (Jensen et al., 2005)). Zwar ist der Fehler nicht unerheblich, doch lassen die zur Verfügung stehenden Daten keine genauere Vorhersage zu. Ernterückstände variieren in den Gehalten an Lignin, Hemicellulose, polyphenolischen Verbindungen und niedermolekularen organischen Verbindungen, welche einen starken Einfluss auf den N_a haben (De Neve and Hofman, 1996; Kumar and Goh, 2003; Jensen et al., 2005). Diese Daten sind in der Literatur nur sehr selten zu finden und variieren stark innerhalb einer Kultur, was eine Schätzung erschwert. Die Bestimmung des N_a aus Ernterückständen im Gemüsebau ergab, dass viele Kulturen bezogen auf das N_t eine maximale Freisetzung zwischen 30 % und 45 % aufweisen (**Tabelle 14**). Ausnahmen bilden hier Kulturen wie Salat oder Rucola, welche wegen ihrer hohen Nitratgehalte eine höhere Freisetzung aufweisen. Die Ernterückstände von Möhren oder Gemüsemais haben dagegen ein weiteres C/N_{org} Verhältnis und damit eine Freisetzung von ca. 15 %-20 %. Rückstände von Trockenzwiebeln und vielen Ackerkulturen bestehen aus bereits abgestorbenen Pflanzenteilen welche ein weites C/N_{org} aufweisen und nach der Einarbeitung zu einer Immobilisierung des mineralischen Stickstoffs im Boden führen können (**Tabelle 14**). Für die Bestimmung von k wurde zwischen den Leguminosen und Nichtleguminosen unterschieden. Analog zu den Gründüngern weisen in unserem Modell die Nichtleguminosen mit einem $k = 0,3$ eine etwas schnellere Freisetzungsgeschwindigkeit als Leguminosen mit einem Wert von 0,21 auf.

Tabelle 14. Netto N- Mineralisierung (N_a) aus Ernterückständen im Freilandgemüsebau und Ackerbau (Auswahl)

Ernterückstände	Netto N Mineralisierung	Ernterückstände	Netto N Mineralisierung
	% N_t		% N_t
Baby Leaf Salat	60.5	Mairüben	35.4
Rucola Feinware	58.3	Japanischer Rettich	33.3
Eissalat Frischmarkt	52.7	Grünkohl	33.2
Schnittlauch	50.1	Sellerie	32.2
Blumenkohl Früh	48.4	Rosenkohl	30.8
Zucchini	47.2	Buschbohne	30.2
Radies	46.4	Radicchio	30.1
Blumenkohl	46.0	Rotkohl	29.0
Dill	44.7	Waschmöhren	21.5
Chinakohl	44.2	Gehaltsrüben	21.4
Brokkoli	43.8	Industriemöhren	21.1
Rote Rüben Baby Beet	40.7	Ackerbohnen	17.1
Weißkohl	40.1	Zuckerhut	15.4
Tomaten Stab	39.6	Zuckermais	14.1
Rettich	39.2	Schwarzwurzel	13.3
Markerbse	38.3	Bundmöhren	10.3
Kohlrabi	37.4	Kürbis	1.0
Porree	36.6	Kartoffeln	-2.9
Knollensellerie	36.5	Trockenzwiebel	-25.0
Chicoree	35.6	Winterweizen	-52.4

3.2.1 Implementierung des Modells und der Parameter in N-Expert

Zunächst wurden die neuen Daten und Parameter für die Schätzung N_a aus Ernterückständen in die bereits bestehende Datentabelle zur Kalkulation des N_a aus organischen Düngemitteln hinzugefügt. Einzig die Menge der Biomasse, welche nach der Ernte anfällt, wird aus der Kulturdatenbank berechnet und für die Kalkulation genutzt. So lässt sich ohne großen Programmierungsaufwand die Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen analog zu den organischen Düngemitteln bestimmen.

3.2.2 Zusammenfassung

Mit dem Modellansatz ist der Anwender nun in der Lage, die Qualität und Quantität von Ernterückständen kulturspezifisch zu schätzen. So kann die Düngeplanung gezielt darauf abgestimmt werden. Ebenso ist es nun möglich, die Dauer der bis zum Erreichen des N_a im

Jahr der Anwendung nicht wie bisher nach Faustzahlen, sondern durch ein Modell, welches die Bodentemperatur berücksichtigt, zu kalkulieren.

Mit dem verbesserten Ansatz zur Schätzung des N_a ist es nun möglich, basierend auf einem Algorithmus die Düngeeigenschaften von Ernterückständen zu beschreiben. Des Weiteren wurden sämtliche in der Kulturdatenbank aufgeführten Datensätze aktualisiert und die Gehalte an P, K und Mg in Ernterückständen bestimmt. Somit kann der N_a analog zu den organischen Düngemitteln ermittelt werden. Dies stellt eine signifikante Verbesserung in N-Expert dar.

3.3 Zwischenfrüchte

Um die Stickstoffauswaschung zu vermindern, Luftstickstoff zu binden oder auch den Boden zu verbessern werden Zwischenfrüchte angebaut. Dies wird durch den Anbau von Einzelkulturen oder Mischungen realisiert, welche je nach Fruchtfolge und Anwendungsziel direkt nach einer Gemüsekultur oder Ackerfrucht angebaut werden. Zwischenfrüchte werden in der gemüsebaulichen Praxis meist „stiefmütterlich“ behandelt. Die Nährstoffversorgung und Kulturdauer richtet sich meist nach der Vor- bzw. Folgekultur. Dies bedeutet, dass der zu erwartende Ertrag, die Qualität (C/N_{org} -Verhältnis) und die Kulturdauer sehr stark variieren können.

Bisher war in der Kulturdatenbank in N-Expert nur eine geringe Anzahl von Zwischenfrüchten erfasst worden. Auch fehlten in der Kulturtabelle bisher Werte, was eine Vorhersage der N-Bilanzierung und Vorfruchtwirkung/Düngewirkung nur bedingt möglich machte.

Die Herausforderung war es eine Modellapplikation zu entwickeln, welche möglichst viele Zwischenfrüchte bezogen auf den zu erwartenden Ertrag, Kulturdauer und Versorgungszustand schätzt. In Tabelle 15 sind die geschätzten Werte für N_a für die Zwischenfrüchte mit gutem Versorgungszustand dargestellt. In der Regel sinkt die Freisetzungsrate aus N_t mit längerer Kulturdauer, was hauptsächlich mit der Erhöhung des C/N_{org} in Verbindung steht. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei frühen und optimalen Erntezeitpunkten für Zwischenfrüchte ca. 30-60 % des N_t für die Folgekultur nutzbar sind. Ist die Kultur zu den späteren Einarbeitungszeitpunkten bereits abgestorben, kann es hingegen zu einer Immobilisierung des mineralischen N auf der Fläche kommen (Tabelle 15).

Noch stärker wirkt sich eine schlechte Stickstoffversorgung auf den N_a aus organischen Düngemitteln aus. Eine nicht optimale Nährstoffversorgung kann zu einer deutlich verringerten Düngewirkung für die Folgekultur führen. Es kommt teilweise schon in einem frühen Kulturstadium zu einer Immobilisierung von mineralischem Stickstoff (

Tabelle 16).

Mit Hilfe der Kulturdatentabelle erfolgte dazu die Bestimmung der N-Aufnahmekurven für alle Zwischenfrüchte. Für die Bestimmung der Leguminosen N-Bindung wurde hier der ermittelte Frischmasseertrag mit dem Faktor 0,7 für reine Leguminosen Zwischenfrüchte multipliziert. Bei Gemengen erhöhte sich dieser Faktor auf 0,9, je nachdem welches Mischungsverhältnis vorlag (Kolbe et al., 2006).

Daneben wurden fehlende Werte in der Kulturdatenbank recherchiert und hinzugefügt. Für die Zwischenfrüchte werden zu einem späteren Zeitpunkt noch die Wurzelrückstände berücksichtigt. Dies bringt einen erheblichen Programmierungsaufwand mit sich und kann wahrscheinlich erst zu einem späteren Zeitpunkt realisiert werden. Die hinzugefügten Zwischenfrüchte sind in der Anlage 3 dargestellt.

Tabelle 15. Modellierter maximale Stickstofffreisetzung im Jahr der Anwendung von Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom frühen (früh) optimalen (opt.) und späten (spät) Einarbeitungszeitpunkt bei optimaler Stickstoffversorgung.

Zwischenfrucht	Netto (% Nt)	N-Mineralisierung		Zwischenfrucht	Netto (% Nt)	N-Mineralisierung	
	früh	opt.	spät		früh	opt.	spät
Senfrauke, Garten-	59.5	59	53.9	Linse	47.1	46.2	30.7
Rainfarn-Phazelie	57.3	51.9	50.4	Leguminosengemenge (grobk.)	47	45	43.9
Leindotter	56.1	49.7	48	Winterwicke/Inkarnatklee	47	45.1	43.9
Roggen	54.7	51.5	26	Buchweizen	46.5	28	21.8
Sommerwicke	54.4	46.7	44.5	Perserklee/Ölrettich	46.3	37	33.1
Ramtilkraut	54.2	46.4	44.2	Weidelgras/Inkarnatklee	46.1	41.6	37.3
Senf, Äthiopischer	53.4	44.8	42.5	Ackerbohne	46	45.1	27.3
Klee, Steinklee gelb	52.5	51.1	50.4	Feldgras	45.7	37.5	27.8
Italienisches Weidelgras	52.3	47.7	43.7	Landsberger Gemenge	45.7	41.2	36.5
Hafer, Sand-	52.1	48	11.3	Perserklee	45.7	43.6	42.3
Rübsen	51.8	42.2	39.1	Sonnenblume	45.7	33.1	17.8
Wicke, Zottige-	51.6	50.2	49.4	Futtermöhre	45.5	32.7	17.3
Lupine, Blau	51.5	46.6	42.5	Gemenge, Nichtleguminosen	45.5	32.7	17.3
Raps	51.3	41.3	37.6	Winterwicke	45.5	43.4	42.1
Wicke, Purpur-	51.3	49.8	48.9	Klee, Inkarnat	45.4	43.2	42
Sommerwicke/Ölrettich	51.1	45.2	43.5	Klee-,Grasgemisch 30:70	45.2	39.1	32.3
Ölrettich	50.8	40.3	35.5	Klee-,Grasgemisch 70:30	45.2	41.5	38.7
Senf, Weiß-/Gelb-	50.7	39.8	34.9	Luzernegras 30:70	45.2	39.1	32.3
Phacelia	49.7	37	31.7	Luzernegras 50:50	45.2	40.6	35.5
Senf, Braun	49.7	37.2	32	Luzernegras 70:30	45.2	41.5	38.7
Grün-/Futterroggen	49.4	44.4	-3.5	Sorghum	44.9	37.4	-23
Kolbenhirse	49.4	44.4	-3.5	Winterweizen/Winterwicke	44.9	41.2	28.9
Hafer, Saat-	49.2	44.2	-4	Gemenge, Leguminosen-/ Nichtlegumniosen	44.4	39.1	33.7
Erbsen	49	48.2	39.1	Wickroggen	44.4	40.6	27.3
Platterbse	49	48.2	36	Futterwicke	43.7	41.4	40.2
Senf, Futterraps, Rübsen, Ölrettich	49	35.2	29.7	Sudangras	43.7	35	-24.9
Esparsette, Saat-	48.4	46.6	45.5	Getreide, Ganzpflanze	43.1	33.6	-26.1
Winterroggen/Winterwicke	48.3	45.2	37.6	Lupinen	42.8	40.4	38.1
Markstammkohl (Futterkohl)	48.1	32.7	27	Ackerbohne-Sommerwicke- Erbse-Mischung	42.6	41.3	24.2
Rübsen, Winter-	48.1	32.7	27	Leguminosen allgemein	42.6	41.5	17.8
Senf	48.1	32.7	27	Gemenge allgemein	42.3	36.1	12.8
Steckrübe (Kohlrübe)	48.1	32.7	27	Weidelgräser, allgemein	41.8	28.8	17.1
Stoppelrübe / Herbstrübe	48.1	32.7	27	Klee, Alexandriner-	40.9	36.8	34.4
Luzerne	48	46.1	45	Futterzwischenfrucht allgemein	40.5	32.7	7.8
Nichtleguminosen allgemein	48	38.7	25.2	Gründungszwischenfrucht	40.5	32.7	7.8
Klee, allgemein	47.3	45.4	44.2	Klee, Hopfen-/Gelb-	39.1	34.7	32
Klee-, Luzernegemenge	47.3	45.4	44.2	Wicken	37.6	32.7	29.9
Leguminosengemenge (fein- und grobk.)	47.3	45.4	44.2	Grünmais	36.7	13.9	-7.7
Klee-,Grasgemisch 50:50	47.1	43	39.9	Klee, Bockshorn-	35.2	30.3	27.3

Tabelle 16. Modellierter NA von Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom frühen (früh) optimalen (opt.) und späten (spät) Einarbeitungszeitpunkt bei schlechter Stickstoffversorgung

