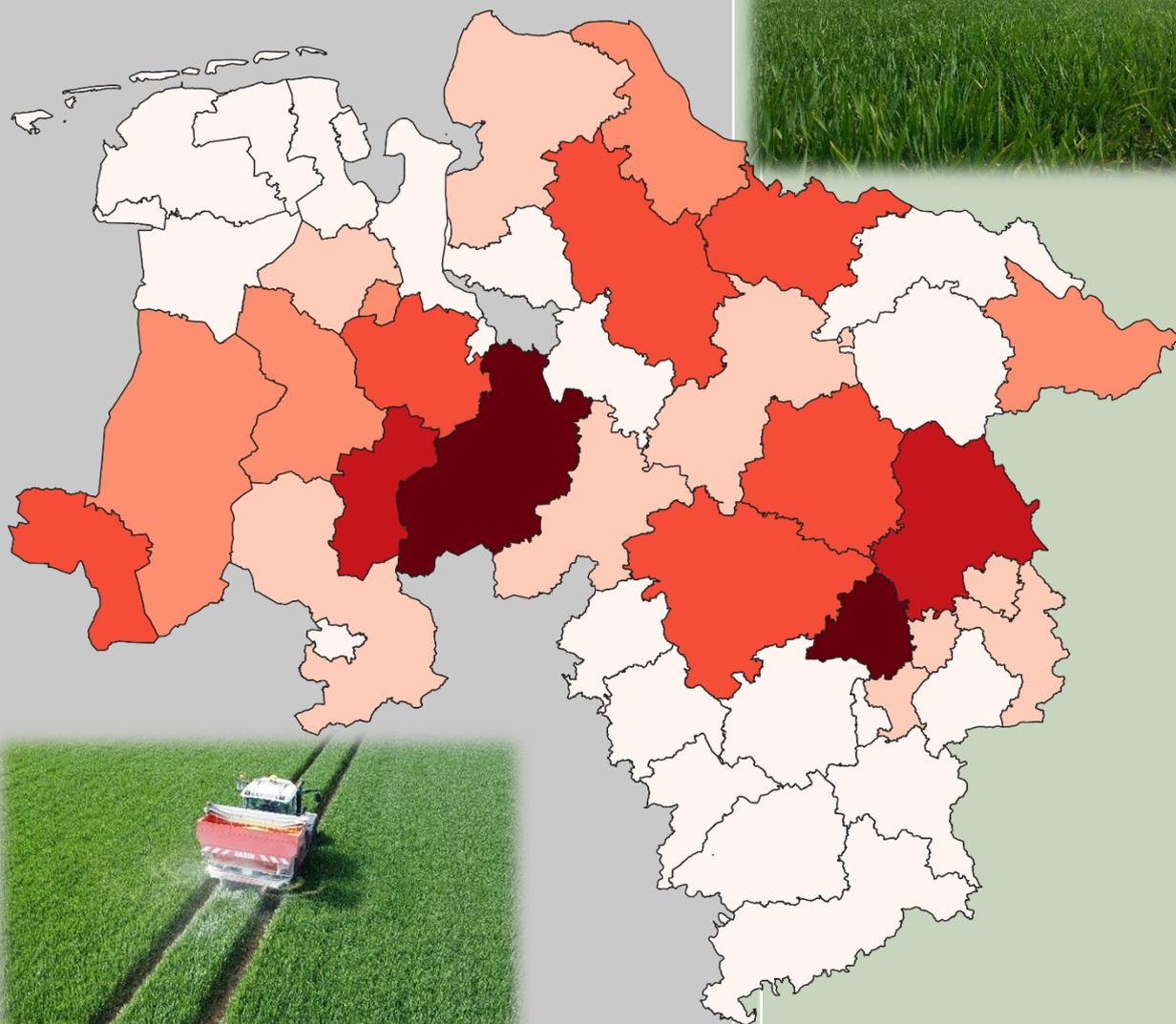


Pflanzenbauliche Anpassungsstrategien auf düngerechtliche Vorgaben für Niedersachsen



Herausgeber:

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Mars-la-Tour-Straße 1-13
26121 Oldenburg

Koordinierung:

Fachbereich Pflanzenbau der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

Förderung:

Diese Broschüre wurde aus Mitteln des Landes Niedersachsen gefördert.
Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz



1. Auflage: Juni 2023

Bildnachweis Titelseite: Schaper, LWK Niedersachsen

pdf-Broschüre; Zugang über Homepage ML sowie LWK

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Regionale Betroffenheit Niedersachsens durch die ausgewiesenen roten Gebiete.....	6
3	Rechtliche Vorgaben von DüV und NDüngGewNPVO (Stand: Januar 2023).....	8
3.1	Flächendeckende Vorgaben der Düngeverordnung.....	10
3.2	Vorgaben für die Kulisse der mit Nitrat belasteten Gebiete (rote Gebiete)	17
3.3	Vorgaben für die Kulisse der eutrophierten Gebiete (gelbe Gebiete)	21
4	Anpassungsstrategien	22
4.1	Material & Methoden.....	22
4.1.1	Versuchsstandorte.....	23
4.1.2	Begriffsdefinitionen	25
4.1.3	Auswertungen.....	27
4.2	Umgang mit flächendeckend geltenden Vorgaben der DüV	28
4.2.1	Erhöhung der Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten auf Ackerland	33
4.2.2	Einschränkungen P-Düngung.....	35
4.2.3	Herbstdüngung	35
4.2.4	Ausbringungsverbot auf gefrorenem Boden.....	41
4.2.5	Gewässerabstände und Hangneigung	41
4.2.6	Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland.....	42
4.2.7	170 kg N _{org} -Grenze	43
4.2.8	Verlängerung der Sperrfristen für Festmiste und Kompost.....	44
4.2.9	Düngungsbeschränkung auf Grünland im Herbst.....	44
4.2.10	Lagerung	44
4.3	Umgang mit in mit Nitrat belasteten Gebieten geltenden Vorgaben auf Ackerland.....	47
4.3.1	Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %.....	48
	N-Effizienz des Anbaus im Fokus.....	51
	Kulturartenwahl	54
	Fruchtfolgegestaltung.....	59
	Zwischenfruchtanbau und Unter-/ Beisaaten	63

Feldberegnung	68
Ansätze aus der Landtechnik	71
Grundnährstoffversorgung und Bodenzustand optimieren.....	76
Teilflächenspezifische Bewirtschaftung	77
Ausbringungstechnik und -zeitpunkt der organischen Düngung optimieren.....	91
4.3.2 Düngungsverbot im Herbst	97
4.3.3 Reduzierung der Düngung auf Grünland.....	101
4.3.4 Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N _{org} -Grenze	101
4.3.5 Zwischenfruchtanbaugesamt vor Sommerungen.....	105
4.4 Umgang mit in mit Nitrat belasteten Gebieten geltenden Vorgaben auf Grünland.....	105
4.5 Umgang mit in eutrophierten Gebieten geltenden Vorgaben auf Ackerland	107
4.5.1 Reduzierung der P-Düngung auf hoch versorgten Standorten.....	107
4.6 Umgang mit in eutrophierten Gebieten geltenden Vorgaben auf Grünland	110
4.7 Einschätzung der aus den gesetzlichen Vorgaben resultierenden Auswirkungen auf den Pflanzenbau	112
4.7.1 Konventionelle Landwirtschaft	112
4.7.2 Ökologischer Landbau	114
5 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick	117
6 Literaturverzeichnis.....	120
7 Tabellenverzeichnis	123
8 Abbildungsverzeichnis	125
9 Abkürzungsverzeichnis	129
10 Anhang.....	130

1 Einleitung

Die EU-Nitratrictlinie (Richtlinie 91/676/EWG) zum Schutz von Grund- und Oberflächengewässern vor einer Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen wurde 1996 in Deutschland durch die Düngeverordnung (DüV) umgesetzt. Mit der letzten Novellierung der DüV im Jahr 2020 wurde die verpflichtende Grundlage für die Ausweisung mit Nitrat belasteter und eutrophierter Gebiete geschaffen und in den entsprechenden Gebieten umzusetzende Maßnahmen vorgegeben. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift Gebietsausweisung (AVV GeA) beschreibt die Vorgehensweise zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten. Da auf die erste vom Bund erlassenen AVV GeA aus 2020 von der EU-Kommission Forderungen einer deutlichen Nachbesserungen und primär einer einheitlicheren Ausweisung in den Bundesländern folgten, trat im August 2022 eine neue AVV GeA in Kraft, auf deren Basis die Bundesländer Anpassungen in den mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten und somit Änderungen an den Landes-Düngeverordnungen vornehmen mussten. Infolgedessen ist in Niedersachsen am 15.02.2023 die geänderte Landes-Düngeverordnung (kurz NDüngGewNPVO), in Kraft getreten.

Obwohl sich die in den ausgewiesenen Gebieten umzusetzenden Maßnahmen mit der geänderten NDüngGewNPVO nicht ändern, führt sie dennoch zu einer Verschiebung speziell der sogenannten roten Gebiete (mit Nitrat belastete Gebiete), weshalb der Beratungsbedarf zur Umsetzung der Maßnahmen hoch ist. Derzeit (Februar 2023) sind in Niedersachsen

ca. 21 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche als rotes Gebiet ausgewiesen. Die Gebietskulisse der eutrophierten (gelben) Gebiete beträgt 1,4 % der Landesfläche und liegt im Bereich der Seeneinzugsgebiete. Da eine Ausweisung nur in Bezug auf die stehenden Oberflächenwasserkörper und nicht auf die fließenden Oberflächenwasserkörper erfolgen konnte, gilt allerdings zusätzlich im gesamten Land die Auffangregelung nach § 13a Abs. 5 DüV.

Die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf die unterschiedlich aufgestellten Betriebe in Niedersachsen sind vielfältig. Der Handlungsrahmen für die Stickstoffdüngung wurde durch die neue Düngegesetzgebung in einigen Bereichen eingeschränkt und der verbleibende, noch mögliche Einsatz der Nährstoffe, insbesondere von Stickstoff, muss daher so effizient wie möglich erfolgen. Um die Landwirte*innen dabei zu unterstützen, wurde daher diese Informationsbroschüre für die düngerechtlichen Regelungen in Niedersachsen erstellt. Er beinhaltet sowohl flächendeckend anwendbare als auch sehr individuelle Anpassungsstrategien und Beratungsgrundlagen. Die vorgestellten Strategien wurden dabei auf Basis umfangreicher Feldversuchsergebnisse der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) und anderer agrarwissenschaftlicher Institutionen entwickelt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Steigerung der Stickstoff-Effizienz bewertet. Sie sollen als praxisbezogene Hilfestellung zur Optimierung der Bewirtschaftung und Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben für Landwirt*innen, Berater*innen und andere Nutzer dienen.

Regionale Betroffenheit Niedersachsens durch die ausgewiesenen roten Gebiete

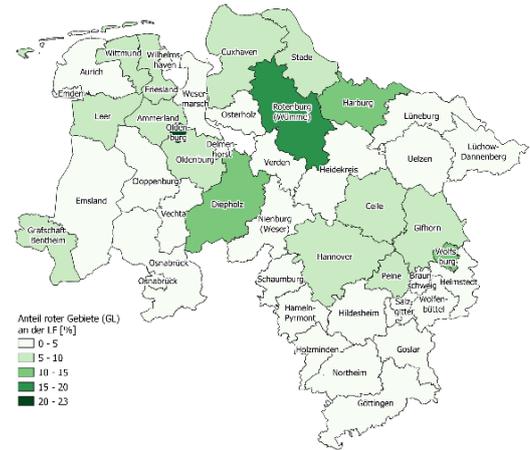
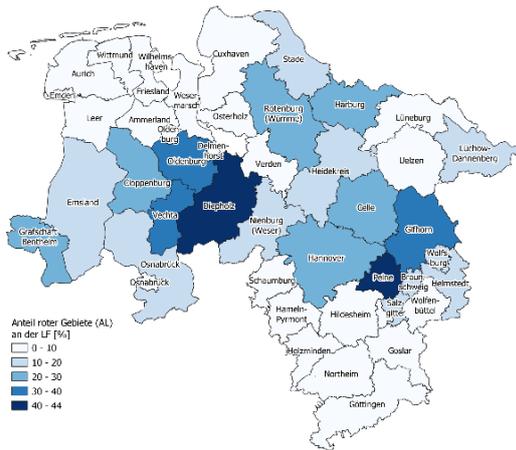


Abb. 2: Anteil mit Nitrat belastetes Gebiet bezogen auf Ackerlandfläche (AL) an der landwirtschaftlichen Fläche (%) auf Landkreisebene

Abb. 3: Anteil mit Nitrat belastetes Gebiet bezogen auf Grünlandfläche (GL) an der landwirtschaftlichen Fläche (%) auf Landkreisebene

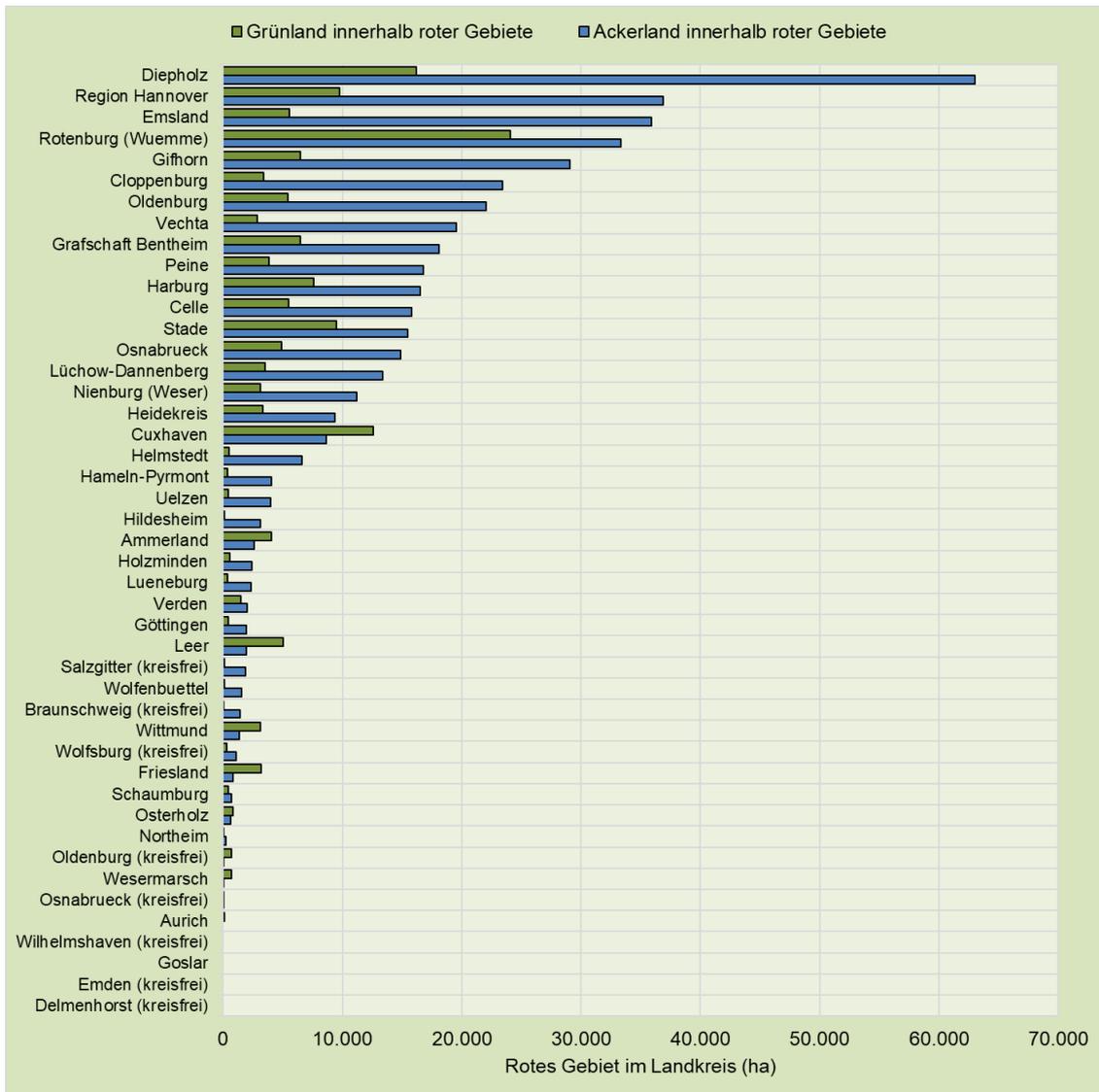


Abb. 4: Gesamtfläche innerhalb von mit Nitrat belasteten Gebieten für Ackerland- bzw. Grünlandfläche (ha) auf Landkreisebene (Daten ATKIS)

3 Rechtliche Vorgaben von DüV und NDüngGewNPVO (Stand: Januar 2023)

Die Düngeverordnung regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die am 01. Mai 2020 geänderte Düngeverordnung regelt über den §13a erstmals, dass die Landesregierungen weitere Rechtsverordnungen zum Schutz der Gewässer erlassen müssen. Dieses ist in Niedersachsen die niedersächsische Landes-Düngeverordnung (NDüngGewNPVO), welche zum einen den Anwen-

dungsbereich für die abweichenden und ergänzenden Anforderungen des § 13a Abs. 2 der Düngeverordnung (Bundesmaßnahmen) sowie auch noch zusätzliche Vorgaben zum Schutz der Gewässer regelt (Landesmaßnahmen).

Die düngerechtlichen Vorgaben ergeben sich somit aus verschiedenen Rechtsgrundlagen auf Bundes- und Landesebene (Tab. 1).