Zwischenfrucht	Netto-N Mineralisierung im Düngejahr (% Nt)			Zwischenfrucht	Netto-N Mineralisierung (% Nt)		
	früh	opt.	spät		früh	opt.	spät
Senfrauke, Garten-	56.3	53.1	46.2	Stoppelrübe / Herbstrübe	39.7	7.8	-5.6
Rainfarn-Phazelle	53.7	45.3	41.7	Nichtleguminosen allgemein	39.6	18	-10.2
Leindotter	51.9	41.9	36.3	Klee, Inkarnat	39.4	35.5	33.4
Roggen	50.1	45.6	-22.9	Weidelgras/Inkarnatklee	38.2	28.5	20.7
Sommerwicke	49.3	35.5	27.2	Perserklee/Ölrettich	38	20.1	13.6
Ramtilkraut	49.1	34.9	26.6	Klee-,Grasgemisch 70:30	37.4	29.8	24.6
Klee, Steinklee gelb	48.9	47.5	46.6	Landsberger Gemenge	37.4	27.4	19.6
Wicke, Zottige-	47.9	46.1	45.3	Luzernegras 70:30	37.4	29.8	24.5
Senf, Äthiopischer	47.8	30.9	21.8	Luzernegras 50:50	36.4	26.3	18.1
Wicke, Purpur-	47.4	45.8	44.9	Winterweizen/Winterwicke	36.4	29	10.2
Italienisches Weidelgras	46.5	38.8	26.4	Futterwicke	36.1	31.8	29.5
Hafer, Sand-	46	40.4	-32.8	Buchweizen	35.7	0.7	-14
Sommerwicke/Ölrettich	45.6	35.8	31.1	Klee-,Grasgemisch 30:70	35.3	22.1	10.3
Rübsen	45.5	24.4	14.1	Luzernegras 30:70	35.3	22	10.3
Lupine, Blau	45.4	36.3	23	Wickroggen	35.3	27.5	8.3
Raps	44.8	22.2	11.4	Feldgras	34.6	16.6	-2.7
Ölrettich	43.8	19.5	8.4	Gemenge, Leguminosen-/ Nichtleguminosen	34.5	23.9	15.4
Esparsette, Saat-	43.6	41.6	40.6	Sonnenblume	34.1	9.7	-21
Senf, Weiß-/Gelb-	43.6	18.8	7.5	Futtermöhre	33.9	9.2	-21.2
Luzerne	43.2	41.1	39.8	Gemenge, Nichtleguminosen	33.9	9.2	-21.2
Winterroggen/Winterwicke	42.4	37.7	22.1	Lupinen	33.9	29.4	26.9
Klee, allgemein	42.3	40	38.1	Sorghum	32.6	17.8	-58.9
Klee-, Luzernegemenge	42.3	40	38.1	Klee, Alexandriner-	29.8	24.8	22.2
Leguminosengemenge (fein- und grobk.)	42.3	39.9	38.1	Sudangras	29.8	14.2	-63.2
Senf, Braun	42.3	14.7	2.7	Getreide, Ganzpflanze	28.4	12.2	-65.5
Kolbenhirse	42.2	31.9	-42.5	Klee, Hopfen-/Gelb-	27.3	22.2	19.5
Grün-/Futterroggen	42.1	31.9	-42.6	Weidelgräser, allgemein	25.2	3.2	-20
Phacelia	42.1	14.5	2.2	Wicken	24.8	19.6	16.7
Hafer, Saat-	42	31.6	-43.1	Klee, Bockshorn-	22.2	16.5	13.6
Winterwicke/Inkarnatklee	41.9	39.3	37.4	Grünmais	15.4	-19.2	-34.6
Leguminosengemenge (grobk.)	41.8	39.2	37.2	Erbse	6.2	3.5	-16.8
Senf, Futterraps, Rübsen, Ölrettich	41.2	11.7	-0.9	Platterbse	6.2	3.5	-20.9
Klee-,Grasgemisch 50:50	40.5	31.6	24.4	Gemenge allgemein	4.5	-16.7	-31.7
Perserklee	40.2	36.3	34.1	Ackerbohne-Sommerwicke-	-0.2	-5.2	-21.2
Winterwicke	39.8	35.9	33.7	Erbse-Mischung	-1.5	-21.5	-34.9
Markstammkohl (Futterkohl)	39.7	7.8	-5.6	Futterzwischenfrucht allgemein	-1.5	-21.5	-34.9
Rübsen, Winter-	39.7	7.8	-5.6	Gründungszwischenfrucht	-1.5	-21.5	-34.9
Senf	39.7	7.8	-5.6	Linse	-2.8	-6	-25
Steckrübe (Kohlrübe)	39.7	7.8	-5.6	Ackerbohne	-8.5	-11.3	-27.4
				Leguminosen allgemein	-21.5	-22.9	-34.7

3.4 Implementierung der Mustervollzugshinweise

Für die Stickstoffabschläge in Abhängigkeit von Vor- und Zwischenfrüchten mussten für Mischungen mit Leguminosen definiert werden, in welchem Fall es sich um eine nichtleguminöse Zwischenfrucht handelt. Es wurde ein Ticket angelegt, welches das Einfügen von Infobuttons an den entsprechenden Stellen realisieren sollte. Diese informieren darüber, dass es sich bei Mischungen mit einem Leguminosenanteil von $< 75\%$ um eine nichtleguminöse Zwischenfrucht handelt, und dass es sich bei Mischungen mit einem Leguminosenanteil von über 75% um eine leguminöse Zwischenfrucht handelt. Alle weiteren Hinweise sind nicht in N-Expert übernehmbar, da es sich um nicht eindeutige Vorgaben handelt die meist kann Regelungen beinhaltet.

3.5 Versuche und Recherchen für die Umsetzung der Stoffstrombilanzverordnung in Gemüsebaubetrieben

3.5.1 Berechnungen zur Nährstoffzufuhr

Die Erfassung und Bestimmung der zugeführten Nährstoffe in gemüsebauliche Betriebe ist für viele Punkte eindeutig geregelt. Eine Ausnahme sind aber die zugeführten Kultursubstrate.

Die handelsüblichen Kultursubstrate bestehen zum überwiegenden Teil aus Torf. Für Weißtorf wurde anhand des C/N Verhältnisses (ca. 50), dem C-Gehalt und der Dichte ein N Gehalt von 576 g m^{-3} bzw. 8 g kg^{-1} ermittelt, für Schwarztorf 1933 g N m^{-3} bzw. 13 g N kg^{-1} . Die N Gehalte handelsüblicher Anzuchtsubstrate sind in Tabelle 17 dargestellt. Laut unserer Berechnung variieren die Gehalte an Stickstoff zwischen 8 und 13 g N kg^{-1} . Dies sind meist geringe Gehalte, die aber zu hohen Zufuhrmengen führen, da große Menge an Substrat verbraucht werden. Durch den hohen Anteil an Schwarztorf in Presstopferden kommt es durch den höheren Stickstoffgehalt in Schwarztorf zu einer relativ hohen Zufuhr von Stickstoff auf die Flächen.

Tabelle 18 veranschaulicht die Zufuhr von Stickstoff durch Presstopferden und zeigt, dass es vor allem durch eine Zweit- (oder Drittkultur) zu einer relevanten Zufuhr kommen kann. Eine Verwendung von Traysubstraten führt dagegen zu einer deutlich geringeren Zufuhr von N. Dies liegt einerseits am geringeren Stickstoffgehalt von ca. 10 g kg^{-1} , zum anderen an den deutlich kleineren Topfgrößen (z.B. Trays). Somit verringert sich die dem Betrieb zugeführte Menge deutlich (ca. $2\text{--}8\text{ kg N ha}^{-1}$). **Tabelle 18** zeigt den N Eintrag zwei verschiedener Kultursubstrate in Abhängigkeit von der Pflanzdichte und der Presstopfgröße.

Tabelle 17 N-Gehalte in Anzuchsubstraten

Name	Art	Typ	N (g/m³)	N (g/kg)
Pro Start (Brill)	Kultursubstrat	Traysubstrat	847,47	8,98
Typ 3 (Brill)	Kultursubstrat	Traysubstrat	1051,07	9,71
Typ 3 special (Brill)	Kultursubstrat	Substrat für Minitrays	1254,67	10,44
Typ 4 soft (Brill)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1458,27	11,18
Typ 4 light (Brill)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1254,67	10,44
Typ 5 soft (Brill)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1458,27	11,18
Typ 5 light (Brill)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1254,67	10,44
Floradur Seed S 0,8 (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	1254,67	10,44
Floradur A Block (Floragard)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1594,00	11,67
Floradur A MT Block Hi-Cube (Floragard)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1390,40	10,93
Floradur B Seed (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	983,20	9,47
Floradur Seed S 0,5 (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	1254,67	10,44
Floradur Seed P (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	1118,93	9,96
TKS 1 Seed (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	847,47	8,98
Florabalt Seed 1 (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	576,00	8,00
Florabalt Seed 2 (Floragard)	Kultursubstrat	Traysubstrat	847,47	8,98
Hawita Presstopferde (Hawita)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1933,33	12,89
Sinn (Pantaflor)	Kultursubstrat	Presstopfsubstrat	1600,00	10,00

Tabelle 18 N-Eintrag mit Presstöpfen

Presstopfgröße cm	Pflanzen/ha	N (kg/ha)	
		100 % Schwarztorf [1900 g N/m³]	90% Schwarztorf 10 % Holzfaser [1470 g N/m³]
3	27000	2,77	2,14
3	200000	20,52	15,88
4	28000	6,81	5,27
4	29000	7,05	5,46
4	110000	26,75	20,70
5	35000	16,63	12,86
5	80000	38,00	29,40
5	110000	52,25	40,43
6	10000	8,21	6,35

Bedingt durch die Kulturart können bis zu 50 kg N ha⁻¹ für eine Pflanzung durch Kultursubstrate eingetragen werden. Folgen mehrere Kulturen innerhalb eines Vegetationsjahres auf der gleichen Fläche, erhöht sich der N Eintrag entsprechend.

Für handelsübliche Futtermittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel wurden Listen mit N und P Gehalten erstellt. Für die Futterpflanzen (Ganzpflanze) wurden die Werte aus der Stoffstrombilanzverordnung übernommen. Die Nährstoffgehalte der Einzelfuttermittel entstammen ebenfalls der Stoffstrombilanzverordnung, mussten allerdings noch in Frischmassegehalte umgerechnet werden (**Tabelle 19**). Diese Werte wurden in die Datenbank von N-Expert übernommen.

Tabelle 19 N und P Gehalte in Futtermitteln

Name	Art	Typ	N [kg/t FM]	P2O5 [kg/t FM]	P [kg/t FM]
Silomais	Futtermittel	Futterpflanzen	0,038	0,016	0,007
Silomais	Futtermittel	Futterpflanzen	0,047	0,018	0,008
Rotklee	Futtermittel	Futterpflanzen	0,065	0,013	0,006
Luzerne	Futtermittel	Futterpflanzen	0,065	0,014	0,006
Kleegras	Futtermittel	Futterpflanzen	0,058	0,014	0,006
Luzernegras	Futtermittel	Futterpflanzen	0,058	0,015	0,007
Weidelgras (Ackergras)	Futtermittel	Futterpflanzen	0,053	0,016	0,007
Futterzwischenfrüchte	Futtermittel	Futterpflanzen	0,043	0,013	0,006
Altbrot	Futtermittel	Einzelfuttermittel	15,600	1,950	0,845
Apfeltrester	Futtermittel	Einzelfuttermittel	2,926	0,880	0,396
Bierhefe, flüssig	Futtermittel	Einzelfuttermittel	8,400	2,600	1,140
Biertreber, siliert	Futtermittel	Einzelfuttermittel	10,000	3,425	1,500
CCM	Futtermittel	Einzelfuttermittel	10,080	4,080	1,800
Fischmehl	Futtermittel	Einzelfuttermittel	91,728	68,796	30,303
Getreide, GPS	Futtermittel	Einzelfuttermittel	5,600	2,310	1,015
Getreideschlempe, frisch (Weizen)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	34,560	6,900	3,000
Getreideschlempe, getrocknet (Weizen)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	56,212	18,952	8,372
Haferschälkleie	Futtermittel	Einzelfuttermittel	10,080	3,510	1,530
Kartoffeleiweiß	Futtermittel	Einzelfuttermittel	120,960	10,350	4,500
Kartoffelpülpe, siliert	Futtermittel	Einzelfuttermittel	1,404	1,152	0,504
Kartoffelschlempe, frisch	Futtermittel	Einzelfuttermittel	2,904	0,842	0,374
Leinextraktionsschrot	Futtermittel	Einzelfuttermittel	53,489	19,580	8,633
Leinkuchen	Futtermittel	Einzelfuttermittel	53,280	18,540	8,190
Luzernegrünmehr	Futtermittel	Einzelfuttermittel	26,640	7,200	3,150
Magermilch, frisch	Futtermittel	Einzelfuttermittel	4,896	1,947	0,859
Maiskeimextraktionsschrot (aus der Stärkeindustrie)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	35,600	14,240	6,319
Maiskleberfutter (23-35 % RP)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	36,000	17,550	7,740
Malzkeime	Futtermittel	Einzelfuttermittel	43,424	16,836	7,452
Maniok	Futtermittel	Einzelfuttermittel	3,784	2,024	0,880