Tab. 1: Hinweise zu den düngerechtlichen Vorgaben

gesetzliche Vorgabe	DüV / NDüngGewNPVO	Beschreibung	Anpassung
		Seite	Seite
Flächendeckende Vorgaben nach DüV			
N-Düngebedarfsermittlung	§ 3 Abs. 2, § 4	10	-
Überschreitung des ermittelten Düngebedarfs um max. 10 % bei nachträglich eintretenden Witterungsbedingungen	§ 3 Abs. 3	10	29
Kenntnis über den Stickstoffgehalt in Düngemitteln	§ 3 Abs. 4	10	-
Erhöhung der anzurechnenden Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten auf Ackerland	§ 3 Abs. 5	11	33
Einschränkung der Phosphatdüngung	§ 3 Abs. 6	11	-
Anrechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus der Herbstdüngung im Frühjahr	§ 4 Abs. 1 Nr. 7	11	35
P-Düngebedarfsermittlung	§ 4 Abs. 3	12	-
Ausbringungsverbot auf nicht aufnahmefähigem Boden	§ 5 Abs. 1	12	41
Berücksichtigung der Hangneigung und Gewässerabstände	§ 5 Abs. 2 und 3	12	41
Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland	§ 6 Abs. 1	15	42
Harnstoff als Düngemittel	§ 6 Abs. 2	15	-
Aufbringung flüssiger org. Düngemittel auf bestelltem Ackerland	§ 6 Abs. 3	15	
Berücksichtigung der 170 kg N _{org} -Grenze bei Flächen mit Düngebeschränkung	§ 6 Abs. 4	15	43
Verlängerung der Sperrfrist für Festmist und Kompost	§ 6 Abs. 8	15	44
Sperrfrist für die Aufbringung von P-haltigen Düngemitteln	§ 6 Abs. 8	15	
Düngung auf Grünland	§ 6 Abs. 11	16	44
Anwendungsbeschränkungen	§ 7 Abs. 2	16	-
Aufzeichnungspflicht	§ 10	17	-
Lagerung von Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen	§ 12	17	44
Vorgaben in mit Nitrat belasteten (roten) Gebieten nach DüV			
Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %	§ 13a Abs. 2 Nr. 1	17	48
Düngungsverbot im Herbst	§ 13a Abs. 2 Nr. 5	19	97
Reduzierung der Düngung auf Grünland	§ 13a Abs. 2 Nr. 6	19	101
Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N _{org} -Grenze	§ 13a Abs. 2 Nr. 2	19	101
Verlängerte Sperrfrist auf Grünland	§ 13a Abs. 2 Nr. 3	19	-
Erweiterung der Sperrfrist für Festmist und Kompost	§ 13a Abs. 2 Nr. 4	19	-
Zwischenfruchtanbauebot vor Sommerungen	§ 13a Abs. 2 Nr. 7	19	105
Zusätzliche Vorgaben in mit Nitrat belasteten (roten) Gebieten nach NDüngGewNPVO			
Meldepflicht in ENNI (Betriebssitz in Nds)	§ 5	20	-
Verpflichtende N _{min} -Probennahme	§ 3 Nr. 1	20	-
Einarbeitungszeit nach Ausbringung org. Dünger innerhalb einer Stunde	§ 3 Nr. 2	20	-
Vorgaben für die Gebietskulisse Oberflächengewässer (gelbe Gebiete) nach NDüngGewNPVO			
Reduzierung der P-Düngung auf hoch versorgten Standorten	§ 4 Nrn. 1 und 2	21	107
Berücksichtigung der Hangneigung und Gewässerabstände	§ 4 Nr. 3	21	
Verlängerte Sperrfrist für die Aufbringung von P-haltigen Düngemitteln	§ 4 Nr. 4	21	
Meldepflicht in ENNI (Betriebssitz in Nds)	§ 5	21	

3.1 Flächendeckende Vorgaben der Düngeverordnung

Im Folgenden werden die flächendeckend geltenden gesetzlichen Vorgaben der Düngeverordnung beschrieben.

N-Düngebedarfsermittlung

§ 3 Abs. 2, § 4

Der N-Düngebedarf der Kultur muss vor der Düngung für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit ermittelt werden, wenn wesentliche Nährstoffmengen (>50 kg Gesamt-N/ha, >30 kg P₂O₅/ha) gedüngt werden sollen. Ausgangslage für die Düngebedarfsermittlung sind die in der Düngeverordnung festgeschriebenen N-Bedarfswerte der einzelnen Kulturen mit jeweiligen Zu- und Abschlägen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau. Von diesem Wert sind Abzüge vorzunehmen für:

- den N_{min}-Wert im Frühjahr
- die N-Nachlieferung aus
 - dem Humus
 - organisch oder organisch-mineralischen Düngemitteln in Höhe von 10 % der aufgetragenen Menge an Gesamt-N aus dem Vorjahr
- Vor- und Zwischenfrüchten
- die verfügbare N-Menge, die zu Winter rapen oder -gerste nach Ernte der Vorfrucht und vor dem 01. Oktober aufgebracht worden ist.

Bewirtschaftungseinheiten können nur gebildet werden, wenn die Schläge laut Bodenuntersuchung in der Hauptbodenart, der P-Versorgung (P-Gehaltsklasse), dem Humusgehalt, der Vorfrucht, der organischen Düngung im Vorjahr sowie bei der geplanten Nutzung (Kultur) und den Ertragserwartungen identisch sind. Die Berechnung des N-Düngebedarfs

auf Grünland ist ausgehend vom nutzungsabhängigen (abgeleitet aus Ertrag und Rohproteingehalt) N-Bedarfswert. Die N-Abzüge setzen sich aus der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat (Humusgehalt, Moorböden), dem Leguminosenanteil (überwiegend Klee) der Narbe, sowie 10 % des aufgetragenen Gesamtstickstoffes des Vorjahres zusammen.

Überschreitung des ermittelten Düngebedarfs um max. 10 %

§ 3 Abs. 3

Grundsätzlich gibt die Düngebedarfsermittlung immer die schlagbezogene Obergrenze der möglichen Düngung aus. Eine Überschreitung dieses N-Düngebedarfs um maximal 10 % ist nur dann zulässig, wenn durch nachträglich eintretende Umstände, wie zum Beispiel regionale Witterungseinflüsse, ein höherer N-Düngebedarf abgeleitet werden kann. In diesen Einzelfällen informiert die Düngebehörde in einer Veröffentlichung über die zulässige Erhöhung des N-Düngebedarfs.

Kenntnis über den Stickstoffgehalt in Düngemitteln

§ 3 Abs. 4

Vor dem Aufbringen von Düngemitteln müssen die Gehalte an Gesamt-, Ammonium- und verfügbarem Stickstoff sowie der Phosphatgehalt bekannt sein. Diese Angaben sind der Kennzeichnung der Düngemittel zu entnehmen oder durch anerkannte Messmethoden zu bestimmen. Bei Wirtschaftsdüngern und Gärrestrückständen aus Biogasanlagen müssen mindestens die Richtwerte aus der Düngeverordnung Anlage 2 Zeile 5 bis 9 Spalte 2 und 3 herangezogen werden.

Erhöhung der anzurechnenden Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten auf Ackerland § 3 Abs. 5

Die Novelle der Düngeverordnung sieht eine Differenzierung der anzurechnenden Mindestwirksamkeiten von Rinder- und Schweinegülle sowie für flüssige Biogasanlagengärrückstände bis Ende Januar 2025 in Abhängigkeit der Aufbringung auf dem Acker- oder dem Grünland vor. Die Mindestwirksamkeiten sowohl von Schweine- als auch von Rindergülle sowie von flüssigen Gärresten bei der Aufbringung auf Ackerland wurden gegenüber den zuvor gültigen Werten um 10 Prozentpunkte erhöht. Für Grünland werden weitere Erhöhungen ab 01.02.2025 gültig.

Einschränkungen Phosphatdüngung § 3 Abs. 6

Überschreitet der durchschnittliche Phosphatgehalt eines Schlages 9 mg P/100 g Boden

($\cong 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g Boden (CAL-Methode)}$), dürfen phosphathaltige Düngemittel maximal bis zur Höhe der voraussichtlichen Phosphat-abfuhr aufgebracht werden. Im Rahmen einer Fruchtfolgedüngung kann der Phosphatbedarf für einen Zeitraum von 3 Jahren zugrunde gelegt werden.

Anrechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus der Herbstdüngung

§ 4 Abs. 1 Nr. 7

Wenn im Herbst zu Winterraps oder Wintergerste Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an Stickstoff ausgebracht werden, so ist die bei der Herbstdüngung ausgebrachte Menge an verfügbarem Stickstoff auf den N-Bedarfswert im folgenden Frühjahr anzurechnen. Der Bedarfswert im Frühjahr verringert sich somit um die im Herbst ausgebrachte Menge an verfügbarem Stickstoff (Tab. 2.)

Tab. 2: Rechtlicher Rahmen der N-Düngung nach Ernte der Hauptfrucht in Niedersachsen (In allen nicht dargestellten Anbaukonstellationen ist keine Herbstdüngung erlaubt!)

Kultur	Vorfrucht	Zulässige N-Düngung im Herbst [kg N/ha]	
		grüne Gebiete (bis zum 01.10.)	rote Gebiete (bis zum 30.09.)
Wintergerste Aussaat bis 01.10.	Getreide	max. 30/60 ¹⁾	0
Winterraps Aussaat bis 15.09.	Getreide	max. 30/60 ¹⁾	Herbst N _{min} > 45 kg/ha → 0 Herbst N _{min} ≤ 45 kg/ha → max. 30/60 ¹⁾
Gründüngungszwischenfrucht Aussaat bis 15.09. und mind. 8 Wochen Standzeit	Getreide	max. 30/60 ²⁾	0
Feldfutter, Futterzwischenfrucht Aussaat bis 15.09.	Getreide	max. 30/60 ¹⁾	0
Feldfutter, Futterzwischenfrucht, Zweitfrucht Aussaat bis 15.09. und Ernte im Ansaatjahr	alle	N-Düngung nach Bedarf	N-Düngung nach Bedarf
Grünland, Dauergrünland, mehrj. Feldfutterbau Aussaat bis 15.09.		80	60

max. 30/60 bedeutet, dass max. 30 kg NH₄-N bzw. 60 kg Gesamt-N/ha ausgebracht werden dürfen, bei geringerem tatsächlichem Bedarf sollte die Düngung entsprechend reduziert bzw. unterlassen werden.

N-Düngung nach Bedarf bedeutet, es darf nach Bedarf gedüngt werden, die 30/60er Grenze gilt dann nicht.

Festmist von Huf- und Klautieren, Kompost, Pilzsubstrat, Klärschlamm und Grünguthäcksel unterliegen nicht der 30/60er Regelung und dürfen auch ausgebracht werden, wenn im Herbst kein Düngebedarf vorliegt. Die max. Menge hat sich am Bedarf der nächsten Hauptfrucht zu orientieren. In roten Gebieten ist die Menge zu Zwischenfrüchten ohne Futternutzung auf max. 120 kg Gesamt-N/ha begrenzt. Folgende Sperrfristen sind zu beachten: **grüne Gebiete: 01.12. bis 15.01.**, **rote Gebiete: 01.11. bis 31.01.**

¹⁾ Die Düngung ist in Höhe der N-Ausnutzung (höchster Wert aus N-verfüg., NH₄-N und Mindestwirksamkeit) im Frühjahr anzurechnen.

²⁾ Bei einem Leguminosenanteil von 31-75 % reduziert sich der Düngebedarf auf max. 30 kg N/ha (entspricht der N-Ausnutzung). Bei einem Leguminosenanteil >75 % besteht kein Düngebedarf.

P-Düngebedarfsermittlung

§ 4 Abs. 3

Der Phosphatdüngbedarf wird auf Grundlage folgender Faktoren ermittelt:

- im Boden verfügbare Menge Phosphat sowie die Nährstofffestlegung
- Phosphatbedarf des Pflanzenbestandes.

Ausbringungsverbot auf nicht aufnahmefähigem Boden

§ 5 Abs. 1

Die Möglichkeit der Aufbringung von stickstoff- oder phosphathaltigen Düngemitteln auf gefrorene Böden, die durch Auftauen am Tag des Aufbringens aufnahmefähig werden würden, ist mit Änderung der Düngeverordnung nicht mehr gegeben. Vor diesem Hintergrund ist eine Düngung, solange der Boden gefroren ist, auch wenn die Bodenoberfläche temporär auftaut, nicht zulässig. Eine Ausnahme gilt hier für Kalkdünger mit < 2 % Phosphatgehalt. Die Aufbringung auf überschwemmte, schneebedeckte oder wassergesättigte Böden ist ebenfalls untersagt.



Berücksichtigung der Hangneigung und Gewässerabstände

§ 5 Abs. 2 und 3 i. V.m. § 13a Abs. 5

Um Abschwemmungen in oberirdische Gewässer zu vermeiden, gelten in Niedersachsen seit dem 01.02.2021 flächendeckend erweiterte Gewässerabstände für stickstoff- und phosphathaltige Düngemittel nach der sogenannten Auffangregelung. Die einzuhaltenden Gewässerabstände in der Ebene sowie im hängigen Gelände sind Abbildung 5 zu entnehmen. Bei präziser Ausbringtechnik (Grenzstreueinrichtung etc.) sind die einzuhaltenden Gewässerabstände teilweise geringer. Innerhalb eines Abstandes von 1 m zur Böschungsoberkante von oberirdischen Gewässern gilt ein generelles Aufbringungsverbot für stickstoff- oder phosphathaltige Düngemittel.

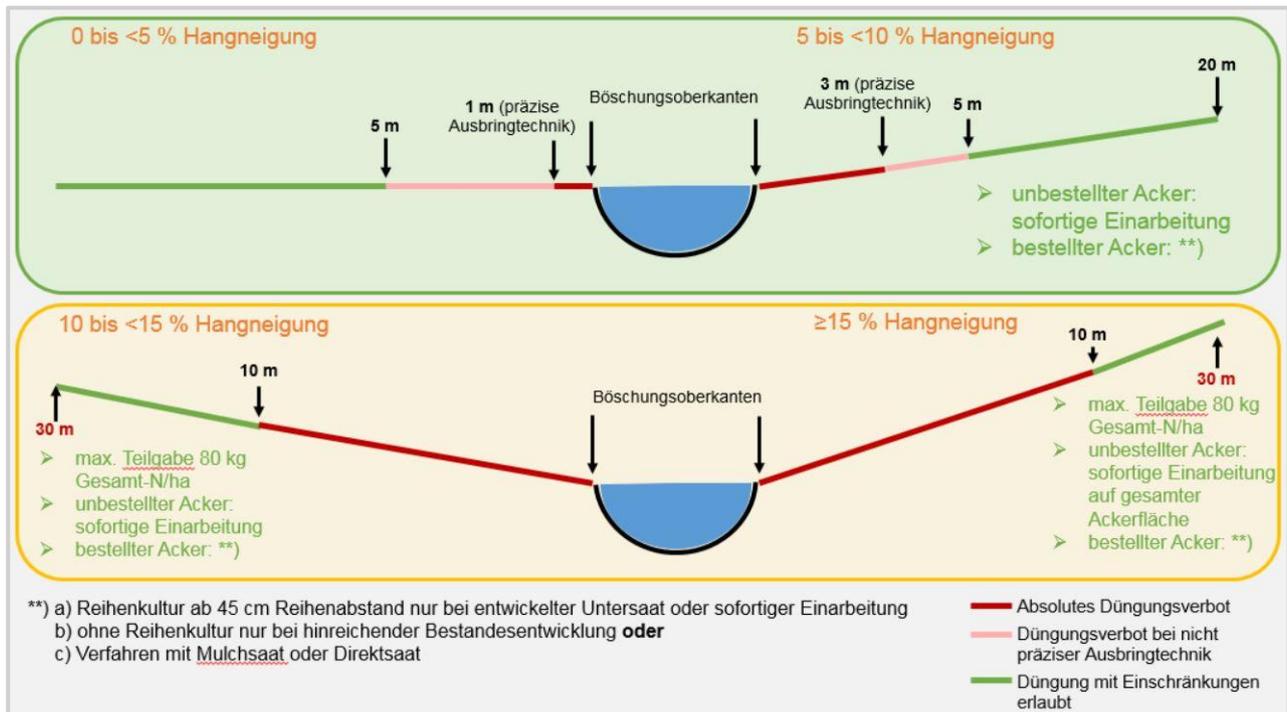


Abb. 5: Aufbringungsverbote und Einarbeitungsregeln an Gewässern (einzuhaltende Gewässerabstände in der Ebene sowie für hängiges Gelände nach DüV

Als Hilfestellung zur Einordnung der relevanten Flächen hinsichtlich ihrer Hangneigung ist im Internet auf dem Nibis®-Kartenserver ([https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permlink=19idEESr](https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=19idEESr)) eine Karte mit entsprechenden Hinweisen einzusehen. Die Karte steht bei den „Themenkarten“ unter der Rubrik „Landwirtschaft“ Unterordner „Abstandsauflagen gem. § 5 Abs. 3 DüV 2020“. Wenn der weitere Unterpunkt „Gewässer“ angehakt wird, werden auch alle derzeit als relevant eingestuftes Gewässer angezeigt. In Abbildung 7 ist beispielhaft ein Kartenausschnitt dargestellt. Die Flächen mit einem erforderlichen Abstand zum Gewässer sind farblich markiert. Die Karte gibt Hinweise auf Flächen, welche von den genannten Vorgaben betroffen sein können, sie hat aber keine Rechtsverbindlichkeit und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

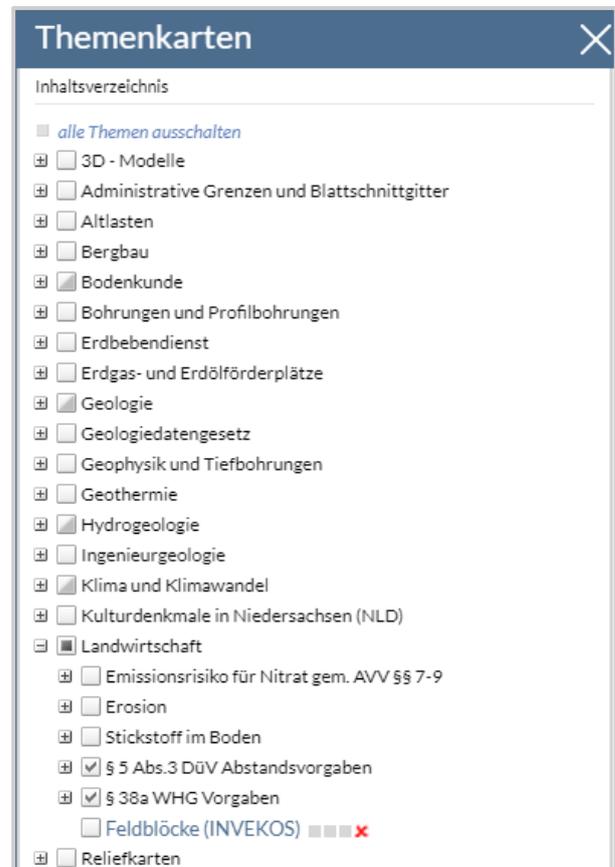


Abb. 6: Ausschnitt der Themenkarten im Nibis®-Kartenserver



Abb. 7: Kartenausschnitt vom Nibis®-Kartenserver zu den Abstandsvorgaben gemäß § 5 Abs. 3 DüV 2020 und Vorgaben gemäß § 38a WHG

Grundsätzlich gilt, dass der/die Bewirtschafter*innen selbst dafür verantwortlich ist, welche Abstände zum Gewässer einzuhalten und welche Regelungen zu beachten sind.

Die manuelle Ermittlung der Hangneigung kann im Zweifelsfall mittels Zollstock und Maßband erfolgen (Abb. 8).

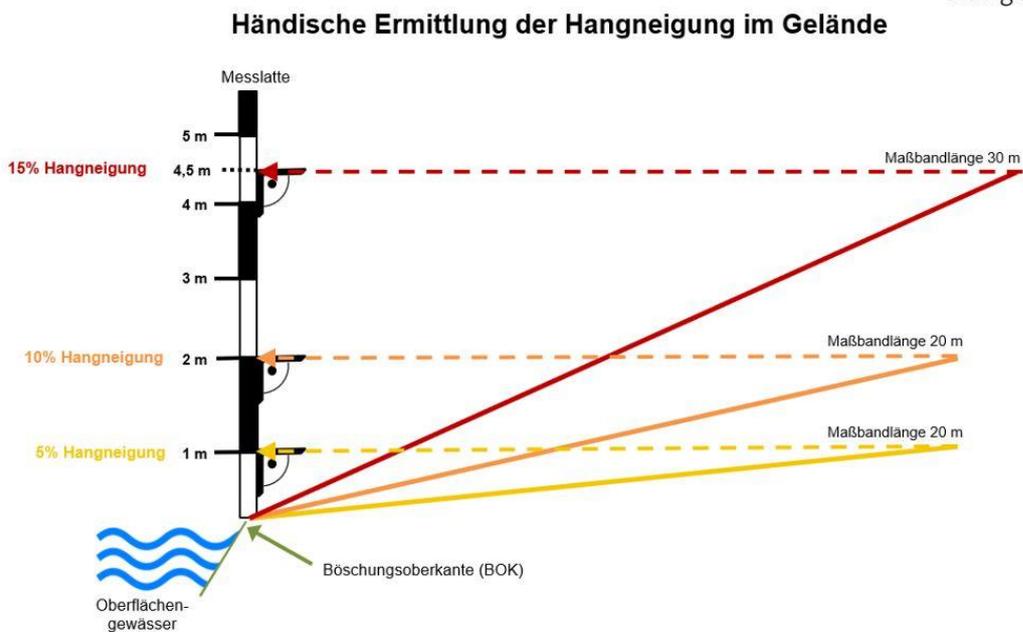


Abb. 8: Händische Ermittlung der Hangneigung im Gelände; Quelle: Marie-Christin Albers, LWK Niedersachsen

Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland

§ 6 Abs. 1

Auf unbestelltem Ackerland müssen organische und organisch-mineralische Düngemittel innerhalb von vier Stunden nach Beginn des Aufbringens eingearbeitet sein. Ausgenommen hiervon sind Festmist von Huf- und Klautieren, organisch und organisch-mineralische Düngemittel mit einem festgestellten Trockenmassegehalt von weniger als 2 % sowie Komposte.

Harnstoff als Düngemittel

§ 6 Abs. 2

Wenn Harnstoff als Düngemittel verwendet wird, muss diesem ein Ureasehemmstoff zugesetzt sein oder er muss spätestens innerhalb von vier Stunden nach Aufbringung eingearbeitet sein.

Aufbringung flüssiger organischer Düngemittel auf bestelltem Ackerland

§ 6 Abs. 3

Auf bestelltem Ackerland müssen flüssige organische und flüssige organisch-mineralische Düngemittel, inklusive flüssiger Wirtschaftsdünger, direkt in den Boden eingebracht oder bodennah streifenförmig aufgebracht werden.

Berücksichtigung der 170 kg N_{org}-Grenze bei Flächen mit Düngebeschränkung

§ 6 Abs. 4

Über organisch und organisch-mineralische Düngemittel dürfen pro Jahr im Betriebsdurchschnitt maximal 170 kg Gesamt-N/ha gedüngt werden. Flächen, auf denen die Aufbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln verboten oder eingeschränkt erlaubt ist (z. B. Bracheflächen oder Naturschutzflächen mit einem Düngungs- und Beweidungsverbot), dürfen bei der Berechnung des Flächendurchschnitts nicht berücksichtigt werden.

Verlängerung der Sperrfristen für Festmiste und Kompost

§ 6 Abs. 8

Die Sperrfristen für Komposte und Festmiste von Huf- und Klautieren wurden um zwei Wochen verlängert. Diese dürfen in der Zeit vom 01. Dezember bis 15. Januar nicht aufgebracht werden. (Tab. 3)

Sperrfrist für die Aufbringung von P-haltigen Düngemitteln

§ 6 Abs. 8

In der Zeit vom 1. Dezember bis einschließlich 15. Januar dürfen Düngemittel mit wesentlichem Phosphatgehalt nicht aufgebracht werden (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht über die geltenden Sperrfristen Herbst/Winter (Stand 2021/2022)

	grüne Gebiete	rote Gebiete
Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an Stickstoff (>1,5 % N i.TM.)		
auf Ackerland	ab Ernte der letzten Hauptfrucht – 31. Januar	ab Ernte der letzten Hauptfrucht – 31. Januar
auf Ackerland, wenn Herbsdüngung zulässig	2. Oktober – 31. Januar	1. Oktober – 31. Januar
zu Gemüse-, Erdbeeren, Beerenobst	1. Dezember – 31. Januar	1. Dezember – 31. Januar
auf Grünland, mehrjähriger Feldfutterbau	1. November – 31. Januar (01.09. – 31.10. max. 80 kg N/ha)	1. Oktober – 31. Januar (01.09. – 31.09. max. 60 kg N/ha)
Mist von Huf- und Klautieren, Kompost, Pilzsubstrat, Klärschlammerte und Grünguthäcksel	1. Dezember – 15. Januar	1. November – 31. Januar

Rechtliche Vorgaben von DüV und NDüngGewNPVO (Stand: Januar 2023)

Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an Phosphat (>0,5 % P ₂ O ₅ i.TM.)		
auf Acker- und Grünland	1. Dezember – 15. Januar	1. Dezember – 15. Januar
	gelbes Gebiet: 1. Dezember – 15. Januar	
<u>Dabei gilt es zu beachten:</u> Die jeweils strengere Sperrfrist in Abhängigkeit von Gebiet und Nährstoffgehalt ist bindend, auch in Kombination. <i>Beispiel: Kompost darf auf einem Schlag im gelb/roten Gebiet bei einem wesentlichen N- und P₂O₅-Gehalt im Zeitraum 01.11. bis einschließlich 15.02. nicht aufgebracht werden.</i> Die Sperrfrist gilt schlagbezogen. Keine Sperrfristverschiebung in gelben und roten Gebieten. Düngemittel mit keinem wesentlichen Gehalt an Stickstoff (≤1,5 % N i.TM.) und keinem wesentlichen Gehalt an Phosphat (≤0,5 % P ₂ O ₅ i.TM.) können ganzjährig aufgebracht werden, solange die Kriterien zur Aufnahmefähigkeit der Böden (§ 5 Abs. 1 DüV) eingehalten werden.		

Düngung auf Grünland

§ 6 Abs. 11

In der Zeit ab 1. September bis zum Beginn des Verbotszeitraums (01.11.) dürfen auf Grünland, Dauergrünland und auf Ackerland mit mehrjährigem Feldfutterbau, bei einer Aussaat bis zum Ablauf des 15. Mai, mit flüssigen organischen und flüssigen organisch-mineralischen Düngemitteln, einschließlich flüssigen Wirtschaftsdünger, mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff nicht mehr als 80 kg Gesamt-N/ha aufgebracht werden.

Anwendungsbeschränkungen

Düngemittel mit Knochenmehl, Fleischknochenmehl oder Fleischmehl

§ 7 Abs. 2

Düngemittel, zu deren Herstellung Knochenmehl, Fleischknochenmehl oder Fleischmehl verwendet werden, dürfen auf Dauergrünland und landwirtschaftlich genutztem Grünland sowie zur Kopfdüngung im Feldfutter- und Gemüsebau nicht verwendet werden. Auf sonstigen landwirtschaftlich genutzten Flächen müssen zuvor genannte Düngemittel sofort eingearbeitet werden.

Düngemittel mit Kieselgur

§ 7 Abs. 3

Die Anwendung von Düngemitteln, zu deren Herstellung Kieselgur genutzt wird, ist auf folgenden Flächen verboten:

- Flächen, die für den Gemüse- oder bodennahen Obstbau vorgesehen sind
- bestelltem Ackerland
- Dauergrünland
- Grünland
- Flächen des Feldfutterbaus

Auf sonstigen landwirtschaftlich genutzten Flächen müssen zuvor genannte Düngemittel sofort eingearbeitet werden. Der Einsatz trockener Düngemittel, zu deren Herstellung Kieselgur verwendet wird, ist verboten. Dies gilt auch auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Flüssige Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft

§ 7 Abs. 4

Flüssiger Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft darf im Gemüsebau nur angewendet werden, wenn der Zeitraum zwischen der Anwendung und der Ernte nicht weniger als zwölf Wochen beträgt. Zur Kopfdüngung im Gemüsebau sind diese Düngemittel verboten.

Ammoniumcarbonat

§ 7 Abs. 5

Die Verwendung von Ammoniumcarbonat als Düngemittel ist nicht gestattet.

Aufzeichnungspflichten

§ 10

Im Rahmen der Aufzeichnungen hat der Betriebsleiter spätestens zwei Tage nach jeder Düngungsmaßnahme für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit die Art und Menge der aufgebrauchten Stickstoff- und Phosphatdünger aufzuzeichnen. Bei organischen Düngern ist neben der Menge an Gesamt-N auch die des verfügbaren Stickstoffs aufzuführen. Bei Weidehaltung ist die Zahl der Weidetage und die Art und Anzahl der auf der Weide gehaltenen Tiere durch entsprechende Aufzeichnungen zu dokumentieren. Neben den einzelschlagbezogenen Dokumentationen sind sowohl der gesamtbetriebliche Düngbedarf als auch die im Betrieb aufgebrauchten Nährstoffe aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen müssen im Rahmen der Düngbedarfsermittlung bis zum 31. März des folgenden Jahres vorliegen.

Kurz & knapp:

- Aufzeichnungspflicht der Düngbedarfsermittlung für Stickstoff und Phosphat **vor der Düngung**
- Aufzeichnungspflicht der tatsächlichen Düngung **spätestens 2 Tage nach der Düngung**

3.2 Vorgaben für die Kulisse der mit Nitrat belasteten Gebiete (rote Gebiete)

§ 13a Abs. 2

In den ausgewiesenen mit Nitrat belasteten Gebieten (roten Gebieten) gelten zum Schutz der Umwelt weitere Maßnahmen:

Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %

Für jeden Schlag ist der Stickstoffdüngbedarf der angebauten Kulturen zu ermitteln, zu einer Gesamtsumme zu addieren und um 20 % zu

Lagerung von Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen

§ 12

Anlagen, die zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen aus Biogasanlagen genutzt werden, müssen ein Fassungsvermögen haben, welches größer ist als die Kapazität, die während der Sperrzeiten und unter Berücksichtigung von Ausbringungsverboten benötigt wird. Unabhängig hiervon müssen Betriebe, die flüssige Wirtschaftsdünger produzieren, sicherstellen, dass eine sichere Lagerung von flüssigen Wirtschaftsdüngern oder Gärrückständen, die in einem Zeitraum von sechs Monaten anfallen, möglich ist. Betriebe ohne eigene Fläche oder mit einem Viehbesatz von mehr als drei Großvieheinheiten/ ha müssen für 9 Monate Lagerraum bereitstellen.

Eine Lagerung von in zwei Monaten anfallendem Festmist von Huf- oder Klautentieren oder Kompost muss ebenfalls von entsprechenden Betrieben gewährleistet werden.

reduzieren. Die so berechnete Gesamtmenge an Stickstoff darf in der Summe aller im ausgewiesenen Gebiet befindlichen Schläge nicht überschritten werden. Die Düngung zu einzelnen Kulturen kann angepasst werden, der Bedarfswert darf zu einzelnen Kulturen aber nicht überschritten werden.

Ausnahme: Die Vorgabe zur Reduktion des N-Düngebedarfs besteht nicht für Betriebe, die im gleichen Düngejahr im Durchschnitt ihrer Flächen im belasteten Gebiet nicht mehr als 160 kg Gesamt-N/ha und davon nicht mehr als 80 kg Gesamt-N/ha in Form von mineralischen Düngemitteln aufbringen. Bei der Berechnung der 160 kg N-Grenze sind keine Stall- und Lagerungsverluste sowie Ausbringungsverluste oder Mindestwerte für die Ausnutzung des Stickstoffs zu berücksichtigen. Die 160 kg N/ha werden über die Menge an ausgebrachten organischen Düngern mit den jeweiligen Stickstoffgehalten berechnet. Der Nachweis, dass die 160 kg N-Grenze eingehalten wurde, ist durch die Dokumentation der Düngungsmaßnahmen zu erbringen.

Düngungsverbot im Herbst

Die Aufbringung von Düngemitteln mit einem wesentlichen N-Gehalt zu Wintergerste, Zwischenfrüchten ohne Futternutzung (Gründüngungszwischenfrüchte) und Winterraps im Herbst ist nicht erlaubt. Hinsichtlich der N-Düngung im Herbst zu Winterraps besteht eine Ausnahme: Wenn der N_{\min} -Wert im Boden 45 kg N/ha (0-60 cm Bodentiefe) nicht überschreitet, ist eine N-Herbstdüngung zulässig. Zudem darf mit Festmist von Huf- und Klautieren, Kompost, Grünguthäcksel, Pilzsubstrat oder Klärschlammerden gedüngt werden. Die Anrechnung erfolgt dann auf den Düngebedarf der Folgekultur. Die Düngung von Gründüngungszwischenfrüchten mit Festmist von Huf- und Klautieren oder Kompost ist auf 120 kg Gesamt-N/ha begrenzt.

Reduzierung der Düngung auf Grünland

Innerhalb eines Zeitraumes vom 01.09. - 30.09. gilt eine Beschränkung der N-Menge über flüssige organische und organisch-mineralische Düngemittel einschließlich flüssiger Wirtschaftsdünger auf Grünland und Ackerland mit mehrjährigem Feldfutterbau auf 60 kg Gesamt-N/ha.

Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N_{org} -Grenze

Die N-Obergrenze von 170 kg N_{org} /ha und Jahr für die Aufbringung von organischen Düngemitteln ist schlagbezogen einzuhalten. Dabei sind keine Stall- und Lagerungsverluste sowie Ausbringungsverluste oder Mindestwerte für die Ausnutzung des Stickstoffs anzusetzen. Von dieser Regelung ausgenommen sind Betriebe, die im Durchschnitt ihrer Flächen im nitratbelasteten Gebiet nicht mehr als 160 kg Gesamt-N/ha und davon nicht mehr als

80 kg Gesamt-N/ha in Form von mineralischen Düngemitteln aufbringen.

Verlängerte Sperrfrist auf Grünland

Die Sperrfrist auf Grünland und Ackerland mit mehrjährigem Feldfutterbau ist um vier Wochen verlängert und umfasst den Zeitraum vom 01.10. – 31.01.

Erweiterung der Sperrfrist für Festmiste und Komposte

Die Sperrfrist für das Aufbringen von Festmist von Huf- und Klautieren sowie Kompost ist um sechs Wochen auf den Zeitraum vom 01.11. bis 31.01. verlängert.

Zwischenfruchtanbauebot vor Sommerungen

Sofern die nachfolgende Sommerung ab dem 01. Februar mit wesentlichen Nähstoffmengen gedüngt werden soll, herrscht ein Zwischenfruchtanbauebot. Diese Vorgabe gilt nicht, wenn die Ernte der Vorfrucht nach dem 01. Oktober erfolgt oder bei jährlichen Niederschlägen im langjährigen Mittel unter 550 mm (Hinweis: In Niedersachsen ist derzeit kein Gebiet mit <550 mm Niederschlag im langj. Mittel ausgewiesen). Die Art der Zwischenfrucht (z. B. winterhart oder nicht winterhart) und der Zeitpunkt, bis wann ausgesät sein muss, sind nicht vorgegeben. Die zu etablierenden Zwischenfrüchte müssen lediglich aktiv ausgesät werden und einen flächendeckenden Bestand aufweisen, sodass eine Nährstoffaufnahme über die Herbst- bzw. Wintermonate möglich ist. Ausfallraps nach Winterraps sowie der Aufwuchs einer Untersaat entsprechen beispielsweise einer aktiven Aussaat einer Zwischenfrucht, wenn sie einen flächendeckenden Bestand aufweisen. Ein Umbruch ist erst ab dem 15. Januar möglich. Aus

pflanzenbaulicher und phytosanitärer Sicht ist jedoch die Nutzung des Ausfallrapses als Zwischenfrucht nicht zu empfehlen.

Meldepflicht in ENNI

§ 5 (NDüngGewNPVO)

Für Betriebe, deren landwirtschaftlich genutzte Flächen vollständig oder teilweise in der Gebietskulisse Grundwasser oder Oberflächengewässer liegen und zwar

➤ 10 bis < 30 ha und > 30 % LF oder

➤ > 30 ha

wird eine betriebliche, schlagspezifische Meldepflicht in ENNI eingeführt. Erstmals wurden bis zum 30.06.2022 für das abgelaufene Düngjahr: der Düngbedarf je Schlag, die Gesamtsumme Düngbedarf der Schläge, die Düngungsmaßnahmen je Einzelschlag (unter Angabe des Datums der einzelnen Düngungsmaßnahmen und bei Stickstoff unter Berücksichtigung der Ausnutzung im Jahr des Ausbringens), die Angaben zur Weidehaltung, die jährliche betriebliche Gesamtsumme des Nährstoffeinsatzes und die Angaben zur betrieblichen N-Obergrenze (170 kg Norg-Grenze) gemeldet.

Verpflichtende Frühjahrs-N_{min}-Proben

§ 3 Nr. 1 (NDüngGewNPVO)

Es müssen eigene Frühjahrs-N_{min}-Proben je Schlag/Bewirtschaftungseinheit nach den Vorgaben der Ausführungshinweise vor der Ausbringung wesentlicher Mengen an Stickstoff

für den Zeitpunkt der Düngung genommen werden. Ausgenommen sind hiervon Grünland- und Dauergrünlandflächen sowie Flächen mit mehrschnittigem Feldfutterbau.