Fortsetzung Tabelle 19

Name	Art	Typ	N [kg/t FM]	P2O5 [kg/t FM]	P [kg/t FM]
Melasseschnitzel	Futtermittel	Einzelfuttermittel	14,560	1,638	0,728
Molke, Permeat	Futtermittel	Einzelfuttermittel	0,335	1,535	0,675
Pressschnitzel, siliert	Futtermittel	Einzelfuttermittel	3,672	0,621	0,270
Rapsextraktionsschrot	Futtermittel	Einzelfuttermittel	54,290	24,475	10,769
Rapskuchen, fettarm	Futtermittel	Einzelfuttermittel	52,740	24,750	10,890
Roggengrießkleie	Futtermittel	Einzelfuttermittel	22,528	20,152	8,888
Roggenkleie	Futtermittel	Einzelfuttermittel	22,792	22,352	9,856
Rübenkleinteile	Futtermittel	Einzelfuttermittel	2,040	0,816	0,357
Sojaextraktionsschrot 48 % RP (HP, aus geschälter Saat)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	76,736	15,136	6,688
Sojaextraktionsschrot 44 % RP (aus ungeschälter Saat)	Futtermittel	Einzelfuttermittel	70,400	14,696	6,512
Sojaschalen	Futtermittel	Einzelfuttermittel	19,008	3,256	1,408
Sonnenblumenextraktionsschrot aus teilgeschälter Saat	Futtermittel	Einzelfuttermittel	54,112	22,428	9,879
Sonnenblumen, GPS	Futtermittel	Einzelfuttermittel	4,690	1,960	0,875
Sauermolke, frisch	Futtermittel	Einzelfuttermittel	1,011	1,760	0,774
Süßmolke, frisch	Futtermittel	Einzelfuttermittel	1,296	0,918	0,408
Trockenschnitzel	Futtermittel	Einzelfuttermittel	11,970	2,070	0,900
Vollmilch, frisch	Futtermittel	Einzelfuttermittel	5,616	2,255	0,999
Weizengrießkleie	Futtermittel	Einzelfuttermittel	24,675	21,088	9,275
Weizenkleie	Futtermittel	Einzelfuttermittel	22,528	26,224	11,528
Weizennachmehl	Futtermittel	Einzelfuttermittel	26,448	13,920	6,177
Zuckerrübenmelasse	Futtermittel	Einzelfuttermittel	16,848	0,858	0,390

Die Angaben zu Bodenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmittel wurden der FiBL-Betriebsmittelliste 2019 entnommen (Mäder, 2019). Zum Teil waren Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel bereits in der Tabelle der organischen Düngemittel (nex_organic_fertilizer) enthalten. Diese Tabelle wurde aktualisiert und vervollständigt. Dies umfasste auch die Unterteilung in die Kategorien 0 = Ernterest, 2 = Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, 3 = sonstige organische Düngemittel, 4 = Bodenhilfsstoffe, 6 = Pflanzenhilfsmittel und 7 = Kompost (Abfälle zur Beseitigung).

Die Nährstoffzufuhr durch Saatgut einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial wurde anhand des Saatgutbedarfs (kg/ha) und des N-Gehaltes (ppm) ermittelt und ergab für Getreide

2 – 4 kg N ha⁻¹ , für Mais 0,2 – 0,5 kg N ha⁻¹, für Kartoffeln 3 – 10 kg N ha⁻¹ und für Körnerleguminosen 6 – 12 kg N ha⁻¹. Vergleichende Beispielrechnungen für andere Gemüsekulturen erzielten folgende Ergebnisse: 0,4 – 0,7 kg N ha⁻¹ für Radieschen, 0,7 – 1,5 kg N ha⁻¹ für Spinat und 25 – 60 kg N ha⁻¹ für das Pflanzgut von Spargel.

3.5.2 Berechnungen zur Nährstoffabgabe

Zu Beginn der Recherche wurden Quellen gesichtet, welche als Vorgabe für die Abfuhr von nicht in Gewichtseinheiten gehandelten Gemüse herangezogen werden können.

Tabelle 20 zeigt die recherchierten Werte für Gewichtsangaben aufgewählter Gemüsekulturen. Hier wird deutlich, dass es für einige Kulturen deutliche Abweichungen zwischen den recherchierten Gewichten gibt. Dies bezieht sich z.B. auf Möhren oder einige Salate.

Tabelle 20 Recherchierte Gewichte von Gemüse

	Gewicht [g]				
	N-Expert (Ertrag/Anz.Heft 4)	Recherche (Literatur + Internet)	ZMP (Zentrale Markt und Preisbereicthstelle)	GfK (Gesellschaft für onsumforschung)	KTBL (DüV/Anz. KTBL)
Moehren im Bund	334 (10er)	800	400	400	571 (10er)
Lauchzwiebeln im Bund	278 (7er)	250	200	311	
Mairueben im Bund	379 (3er)	900			
Radieschen im Bund	215 (20er)	300	230	263	368 (20er)
Rettich	700	800	750	675	
Endievien Salat	648	600	500	479	
Kopfsalat	429	500	350	311	521
Lollo Bionda	321	400	250		
Lollo Rosso	275	350	250	439	
Eichblattsalat		350	250	332	
Mini Romana	230	125	125	80	190
Blumenkohl	1231	1000	1250	972	1460
Kohlrabi	378	400	400	245	530
Eissalat	600	700	600	581	880
Radicchio	270	300			
Bleichsellerie	375	600	250		
Sellerie mit Laub (Bund)	2000	2000	2000		3200
Romanasalat (Bindesalat)	470	600	300	496	
Zuckermals (2er)	540	450	400	460	

Dies machte eine experimentelle Erhebung von Daten zu Gemüsegewichten im Vermarktungsbereich nötig, da auch bei der Befragung von Praxisbetrieben deutliche Abweichungen zu den Quellen kommuniziert wurden. In **Abbildung 31** und **Abbildung 32** sind die gemessenen Gewichte als Boxplot dargestellt

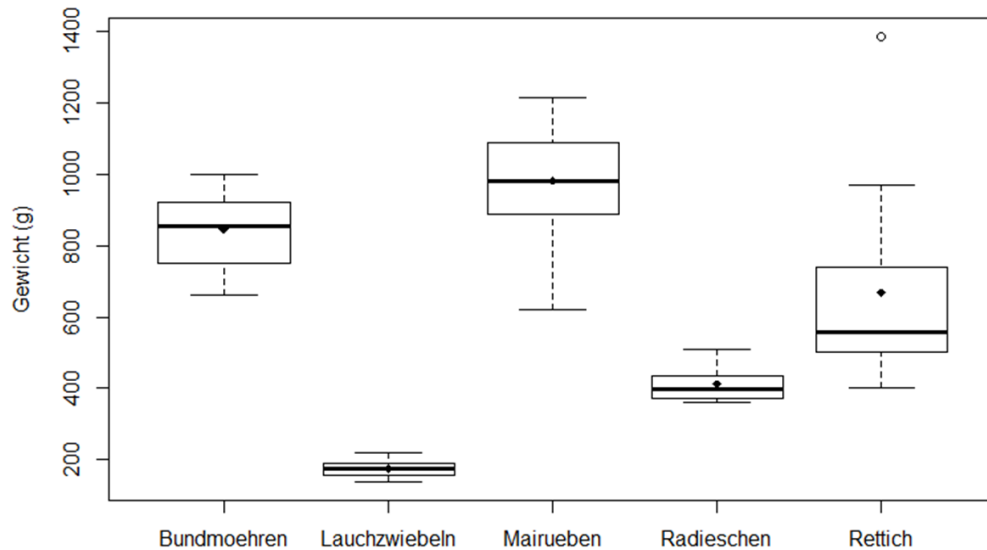


Abbildung 31 Gewicht von Bundgemüse und Rettich

Wie in **Abbildung 31** zu erkennen ist, streuten die Gewichte für Bundware stärker bei hohen Gewichten. Geringere Bundgewichte, wie von Lauchzwiebeln und Radieschen, wiesen geringere Streuungen auf. Der Rettich hat hier aufgrund großer Größenunterschiede die höchste Streuung. Es ist aber festzuhalten, dass die Erfassung realistische Gewichte wiedergeben konnte.

Im Gegensatz dazu wiesen Salate eine deutlich größere Streuung auf (**Abbildung 32**). Trotz vergleichbarer mittlerer Gewichte unterschieden sich die Gewichte der einzelnen Salatköpfe von Lollo Bionda stark, die von Lollo Rosso hingegen variierten kaum.

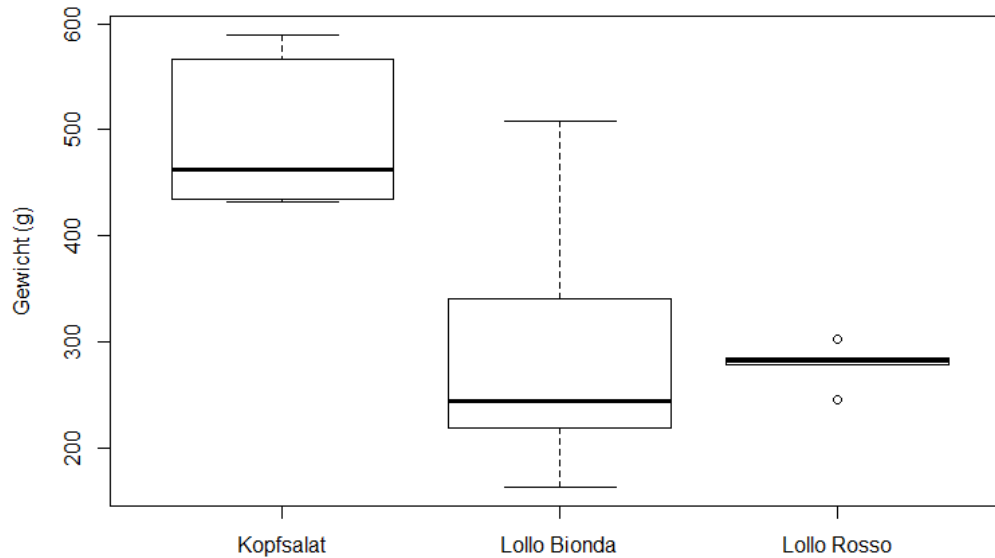


Abbildung 32 Gewicht von Kopfsalaten

Die Abbildungen 34- 38 zeigen die mittleren Gewichte der Kulturen für die drei Beprobungstermine F (Mai und Juni), S (Juli und August) und H (September und Oktober). Bei keiner der untersuchten Kulturen gab es einen signifikanten Einfluss des Jahreszeitraumes auf das mittlere Gewicht. Zwar gibt es Unterschiede zwischen dem Sommer und dem Herbst, ein Effekt des Probenahmedatums ist aber im Vergleich zum Frühjahr nicht festzustellen (**Abbildung 33**). Noch deutlicher ist für die Kulturen Möhre, Radies, Bundzwiebeln und Rettich dargestellt. Eine Effekt der Jahreszeit ist somit für die untersuchten Kulturen für das Probenahmejahr 2018 auszuschließen.

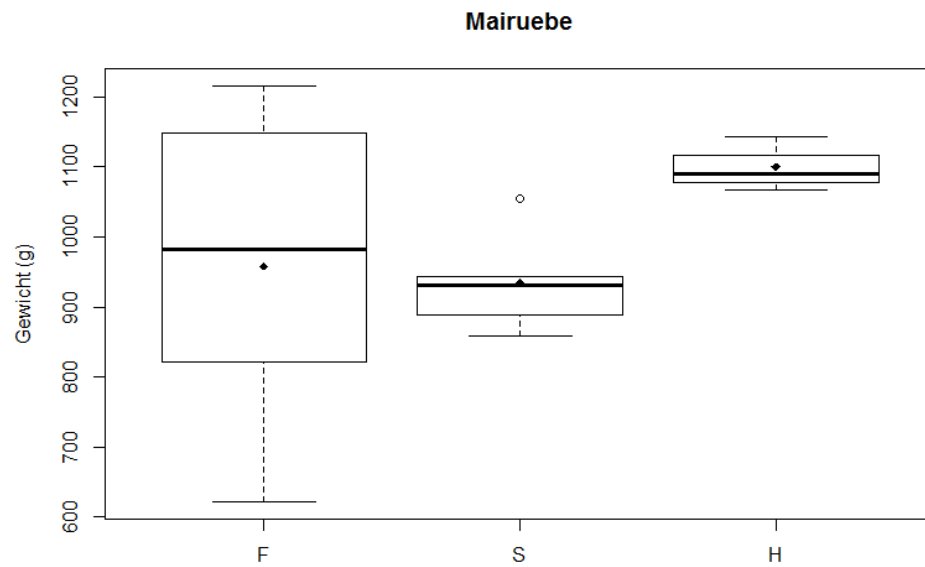


Abbildung 33 Mittlere Gewichte von Mairüben im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum

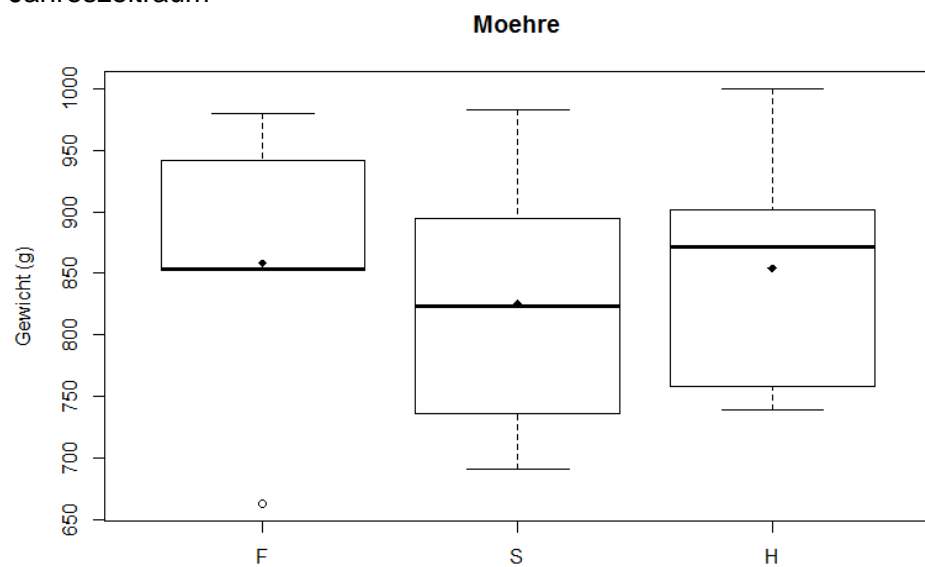


Abbildung 34 Mittlere Gewichte von Möhren im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum

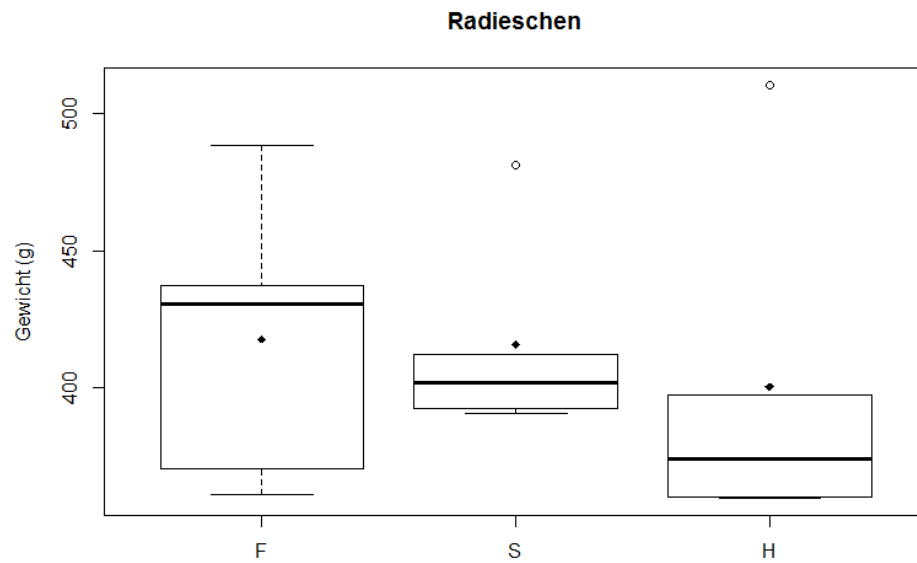


Abbildung 35: Mittlere Gewichte von Radieschen im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum

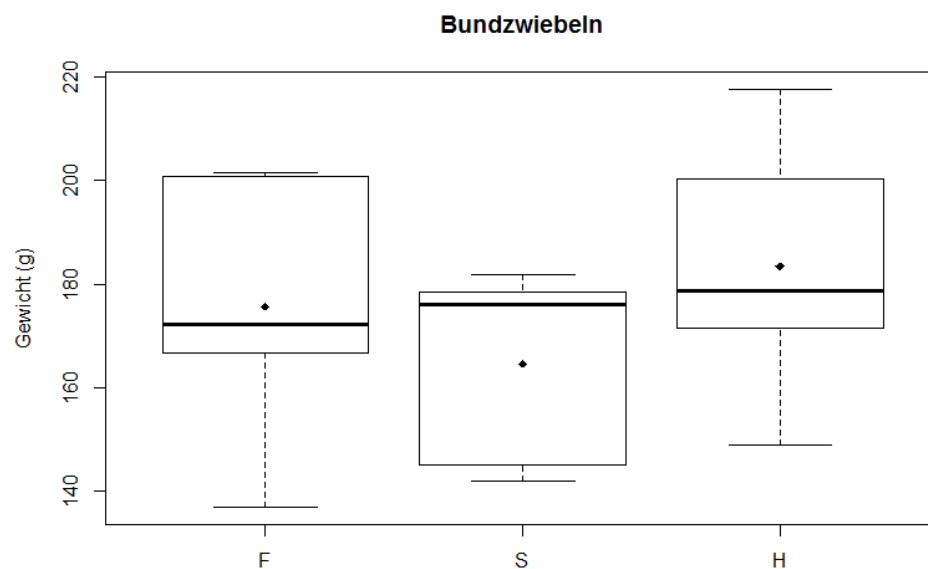


Abbildung 36 Mittlere Gewichte von Frühlingszwiebeln im Bund in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum

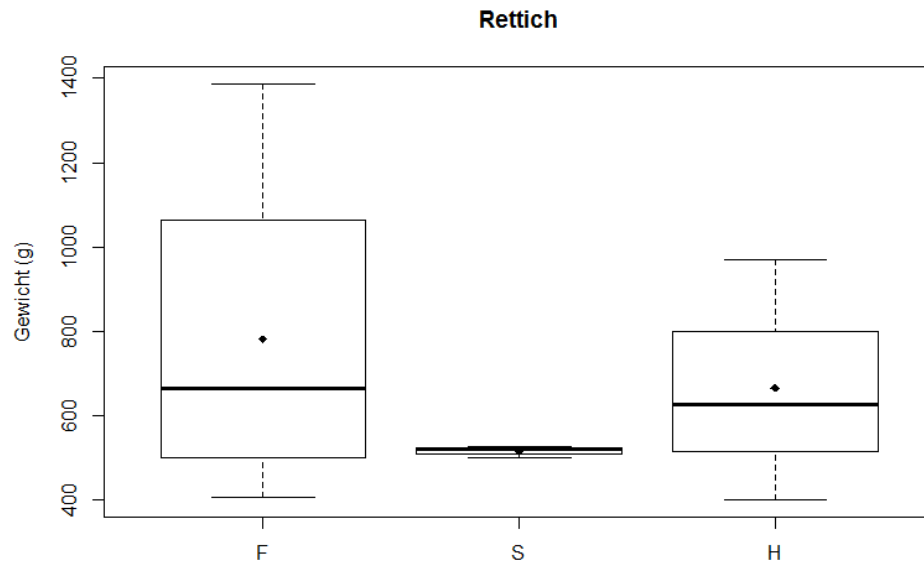


Abbildung 37: Mittlere Gewichte von Rettich in Abhängigkeit von dem Jahreszeitraum

Auch ein Effekt des Handels konnte nicht festgestellt werden. Wie in **Abbildung 38** bis **Abbildung 42** deutlich wird ist die Streuung der Gewichte meist so hoch, dass ein Effekt des Handels auszuschließen ist. Zwar gibt es vereinzelt einen Effekt des Supermarktes z.B. für Radies doch handelt es sich hier um einen Einzelfall. Es ist davon auszugehen, dass einige Händler Vorgaben zum Gewicht machen, die durch den Produzenten bedient werden müssen. Diese müssten dann durch den Produzenten in der Stoffstrombilanzverordnung berücksichtigt werden.

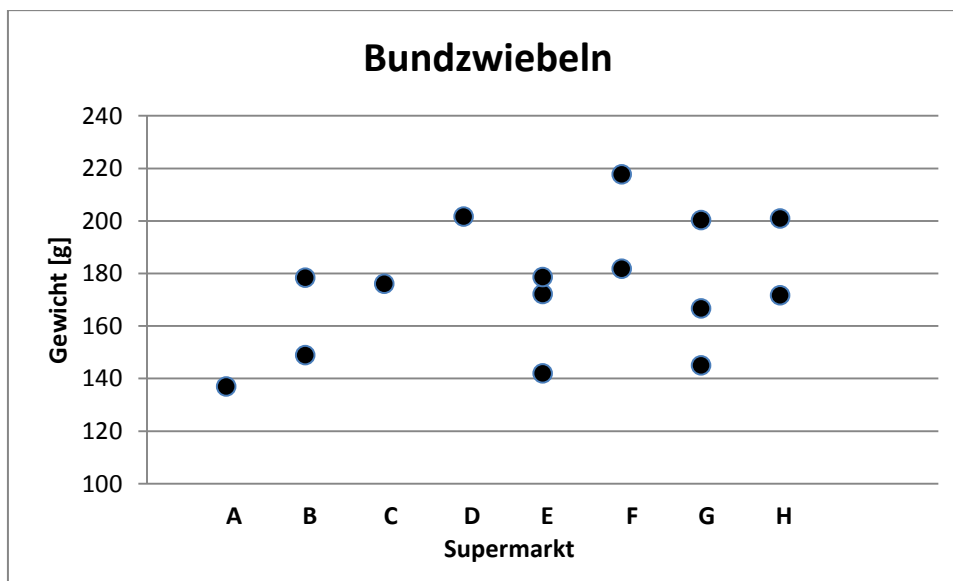


Abbildung 38: Mittlere Gewichte von Bundzwiebeln in Abhängigkeit von dem Supermarkt

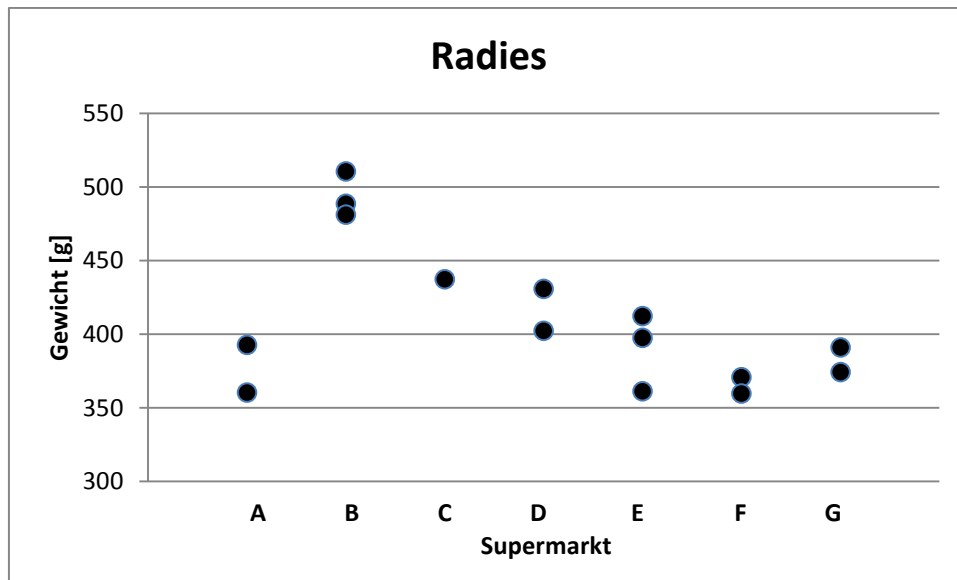


Abbildung 39 Mittlere Gewichte von Radies in Abhängigkeit von dem Supermarkt

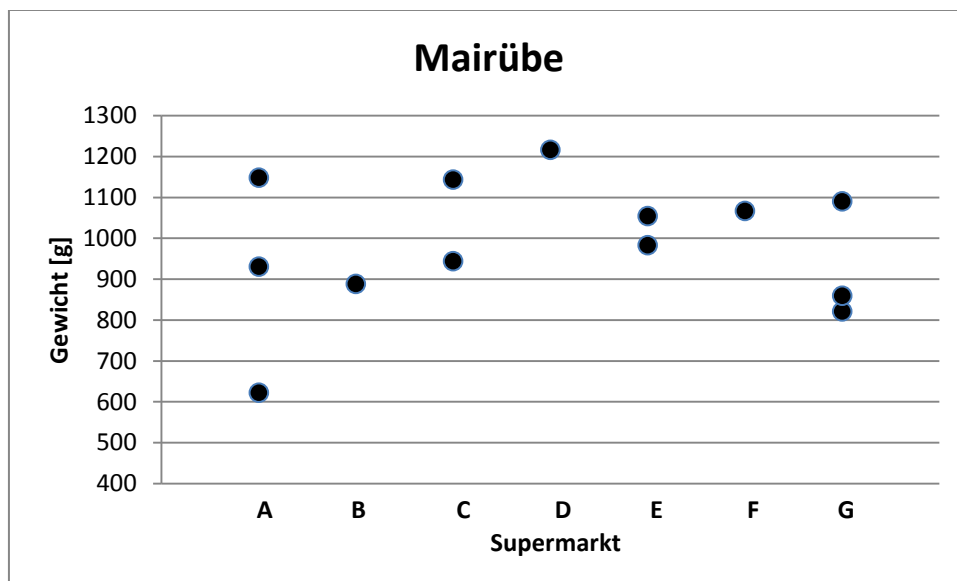


Abbildung 40 Mittlere Gewichte von Mairüben in Abhängigkeit von dem Supermarkt

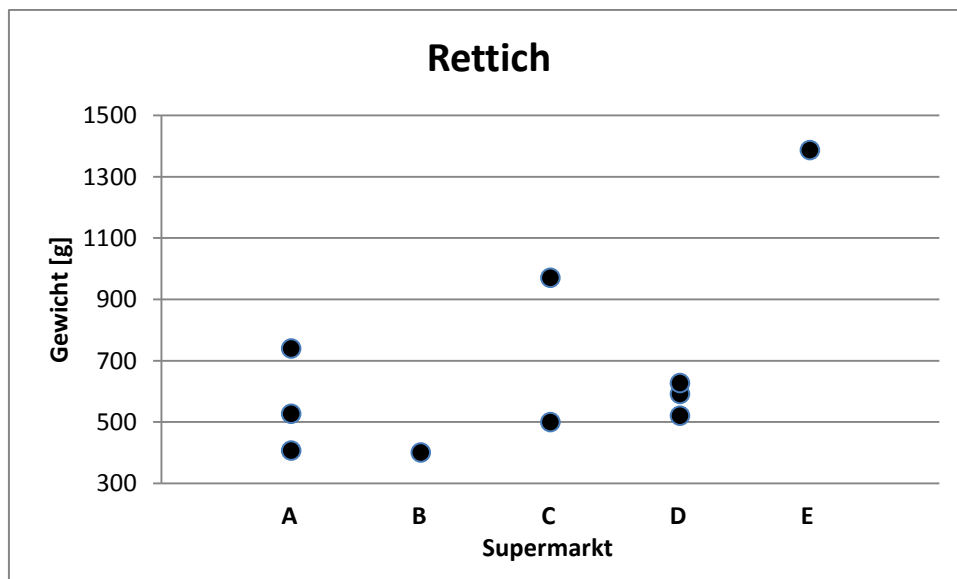


Abbildung 41: Mittlere Stückgewichte von Rettich in Abhängigkeit von dem Supermarkt