Folgende Faktoren müssen bei der Bildung von Bewirtschaftungseinheiten berücksichtigt werden:

- gleiche Hauptbodenart
- gleiche Vor- und Hauptfrucht

Die N_{min}-Probenahmetiefe beträgt für alle Kulturen 0-90 cm. Die Probenahme und N_{min}-Gehaltsbestimmung hat in drei Schichten zu erfolgen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm).

In folgenden Fällen ist auch eine Probenahme in nur 0-60 cm zulässig:

- flachgründige Böden
- drainierte Flächen: Für die Schicht von 60-90 cm ist der Richtwert der LWK Niedersachsen zu verwenden.
- Bei Gemüsekulturen sind die Probenahmetiefen gem. Anlage 4, Tab. 4 DüV zu beachten.

Einarbeitungszeit nach Ausbringung organischer Dünger innerhalb 1 Stunde

§ 3 Abs. 2 (NDüngGewNPVO)

Beim Aufbringen organisch und organisch-mineralischer Dünger inklusive Wirtschaftsdüngern auf unbestelltem Ackerland gilt eine Einarbeitungszeit von maximal einer Stunde nach Beginn des Aufbringens.

3.3 Vorgaben für die Kulisse der eutrophierten Gebiete (gelbe Gebiete)

In den sogenannten gelben Gebieten, also den eutrophierten Gebieten, gelten über die zuvor beschriebenen Maßnahmen hinaus weitere gesetzliche Vorgaben, die nachfolgend dargestellt sind.

Reduzierung der P-Düngung auf hoch versorgten Standorten

§ 4 Nrn. 1 und 2 (NDüngGewNPVO)

Die Phosphatdüngung auf hoch versorgten Standorten wird entsprechend Tabelle 4 eingeschränkt. Phosphathaltige Düngemittel dürfen in Abhängigkeit vom Humus- und Phosphatgehalt des Bodens ab 2021 höchstens zu 75 % und ab 2023 höchstens zu 50 % der erwarteten Nährstoffabfuhr aufgebracht werden. Die Gehalte können je nach Analyseergebnis entsprechend umgerechnet werden (Tab. 5).

Tab. 4: P-Düngebedarf in Abhängigkeit der Versorgungsstufe und des Humusgehaltes

Humusgehalt	Phosphatgehalt	ab 2021	ab 01.01.2023
[%]	[mg P ₂ O ₅ CAL/100 g Boden] auf Schlagebene im gew. Mittel	[% der erwarteten P ₂ O ₅ -Abfuhr]	
≤ 15	> 25	75	50
	> 40	50	keine P ₂ O ₅ -Düngung*
> 15	> 12	75	50
	> 20	50	keine P ₂ O ₅ -Düngung*

*Ausnahme: zertifizierte Öko-Betriebe dürfen 50 % der erwarteten P₂O₅-Abfuhr aufbringen

Tab. 5: Umrechnung der P₂O₅-Gehalte in P-Gehalte

Mineralböden (≤ 15 % Humus)	Organische Böden (> 15 % Humus)
25 mg P ₂ O ₅ = 10,9 mg P → Anfang Stufe D	12 mg P ₂ O ₅ = 5,2 mg P → Anfang Stufe D
40 mg P ₂ O ₅ = 17,5 mg P → Anfang Stufe E	20 mg P ₂ O ₅ = 8,7 mg P → Anfang Stufe E

Erhöhung der Gewässerabstände

§ 4 Nr. 3 (NDüngGewNPVO)

Die erhöhten Gewässerabstände gelten flächendeckend

Abweichend von § 6 Abs. 8 Satz 3 DüV dürfen Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an Phosphat in der Zeit vom 01. Dezember bis zum Ablauf des 15. Februar nicht aufgebracht werden.

Verlängerte Sperrfrist für die Aufbringung von P-haltigen Düngemitteln

§ 4 Nr. 4 (NDüngGewNPVO)

Meldepflicht in ENNI

§ 5 (NDüngGewNPVO)

Siehe Seite 20.

4 Anpassungsstrategien

Die einzuhaltenden Vorgaben in den ausgewiesenen Gebieten haben direkte Auswirkungen auf die Düngepraxis der Landwirtinnen und Landwirte. Mit dem Ziel des Grund- und Oberflächengewässerschutzes sollen diese Vorgaben Nährstoffausträge reduzieren und ziehen somit die Notwendigkeit einer erhöhten Effizienz der eingesetzten Nährstoffe nach sich. In Zeiten volatiler Märkte, weniger zuverlässig funktionierender Handelswege, hoher Faktorpreise und unbeständiger Wetterlagen ist dieser Fokus auf eine hohe Effizienz der eingesetzten Produktionsmittel im Allgemeinen, allerdings nicht zuletzt auch betriebswirtschaftlich sinnvoll. Dazu werden im Folgenden für die zuvor beschriebenen gesetzlichen Vorgaben zur Düngung Anpassungsstrategien vorgestellt, welche mit dem Ziel der Formulierung eines Reduktionspotenzials für die Düngung auch monetär für den Betrieb bedeutend sein können. Im Allgemeinen allerdings können zu den individuellen betrieblichen Gegebenheiten passende Anpassungsstrategien sehr unterschiedliche Ansätze verfolgen. Aus diesem Grund stellt das vorliegende Kapitel

Möglichkeiten der Anpassung vor, die aber individuell nach ihrer Eignung für den eigenen Betriebstyp bewertet werden müssen. Aus diesem Grund kann eine solche Auflistung nicht abschließend sein. Gemeinsam haben diese Strategien, dass sie Ziele des Grund- und Oberflächengewässerschutzes verfolgen, und gleichzeitig eine Erhöhung der Effizienz der eingesetzten Nährstoffe priorisieren, um so die gezeigten Einschränkungen zu kompensieren und das Ertragsniveau bestmöglich zu sichern. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf den Anpassungsstrategien in den roten und gelben Gebieten. Gleichwohl werden aber auch die herausfordernden Veränderungen der DüV von 2020 bearbeitet und Anpassungsstrategien im Umgang mit diesen aufgezeigt. Die vorgestellten Strategien wurden dabei auf Basis umfangreicher Feldversuchsergebnisse der LWK Niedersachsen und anderer agrarwissenschaftlicher Institutionen entwickelt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Steigerung der N-Effizienz bewertet. Im Fokus steht klar die optimistische Begegnung mit diesen Herausforderungen.

4.1 Material & Methoden

Im Folgenden werden zunächst die Standorteigenschaften der Versuchsstandorte dargestellt und anschließend die verwendeten Methoden für die Bewertung der Anpassungsstrategien näher erläutert.

4.1.1 Versuchsstandorte

Um die unterschiedlichen Gegebenheiten in Niedersachsen darstellen zu können, sind die Versuchsstandorte der LWK über das ganze Land verteilt (Abb. 9). Hierbei ist es wichtig, auch die differenzierten Bodenarten und Standortbedingungen in den Versuchen abbilden zu können. Im Anschluss an die regional durchgeführten Versuche können diese Ergebnisse bspw. je nach Bodenart zusammengefasst werden (Sandböden, Lehm Böden, Marschen) und eine größere Datengrundlage zu erhalten und die Ergebnisse auch auf andere Orte übertragbar zu machen. Um einen besseren Überblick zu geben, sind die Standorteigenschaften zusätzlich dargestellt (Tab. 6.) Überwiegend handelt es sich hierbei um nicht langjährig organisch gedüngte Standorte (Ausnahme westliche Standorte). Auch die Kulturen, die an diesen Standorten abgeprüft werden, sind für die Regionen typisch und

spiegeln die Anbauschwerpunkte Niedersachsens wieder. Durch größere Versuchsfelder ist es möglich, mehrere Versuchsfragen auch im gleichen Jahr zu prüfen. Langjährig organisch gedüngte Standorte zeichnen sich durch eine relativ hohe N-Nachlieferung im Laufe der Vegetation aus. Ertragseffekte in N- und P-Düngungsversuchen fallen auf solchen Standorten in der Regel geringer aus als auf nicht langjährig organisch gedüngten Standorten. Gerade die auf diesen Standorten potenziell über die Vegetation vermehrt mineralisierten Nährstoffe werden in klassischen Düngesystemen nicht berücksichtigt. Auf diesen Standorten kann so einerseits aufgrund der höheren Nachlieferung der errechnete Düngebedarf nach DüV häufig reduziert werden, wenn die Mineralisation aufgrund ausreichender Feuchtigkeit und Wärme entsprechend erfolgt. Somit sind diese Standorte häufig besser in der Lage, eine reduzierte Düngung zu kompensieren.

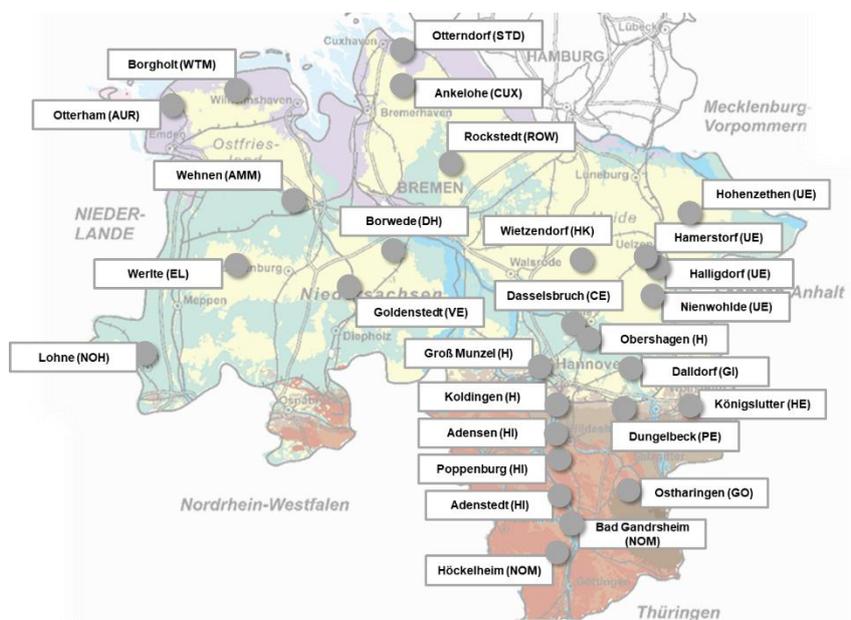


Abb. 9: Auswahl erwähnter Versuchsstandorte der LWK Niedersachsen (Legende: lila=Küstenmarschen, gelb=Sandlössgebiete, rot=Lössgebiete, braun=Mittelgebirge)

Anpassungsstrategien

Tab. 6: Standorteigenschaften erwähnter Versuchsstandorte der LWK Niedersachsen; * Beregnungsstandort

Versuchsstandort	Landkreis	Bodentyp	Bodenart	Ackerzahl	Ø Jahresniederschlag	Ø Jahrestemperatur
					[mm]	[°C]
Adensen	Hildesheim	Parabraunerde	L	97	644	9,3
Adenstedt	Hildesheim	Pseudogley-Parabraunerde	sL	78	750	8,4
Ankelohe	Cuxhaven	Mittlerer Plaggensch-Podsol	S	25	783	8,0
Bad Gandersheim	Northeim	Pseudogley-Parabraunerde	L	64	731	8,9
Borgholt	Wittmund	Plaggensch-Podsol	S	34	795	8,0
Borwede	Diepholz	Braunerde	IU	55	725	8,4
Dalldorf*	Gifhorn	Pseudogley-Braunerde	S	20	656	9,2
Dasselsbruch	Celle	Podsol-Gley	S	20	697	8,6
Dungelbeck*	Peine	Parabraunerde	sL	58	633	9,3
Goldenstedt	Vechta	Podsol	IS	45	790	9,1
Groß Munzel	Hannover	Parabraunerde	sL	80	629	9,4
Halligdorf*	Uelzen	Podsol-Braunerde	I'S	49	654	8,8
Hamerstorf*	Uelzen	Podsol-Braunerde	S-IS	25-40	654	8,8
Höckelheim	Northeim	Parabraunerde	uL	75	672	9,0
Hohenzethen*	Uelzen	Braunerde	S	26	618	8,5
Koldingen	Hannover	Parabraunerde	sL	75	622	9,4
Lohne	Nordhorn	Podsol-Gley	S	25	765	9,0
Königslutter	Helmstedt	Parabraunerde	L	80	677	8,8
Nienwohld*	Uelzen	Podsol-Braunerde	S	25	654	8,8
Obershagen*	Hannover	Podsol-Braunerde	S	44	669	9,3
Ostharingen	Goslar	Gley	L	63	748	8,6
Otterham	Aurich	Seemarsch	uT	79	807	9,2
Otterndorf	Stade	Flussmarsch	uT	70	814	9,0
Poppenburg	Hildesheim	Parabraunerde	L	85	669	8,7
Rockstedt	Rotenburg (Wümme)	Pseudogley-Podsol	Moor (S)	28	783	8,9
Wehnen	Ammerland	Gley-Podsol	S	30	817	9,2
Werlte	Emsland	Plaggensch-Podsol	S	40	792	9,3
Wietzendorf	Heidekreis	Podsol-Gley	S	24	766	8,0

4.1.2 Begriffsdefinitionen

Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente (N-MDÄ)

Zur Ermittlung der tatsächlichen N-Ausnutzung eines organischen Düngers wird das sogenannte Stickstoff-Mineraldüngeräquivalent (N-MDÄ) berechnet. Das N-MDÄ ist eine rückwirkende Betrachtung, bezieht sich auf die erzielte Ertragsleistung des untersuchten Düngers und gibt in diesem Fall an, wie der Stickstoff des organischen Düngers im Verhältnis zu einem mineralischen N-Dünger wirkt (Korriath, 1975). Dazu werden die eingesetzten Stickstoffmengen wie im folgenden Beispiel ins Verhältnis zueinander gesetzt:

Beispiel: 100 kg Gesamt-N aus organischer Düngung erzielen den gleichen Ertrag wie 50 kg N aus mineralischer Düngung. Somit wird ein N-MDÄ von 50 % erreicht.

Um die N-MDÄ berechnen zu können, wird eine mineralische N-Düngestaffel für die Ableitung der Ertragsfunktion und eine rein organische Variante benötigt.

$$\text{N - MDÄ [\%]} = \frac{\text{mineralischer N} \left[\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right]}{\text{organischer N} \left[\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right]} * 100$$

N-Effizienz, N-Vorteil und N-Saldo

Die Nährstoffeffizienz in der Landwirtschaft ist von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig. Zunächst wird die Effizienz anhand des erzielten Ertrages betrachtet: Alle Faktoren, die auf den Ertrag einwirken, haben auch einen Einfluss auf die Effizienz. Es gilt: Je höher der Ertrag bei gleichem Faktoreinsatz, desto höher ist die Effizienz des Faktors. Sofern es die Datenlage ermöglichte, wurde bei den Auswertungen immer versucht, den Einfluss der Anpassungsstrategien auf die N-Effizienz zu ermitteln und zu quantifizieren. Dabei gilt:

$$\text{N - Effizienz [\%]} = \frac{\text{Ertrag} \left[\frac{\text{dt}}{\text{ha}} \right]}{\text{N - Düngung} \left[\frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right]} * 100$$

Alternativ kann für die Berechnung der N-Effizienz auch die N-Abfuhr/N-Angebot zugrunde gelegt werden.

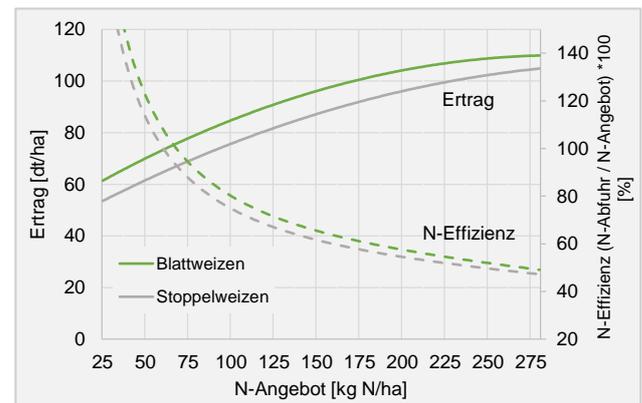


Abb. 10: N-Effizienz am Beispiel von Blatt- und Stoppelweizen in Abhängigkeit vom N-Angebot, im Mittel der Standortgruppen Lehm- (Königsutter, Höckelheim) und Marsch (Otterham), Jahre 2005 – 2015, n=25).

Liegt eine Ertragskurve oberhalb einer anderen, so ist sie die N-effizientere, da bei gleichem N-Angebot höhere Erträge produziert werden (Abb. 10).

Da bei Qualitätsweizen auch der Rohprotein-gehalt bei der Bewertung Berücksichtigung finden muss, fließt statt des Ertrages die N-Abfuhr in die Berechnungen ein.

Anpassungsstrategien

Der **N-Vorteil** wird als Maßstab zur Quantifizierung der N-Effizienz eingeführt. Er gibt an, wieviel eine Anpassungsstrategie zur Kompensation des reduzierten N-Angebotes (N_{\min} + N-Düngung) beitragen kann. Dabei kann der N-Vorteil in

- einem höheren N-Angebot bei der Düngung (z. B. N-Umverteilung in der Fruchtfolge) oder
- in Einsparungen bei der N-Düngung durch eine effizientere Ausnutzung des eingesetzten Stickstoffs bestehen.

Die Berechnung des N-Vorteils erfolgt je nach Anpassungsstrategie und Datengrundlage unterschiedlich. Grundsätzlich wird der N-Vorteil aber als Äquivalent zu einem Standard berechnet, d.h. mit welchem N-Angebot wird der gleiche Ertrag wie beim Standard erreicht?

Der **N-Saldo** ergibt sich aus der Differenz von N-Zufuhr (inkl. N-Saldo aus Verbringung) und der N-Abfuhr (Nährstoffbericht 19/20, verändert):

$$N - \text{Flächenbilanzsaldo} \left[\text{kg} \frac{N}{\text{ha}} * a \right] = (N - \text{Zufuhr} + (N - \text{Saldo aus Verbringung}) - N - \text{Abfuhr}$$

N-Vorteil grafisch (exemplarische Erläuterung und schematische Darstellung)

Durch eine N-effizientere Produktionsfunktion ergeben sich zwei Effekte:

1. **Ertragsvorteil:** Bei gleicher Düngung kann ein höherer Ertrag erzielt werden.
2. **N-Vorteil:** Bei reduzierter Düngung kann der gleiche Ertrag erzielt werden.

Der N-Vorteil ist die Differenz zwischen dem N-Angebot (N_{\min} + N-Düngung) bei der herkömmlichen Produktionsfunktion und dem N-Angebot bei N-effizienterer Produktionsfunktion bei gleichem Ertrag.

Sofern Ergebnisse aus N-Steigerungsversuchen zur Abbildung einer Produktionsfunktion vorliegen, wurde der N-Vorteil ermittelt (Abb.11). Für einige vorgestellte Anpassungsstrategien, wie z. B. zur optimierten Düngung bei Winterweizen, gab es jeweils nur N-Steigerungsversuche vom Standard, in diesem Fall mit herkömmlicher 3-Gaben-Strategie bei gleichmäßiger Verteilung. Verschiedene Varianten, die Potenzial für eine effizientere Nutzung des eingesetzten Stickstoffs bieten, wurden jeweils nur bei Düngung in Höhe des Bedarfswertes angelegt. Um auch diese Anpassungsstrategien entsprechend mit Hilfe des N-Vorteils bewerten zu können, wurde jeweils ein Mittelwert der Jahre und Standorte ermittelt und das N-Äquivalent auf der Standard-Ertragskurve bestimmt.

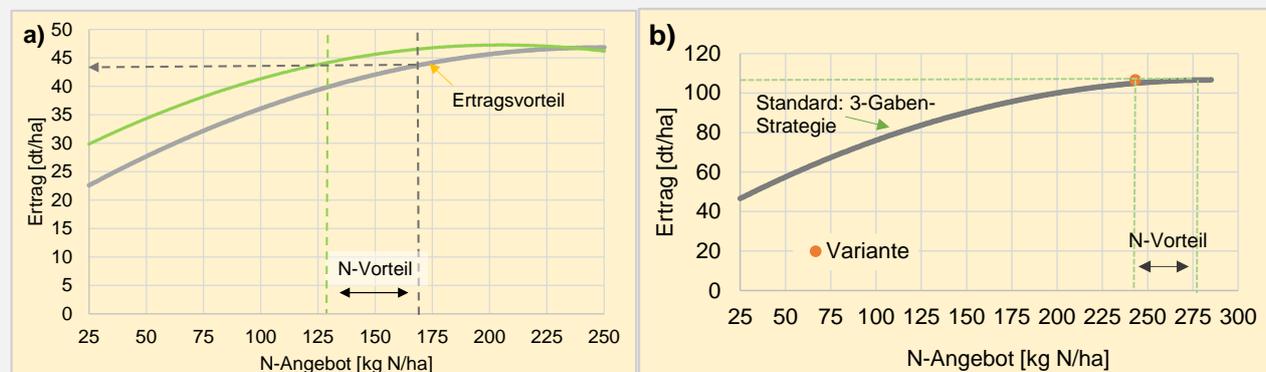


Abb. 11: Ermittlung des N-Vorteils grafisch bei a) vollständiger und b) eingeschränkter Datengrundlage

4.1.3 Auswertungen

Beispielrechnungen zu Fruchtfolgen basieren immer auf „normalen“ Preiskonstellationen, in der Regel das Mittel der letzten fünf Jahre. Aktuelle Preissituationen werden so nicht im Detail abgebildet. So wird sichergestellt, dass für eine langfristige Betrachtung dieser allgemeingültigen und preisunabhängigen pflanzenbaulichen Zusammenhänge Extremsituationen nicht repräsentativ werden.

Für alle Kulturen wurde die quadratische Funktion genutzt. Bei der Auswertung der Daten wurde auf deren Orthogonalität geachtet. Generell lässt der Versuchsaufbau der ausgewerteten Versuche **keine Bewertung** der in der DüV festgelegten absoluten **Bedarfwerte** zu. Die Versuchsstandorte werden in der Regel im Vorfeld einer bedarfsgerechten Düngung unterzogen. Nur in dem jeweiligen Versuchsjahr werden sie parzellenweise unter- oder oberhalb des Bedarfswertes gedüngt. Dadurch lässt sich nur Rückschluss auf die ertragliche Reaktion bei einjährig durchgeführter Düngung unterhalb des Bedarfswertes ziehen, nicht aber auf die Korrektheit des Bedarfswertes an sich bzw. auf die Reaktionen bei langjähriger Düngung unterhalb des Bedarfswertes.

4.2 Umgang mit flächendeckend geltenden Vorgaben der DüV

Die letzte Änderung der Düngeverordnung erfolgte bereits im Jahr 2020. Es gilt jedoch auch heute noch pflanzenbauliche Anpassungsstrategien zu den in der Novelle festgelegten veränderten Vorgaben zu kommunizieren. Viele dieser aus Versuchsergebnissen der LWK Niedersachsen resultierenden Empfehlungen sind bereits Baustein der Beratung und somit in Teilen der Fläche Niedersachsens etabliert. Im Folgenden wird dieser Kenntnisstand für alle abgebildet.

Stickstoff-Düngebedarfsermittlung

Die Stickstoff-Düngebedarfsermittlung mit ihrem als standortbezogene Obergrenze errechneten Stickstoff-Düngebedarf ist bereits seit 2017 Teil der Düngeverordnung. Sowohl für Stickstoff als auch für Phosphat muss vor einer Düngungsmaßnahme der Düngebedarf der Kultur für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit ermittelt werden. Die Düngeverordnung gibt dazu verbindliche und bundeseinheitliche Bedarfswerte für die verschiedenen Kulturen sowie Zu- und Abschlagsfaktoren vor. Grundlage für den Nährstoffbedarf der Kulturen sind dafür zugrunde gelegte Ertragsniveaus.

Bei nachweislich abweichendem Ertragsniveau kann der N-Bedarfswert gemäß den Vorgaben der DüV angepasst werden. Dazu wird nun das **Ertragsniveau aus den zurückliegenden fünf Jahren** zugrunde gelegt. Dieser Zeitraum ist in roten Gebieten auf einen festen Zeitraum, nämlich die Jahre von 2015 bis 2019, festgelegt. Weicht das Ertragsniveau in einem der letzten fünf Jahre um mehr als 20

% vom Ertragsniveau des jeweils vorangegangenen Jahres ab, kann statt des tatsächlichen Ertragsniveaus, das im Jahr der Abweichung erreicht wurde, das Ertragsniveau des jeweils vorangegangenen Jahres für die Ermittlung der Ertragsdifferenz herangezogen werden (Anlage 4 Tab. 3 DüV). Das Ergebnis dieser Bedarfsermittlung ist gleichzeitig eine standortspezifische und verbindliche Obergrenze, die nicht überschritten werden darf.

Durch die möglichen Zuschläge kann durchaus entsprechend auf höhere Erträge im Betriebsdurchschnitt reagiert und die Düngung an das betriebliche Ertragsniveau angepasst werden. Durch die zu berücksichtigenden Abzüge (aktueller N_{\min} -Wert, Nachlieferung aus der organischen Düngung des Vorjahres mit 10%, Humusgehalt >4%, verfügbare N-Menge zu Winterraps und Wintergerste aus einer vorangegangenen Herbstdüngung) wird die tatsächlich zu düngende N-Menge rechnerisch ermittelt. Die Verteilung der verbleibenden N-Düngermenge unterliegt außer den Vorgaben der Sperrfristregelungen keinen Reglementierungen.

Ausgangspunkt für die **N-Düngebedarfsermittlung auf Grünland** ist ein N-Bedarfswert, der in Abhängigkeit von Ertrag und Rohproteingehalt festgesetzt wurde und einer bestimmten Grünlandnutzung zuzuordnen ist. Von dem ausgewählten N-Bedarfswert sind ggf. Zu-/Abschläge auf Grund von abweichendem Ertrags- bzw. Rohproteinniveau im Durchschnitt der letzten fünf Jahre vorzunehmen. Darüber hinaus müssen Abschläge in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Bodens, der N-Nachlieferung aus organischer Düngung des Vorjahres (§ 4 (2) 4 DüV) sowie der

N-Nachlieferung aus der N-Fixierung durch Leguminosen gemacht werden. In Tabelle 8 ist eine Berechnung des N-Düngebedarfs auf Grünland schematisch dargestellt.

Kurz & knapp:

- Zeitraum des zur Düngebedarfsermittlung heranzuziehenden durchschnittlichen Ertragsniveaus:
 - zurückliegende fünf Jahre
 - Sonderfall rote Gebiete:
fester Zeitraum 2015-2019

Der Zusammenhang zwischen der Stickstoff-Düngung und dem Ertrag ist in den einzelnen Ackerbaukulturen in Abhängigkeit des Standortes unterschiedlich. Dabei kann bezogen auf die maximal mögliche Höhe der Stickstoffdüngung nur bedingt auf abiotische Faktoren regiert werden, wie das folgende Beispiel zeigt.

Sonderfall: Überschreitung des ermittelten Düngebedarfs um max. 10 %

Der nach § 4 Abs. 2 (1) DüV ermittelte Düngebedarf während der Vegetation darf nur nach besonderen Witterungsereignissen, wie bspw. Starkregen, um höchstens 10 % überschritten werden (§3 (3) DüV). Eine Überschreitung des N-Düngebedarfes aufgrund nachträglich eintretender Umstände bedarf einer vorherigen Zustimmung durch die Düngebehörde. Hierzu erfolgt bei Anwendung des § 3 Abs. 3 DüV eine öffentliche Bekanntgabe durch die Düngebehörde der LWK Niedersachsen. Diese gibt bekannt, unter welchen Voraussetzungen ein höherer Düngebedarf besteht (Region, Kultur, Witterungsereignisse etc.). Vor dem Aufbringen von Düngemitteln ist der Düngebedarf der Kultur für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit neu zu ermitteln und zu dokumentieren. (Tab. 7 und 8).

Berechnung des N-Düngebedarfs nach besonderen Ereignissen

Diese Beispiele zeigen die Vorgehensweise bei der Ermittlung des maximal möglichen neuen Bedarfes innerhalb der Vegetation unter den genannten Umständen.

Tab. 7: Exemplarische Berechnung des N-Düngebedarfs am Beispiel Winterraps

N-Düngebedarfsermittlung Winterraps		
Basisertrag	[dt/ha]	40
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	200
5-jähriges Ertragsniveau	[dt/ha]	45
Zu- und Abschläge [kg N/ha]		
N _{min} -Gehalt im Boden	[kg N/ha]	-30
Ertragsdifferenz	[kg N/ha]	+10
N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat (Humusgehalt > 4 %)	[kg N/ha]	0
Vor- und Zwischenfrüchte	[kg N/ha]	0
org. Düngung Vorjahr (20 m ³ /ha Gärrest, 6 % TS, N-Gehalt 5 kg N/m ³ FM)	[kg N/ha]	-10
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	170
Zuschlag für max. mögliche Überschreitung	[kg N/ha]	+17
N-Düngebedarf + max. 10 % (nachträglich eintretende Umstände)	[kg N/ha]	187

Tab. 8: Berechnung des N-Düngebedarfs am Beispiel Dauergrünland 4-Schnittnutzung

N-Düngebedarfsermittlung Dauergrünland 4-Schnittnutzung		
Basisertrag (17 % RP i. d. TM)	[dt TM/ha]	90
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	245
5-jähriges Ertragsniveau (17 % RP i. d. TM)	[dt TM/ha]	90
Zu- und Abschläge [kg N/ha]		
N-Nachlieferung aus org. Düngung der Vorjahre	[kg N/ha]	-15
Ertragsdifferenz	[kg N/ha]	0
Rohproteindifferenz	[kg N/ha]	0
N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat	[kg N/ha]	-10
N-Nachlieferung aus N-Bindung von Leguminosen	[kg N/ha]	-20
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	200
Zuschlag für max. mögliche Überschreitung	[kg N/ha]	+20
N-Düngebedarf + max. 10 % (nachträglich eintretende Umstände)	[kg N/ha]	220

Inwiefern die dann ermittelte maximal mögliche Überschreitung des Düngebedarfes schadensbegrenzend bezogen auf das Ereignis wirken kann, hängt von folgenden Faktoren ab: Ausschlaggebend ist hier die Höhe des N-Verlustes, der aus einer bestimmten Witte-

runkskalamität abgeleitet werden kann. Dieses wird an einem **Beispiel** aus dem Vegetationsjahr 2013 erläutert (Abb. 12).

Ist die mittlere Feldkapazität eines Standortes bekannt, kann die Verlagerungstiefe für jeden Standort mit folgender Formel berechnet werden:

Verlagerungstiefe [dm]

$$= \frac{\text{Sickerwassermenge [mm]}}{\text{mittlere Feldkapazität [Vol. \% = mm/dm]}}$$

Die Verlagerungstiefen beziehen sich auf die Sickerwassermenge (Niederschlag abzüglich Verdunstung und Bodenauffüllung) in einem definierten Zeitraum.

Extremjahr 2013

Die Witterung im Mai 2013 war durch extrem hohe Niederschlagsmengen besonders in den mittleren und östlichen Landesteilen gekennzeichnet (Abb. 12). Von Ende April bis Ende Mai fielen bis zu 200 mm Niederschlag, der vor allem auf den leichten, durchlässigen Böden den gedüngten Stickstoff aus der durchwurzelbaren Zone in den Unterboden verlagerte (Tab. 9), was durch N_{min}-Untersuchungen belegt werden konnte. Betroffen waren vor allem die Sommerungen, die erst im März/April gepflanzt bzw. gelegt und zu denen bereits die gesamte N-Menge gedüngt worden war. Die Winterungen (Raps, Wintergetreide) hatten bis dahin die applizierte N-Düngung weitgehend aufgenommen, da auch bereits mehr Wurzelwerk gebildet wurde, und waren daher weniger betroffen.



Abb. 12: Niederschlagssumme (mm) für die jeweiligen Landkreise vom 28.04. bis 28.05.2013.

Tab. 9: Berechnete Verlagerungstiefen (cm) bei unterschiedlichen Regenmengen und Standorten für Hackfrüchte. Die Verlagerungstiefen beziehen sich auf die Sickerwassermenge in dem angegebenen Zeitraum, also Niederschlag abzüglich Verdunstung und Bodenauffüllung

Verlagerungstiefe [cm] auf folgenden Böden	Niederschlagsmenge [mm]				
	75	100	125	150	175
sehr leichte Böden (humusarmer Sand)	20	40	60	80	100
leichte Böden (humoser Sand, anlehmiger Sand)	15	25	40	60	70
mittlere Böden (Schluffe und sandige Lehme)	10	20	30	40	50
schwere Böden (Lehm und Ton)	< 10	15	20	30	35

Beispiel: Für den Standort **Hohenzethen** (LK Lüchow, sehr leichter, humusarmer Sandboden) konnte bei einer Niederschlagsmenge von rund 124 mm eine Verlagerungstiefe von **5,7 dm** im Zeitraum 01.05. bis 27.05.2013 errechnet werden.

- Niederschlagsmenge = 123,7 mm
- Sickerwassermenge = 78,7 mm
- Mittlere Feldkapazität = 13,7 Vol.%

berechnet aus $\frac{\text{Feldkapazität (82,2 mm)}}{\text{Bodentiefe (6 dm)}}$

$5,7 \text{ [dm]} = \frac{78,7 \text{ [mm]}}{13,7 \text{ [Vol. \%]}}$

Silomais im Extremjahr 2013: N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten

Um die Ertragswirkung der N-Düngung zu prüfen, wurde im Raum HI-Ost nach den extremen Niederschlägen ein Silomais-Versuch mit einer N-Staffel (0 – 250 kg N/ha) auf einer Praxisfläche angelegt. N_{min}-Untersuchungen vom 05.06.13 belegen hier, dass die gesamte vor der Saat applizierte N-Menge von 174 kg N/ha aus dem Bodenraum von 0 – 90 cm verlagert worden ist, denn trotz erfolgter Düngung waren die N_{min}-Werte fast identisch. Erst über die nach dem 05.06. erfolgte Nachdüngung konnten dann sehr gute TM-Erträge geerntet werden (Abb. 13).

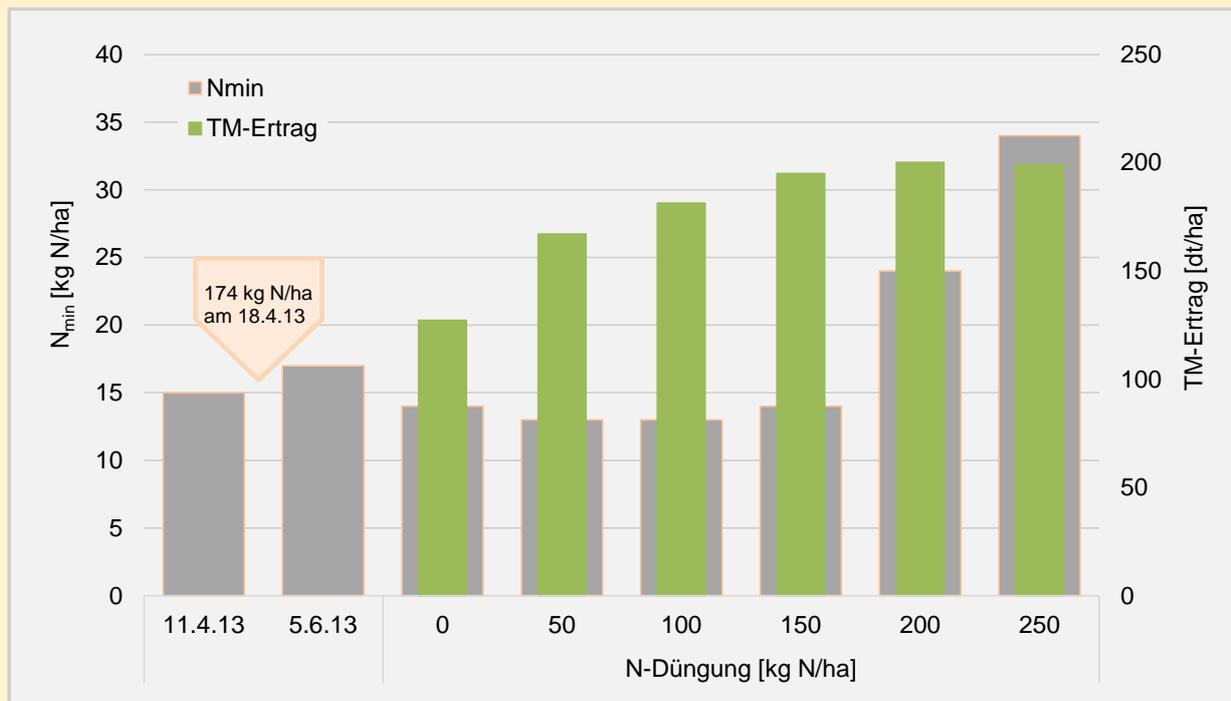


Abb. 13: TM-Erträge von Silomais und N_{min}-Werte, Standort Dalldorf, 2013 (Erläuterung: N_{min} Frühjahr (11.04.) und nach den Niederschlägen (05.06.); nach der Ernte im Düngungsversuch (Var. 0 – 250 kg N/ha))

Unter den damaligen Witterungsumständen wurde für Mais auf leichten Standorten eine Nachdüngung von 30 – 60 kg N/ha empfohlen. Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse wird aber deutlich, dass eine Nachdüngung in dieser Größenordnung vor allem auf den leichten Böden nicht für eine optimale Ertragsbildung ausgereicht hätte.