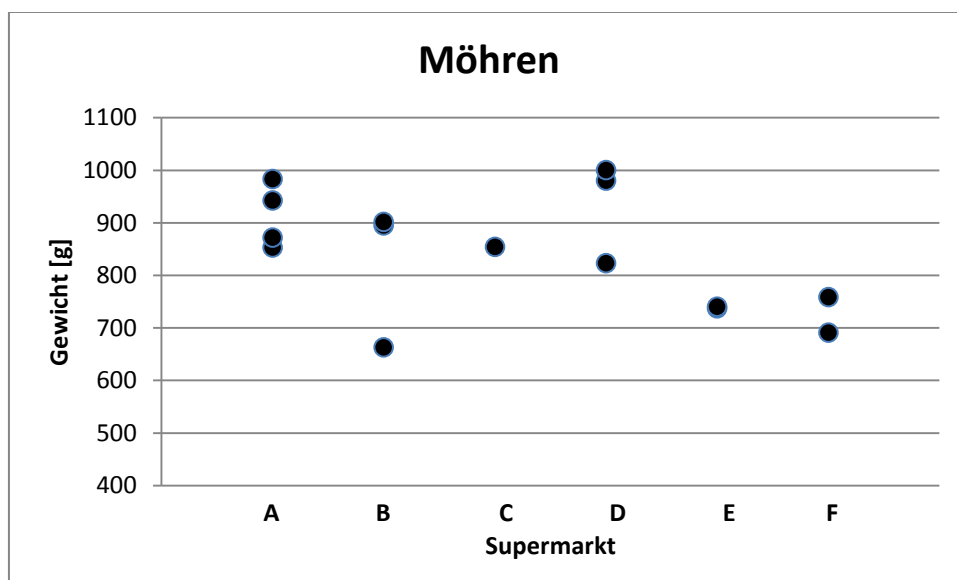


Abbildung 42: Mittlere Gewichte von Bundmöhren in Abhängigkeit von dem Supermarkt

Aus den durchgeführten Messungen ergaben sich folgende Mittelwerte, welche für die Festlegung der Pauschalgewichte von Stück- und Bundware berücksichtigt wurden (**Tabelle 21**):

Tabelle 21 Mittlere Gewichte von Gemüse

Gemüse	Mittelwert Gewicht [g]
Bundmöhre	846
Bundzwiebel	175
Mairübe im Bund	982
Radieschen im Bund	411
Rettich	667
Kopfsalat	491
Lollo Rosso	286
Lollo Bionda	279

Diese Daten wurden wiederum mit den recherchierten Ergebnissen aus **Tabelle 20** abgeglichen und folgende Werte wurden als Standardgewichte für die Nährstoffabgabe in N-Expert übernommen (**Tabelle 22**). Diese Werte gelten somit zukünftig als Standardwerte und können für die Kalkulation der Feldabfuhr herangezogen werden.

Tabelle 22: Standardgewichte für die Stoffstrombilanz

Gemüsekultur	Gewicht [g] StoffBilV
Moehren im Bund	850
Lauchzwiebeln im Bund	180
Mairueben im Bund	1000
Radieschen im Bund	400
Rettich	700
Endievien Salat	550
Kopfsalat	500
Lollo Bionda	300
Lollo Rosso	300
Eichblattsalat	300
Mini Romana	200
Mini Romana (2er, 3er)	400
Blumenkohl	1200
Kohlrabi	450
Eissalat	650
Radicchio	300
Bleichsellerie	500
Sellerie mit Laub (Bund)	2000
Romanasalat (Bindesalat)	500
Zuckermais (2er)	500

Die Höchstsätze der Gewichtsverluste durch Austrocknung bei normaler Lagerung nach Heggl (2013) betragen für Wurzel-, Kohl- und Zwiebelgemüse 4,5 % nach einem Monat, für Blatt- und Stielgemüse 7,5 % nach einer Woche und für Fruchtgemüse 13 % nach einem Monat. Die ergänzend durchgeführten Messungen von Gemüse in Verpackungen lieferten folgende Ergebnisse. Die Erfassung von Sicherheitsmargen beinhaltet meist Flowpacks oder ähnliche Verpackungsformen. Es wird deutlich, dass die Varianz der Gewichte für die geringeren Normgewichte sehr hoch ist. Im Mittel liegt sie aber bei ca. 10 % für die meisten Verpackungen. Einzig die höheren Gewichte weisen eine etwas geringere Marge auf. Da aber der Datensatz mit (n= 6) gering war wird hier zunächst ebenfalls ein Wert von 10% angenommen (**Abbildung 43**). Interessanterweise wurden bei Verpackungsgewichten von 500 g im Mittel nur geringere Abweichungen zu beobachtet. In dieser Gruppe wurde auch ein größerer Anteil von Gewichtsunterschreitungen beobachtet. Da dies nicht mit den Vorgaben der Eichämter konform ist, wird hier auch von einer Sicherheitmarge von ca. 7.5 % ausgegangen.

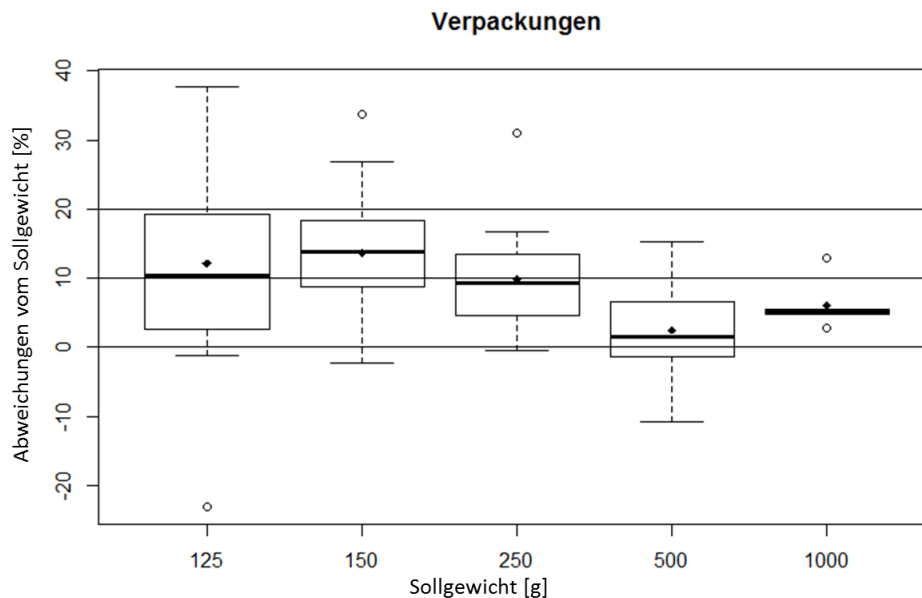


Abbildung 43: Abweichungen vom Sollgewicht bei Verpackungen

Tabelle 23: Sollgewichte und Abweichungen für ausgewählte Verpackungen

Sollgewicht [g]	Gemüse	Proben	Abweichung MW [%]
125	Rucola, Pflücksalat	26	12,14
150	Feldsalat, Spinat, Rucola	20	13,61
250	Spinat, Wurzelpetersilie, Pak Choi	13	9,84
500	Brocoli, Schwarzwurzeln, Rosenkohl, Bohnen, Pflückerbsen	13	2,49
1000	Möhren	6	6,06

Als Korrekturwert, der bei der Erstellung einer Stoffstrombilanz auf die belegbaren Gewichte angewendet werden kann, wurden aufgrund der durchgeführten Messungen pauschal 10 % für alle Gemüsekulturen festgelegt und dies in N-Expert implementiert.

3.5.2.1 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Feldstudie zeigten, dass eine Evaluierung der Gewichte von Gemüse, welches nicht in den Gewichtseinheiten gehandelt wird für die Stoffstrombilanzverordnung wichtig war. Die aktuell gehandelten Gemüse weisen meist ein höheres Gewicht als die Tabellenwerte aus und bringen bei der Berücksichtigung als Abfuhr in der Stoffstrombilanzverordnung dem Betrieb keine Nachteile. Gleiches gilt für die Sicherheitsmargen, diese sind eine Besonderheit des Gemüsebaus und sollten mit 10 % angesetzt werden. Mögliche Effekte wie der Handel oder der Vermarktungszeitpunkt auf das Gewicht des Gemüses konnten ausgeschlossen werden.

3.6 Versionen der N-Expert Software

Seit Projektbeginn wurde N-Expert intensiv überarbeitet und für die Nutzung mit aktuellen Computerbetriebssystemen optimiert. Die Anforderungen an die Softwareentwicklung werden in einem professionellen "Ticketsystem" verwaltet. Ein Ticket entspricht einer Anforderung. Komplexe Anforderungen, wie z.B. "Berücksichtigung von organischen Düngern in N-Expert" werden in der Regel in mehrere Sub-Tickets zerlegt. Auch für jeden Fehler, der bei den Softwaretests von Projektmitarbeitern oder von externen Testern gefunden wurde, wurde ein Ticket erstellt.

Eine vollständige Übersicht über die bearbeiteten Tickets gibt die Datei "N-Expert Software Tickets" (beigefügt). Folgend sind die einzelnen Versionen mit ihren Neuerungen kurz erläutert.

Version 4.2.0 - 01.05.2015

Zu Beginn des Vorhabens wurde bereits mittels eines großen Updates von Version 3 - das Programm vollständig überarbeitet. Ebenso erfolgte eine Aktualisierung der Datenbank

Version 4.2.1 - 01.07.2015

In dieser Version wurden Hilfetexte ergänzt und kleine Korrekturen eingepflegt

Version 4.2.2 - 01.10.2015

Aktualisierungen der Datenbank (Updates) werden auf dem IGZ-Server bereitgestellt und vom Programm automatisch geladen.

Kleine Verbesserungen der Benutzeroberfläche.

Version 4.3.0 - 01.04.2016

Das Programm schätzt jetzt den Zeitverlauf der Netto-N-Mineralisierung aus organischen Düngern und berücksichtigt diese N-Menge bei der Düngungsempfehlung. Dabei wurden die im Kapitel 4 bestimmten Zusammenhänge und Algorithmen zugrunde gelegt. Die Datenbank der organischen Handels- und Wirtschaftsdünger wurde dafür auf über 500 organische Düngemittel erweitert und neue Parameter wie der Kohlenstoffgehalt erfasst. Die Netto-N-Mineralisierung wird in Abhängigkeit vom Düngertyp, dem N-Gehalt und dem C/N_{org}-Verhältnis der Dünger geschätzt. Außerdem wird die Bodentemperatur berücksichtigt. Jedem Betrieb werden langjährige Mittelwerte der Bodentemperaturen zugeordnet. Der Benutzer kann diese langjährigen Mittelwerte verwenden oder aktuelle Bodentemperaturen selber eingeben.

Version 4.3.1 - 01.11.2016

Version 4.3.1. verwendet ein neues Datenbanksystem (SQLite). Die neue Datenbank ist erheblich schneller und einfacher zu warten als die bisherige. Die in früheren N-Expert Versionen verwendete Access-Datenbank kann nicht mehr verwendet werden. Eine automatische Übertragung der Daten von der alten Datenbank in die neue Datenbank können wir leider nicht anbieten. Die N-Mineralisierung aus Humus muss nicht mehr durch den Benutzer für jeden Monat des Jahres geschätzt werden. Es genügt nun, nur einen Schätzwert für die Mineralisierung bei 20 °C Bodentemperatur in 10 cm Bodentiefe anzugeben; diese Bodentemperatur wird an vielen Standorten in Deutschland im Juli erreicht. Das Programm

schätzt dann den Jahresverlauf der N-Mineralisierung aus den Bodentemperaturen der ausgewählten Wetterstation.

In einem neuen Tab "Berichte > N-Flüsse" wird eine Grafik dargestellt. Die Grafik zeigt die geschätzten Zeitverläufe von N-Aufnahme, N aus Humus, N aus Ernterückständen, N aus organischen Düngern usw.

-Die Benutzerinformation über das Laden und Installieren von Updates wurde verbessert.

-Ein Fehler bei der Berechnung der N-Düngungsempfehlung wurde behoben.

-Das Programm ist nun in drei Sprachen nutzbar (de, en, nl).

Bekannte Probleme der Version 4.3.1

- Auf einigen Rechnern wird ein Update erst beim zweiten Versuch installiert, d.h. zunächst wird ein Update heruntergeladen, aber nicht installiert. Übergangslösung: Das Programm schließen und erneut öffnen. Dann wird das Update erneut heruntergeladen und danach korrekt installiert.
- Auf einigen Rechnern **unter Windows 10** wird der Tab Berichte / Dokumentation und der Tab Düngeempfehlung / N-Düngeempfehlung direkt nach dem Öffnen des Programms nicht vollständig dargestellt. Übergangslösung: Die Größe des Fensters, in dem das Programm läuft, muss nach dem Programmstart einmal etwas verändert werden; z.B. mit der Maus an einer Fensterecke ziehen, oder das Fenster auf Vollbild schalten. Der Fehler tritt nach jedem Programmstart erneut auf.