Das Potenzial stabilisierter Dünger, die N-Auswaschung unter solchen Witterungsbedingungen zu reduzieren, belegen N_{min}-Untersuchungen nach ergiebigen Niederschlägen in einem weiteren Versuch (Abb. 14).

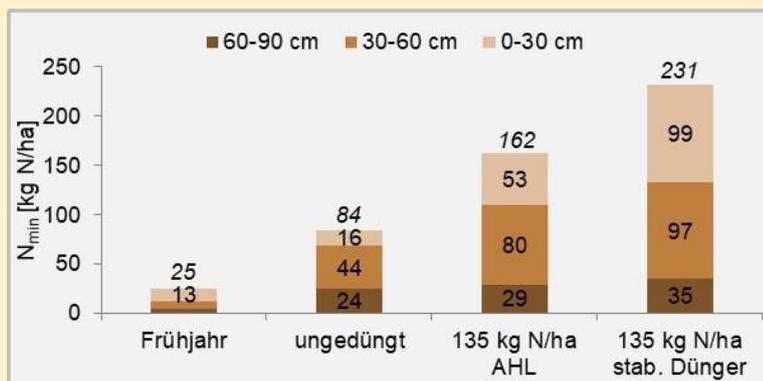


Abb. 14: N_{min}-Gehalt unter Kartoffeln im Landkreis Uelzen im Frühjahr vor der Düngung und am 28.05.2013 nach 101 mm Niederschlag.

Bezogen auf den Frühsommerniederschlag im Extremjahr 2013 wird deutlich, dass durch die Vorgaben der Düngeverordnung in solchen Fällen keine vollständige Kompensation des eingetretenen Nährstoffverlustes möglich ist. Dabei sind die Auswirkungen des Ereignisses immer abhängig vom Zeitpunkt des Auftretens innerhalb der Vegetationsperiode. Starkregenerereignisse führen in erster Linie auf leichten Böden schneller zur Verlagerung von Nährstoffen. Oberflächliches Abschwemmen von Nährstoffen und Boden als Folge von Niederschlägen ist hingegen auf allen Standorten, die zur Verdichtung neigen oder in Hanglage liegen, potenziell möglich.

Als vorbeugende Maßnahme zur Risikominimierung der Stickstoffverlagerung kann ein mit

Nitrifikationsinhibitoren (NI-) stabilisierter Dünger eingesetzt werden. Den tatsächlichen Düngebedarf der Bestände zu einzelnen Zeitpunkten zu ermitteln und in der Folge mehrere, aber kleine Düngergaben auszubringen, ist eine weitere Option, die Wirkungssicherheit der Düngergaben zu erhöhen und schwerwiegenden Auswirkungen von Extremwetterereignissen vorzubeugen.

Kurz & knapp:

- Risikominimierung möglich durch
 - den Einsatz stabilisierter N-Dünger
 - vegetationsbegleitende Erhebung des tatsächlichen Düngebedarfs der Kulturen
 - Beachtung der Folgewitterung vor jeder Düngergabe (Wirkungssicherheit)
 - eine angepasste N-Verteilung

4.2.1 Erhöhung der Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten auf Ackerland

Durch die Erhöhung der vorgegebenen Mindestwirksamkeit von Schweine- und Rindergülle sowie flüssigem Gärrest um 10 Prozentpunkte im Vergleich zur DüV 2017 wird ein noch effizienterer Einsatz dieser organischen Dünger notwendig. Ziel ist es, über hohe Ausnutzungsgrade - gleichgesetzt mit einer hohen Wirksamkeit - die N-Effizienz zu erhöhen. Dazu müssen potenzielle Verlustpfade, z. B. in Form gasförmiger Verluste, durch verschiedene pflanzenbauliche oder technische Umsetzungsmöglichkeiten vermindert werden. Dieses kann über einen optimalen Ausbringungszeitpunkt und effiziente Ausbringungstechnik gesteuert werden.

Auch der Anbau einer Kultur, die den im Wirtschaftsdünger organisch gebundenen und



Abb. 15: Einflussfaktoren auf eine hohe Wirksamkeit organischer Nährstoffträger

Anpassungsstrategien

erst in der Vegetation allmählich freiwerdenden Stickstoff durch ihren in der Hauptmineralisationszeit liegenden Haupt-N-Bedarf sehr gut verwerten kann, kann die N-Effizienz von organischer Düngung erhöhen.

Dies ist bspw. bei Sommerungen wie Mais, Zuckerrüben oder auch Kartoffeln der Fall. Bei diesen Kulturen führt das Zusammentreffen von hohem N-Bedarf und hoher N-Verfügbarkeit aus der Nachlieferung der organischen

Substanz zu einer höheren N-Effizienz im Vergleich zu den Winterungen. Die genannten Kulturen profitieren von dem aus organischer Düngung mineralisierten Stickstoff in einem vergleichsweise hohen Maße. Daher ist eine Substitution von mineralischen Stickstoff-Düngern durch Organik vor allem bei Mais und Zuckerrüben sehr gut möglich (Abb. 15), sofern mit guten Bedingungen für die Mineralisation im Boden zu rechnen ist.

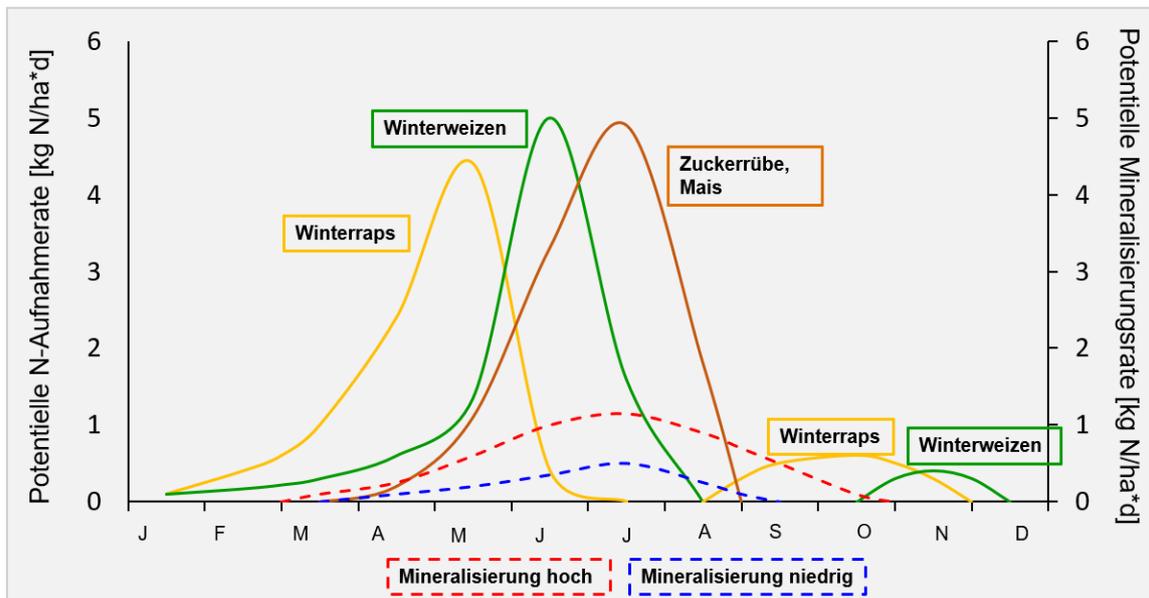


Abb. 15: Potenzielle Mineralisierungsrate und N-Aufnahme verschiedener Kulturen im Jahresverlauf (Baeumer, 1992).

Auch bei Kartoffeln kann die organische Düngung eine wertvolle Ergänzung sein, die Höhe ist jedoch abhängig von der Verwertungsrichtung. Bei Speise- und Pflanzkartoffeln sollte eine organische Düngung eher geringer ausfallen und unbedingt mineralisch ergänzt werden. Bei Verarbeitungskartoffeln kann die mineralische Düngung teilweise gut durch eine organische Düngung substituiert werden.

Die Winterungen Winterraps und Wintergetreide hingegen haben einen hohen N-Bedarf im zeitigen Frühjahr. Insbesondere der Winterraps hat bereits im März/April die höchste N-

Aufnahme. Nur bei sehr guten Mineralisationsbedingungen im Frühjahr mit ausreichender Feuchtigkeit im Boden und entsprechenden milden Bodentemperaturen und vor allen bei früher, bodennaher Ausbringung können aber auch der Winterraps und das Wintergetreide organische Dünger gut verwerten. Ein entsprechender Zeitraum für die Umsetzung der Organik muss jedoch mit einkalkuliert werden. Dieses ist aufgrund der oft noch kühlen Bodentemperaturen zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht gegeben. Daher muss eine Andüngung

mit organischen Nährstoffen frühzeitig auf aufnahmefähigen Böden erfolgen (Februar-März). Spätere Wirtschaftsdüngergaben können in den Winterungen in der Regel nicht ausreichend verwertet werden.

Insbesondere die Jahre mit trockenen Frühjahren und hohen Temperaturen haben gezeigt, dass während der Sommermonate die Umsetzung der organischen gebundenen Nährstoffe erheblich beeinträchtigt ist.

Grundsätzlich lässt sich der Einsatz organischer Dünger unter folgenden Gesichtspunkten zusammenfassen: Eine ausschlaggebende Rolle spielen der Trockensubstanzgehalt des Nährstoffträgers, die Bodenfeuchte und die Temperaturen. Je höher der TS-Gehalt, desto langsamer erfolgt die Umsetzung.

4.2.2 Einschränkungen P-Düngung

Die DüV erlaubt auf Basis des Kreislaufgedankens eine P-Zufuhr maximal in Höhe der voraussichtlichen P-Abfuhr. Eine Fruchtfolge-

4.2.3 Herbsdüngung

Winterraps und -gerste sowie Gründüngungs- zwischenfrüchte (Standzeit \geq acht Wochen) dürfen nach Getreidevorfrucht und Aussaat bis zum 15.09. (Raps, Zwischenfrüchte) bzw. 01.10. (Gerste) mit max. 60 kg Gesamt-N bzw. 30 kg Ammonium-N/ha gedüngt werden. Die Herbsdüngung ist jedoch bei Winterraps und Wintergerste vom im Frühjahr berechneten N-Bedarf abzuziehen. Organische Dünger müssen in Höhe der N-Ausnutzung und Mineraldünger zu 100 % angerechnet werden.

Diese gilt auch für die Bodenfeuchte. Je trockener der Boden ist, umso langsamer erfolgt die Umsetzung.

In Winterkulturen kann z. B. über eine bodennahe Ausbringung und direkte Einarbeitung die Wirksamkeit erhöht werden. Die direkte Einarbeitung ist in stehende Bestände bei Winterungen mit üblichen Reihenabstand von 12 cm in der Regel kaum möglich. Die Erhöhung der Reihenabstände und ein umgehendes Einhacken oder Einstriegeln bietet eine Möglichkeit, wobei dieses Verfahren noch in der Erprobungsphase ist. Die Ansäuerung bietet in diesem Fall Vorteile hinsichtlich einer verbesserten N-Ausnutzung

Bei Hackfrüchten bietet die organische Unterfußdüngung viel Potenzial zur Effizienzsteigerung.

düngung ist 3-jährig möglich. Die Fruchtfolgedüngung sollte vornehmlich zu bedürftigen Kulturen ausgebracht werden (bspw. Mais und Kartoffel)

Mit einer Herbst-N-Düngung soll bei Winterraps und -gerste eine ausreichend kräftige Vorwinterentwicklung gefördert werden. In Untersuchungen von Sieling et al. (2009) mit **Winterraps** konnte gezeigt werden, dass die Herbst-N-Aufnahme positiv mit der Ertragsleistung im nächsten Jahr korreliert. Mit steigender Herbst-N-Aufnahme stieg der Ertrag an. Darüber hinaus wurden aber auch Standort- und Jahreseffekte deutlich. Bei einer Herbst-N-Aufnahme von >45 kg N/ha konnte in den Untersuchungen von Sieling et al.

Anpassungsstrategien

(2009) keine Ertragswirkung mehr festgestellt werden. Wenn demnach auch ohne Herbst-N-Düngung eine Herbst-N-Aufnahme von >45 kg N/ha zu erwarten ist, dann ist keine

Herbst-N-Düngung erforderlich. Zur Ermittlung der N-Aufnahme eines Rapsbestandes wurde im Rahmen dieser Untersuchungen auch die Frischmasse-Methode nach Sieling et al. (2009, 2010) entwickelt (siehe Kasten).

Frischmasse-Methode zur Bestimmung der N-Aufnahme bei Winterraps

Im Rapsanbau kann die N-Effizienz gesteigert werden, wenn die Frühjahrsdüngung bei hohen N-Aufnahmen im Herbst entsprechend reduziert wird. Um die N-Aufnahme von Raps im Herbst zu bestimmen, wurde die „Frischmasse-Methode“ (Sieling et al. 2009, 2010) entwickelt. Dabei erfolgt die Berechnung der N-Aufnahme wie folgt:

Frischmasse (kg/m²) x 45 = N-Aufnahme (kg N/ha)

Für die ortsübliche Düngung des Rapses im Frühjahr wird von einer N-Aufnahme im Herbst von 50 kg N/ha ausgegangen. Weicht die ermittelte N-Aufnahme davon ab, wird die Differenz zu 50 kg N/ha zu 70 % bei der Bemessung der Frühjahrs-N-Düngung angerechnet.

Anpassung der ersten Gabe in Abhängigkeit von der Pflanzenmasse im Herbst

Ø Bestand: 1100 g/m² = 50 kg N-Aufnahme/ha

Messung: 1300 g/m² = 60 kg N-Aufnahme/ha

Differenz: 10 kg N x Korrekturfaktor 0,7 = 7 kg N/ha

→ Frühjahrsdüngung kann um 7 kg N/ha reduziert werden.

Liegt die N-Aufnahme im Frühjahr unterhalb von 50 kg N/ha, ist eine frühjahrsbetonte N-Düngung zu empfehlen.

Tipp: N-Sensor

Im Rapsanbau gibt es bereits gute Erfahrungen mit dem Einsatz eines mobilen N-Sensors zur Bestimmung der N-Aufnahme im Herbst. Diese basiert dabei auf einer engen Korrelation zwischen dem Frischmasseertrag von Rapsbeständen im Herbst und der Lichtreflexion. Zur Bestimmung der N-Aufnahme eines Bestandes gibt es auch Apps fürs Smartphone.

Für den Zwischenfruchtanbau laufen entsprechende Kalibrationsversuche u.a.: an der CAU Kiel, um auch hier die Bestimmung der N-Aufnahme zu vereinfachen.

Aktuelle Versuchsergebnisse sprechen auf Standorten ohne langjährig organische Düngung ebenfalls weitestgehend für eine Stickstoffdüngung im Herbst, um die Vorwinterentwicklung des Rapses zu fördern – auch bei Anrechnung der N-Düngung im Frühjahr (Abb. 16a und 16b). Dabei steht eine zügige, aber nicht überzogene Herbstentwicklung als zentrales Ziel im Mittelpunkt, was von der (erwarteten) Pflanzenentwicklung abhängig zu machen ist:

- Standort, Nachlieferung
- Vorfrucht, Erntetermin
- Strohverteilung, Strohverbleib
- Art der Bodenbearbeitung
- Zeitpunkt Aussaat/ Auflaufen

Im Mittel der Jahre lag die Herbst-N-Aufnahme der Rapsbestände ohne Herbstdüngung auf den zwei Standorten bei ca. 50 kg N/ha, wobei es deutliche Unterschiede zwischen den Jahren gab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Versuche fruchtfolgebedingt nicht jährlich auf

denselben Schlägen durchgeführt wurden. Bei Betrachtung der Einzeljahre gab es ebenfalls deutliche Unterschiede in der Ertragswirkung der Herbstdüngung, die sich nicht auf die Vor-

winterentwicklung zurückführen ließen. Insgesamt zeigte sich, dass der Einfluss der Witterung im Herbst, die in den Versuchsjahren extrem waren, von entscheidender Bedeutung für die Vorwinterentwicklung des Rapses ist.

Herbstdüngung zu Winterraps

Die Herbstdüngung zu Winterraps ist aufgrund der geforderten Anrechnung auf den N-Düngebedarf im Frühjahr nicht in jedem Fall vorteilhaft. Für Versuche zur Herbstdüngung von Winterraps wurden daher mit Bedacht keine langjährig organisch gedüngten Standorte (Ostharingen und Höckelheim), sondern eher kalte und träge Standorte ausgewählt, an denen eine positive Wirkung der Herbstdüngung erwartet werden konnte. Im Mittel der Versuchsjahre 2018 - 2021 führte eine Herbstdüngung auf den beiden Standorten wie erwartet auch zu Mehrerträgen gegenüber einer reinen Frühjahrsdüngung. Anhand der Ertragskurven lässt sich ableiten, dass auf beiden Standorten eine vollständige Anrechnung der mineralischen Herbstdüngung ohne Ertragsverluste möglich ist, wengleich dann das Ertragspotential des Rapses nicht mehr ausgeschöpft werden kann. Die organische Düngung im Herbst in Höhe von 60 kg Gesamt-N/ha könnte in Ostharingen auch mit großem Anteil angerechnet werden, während dies in Höckelheim nicht der Fall war. Im Herbst 2018 herrschten aufgrund extremer Trockenheit sehr schlechte Bedingungen für die Etablierung von Rapsbeständen, sodass der Versuch in Ostharingen abgebrochen werden musste. In Höckelheim waren die Düngergaben trockenheitsbedingt nicht pflanzenverfügbar, sodass es keine Unterschiede zwischen den Varianten in 2019 gab.

Der Einfluss der extremen Witterungsverhältnisse in den Versuchsjahren war erheblich.

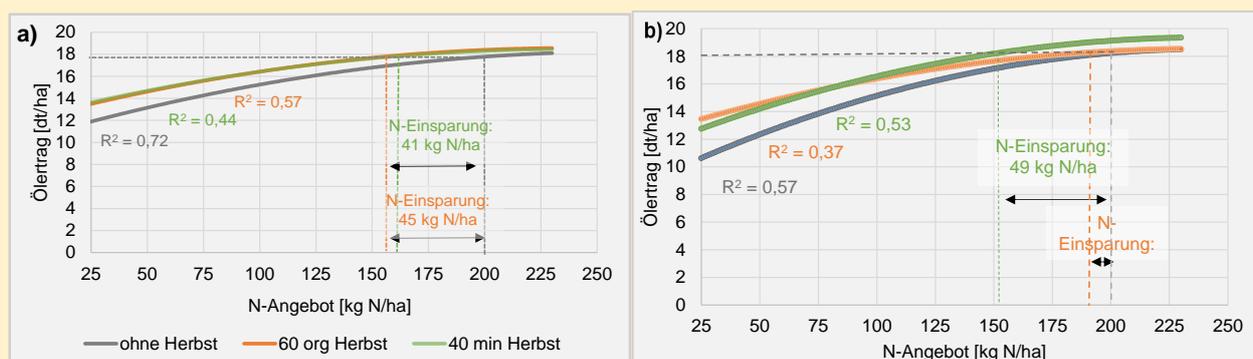


Abb. 16: Ölertrag (dt/ha) von Raps in Abhängigkeit vom N-Angebot bei reiner Frühjahrsdüngung und mit organischer sowie mineralischer Herbstdüngung, Standort Ostharingen a) (2018, 2020, 2021) und Höckelheim b) (2018-2020), n = 6.

Da der Witterungsverlauf aber im Voraus nicht bekannt ist, sollten für eine Prognose zur Bestandesentwicklung langjährige Mittelwerte herangezogen werden. Darüber hinaus sollten folgende Faktoren, die Einfluss auf die Vorwinterentwicklung des Rapses haben, bei der

Prognose zur Bestandesentwicklung berücksichtigt und gegebenenfalls optimiert werden (Tab. 10):

Anpassungsstrategien

Vorfrucht: Bei der üblichen Vorfrucht Wintergerste oder einem früh geernteten Winterweizen bleibt in der Regel ausreichend Zeit für eine sorgfältige Bodenbearbeitung vor der Aussaat des Rapses, was insbesondere bei Strohverbleib (s. u.) auf der Fläche sehr wichtig ist. Steht stattdessen ein normal oder spät geernteter Winterweizen als Vorfrucht zum Raps auf der Fläche, so kann sich z. B. bei verspäteter Ernte aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen der Zeitraum für eine sorgfältige Einarbeitung der Stroh- oder Stoppelreste deutlich verkürzen. Unverrottete Stroh- und Stoppelreste im Boden beeinträchtigen das Wurzelwachstum der auflaufenden Rapspflanzen.

Strohabfuhr/-verbleib nach der Ernte: Verbleibt das Stroh nach der Ernte auf der Fläche, so wird Stickstoff bei dessen Abbau durch Bakterien gebunden. Damit wird Stickstoff immobilisiert und steht den Pflanzen nicht zur Verfügung. Eine N-Zufuhr wäre u. U. dann

sinnvoll, um der Pflanze die entsprechende Menge an Stickstoff zur Verfügung zu stellen. Bei Strohabfuhr hingegen findet weniger Immobilisierung statt.

Strohverteilung: Auf eine gute Strohverteilung ist in jedem Fall zu achten, um eine gleichmäßige Etablierung von Rapsbeständen zu gewährleisten. Sollte es dennoch zu ungleichmäßiger Verteilung gekommen sein, kann sich der Einsatz eines Strohstriegels lohnen.

Aussaatzeitpunkt: Bei Winterraps liegt dieser für gewöhnlich zwischen dem 20. und 30. August. Spätere Aussaaten Anfang September können bei später Ernte der Vorfrucht und ungünstiger Wetterlage auftreten. Dies ist allerdings mit den möglichen positiven phytosanitären Aspekten einer späteren Aussaat abzuwägen, denn mit dem Vorverlegen der Saattermine steigt die Gefahr der phytosanitären Probleme (z. B. Kohlflye bei Raps, Schwarzbeinigkeit, Blattläuse und höherer Ungrasdruck bei Getreidevorfrucht).

Tab. 10: Schätzrahmen für eine Herbstdüngung bei Winterraps, -gerste und Zwischenfrüchten

	Kultur nach Vorfrucht Getreide	
	Winterraps und Zwischenfrüchte (Nichtleguminosen) (Aussaat bis 15.09.)	Wintergerste (Aussaat bis 01.10.)
bei Strohverbleib auf kalten, trägen Standorten	bis max. 60 kg N/ha	bis max. 40 kg N/ha
bei Mulch- oder Direktsaat	keine Düngung erforderlich bzw. reduzierte Düngung bis max. 40 kg N/ha	i.d.R. keine Düngung erforderlich
bei Strohabfuhr und/oder Pflugsaat		
bei Frühsaaten und guten Wachstumsbedingungen		
bei die Düngerwirkung begrenzender Trockenheit	i.d.R. keine Düngung erforderlich	
humusreiche Standorte		
langjährig organisch gedüngte Standorte		

Bei allen Empfehlungen gilt, dass die maximal zulässige N-Menge von 60 kg Gesamt-N/ha oder 30 kg NH₄-N nicht überschritten werden darf.

Standort: Entscheidend ist auch die Lage des Standortes. So sind z. B. Höhenlagen durch ein früheres Vegetationsende auf einen kürzeren Zeitraum für eine gute Vorwinterentwicklung angewiesen und benötigen dafür oft einen An Schub in Form einer Düngung. Dies sollte jedoch unter Berücksichtigung der aktuellen Witterung entschieden werden.

Mineralisationsfähigkeit des Bodens: Bei langjährig organischer Düngung kann die für eine gute Herbstentwicklung erforderliche N-Menge der Pflanzen aus dem Boden nachgeliefert werden, sodass in der Regel keine zusätzliche N-Düngung im Herbst erforderlich ist. Die Versuchsergebnisse der LWK zur Herbstdüngung mit Winterraps an mehreren Standorten belegen insgesamt, dass eine Herbstdüngung besonders auf kalten, schweren Standorten effektiver ist als auf lehmigen, nachlieferungsstarken Böden.

Eine N-Düngung im Herbst sollte, sofern erforderlich, möglichst frühzeitig erfolgen, damit die Kultur den Stickstoff auch aufnehmen kann. Eine späte N-Düngung z. B. kurz vor dem Beginn der Sperrfrist ab 01.10. ist nicht zu empfehlen, da in der Regel eine adäquate Aufnahme über die Pflanzen in Abhängigkeit der Wachstums- und Entwicklungsbedingungen oft nicht mehr möglich ist. Im Mittel der Jahre kann davon ausgegangen werden, dass Rapspflanzen, die gegen Ende September vier bis sechs Laubblätter ausgebildet haben, eine optimale Entwicklung vor Winter erreichen werden. Die Entwicklung der Einzelpflanze sollte dabei immer im Zusammenhang mit der Bestandesdichte gesehen werden. Neben dem Stickstoff dürfen auch die anderen

Nährelemente nicht außer Acht gelassen werden: Eine gute Versorgung mit Schwefel und Spurennährelementen trägt zu einer hohen N-Effizienz bei.

Der N-Bedarf der Wintergerste im Herbst kann in den meisten Fällen aus dem Bodenvorrat und mit Hilfe pflanzenbaulicher Maßnahmen ohne zusätzliche Düngung bereitgestellt werden. Wintergerste sollte im Herbst etwa drei bis fünf Triebe ausgebildet haben. Da bereits im Herbst in der frühen Bestockungsphase die Anlage der Ähren erfolgt, sollte in dieser Phase auch kein starker N-Mangel auftreten. Zudem sollte eine mögliche Unterversorgung mit anderen Nährstoffen ausgeschlossen werden, was gerade auf leichten Standorten auch bereits im Herbst die Versorgung mit Spurenelementen betrifft. In den Versuchen führt eine Herbstdüngung, die von dem im Frühjahr ermittelten Düngebedarf wie vorgeschrieben abgezogen wird, tendenziell immer zu geringeren Erträgen, als wenn die gesamte mögliche N-Menge im Frühjahr gegeben worden wäre. Eine Herbstdüngung führte hier mehrjährig an keinem der Standorte zu signifikanten Mehrerträgen. Für die Empfehlung bedeutet dies, dass eine reine Frühjahrsdüngung der Wintergerste angestrebt werden sollte.

Vor der Düngung im Herbst sollte also grundsätzlich die Notwendigkeit einer Düngungsmaßnahme geprüft werden, da die im Herbst gedüngte N-Menge bei der Bedarfsermittlung im Frühjahr angerechnet werden muss. Pflanzenbauliche Möglichkeiten wie eine intensivere Bodenbearbeitung zur Stroheinarbeitung, eine Pflugfurche oder die Abfuhr des Strohens können ebenfalls genutzt werden, um die durch Bodenbearbeitung hervorgerufene

Anpassungsstrategien

stärkere Mineralisation Nährstoffe verfügbar zu machen. Durch die Strohabfuhr kann die Immobilisierung des Stickstoffs verringert werden, so dass hierdurch mehr Stickstoff der Pflanze für das Wachstum verbleibt.

Kurz & knapp:

- Die Herbstdüngung lässt sich häufig pflanzenbaulich steuern.
- In Wintergerste i.d.R. keine Herbstdüngung notwendig.
- Herbstdüngung im Winterraps häufig vorteilhaft.
- Bei Raps die N-Aufnahme im Herbst durch eine Aufwuchs-Messung berechnen und ggf. die erste N-Gabe stärker betonen.

4.2.4 Ausbringungsverbot auf gefrorenem Boden

Das Düngungsverbot bei Frost bezieht sich auf alle N- und P-haltigen Düngemittel. Im Zuge der Düngeverordnungsnovelle von 2020 wurde der Begriff des gefrorenen Bodens nun neu definiert. Als gefroren gilt ein Boden, der an der Oberfläche oder in beliebiger Tiefe zum Zeitpunkt der Düngung Frost aufweist. Das bedeutet, sobald die Bodenoberfläche gefroren ist, auch wenn sie um die Mittagsstunden wieder auftaut, darf nicht ausgebracht werden. Gleiches gilt, wenn die Oberfläche frostfrei ist, einige Zentimeter darunter sich aber noch Eis im Boden befindet. Auch dann ist keine Düngung zulässig. Entscheidend ist damit allein der Bodenzustand zum Aufbringungszeitpunkt, nicht ein ggf. nachträgliches Auftauen. Ein nach dem Aufbringen einsetzender Frost ist unschädlich. Raureif auf der Grünlandnarbe stellt kein Problem dar, solange der Frost den Boden noch nicht erreicht hat, die Bodenoberfläche also noch weich ist. Es gibt keine Ausnahmegenehmigungen.

Das Nutzen tagsüber auftauender Böden zur bodenschonenden Aufbringung von Düngemitteln ist somit nicht mehr möglich. Insbesondere auf schweren Böden und Moorflächen war dies eine häufig genutzte und sinnvolle Maßnahme, denn die gasförmigen N-Verluste sind unter den dann vorherrschenden Bedingungen in der Regel gering.

Als Reaktion auf dieses Verbot der Ausbringung zu Zeitpunkten, die tendenziell weniger

gasförmige Verluste provozieren, kann nur mit einem erhöhten Fokus auf die emissionsarme Ausbringung von Organik an den neuen Terminen im Allgemeinen reagiert werden

Da die Befahrbarkeit mit dem Mineraldüngerstreuer im Frühjahr oft zeitiger gegeben ist, sollte insbesondere bei witterungsbedingter später Ausbringung erst mit der mineralischen Düngung gestartet werden. Die organische Düngung sollte dann durchgeführt werden, sobald die Befahrbarkeit gegeben ist. Darauf ist besonders auf schweren Standorten und bei nicht der Fahrgasse angepassten Arbeitsbreiten zu achten. In dem Fall sollten schnell wirkende Dünger wie z. B. nitratbetonte N-Dünger, zum Einsatz kommen. Als zusätzliche Handlungsempfehlung für den Betrieb bei kritischer Befahrbarkeit der Böden ist die Gülleverschlauchung zu nennen, bei der sich das Gewicht der Maschine durch die fehlende permanente Zuladung deutlich reduziert. Hier gilt es, die Gegebenheiten zu prüfen, ob dieses Verfahren für den Betrieb in Frage kommen kann. Es lassen sich mit diesen Systemen mittlerweile große Entfernungen überbrücken und hohe Tagesleistungen erreichen. Vorteilhaft sind arrundierte Flächenzuschnitte.

Neben dem Verbot der Aufbringung N- und P-haltiger Düngemittel auf gefrorenem Boden bestehen weiterhin die Vorgaben, nicht auf wassergesättigtem, schneebedecktem sowie nicht aufnahmefähigem Boden auszubringen.

4.2.5 Gewässerabstände und Hangneigung

Die Gewässerabstände können mit präziser Ausbringtechnik bei geringer Hangneigung (< 5 %) von 5 m auf 1 m und bei leichter

Hangneigung (5 % bis < 10 %) von 5 m auf 3 m reduziert werden. Als präzise Ausbring-

Anpassungsstrategien

technik gilt platzierte Düngung über Schleppschlauch oder -schuh, Schlitz- oder Injektionstechnik, Flüssigdüngerausbringung mit der Feldspritze sowie eine Grenzstreueinrichtung beim Düngerstreuer. Nach §13a Abs. 5 DüV sind derzeit flächendeckend 5 m Gewässerabstand beim Einsatz von P-haltigen Düngemitteln einzuhalten. Neben der Düngeverordnung sind weitere Gewässerabstandsregelungen anderer Verordnungen oder Gesetze einzuhalten.

4.2.6 Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland

Je schneller organische Dünger eingearbeitet werden, desto besser. Dies trägt maßgeblich zur Steigerung der N-Effizienz bei, weil weniger pflanzenverfügbarer Stickstoff gasförmig als Ammoniak entweicht (Bless und Sattelmacher 1991, Abb. 17). Gerade in den ersten Stunden nach der Ausbringung entweicht demnach potenziell die größte Menge. In der Praxis bedeutet dies teils hohe logistische Herausforderungen und ist häufig nur durch überbetrieblichen Technikeinsatz möglich. Gerade die Kombination von Ausbringung und

Besonders Grünland liegt oft in gewässerreichen Gebieten, weshalb hier bei der Ausbringung ganz besonderes aufmerksam auf Abstandsregelungen zu Oberflächengewässern zu achten ist. Insbesondere muss das Einhalten des länderspezifischen Abstandes in Niedersachsen (1m-Abstandes zur Böschungsoberkante) und infolgedessen direkte Einträge in Gräben (Entwässerungsgräben) vermieden werden.

Einarbeitung in einem Arbeitsgang durch Güllegrubber oder -scheibenegge bringt hier deutliche Vorteile mit sich.



Ausbringungsverluste organischer Düngemittel

Ohne Einarbeitung wird im Mittel etwa ein Drittel des ausgebrachten Stickstoffs in Form von Ammoniak gasförmig freigesetzt und steht den Pflanzen nicht mehr als Nährstoff zur Verfügung.

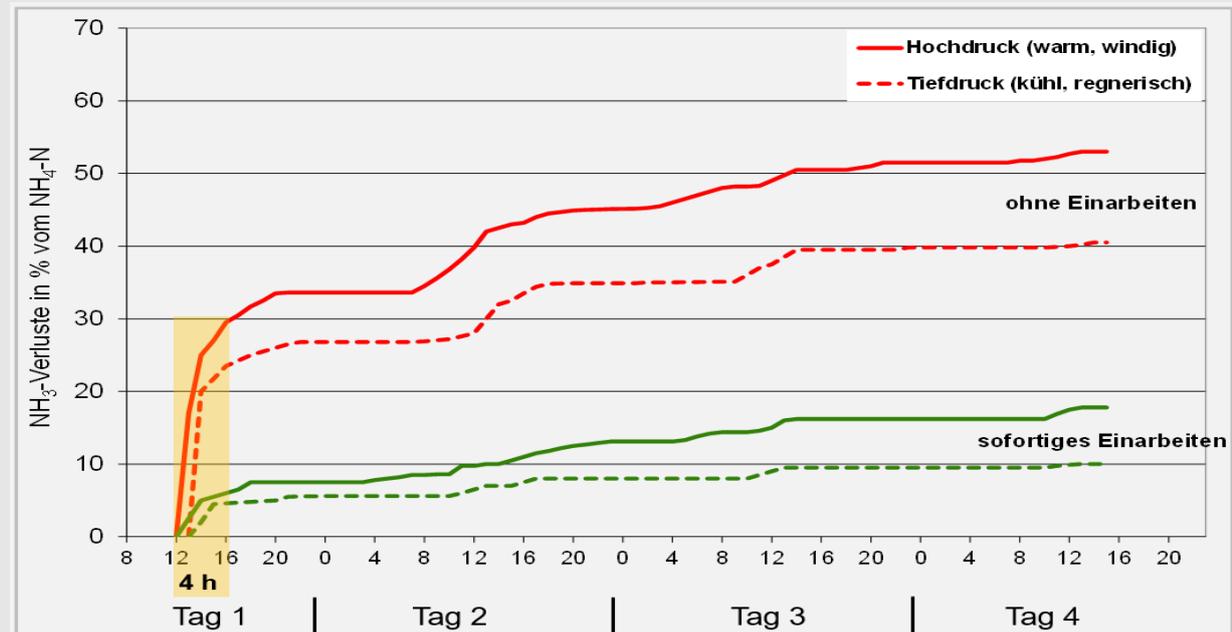


Abb. 17: Ammoniakverluste bei Ausbringung organischer Düngemittel auf Stoppel (Bless und Sattelmacher 1991, verändert)

4.2.7 170 kg N_{org}-Grenze

Die 170kg-N-Grenze bezieht sich außerhalb von mit Nitrat belasteter und eutrophierter Gebiete im Sinne des Düngerechts grundsätzlich auf die aufgebrachte Menge an Gesamtstickstoff im Durchschnitt der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche eines Betriebes. Dabei entsprechen die 170kg dem Gesamt-N-Anteil im organischen Düngemittel. In der Regel wird die zum Düngebedarf fehlende Menge mineralisch ergänzt. Da der Düngebedarf wie bereits beschrieben als standortbezogene Obergrenze limitierend wird, ist auf eine emissionsarme Ausbringung und infolgedessen hohe Wirkungsgrade primär der Organik, aber auch des eingesetzten Mineraldüngers zu achten.