Version 4.4.0 – 03.05.17 (Vorab-Version)

Die Programmversion 4.4.0 ermittelt den N- und P-Düngebedarf gemäß DüV und erstellt einjährige und mehrjährige Nährstoffvergleiche gemäß DüV.

Grundlage ist der DüV Verordnungsentwurf vom 18.01.2017, d.h. nicht der finale Verordnungstext.

Diese Programmversion ist eine Vorab-Version, die noch nicht für die Öffentlichkeit bestimmt ist, da der finale DüV-Verordnungstext noch nicht berücksichtigt werden konnte.

Jedoch sind bereits ca. 95% der Anforderungen darin enthalten.

Es ist nun möglich die Region „Deutschland (DüV2017)“ aus (Einstellungen > Region > Deutschland (DüV2017)) zur Ermittlung des Düngungsbedarfs nach novellierter Düngeverordnung zu wählen.

Nachdem man diese Region gewählt hat, sehen Sie unter 'Düngeempfehlungen' und 'Berichte' - zusätzlich zu den aus vorherigen Versionen bekannten Reitern - die neuen DüV-Reiter. Das heißt:

- es gibt wie bisher N, P, K, Mg-Düngungsempfehlungen und Nährstoffbilanzen gemäß N-Expert
- und es gibt zusätzlich N und P-Düngebedarfsermittlung und Nährstoffvergleiche gemäß DüV.

Version 4.4.1 ab Juni 2017

Änderungen im finalen Verordnungstext sollen soweit möglich berücksichtigt werden, da Version 4.4.0 auf dem vorläufigen Verordnungstext beruht. Das heißt u.a.: Als Abschlag für die Vorkultur im Vorjahr (Zeile 11) wird aktuell -20 kg N/ha für alle Gemüsekulturen angerechnet, im endgültigen Verordnungstext beträgt er aber -10 kg/ha für Kohlgemüse oder 0 kg/ha für alle anderen Gemüsearten.

- Die Kulturdatenbank wird mit aktuellen Daten für die Dauerkulturen Erdbeere, Rhabarber und Spargel erweitert.
- Alle in der Verordnung aufgeführten Ackerkulturen werden berücksichtigt.
- Die Region Deutschland (DüV) wird als Standardeinstellung gesetzt, damit Benutzer in Deutschland die Region nicht umstellen müssen.
- Ergänzung der Anzeigetexte in der Sprachvariante nl.
- Beseitigung von Anzeige Problemen unter Windows 10 (Fensterinhalte werden unter Win10 manchmal nicht vollständig dargestellt. Wir können daher die Verwendung von Version 4.4.0 mit Win10 nicht empfehlen. Verändern der Fenstergröße durch Ziehen mit der Maus oder durch Umschalten auf den Vollbildmodus bringt kurzzeitig Abhilfe).
- Wenn Düngungsmaßnahmen eingegeben werden, wird nun aus der Düngermenge berechnet und angezeigt, welche Nährstoffmengen mit dem Dünger ausgebracht werden. Für organische Dünger wird angezeigt, wie viel N im Jahr der Düngung pflanzenverfügbar ist.
- In der Standardeinstellung werden Düngungsempfehlungen und Nährstoffbilanzen nach den Vorschriften der Düngeverordnung 2017 berechnet. Benutzer, für die die

Düngeverordnung 2017 nicht gilt (Kleinbetriebe, Kleingärten, Betriebe außerhalb Deutschlands) können aber auch die bisher verwendeten Berechnungsmethoden nutzen.

Auf manchen neueren Bildschirmen erscheinen die N-Expert Fenster sehr kontrastarm und sind dadurch sehr schwer lesbar. Dieses Problem kann durch die Umstellung der Farbtiefe gelöst werden (Systemsteuerung > Darstellung und Anpassung > Anzeige > Bildschirmauflösung (oder Auflösung anpassen) > Erweiterte Einstellungen > Monitor > im Feld Farbtiefe 16 Bit auswählen (statt 32 Bit)

Version 4.4.2 – 01.05.2018

Eine wichtige Neuerrung in Version 4.4.1 ist die Berücksichtigung der standortbezogenen Bodentemperatur bei der Schätzung der Stickstoffmineralisierung aus der organischen Bodensubstanz. Anders als in den bisherigen Versionen erfolgt so eine bessere standortspezifische Berücksichtigung der Stickstofffreisetzung aus der organischen Bodensubstanz.

- Verbesserte Schätzung des Nmin Vorrats des Bodens, wenn Kulturen vor der Ernte eingearbeitet werden (z.B. nach Hagelschäden oder Pflanzenschutzproblemen).
- Die Software verwendet jetzt das aktuelle Java 9, 32-Bit Systeme werden daher nicht mehr unterstützt.

Version 4.4.3 - 01.11.2018

- Verbesserte Unterstützung für Dauerkulturen (Spargel, Rhabarber) und Überwinterungskulturen (Blumenkohl, Spinat).

Version 4.5.0 – April 2019

- Erstellung einer Stoffstrombilanz nach den Vorgaben der Düngeverordnung möglich (Werte für benötigte Parameter wurden in der Datenbank ergänzt)

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Dieses Projekt stellt ein Entscheidungshilfe-Vorhaben für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) mit der Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft (BLE) als Projektträger dar. Ziel war es, das N-Expert-Programm fachlich und technisch zu aktualisieren und so für viele Benutzer einsatzfähig zu machen. Vor Projektbeginn war die Software zwar sehr gut für die Bedarfsermittlung geeignet, entsprach allerdings nicht den zu erwartenden Vorgaben der novellierten Düngeverordnung zur Düngebedarfsermittlung. Auch fehlte die Anpassung für die Stickstoffbedarfsermittlung von Sonderkulturen und Dauerkulturen sowie eine Anpassung an die Vorgaben des ökologischen Gemüsebaus. Die veraltete Version von N-Expert schränkte zudem den Kreis der Benutzer durch die nichtmehr zeitgemäße Programmierung ein.

Eine Überarbeitung der Software sollte es möglichst allen Gemüsebaubetrieben in Deutschland möglich machen, ihre Düngebedarfsermittlung zu optimieren und sie nach den Vorgaben der novellierten Düngeverordnung zu erstellen.

Der Einsatz von synthetischen und organischen Düngemittel sollte zudem optimiert werden um Nährstoffverluste zu vermindern. Dies ist vor dem Hintergrund der verschärften Vorgaben bezüglich der Stickstoff- und Phosphatdüngung in der Düngeverordnung vom 02.06.2017 von großer Wichtigkeit.

In der Projektlaufzeit wurde N-Expert stark überarbeitet. Nicht nur die Anwendungsoberfläche, sondern auch neue Algorithmen und Datentabellen wurden erstellt oder die existierenden überarbeitet. Die Benutzerfreundlichkeit und die Usability der Software konnte verbessert werden. Das bedeutet, dass die Ausgabe der Bedarfsermittlung nun den Anforderungen einer zeitgemäßen Softwareanwendung entspricht.

Neben der verbesserten Programmierung bildet jedoch die Möglichkeit der Bestimmung des Düngebedarfs für die neue DüV und StoffBilV einen Kern der Neuerungen. Bereits kurz nach Inkrafttreten der novellierten Düngeverordnung haben wir den Anwendern ein Tool zur Verfügung gestellt, welches sie auf die kommenden Veränderungen in der Düngeplanung vorbereitet. Ab Mitte August wurde die Version 4.4.0 mit der Umsetzung der novellierten Düngeverordnung auf der Homepage des MuD Projektes „Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau“ bereitgestellt. Zudem wird im April 2019 eine Version von N-Expert mit der Möglichkeit der Berechnung einer Stoffstrombilanz nach der Vorgaben der StoffBilV erscheinen. Eine weitere Neuerung ist die Anpassung von N-Expert an die Anforderungen des ökologischen Gemüsebaus. Durch eine Literaturrecherche wurde die Düngewirkung von fast allen relevanten

organischen Düngemitteln bestimmt. Je nach Düngemittelherkunft, Verarbeitung, Formulierung und Qualität kann durch den in N-Expert implementierten Modellansatz die zu erwartende Stickstofffreisetzung geschätzt werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die vom Anwender einzugebenden Parameter auch in der Gemüsebaulichen Praxis zur Verfügung stehen. Mit N-Expert ist es nun möglich, fast jedes organische Düngemittel bezüglich der maximalen Freisetzung im Jahr der Anwendung und der Mineralisationsgeschwindigkeit zu schätzen. Dabei haben wir es geschafft, die organischen Düngemittel welche in Deutschland auf die Flächen verbracht werden fast komplett abzubilden. Die Stickstofffreisetzung richtet sich im Gegensatz zu älteren Versionen von N-Expert nach der langjährigen mittleren Bodentemperatur, welche für jeden Standort nun ausgewählt werden kann. Auch erfolgte eine Aufsplittung vom gesamt N in N_{\min} und N_{org} , was die Vorhersage der Freisetzung verbesserte.

Die Schätzung der Netto-N Mineralisierung aus organischen Düngemitteln unterliegt allerdings einem gewissen Schätzfehler, der sich aus der Diversität jedes einzelnen organischen Düngemittels ergibt. Wir stehen aber vor der Problematik, dass viele Düngemittleigenschaften welche die Vorhersagbarkeit verbessern, wie z.B. Ligningehalt und Polyphenolgehalt, in der Regel nicht zur Verfügung stehen. Unser Modellansatz zeigte sehr anschaulich, dass die zu erwartende Düngewirkung der organischen Düngemittels maßgeblich vom C/N_{org} Verhältnis abhängig ist. Je nach Verarbeitung des Ausgangsmaterials unterscheidet sich die Beziehung zwischen N_a und C/N_{org} . Auch ist die Freisetzungsgeschwindigkeit vom Düngemitteltyp abhängig.

Durch einen praxisorientierten Kalkulationsansatz können nun in N-Expert viele Einflussfaktoren, welche die zur erwartenden Freisetzung im Jahr der Anwendung beschreiben, mittels einer spezifischen Auswahl eines organischen Düngemittels berücksichtigt werden. Auf der Internetseite des IGZ wurden zudem Listen veröffentlicht, welche die zu erwartende Stickstoffdüngewirkung einer großen Anzahl an organischen Düngemitteln darstellen.

Bisher fehlte in N-Expert auch eine fundierte Schätzung des N_a aus Ernterückständen. Der bisherige Kalkulationsansatz wurde grundlegend überarbeitet und auf wissenschaftliche Erkenntnisse bezogen. Zukünftig kann in N-Expert zu jeder neu angelegten Kultur die Netto-N Mineralisierung aus Ernterückständen in Abhängigkeit vom C/N_{org} und der Bodentemperatur geschätzt werden. Dadurch wird eine bessere Einschätzung des Düngedarfs für die Folgekultur möglich sein.

Eine weitere Neuerung stellt die Berücksichtigung von Zwischenfrüchten dar. Durch einen praxisorientierten Modellansatz werden die Anwender in der Lage sein, die zu erwartende Stickstoffdüngewirkung für eine große Anzahl an Zwischenfrüchten in Abhängigkeit vom

Einarbeitungszeitpunkt und der Nährstoffversorgung zu schätzen. Neben der Kultur stellen der Zeitpunkt der Einarbeitung und der Versorgungszustand einen wichtigen Faktor zur erwartenden Freisetzung dar. Bei schlechter Nährstoffversorgung und später Ernte/Einarbeitung kann es zu einer Verminderung der zu erwartenden Düngewirkung für die Folgekultur kommen. N-Expert wird in der Lage sein, dies in der Berechnung der Düngeempfehlung zu berücksichtigen.

Um den Gemüseanbauern weiterhin zu unterstützen wird angestrebt die neuen in N-Expert implementierten Modelle und Algorithmen weiter zu entwickeln und zu validieren. Daneben sollen kurzfristige Neuerungen im Gesetzestext noch in die neue Softwareversion von N-Expert einfließen. Dazu gehören neue Berechnungsmodi zur Anrechnung von Kompost bei der Düngebedarfsplanung und Interpretationsprobleme, die mit den Mustervollzugshinweisen synchronisiert werden müssen. Einen wichtigen Punkt stellt die P-Bedarfsermittlung dar. Die recht umfangreiche und komplexe P-Bedarfsplanung muss noch den Anforderungen der novellierten Düngeverordnung vom 02.06.2017 entsprechen. Es ist daneben geplant die Berechnung einer Stoffstrombilanz, wie sie das Düngegesetz vorschreibt, in N-Expert zu implementieren. Dieses Teilgebiet wird Bestandteil der kommenden N-Expertdatenbanken sein.

Die im Projekt-Arbeitsplan gesetzten Ziele wurden vollständig erreicht. Wir haben es geschafft den Benutzern aus der Landwirtschaft, dem Wasserschutz- und Düngeberatern sowie den Mitarbeitern der Landwirtschaftskammern eine zeitgemäße Software zur Verfügung zu stellen, die nicht nur die Düngebedarfsermittlung der novellierten Düngeverordnung und Stoffstrombilanzverordnung in großen Teilen abbildet sondern auch die Stickstofffreisetzung aus organischen Stickstoffquellen beinhaltet.

5 Zusammenfassung

Projektziel war es die Software N-Expert durch eine fachliche und technische Überarbeitung für viele Benutzer nutzbar zu machen. Neben der Verbesserung der Programmierung sollten neue Algorithmen entwickelt oder bereits existierende verbessert werden, um N-Expert bezüglich der Anforderungen der novellierten Düngeverordnung, Stoffstrombilanzverordnung und Düngebedarfsermittlung für Dauerkulturen und die Bedingungen im ökologischen Gemüsebau anzupassen.

Durch eine breite Literaturrecherche wurde ein Datensatz von über 1300 Mineralisations- und Immobilisationsverläufen von organischen Düngemitteln erstellt. Mit Hilfe einer Kategorisierung konnten die Stickstofffreisetzungseigenschaften fast aller in der deutschen Landwirtschaft relevanten organischen Düngemittel dargestellt werden. Dabei wurde ein robustes Modell angewendet.

Es konnte gezeigt werden, dass die Netto-N-Mineralisation (N_a) innerhalb jeder organischen Düngemittelkategorie maßgeblich vom C/N_{org} -Verhältnis abhängig ist. Eine Parametrisierung mittels schrittweiser linearer Regression machte es zudem möglich Vorhersagefunktionen zur Düngewirkung in Abhängigkeit vom C/N_{org} zu erarbeiten. Die Mineralisationsratenkonstante (k) wurde zudem in Abhängigkeit von der Bodentemperatur geschätzt. Dies bildete auch die Grundlage für die Schätzungen der Stickstofffreisetzungseigenschaften für Ernterückstände und Zwischenfrüchte. Um die Zwischenfrüchte zu unterschiedlichen Versorgungszuständen und Ernte- und Einarbeitungszeitpunkten abzubilden wurde das „DAISY-Modell“ verwendet. Es konnte gezeigt werden, dass der Anteil an pflanzenverfügbarem Stickstoff am Gesamtstickstoff neben dem Gehalt an mineralischem N zu Beginn der Einarbeitung sich zwischen den organischen Düngemittelkategorien in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial, der Verarbeitung, des Rottezustands oder der Formulierung unterscheidet. Es ist meist davon auszugehen, dass viele organische Handelsdüngemittel mit einer mittleren Freisetzung von ca. 50 % des organischen N charakterisiert werden können. Dieser Anteil wird in der Regel innerhalb weniger Wochen frei, ähnliches gilt für Geflügelmist. Gründünger können dagegen bezogen auf ihre Düngewirkung alleine mit Hilfe des C/N_{org} bewertet werden. Je nach Zustand der Ausgangskultur kann es zu einer guten bis negativen Düngewirkung kommen. Gülle und Jauchen sind wiederum alleine durch ihren Gehalt an mineralischen N zu bewerten. Die organisch gebundene Fraktion weist, wahrscheinlich durch ihr hohes C/N_{org} -Verhältnis, Immobilisationseigenschaften auf. Die Stickstoffdüngewirkung von Rinder- und Schweinemisten und Komposten sind dagegen meist gering. Sie werden überwiegend als „Bodenverbesserer“ eingesetzt oder zeigen ihre Stickstoffdüngewirkung erst in den Folgejahren. Insgesamt war es

mögliche für alle relevanten organischen Düngemittel die Eigenschaften und den Verlauf der Stickstoffmineralisierung darzustellen.

Zur bestehenden Kulturdatenbank wurden zudem Zwischenfrüchte und Dauerkulturen hinzugefügt. Die neuen Daten zu Zwischenfrüchten decken viele Szenarien bezüglich Versorgungszustand und Ernte- und Einarbeitungszeitpunkt ab. Laut unserem Modellansatz sinkt die zu erwartende Düngewirkung aus Zwischenfrüchten bei suboptimaler Nährstoffversorgung und später Einarbeitung. Auch wurden zu der Kulturdatenbank Dauerkulturen wie Spargel oder Rhabarber hinzugefügt, was eine Bedarfsermittlung für diese Kulturen in N-Expert ermöglicht. Zu den neu erstellten Datenbanken und Algorithmen wurde die Software von N-Expert kontinuierlich verbessert und an die Bedingungen zeitgemäßer Betriebssysteme angepasst. Als wichtigster Punkt gilt allerdings die Implementierung einer Düngebedarfsermittlung nach den Vorgaben der novellierten DüV. Der Landwirt kann jetzt neben der herkömmlichen Bedarfsermittlung mit N-Expert den Düngebedarf nach novellierter DüV rechnen, zudem ist es nun möglich mit N-Expert eine an den Gemüsebau angepasste Stoffstrombilanz zu erstellen. Dazu wurde mithilfe unterschiedlicher Versuche eine Möglichkeit der Schätzung der Nährstoffabfuhr (Ertrag) bei Produkten, die nicht in Gewichtseinheiten gehandelt werden, geschaffen. Auch konnte nachgewiesen werden, dass im Gemüsebau mit Sicherheitsmargen von ca. 10 % zu rechnen ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass durch eine intensive Recherche und Programmierungsarbeit N-Expert hinsichtlich der Usability und Datenbanken verbessert wurde und somit von vielen Benutzern verwendet werden kann. Neben Dauerkulturen, organischen Düngemitteln, Ernterückständen und Zwischenfrüchten, bildet die Implementierung der Vorgaben der Düngeverordnung von 2017 und der Stoffstrombilanzverordnung eine signifikante Verbesserung der kostenlosen Software. Damit können Landwirte zukünftig bei der Umsetzung der Düngegesetze und der Planung der Düngung mit minimalen Nährstoffüberschüssen aber sicheren Erträgen unterstützt werden.

6 Abstract

The main objective of the project was to revise the N-Expert recommendation system with regard to expected requirements of the amended German fertilizer regulations (DüV). This should make the software available to more growers and advisors and help them to facilitate the new implementations of the DüV. Additionally the software should be fully adapted to organic farming requirements and permanent crops.

In a literature research more than 1300 curves of nitrogen mineralization and immobilization were compiled. A categorization thereafter made it possible to represent almost all organic fertilizer in German food production. To illustrate the mineralization pattern a simple linear model was used to calculate the parameters for Net-N mineralization (N_a) and the mineralization rate constant (k). The values for N_a are depended on C/ N_{org} -ratio and category of the organic fertilizer. To constitute the dependency a stepwise linear regression was used for parametrization within each category. For simplicity we predicted the speed of N-release by temperature correction. Now it was possible to derive this model to predict the N-release properties for crop residues and catch crops. For this we used the DAISY-model to illustrate the catch crops by their supply properties and different harvest times.

Like expected N_a was strongly depended on raw material, processing, composting and formulations within the fertilizer categories. Commercial organic fertilizer can be characterized by a mean N-release of 50 % of organic nitrogen and a release time of some weeks. Poultry manure has similar properties as most of the commercial fertilizer. Green manure is a very diverse fertilizer type. The N-release properties are highly dependent on C/ N_{org} ratio. Dependent on plant type and harvest time inorganic N could be mineralized or immobilized in field. Liquid fertilizers like biogas or slurries often have a relative high C/ N_{org} ratio. That results partly in an immobilization of inorganic N. However the N-supply properties are mainly dependent on inorganic nitrogen content rather than organic N-release. Solid manures and composts are often used as soil conditioner, because of the low mineralization content of inorganic N after application. After an increase in organic matter the delivery of inorganic nitrogen from the soil could increase in the following years. Based on the results and model application it will be possible to predict the N-release properties for each fertilizer depending on mineral nitrogen content and C/ N_{org} ratio in the used organic fertilizer.

The prediction of N-release in crop residues was performed depending on calculated C/ N_{org} ratio of each vegetable culture. We calculated the content of organic carbon and mineral nitrogen in vegetable residues, which was the basis for the prediction of N-mineralization and immobilization properties. For simplicity we used the same model approach as for green manure.

By adding several catch crops and permanent crops the existing “culture database” was extended. Several scenarios for catch crop cultivation, like differences in cooperation times and nutrient supply, can now be calculated in the software N-Expert. Model data for catch crops imply that the N-release decreases if the nutrient supply decreases. The same is true for extension of cultivation time. Additionally permanent crops like asparagus and rhubarb are now available to be selected for calculation of the nitrogen recommendation.

Not only the data basis, but also the algorithms were improved in N-Expert, therefore the new software is now more user-friendly and adapted for modern operation systems. But the most important factor is the implementation of the possibility to calculate the N-requirement according to the requirements of the German fertilization ordinance. That makes it possible to calculate the fertilizer requirement including the documentation which is mandatory according to the fertilization ordinance and which is, like the model, scientifically recognized.

In conclusion the free software N-Expert is now available for several different users. For this purpose an intensive research was performed and the usability was adapted by new programming, new databases and improved algorithms. This applies to the permanent crops, organic fertilizer, crop residues and catch crops. The implementation of the requirement of the new fertilization recommendation will help the farmers to observe the new specifications of the fertilization ordinance and therefore lower the risk on nitrogen emissions.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlichen Zielen

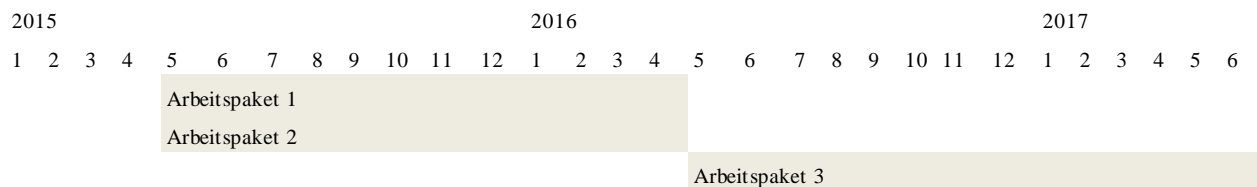
7.1 Vergleich des Vorhabenstandes mit dem Arbeits- und Zeitplan

Der Balkenzeitplan gemäß Vorhabenbeschreibung musste angepasst werden, da das IGZ den Zuwendungsbescheid erst Ende März erhalten hat und der Projektmitarbeiter seine Arbeit erst am 01.05.2015 begonnen hat.

Arbeitsplan gemäß Vorhabenbeschreibung



Angepasster Arbeitsplan Stand Januar 2017



Arbeitsplan gemäß Verlängerungsantrag



Weitere Verlängerung

Alle Arbeitspakete, wesentlichen Arbeitsschritte und Meilensteine liegen im Zeitplan und wurden zum Ende des Berichtszeitraums beendet.

Arbeitspaket 1 – Fachliche Überarbeitung	
Anpassung der Algorithmen zur Berechnung des Stickstoff-Düngebedarfs an die Vorschriften der novellierten DüV	<p>Das IGZ hat ein Pflichtenheft erstellt, das die Anforderungen der DüV (gemäß vorläufigem Verordnungstext laut Bekanntmachung des BMEL vom 10.10.2016) in Anforderungen an die Algorithmen für die N-Expert Software übersetzt (siehe Anlage 4).</p> <p>Der Programmentwickler hat die Algorithmen in eine neue Programmversion implementiert. Voraussichtlich kann eine Vorabversion der neuen Programmversion bereits beim nächsten geplanten Workshop im Rahmen des Projekttreffens (15.02.2016) getestet und diskutiert werden.</p>
Aktualisierung der in der Datenbank abgelegten Basisdaten (N_{\min} -Sollwerte, N-Aufnahmekurven, Nährstoffgehalte, Ernterückstandsmengen etc.) für alle im aktuellen Programm verfügbaren Gemüsekulturen durch Einbeziehung von neuen eigenen und in Zusammenarbeit mit Lehr- und Versuchsanstalten gewonnenen Versuchsergebnissen und durch Nutzung neuer Publikationen (Literaturrecherche)	<p>Abgeschlossen.</p> <p>Erläuterung: Das Ziel wurde erreicht. Die N-Expert Datenbank enthält 316 Kulturdatsätze mit jeweils 35 Datenwerten, d.h. 11060 Datenpunkte (siehe Anlage 5). In der Datei N-Expert Kulturdatenbank.xlsx zeigt das Tabellenblatt "Kulturdaten alt" die vor Projektbeginn verwendeten Daten, das Tabellenblatt "Kulturdaten neu" zeigt die Daten nach der Aktualisierung. Das Tabellenblatt "Vergleich" macht deutlich, welche Datenpunkte geändert wurden. Bei geänderten Datenpunkten wird die Differenz zwischen Kulturdaten alt und Kulturdaten neu angezeigt, nicht geänderte Datenpunkte werden als "0" angezeigt. Insgesamt wurden 235 Datenpunkte geändert. Anlass zu Änderungen war</p>

	<p>gegeben, wenn zusätzliche Datenquellen gefunden wurden (Veröffentlichungen, unveröffentlichte Versuchsergebnisse) oder die Tester des N-Expert Prototyps Fehler gemeldet hatten.</p> <p>Beispiele:</p> <p>1. Tabellenblatt "Vergleich" Zeile 22-27 Spalte K: Der Mittelwert für "N-Gehalt im Aufwuchs" von Eissalat wurde erhöht aufgrund unveröffentlichter Versuchsergebnisse eines Mitglieds der Arbeitsgruppe "Düngung im Freilandgemüsebau" (K. Katroschan, 2016 unveröffentlicht).</p> <p>2. Tabellenblatt "Vergleich" Zeile 98 Spalte AD:</p> <p>Der Wert für "N Bindung" von Tomate wurde um 50 erhöht, da in der alten Datenbank durch einen Schreibfehler -50 eingetragen war (Fehlermeldung eines Testers des N-Expert Prototyps (L. Nett, 2016, mündliche Mitteilung).</p> <p>Weiterhin wurde die Beschreibung der N-Aufnahmekurven aller Gemüsekulturen auf ein neues mathematisches Modell parametrisiert, das eine deutlich verbesserte, da tagesgenaue Schätzung der N-Aufnahme ermöglicht (alt= Spalten AA bis AI in Tabellenblatt "Kulturdaten alt"; neu= Spalten AG bis AI in Tabellenblatt "Kulturdaten neu".</p>
--	--

<p>Zusätzliche Recherche für die Dauerkulturen Spargel und Rhabarber, sowie die Überwinterungskulturen, Bestimmung der o.g. Basisdaten für diese Kulturen und Einfügen in die überarbeitete Datenbank und Anpassung der Algorithmen zur Berechnung des Düngerbedarfs</p>	<p>Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht. Daten: siehe Anlage 6.</p>
<p>Entwicklung von Algorithmen zur Berechnung von Düngungsempfehlungen für den „ökologischen“ Gemüsebau. Dabei wird nicht angestrebt, alle Facetten der Düngungsphilosophien abzubilden, die in den verschiedenen ökologischen Anbausystemen beachtet werden. Ziel ist es, den Betriebsleitern und Beratern quantitative Abschätzungen anzubieten, z.B. wie viel Stickstoff aus organischer Bodensubstanz oder aus organischen Düngern zur Verfügung steht und wie hoch der Pflanzenbedarf ist. Dies soll es für ökologisch wirtschaftende Betriebe erleichtern, die Vorschriften der novellierten DüV einzuhalten, auch wenn für diese Betriebe bei der Düngung noch weitere Kriterien relevant sind.</p>	<p>Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht. Die Parameter für den Algorithmus der Stickstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln wurden für 45 verschiedene organische Düngemittel geschätzt und in einer Testversion in N-Expert implementiert. Die Tests wurden erfolgreich abgeschlossen und die Programmversion mit der neuen Softwarefunktion veröffentlicht. Die Algorithmen sind in der aktuell veröffentlichten Version enthalten (siehe www.igzev.de/n-expert) und werden auch in der finalen Programmversion, die am Projektende veröffentlicht wird enthalten sein. Insgesamt wird es dem Anwender der Software möglich sein zwischen ca. 570 organischen Düngemitteln zu wählen. Im Berichtszeitraum wurde zusätzlich die Schätzung der Stickstofffreisetzung aus Ernterückständen und ca. 70 Zwischenfrüchten bearbeitet, da der Einfluss von Ernterückständen und Zwischenfrüchten von besonderer Bedeutung für ökologisch wirtschaftende</p>

	<p>Gemüsebaubetriebe ist.</p> <p>Die Kulturdatenbank wurde durch Parametersätze für Zwischenfrüchte ergänzt.</p>
Entwicklung einer Softwarestruktur, die unter allen aktuellen Betriebssystemen lauffähig ist und keine Administratorenrechte erfordert (JAVA Script)	<p>Abgeschlossen.</p> <p>Das Ziel wurde erreicht.</p> <p>Details siehe Zwischenbericht zum 30.04.2016</p>

Arbeitspaket 2 – Datenbankdesign, Implementierung der Algorithmen und Programmierung der Benutzeroberfläche	
Implementierung der Dokumentation jeder durchgeführten Düngedarfsberechnung gemäß novellierter DüV, als Dokument zum Speichern oder Drucken (pdf-Dokument)	<p>Abgeschlossen:</p> <p>Eine Dokumentation gemäß der Vorgabe der DüV ist in N-Expert möglich</p>
Implementierung der Nährstoffbilanzierung gemäß novellierter DüV	<p>Dieses Ziel wurde erreicht. Anlage 4 enthält eine Übersicht zu den aktuellen Veränderungen und Anpassungen von Algorithmen, der Datenbank und zur Einführung der Region Deutschland (DüV 2017).</p>
Implementierung des automatischen Updates von Programm und Datenbank durch Aufbau einer Internet-Verbindung mit dem Server des IGZ	<p>Abgeschlossen.</p> <p>Das Ziel wurde erreicht.</p> <p>Abgeschlossen. Erläuterung: Das Ziel wurde erreicht. Die Software ermöglicht automatische Updates von Programm und Datenbank durch Aufbau einer Internet-Verbindung mit dem Server des IGZ</p>

Arbeitspaket 4 (AP 1 im Verlängerungsantrag) – Anpassung von N-Expert an den Stand der DüV vom 01.06.2017	
Entwicklung der Algorithmen für die Veränderungen entsprechend dem Stand der Düngeverordnung vom 01.06.2017 und den Mustervollzugshinweisen	Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht. Erläuterung: Details hinsichtlich der Veränderungen der DüV können dem Zwischenbericht zum 15.01.2018 entnommen werden. Die Mustervollzugshinweise hingegen wurden erst am 17.05.2018 veröffentlicht. Die Hinweise wurden auf Relevanz für das N-Expert Programm geprüft und implementiert.
Implementierung der Algorithmen	Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht.

Arbeitspaket 5 (AP 2 im Verlängerungsantrag) – Erstellung der Datengrundlage für die Stoffstrombilanz	
Recherche, welche Gemüse- und sonstigen gartenbaulichen Kulturen nicht in Masseeinheiten vermarktet werden. Erarbeitung von Algorithmen und Korrekturverfahren für die Bewertung der Nährstoffabfuhr aus dem Betrieb im Rahmen einer Stoffstrombilanz	Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht. Erläuterung: Die Recherche wurde durchgeführt und sich daraus ergebend eine experimentelle Erhebung von Daten zu Gemüsegewichten im Vermarktungsbereich. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurden Standardgewichte für bestimmte Kulturen sowie ein Korrekturfaktor hinsichtlich der Sicherheitsmargen festgelegt.
Erarbeitung der Basisdaten für die Nähstoffzufuhr über Jungpflanzen, Erdpreßstöcke, Saatgut	Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht. Erläuterung: Nährstoffgehalte von Preßtopferden, die hauptsächlich aus Torf

	<p>bestehen wurden berechnet und mögliche Nährstoffeinträge beispielhaft ermittelt.</p> <p>Jungpflanzen wurden nicht betrachtet, da laut StoffBilV die Nährstoffzufuhr durch Saatgut einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial nur für Getreide, Mais, Kartoffeln und Körnerleguminosen zu ermitteln ist. Die Berechnungen für diese Kulturen sind erfolgt und vergleichende Beispielrechnungen für das Saatgut anderer Gemüsekulturen wurden angestellt.</p>
--	--

Arbeitspaket 6 (AP 3 im Verlängerungsantrag) – Implementierung der Stoffstrombilanz in N-Expert	
Entwicklung und Aufbau der Datenbank für die Stoffstrombilanz	<p>Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht.</p> <p>Erläuterung: Die im Arbeitspaket 5 ermittelten Daten wurden in der Datenbank ergänzt. Betroffen sind die Tabellen nex_crop und nex_organic_fertiliser. Ergänzt wurden dort auch Daten zu Bodenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmitteln. Eine neue Tabelle wurde erstellt (material_flow), in diese gingen auch noch Daten zu Futtermitteln, tierischen Erzeugnissen und die Stickstoffzufuhr durch Leguminosen ein.</p>
Entwicklung der Algorithmen zur Umsetzung der Stoffstrombilanz und Implementierung dieser in N-Expert	<p>Abgeschlossen. Das Ziel wurde erreicht.</p> <p>Die Algorithmen können Anlage 7 entnommen werden.</p>

Arbeitspaket 7 (AP 4 im Verlängerungsantrag) – Überprüfung und Verbesserung des Teils der Stoffstrombilanz hinsichtlich der fachlichen Inhalte und der Benutzerfreundlichkeit	
Testung des weiterentwickelten N-Expert im Rahmen des MuD Projektes „Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau“	Da erst sehr kurzfristig die Implementierung der Stoffstrombilanz in N-Expert erfolgte. Ist die Testung noch nicht abgeschlossen. Sie wird zeitnah weitergeführt.

8 Literaturverzeichnis

Abrahamsen, P., Hansen, S., 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling & Software* 15, 313-330.

Armbruster, M., Bischoff, R., Laun, N., Wiesler, F., 2006. Integriertes Stickstoffmanagement zur Verbesserung der N-Ausnutzung im Gemüsebau. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 61/2006*, 75 – 83.

Armbruster, M., Laun, N., Wiesler, F., 2008. Stickstoffbilanzen und Nitratauswaschung bei unterschiedlichem N-Management im Gemüsebau. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 63/2008*, 103 – 114.

Belau, T., 2013. Ökologischer Feldgemüsebau : Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

Bitzer, C.C., Sims, J.T., 1988. Estimating the Availability of Nitrogen in Poultry Manure through Laboratory and Field Studies. *Journal of environmental Quality* 17, 47-54.

Chadwick, D.R., John, F., Pain, B.F., Chambers, B.J., Williams, J., 2000. Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. *Journal of Agricultural Science* 134, 159-168.

Chaves, C., Pomares, F., Albiach, R., Canet, R., 2014. Rates of Nitrogen Mineralization of Meat and Bone Meals in Mediterranean Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45, 2258-2267.

Chen, B., Liu, E.K., Tian, Q., Yan, C., Zhang, Y., 2014. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 429-442.

Cordovil, C.d.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 and management* 21, 65-72.

De Neve, S., Hofman, G., 1996. Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 1451-1457.

Eiler, T., Sweers, W., 2014. Nährstoffgehalte im Haupt- und Nebenerntegut, 26.02.2014 ed. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Fiedler, H.J., 2001. Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. expert verlag.

Gerber, A., Beck, A., Borowski, B., Damm, T., van Elsen, T., Graß, R., Haccius, M., Häring, A.M., Hamm, U., Knierim, U., 2012. Nachgefragt: 28 Antworten zum Stand des Wissens rund um Öko-Landbau und Bio-Lebensmittel.

Gil, M.V., Carballo, M.T., Calvo, L.F., 2011. Modelling N mineralization from bovine manure and sewage sludge composts. *Bioresour Technol* 102, 863-871.

Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 439-446.

Heggl, 2013. Höchstsätze des Gewichtsverlustes durch Austrocknung (Schwund) nach Zeitpunkt der Herstellung in % der Nennfüllmenge, 7.3.2013 ed, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iem/dateien/hoechstsaeetze_des_gewichtsverlustes_durch_austrocknung.pdf.

Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundström, C., Esala, M., 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273, 307-326.

Kolbe, H., Köhler, B., 2008. Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff-und Humusbilanzierung. Schriftenreihe des Landesamtes fuer Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 1-253.

Kolbe, H., Schuster, M., Hänsel, M., Schließer, I., Pöhlitz, B., Steffen, E., Pommer, R., 2006. Feldfutterbau und Gründüngung im ökologischen Landbau.

Koller, M., Fritzsche-Martin, A., Lichtenhahn, M., van den Berge, P., 2001. Biogemüsebau: Anzucht und Einsatz von Jungpflanzen. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).

Kumar, K., Goh, K.M., 2003. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34, 2441-2460.

Laber, H., 2002. Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7, 1 - 77

Mäder, R., 2016. Betriebsmittelliste 2016: für den ökologischen Landbau in Deutschland. FiBL.

Mäder, R., 2019. Betriebsmittelliste 2019: für den ökologischen Landbau in Deutschland. FiBL Projekte GmbH.

Marschner, P., Hatam, Z., Cavagnaro, T.R., 2015. Soil respiration, microbial biomass and nutrient availability after the second amendment are influenced by legacy effects of prior residue addition. *Soil Biology and Biochemistry* 88, 169-177.

Morvan, T., Nicolardot, B., 2009. Role of organic fractions on C decomposition and N mineralization of animal wastes in soil. *Biology and Fertility of Soils* 45, 477-486.

Morvan, T., Nicolardot, B., Pean, L., 2006. Biochemical composition and kinetics of C and N mineralization of animal wastes: a typological approach. *Biology and Fertility of Soils* 42, 513-522.

Parnaudeau, V., Condom, N., Oliver, R., Cazevieuille, P., Recous, S., 2008. Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. *Bioresource Technology* 99, 1553-1562.

Parnaudeau, V., Nicolardot, B., Robert, P., Alavoine, G., Pagès, J., Duchiron, F., 2006. Organic matter characteristics of food processing industry wastewaters affecting their C and N mineralization in soil incubation. *Bioresource Technology* 97, 1284-1295.

Sistani, K.R., Adeli, A., McGowen, S.L., Tewolde, H., Brink, G.E., 2008. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresour Technol* 99, 2603-2611.

Tribouillois, H., Fort, F., Cruz, P., Charles, R., Flores, O., Garnier, E., Justes, E., 2015. A functional characterisation of a wide range of cover crop species: growth and nitrogen acquisition rates, leaf traits and ecological strategies. *PloS one* 10, e0122156.

Verma, B.C., Datta, S.P., Rattan, R.K., Singh, A.K., 2013. Impact of temperature and moisture regimes on carbon and nitrogen mineralization in an alluvial soil amended with organics. *Agrochimica* 57, 31-48.

Webb, J., Sørensen, P., Velthof, G., Amon, B., Pinto, M., Rodhe, L., Salomon, E., Hutchings, N., Burczyk, P., Reid, J., 2013. An Assessment of the Variation of Manure Nitrogen Efficiency throughout Europe and an Appraisal of Means to Increase Manure-N Efficiency. *Advances in Agronomy*, Vol 119 119, 371-442.