Die 170kg-Norg-Grenze wirkt infolgedessen begrenzend auf die im Betrieb zu verteilenden

organischen und organisch-mineralischen Düngemittel. Es gibt jedoch weitere begrenzende Regelungen, die über die DüV hinausgehen. Flächen, die zum Beispiel in Natur- und/oder Wasserschutzgebieten liegen, sind darüber hinaus häufig mit Auflagen versehen, die die maximal ausbringbare Menge organischer Düngung auf der Fläche begrenzen. Diese dürfen bei der Berechnung der 170 kg N_{org}-Grenze nun nur noch in Höhe der vorgeschriebenen N-Menge berücksichtigt werden. Die Folge ist, dass Betriebe mit Flächen in entsprechenden Kulissen unter Umständen mehr organische Düngemittel abgeben müssen bzw. gezwungen sind, weitere Nachweisflächen vorzuweisen.

4.2.8 Verlängerung der Sperrfristen für Festmist und Kompost

Die Verlängerung der Sperrfrist führt zu einem erhöhten Lagerraumbedarf. Grundsätzlich gilt: Der Lagerraum muss dem Tierbestand angepasst sein. Möglichkeiten sind:

- Lagerraum bauen
- Lagerraum pachten
- Anpassung des Tierbestandes

4.2.9 Düngungsbeschränkung auf Grünland im Herbst

Im Herbst dürfen vom 01.09. bis 30.09. maximal 80 kg Gesamt-N aus flüssigen organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln sowie flüssigen Wirtschaftsdüngern auf Grünland aufgebracht werden. Für die meisten Betriebe hat dieser Punkt keine direkten

Aus pflanzenbaulicher Sicht gibt es keine Möglichkeit, um auf die verlängerte Sperrfrist zu reagieren. Ausreichend Lagerkapazität gibt aber immer die Möglichkeit, die Ausbringung noch näher an den Bedarf der Pflanzen zu legen.

Auswirkungen. Denn werden, wie häufig üblich, etwa 70 kg N_{org} zum ersten Schnitt und jeweils 50 kg N_{org} zum zweiten und dritten Schnitt ausgebracht, so sind die 170 kg N_{org} bereits erreicht und eine weitere organische Herbstdüngung ist ohnehin nicht mehr möglich.

4.2.10 Lagerung

Ausreichende Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerkapazitäten sind die Voraussetzung für die Umsetzung einer pflanzenbedarfsgerechten Düngung. Vor diesem Hintergrund enthält die Düngeverordnung (DüV) entsprechende Regelungen zur Bemessung der Gülle- und Gärrest- sowie Festmist- und Kompostlagerkapazitäten.

Die DüV 2020 enthält direkte Vorgaben in Form von Mindestzeiträumen für die Lagerung. Neben den Nährstoffausscheidungen wird auch der Anfall von Reinigungs- und Prozesswasser erfasst. Dieses führt insbesondere bei der Haltung von Milchkühen zu deutlich höheren erforderlichen Lagerkapazitäten. Die Mindestlagerkapazität für flüssige Wirtschaftsdünger und Gärreste beträgt sechs

Monate. Die Lagerdauer kann betriebsindividuell von dieser Mindestlagerkapazität abweichen. Bei Neubau von großen Lagerstätten wird für die Feststellung der Zweckmäßigkeit gemäß Baurecht von einigen Landkreisen auch eine Höchstlagerkapazität festgesetzt.

Die Abgabe von Wirtschaftsdüngern mindert nicht die Vorgabe für den Mindestlagerraumbedarf auf dem Betrieb und wird nicht als Verwertung i.S. § 12 Abs. 5 DüV anerkannt. Durch die gesetzlichen Vorgaben im roten Gebiet (Ausbringungsverbot nach Hauptfrucht) steigt der Lagerraumbedarf (Abb. 18). Im Folgenden werden daher Anpassungsstrategien für rote Gebiete genannt (Tab. 11-14).

Erhöhung des Lagerraumbedarfs in roten Gebieten

In roten Gebieten steigt der Lagerraumbedarf insbesondere aufgrund der Einschränkungen bei der Herbstdüngung an.

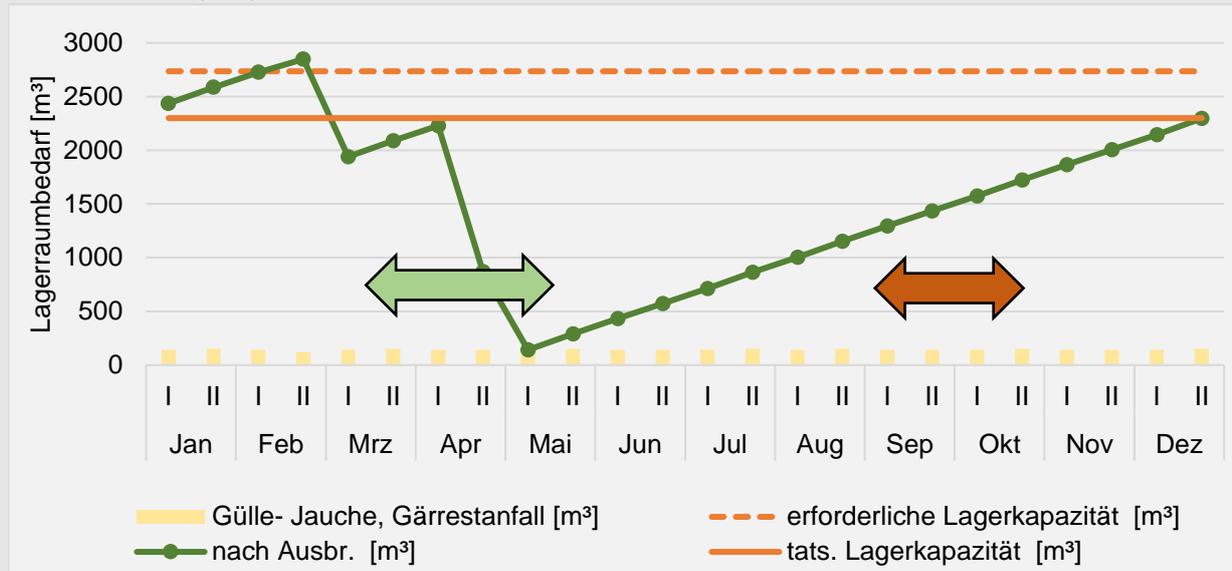


Abb. 18: Jahreszeitlicher Verlauf des Lagerraumbedarfes ohne Möglichkeit der Herbstdüngung.

Anpassungsstrategien

An einem **Beispielbetrieb** mit **Schweinemast** auf Spaltenboden und eigenen Verbringungsflächen sollen im Folgenden Anpassungsstrategien für die Lagerung dargestellt werden.

Tab. 11: Grundlegende Angaben zu dem Beispielbetrieb

Produktionsrichtung	Standort	LF	angebaute Kulturen + Anbauumfang		
Ackerbau + Schweinehaltung	Emsland	100 ha	Körnermais	Winterroggen	Winterweizen
			10 % RP	11 % RP	A/B, 12-13 % RP
			50 ha	25 ha	25 ha

Tab. 12: Angaben zu der Tierhaltung des Beispielbetriebes

Tiere	Anzahl	Fütterung	Tageszunahme	GV/ha	Gülleanfall	
Mastschweine	1.900	flüssig	850 g	2,7	3648 m ³	
		stark N-/P-red.			4,3 kg N _{ges}	2,0 kg P

In diesem Fall wird ein vorhandener Güllelagerraum von 2300 m³ ermittelt. Er reicht für etwa 7,5 Monate. Da der Betrieb nur Ackerland bewirtschaftet, braucht er für 9 Monate Lagerraum, also 2.736 m³. Da nur 2300 m³ Lagerfläche vorhanden sind, muss Lagerraum zunächst für 436 m³ organisiert werden. Im roten Gebiet steigt der Lagerbedarf auf 3344 m³. Es muss also eine Differenz von 1.044 m³ ausgeglichen werden. Andernfalls entsteht im Januar ein Überschuss.

Tab. 13: Verschärfung des Lagerbedarfs der Gülle im roten Gebiet

	Mast-schweine	Güllean-fall	Vorh. Lager-raum	Zwischenla-gerzeit	Notwendiger Lagerraum	Differenz
	Anzahl	[m ³]	[m ³]	[Monate]	[m ³]	
Konventionell	1.900	3.648	2.300	9	2.736	- 436
rotes Gebiet	1.900	3.648	2.300	11	3.344	- 1.044

Tab. 14: Maßnahmen zum Lagerbedarf der Gülle im roten Gebiet

Maßnahmen zur Güllelagerung	Mast-schweine	Fütte-rung	Einzu-sparende Menge	TWI Bonus Subventio-nen	Güllebe-hälter	Kosten/feh-lende Ein-nahmen
	Anzahl		[m ³]	5,28 €		[€]
Konventionell	1900	flüssig	436	0	2300	-
Abgabe an BGA	1900	flüssig	436	0	436	- 4.360
Pacht Zusatzbehälter	1900	flüssig	1000	0	3800	- 3.000
Bau Zusatzbehälter	1900	flüssig	1500	0	3800	- 9.000
Tierwohl 2. Stufe	1672	flüssig	436	24.100 €	2300	11.400
Fütterungssystem	1900	Brei	798	0		*
Reduktion Tierbestand	1672	flüssig	436	0	2300	- 12.700
rotes Gebiet						
Konventionell	1900	flüssig	1044	0	2300	-
Abgabe an BGA	1900	flüssig	436	0	1044	- 10.440
Pacht Zusatzbehälter	1900	flüssig	1000	0	3800	- 3.000
Bau Zusatzbehälter	1900	flüssig	1500	0	3800	- 9.000
Tierwohl 2. Stufe	1356	flüssig	1044	19.546 €	2300	- 10.755
Fütterungssystem	1900	Brei	798	0		*
Reduktion Tierbestand	1356	flüssig	1044	0	2300	- 30.301

Technische Änderungen: Gülleaufbereitung

Das Separieren von Gülle mit der Pressschnecke (mobile Anlage) kann etwa 2,5 € - 5 €/m³ Gülle kosten (Wetter & Brüggling, 2019). Die Separation ist ein flexibles Verfahren, um das Lagerproblem zu lösen. Voraussetzung ist das Vorhandensein eines zweiten Behälters für die flüssige Phase und die Möglichkeit der Lagerung der festen Phase.

Durch Entzug der Flüssigkeit werden die festen Bestandteile transportwürdiger. Der Wert der Düngerprodukte ist marktabhängig und kann von den Aufbereitungskosten abgezogen werden. Weitere Aufbereitungsmodule (Umkehrosmose u.a.) und Zugabe von Chemikalien können zur Totalaufbereitung der Gülle führen, in denen einzelne Dünger entnommen werden können (v.a. Phosphatsalze und Ammoniumsulfat). Solche Anlagen sind teuer und kaum betriebsindividuell zu realisieren. Die Wirtschaftsdüngerabgabe an solche Großanlagen kann aber genauso wie die Abgabe an Biogasanlagen das Lagerproblem lösen.

Für eine effiziente Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ist das Vorhalten von ausreichend Lagerraum notwendig.

Abgabe von Wirtschaftsdüngern im Herbst

Um für die nach der Ausbringung im Spätfrühjahr/ Frühsommer stetig weiter anfallenden Wirtschaftsdünger nicht zu viel Lagerkapazität bereithalten zu müssen, ist die Verwendung/ Abgabe im Herbst zu den Kulturen, die einen Herbst-Düngebedarf haben, anzustreben. Gerade Zwischenfrüchte mit Futternutzung bieten sich hier an. Aber auch der Winterraps reagiert auf eine organische Düngung vor der Aussaat im Herbst häufig positiv, wobei die ausgebrachte Menge vollständig vom Frühjahrs-Düngebedarf abgezogen werden muss.

Kurz & knapp:

- Indirekte Vorgaben durch Sperrfristen und Aufbringungsverbote machen meist eine höhere Lagerraumkapazität erforderlich
- Mehr Lagerraum bietet größeren Spielraum für Effizienzsteigerungen

4.3 Umgang mit in mit Nitrat belasteten Gebieten geltenden Vorgaben auf Ackerland

In den mit Nitrat belasteten (roten) Gebieten sind zusätzliche düngerechtliche Maßnahmen einzuhalten, welche besonders die Stickstoff-Düngung betreffen. Hier geht es um einen möglichst effektiven Einsatz der nach Fachrecht noch zur Verfügung stehenden Nährstoffmengen und somit um

- eine effektive Nutzung der eingesetzten Düngemittel durch die Pflanzen
- eine Mobilisierung von Nährstoffen durch anbautechnische Maßnahmen sowie
- eine Konservierung der vorhandenen Nährstoffe über bspw. Sickerwasserperioden hinaus.

4.3.1 Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %

Mit Blick auf eine für eine Winterung typische Ertragskurve wird der Zusammenhang zwischen dem Stickstoffangebot und dem daraus resultierenden Ertrag deutlich (Abb. 19). Während die erste Menge Stickstoff links im Diagramm den höchsten Ertragsanstieg, abgebildet durch eine stärkere Steigung der Ertragskurve, zeigt, nimmt mit zunehmendem Stickstoffangebot die Ertragsreaktion auf jedes weitere Kilogramm Stickstoff ab.

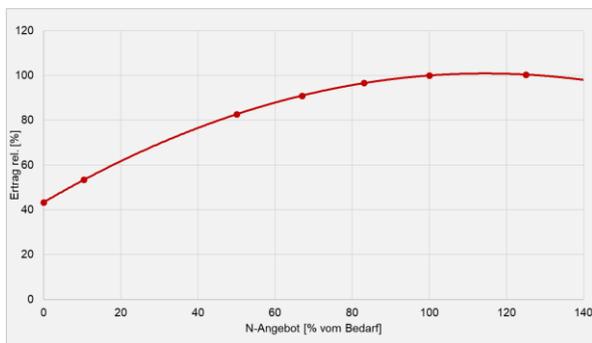


Abb. 19: Beispielhafte Ertragskurve für eine Winterung

Als Voraussetzung wird angenommen, dass die eingesetzten Nährstoffmengen auch zur Wirkung kommen. Ökonomen sprechen von einer Sättigungskurve, welche nach Erreichen eines Optimums abfällt. Der zu erreichende Ertragsfortschritt bei einer Steigerung des N-Angebotes von 80% auf 100% ist somit geringer als der bei einer Steigerung des N-Angebotes von 40% auf 60%. Diese Abbildung soll eines primär verdeutlichen: Je weiter das N-Angebot ausgehend von 100% reduziert wird, desto stärker fällt die Kurve ab. Jedes weitere Kilogramm weniger eingesetzter Stickstoff führt somit zu einer größeren Ertragsreaktion

als das jeweilige eingesparte Kilogramm zuvor. Die folgenden Hinweise stehen also, je weiter das N-Angebot reduziert wird, umso mehr unter der Bedingung, dass die eingesetzten Nährstoffe auch zur Wirkung kommen. Ist dies nicht der Fall, steigt mit jeder weiteren Reduktion des N-Angebotes auch das Risiko für weitere Ertragsrückgänge.

Die Vorgabe „Reduzierung des Düngebedarfs um 20 %“ bezieht sich auf den Schnitt der im roten Gebiet liegenden Flächen. Eine Umverteilung zwischen den Kulturen und somit eine Ausdüngung in Höhe des Düngebedarfs einzelner Kulturen ist jedoch möglich. Diese Vorgabe wirkt sich kulturartenspezifisch negativ auf den Ertrag und die Qualität der Ernteprodukte aus. Von einem substantiellen Rückgang der Produktivität und Effizienz der Flächennutzung ist bei dieser Vorgabe auszugehen (Pahlmann & Kage 2018). Um die Auswirkungen dieser Vorgabe zu kompensieren, besteht die Möglichkeit, die N-Effizienz an anderer Stelle im Anbausystem zu steigern (Tab. 15). Die zu kompensierende N-Menge bei Reduktion des N-Düngebedarfs um 20 % liegt in Abhängigkeit von der Kultur und dem Düngungsniveau zwischen 20 – 40 kg N/ha. Durch Kombination verschiedener Anpassungsstrategien kann dieses Defizit reduziert werden.

Tab. 15: Maßnahmen zur Kompensation der Auswirkungen der -20% in der landwirtschaftlichen Praxis

Maßnahmen
N-Effizienz des Anbaus im Fokus
Kulturartenwahl
Fruchtfolgegestaltung
Zwischenfruchtanbau und Unter-/Beisaaten
Feldberegnung
Ansätze aus der Landtechnik
Grundnährstoffversorgung und Bodenzustand optimieren
Teilflächenspezifische Bewirtschaftung
Ausgestaltung der Stickstoffdüngung
Ausbringungstechnik und -zeitpunkt der organischen Düngung optimieren

Anwendung der Ausnahmeregelung

Von dieser Vorgabe befreit sind Betriebe, die im Durchschnitt der Flächen in den roten Gebieten nicht mehr als 160 kg Gesamt-N/ha ausbringen, wovon max. 80 kg N/ha mineralisch sind. Diese Ausnahmeregelung kann bei geringem bis mittlerem Düngebedarf über die Fruchtfolge und bei (anteilig) organischer Düngung, wobei hohe Ausnutzungsgrade der organischen Dünger erforderlich sind, sinnvoll

sein. Außerdem kann sie in Tierhaltungsregionen sinnvoll sein, wenn Phosphor zuerst limitierend wirkt, wie z. B. bei schweinehaltenden Betrieben ohne Grünland. Auf ackerbaulichen Hohertragsstandorten und für Kulturen mit einem hohen Stickstoffbedarf wie Qualitätsweizen und Raps ist eine Anwendung der Ausnahmeregelung nicht sinnvoll (Tab. 16 + 17).

Beispielrechnung: In welchen Fällen ist die Ausnahmeregelung für -20 % vorteilhaft?

Ausnahmeregelung: 80 kg N mineralisch + 80 kg N organisch (Schweinegülle, 70 % Anrechnung) → **136 kg N/ha pflanzlich verfügbar**

Bei geringem bis mittlerem Düngbedarf über die Fruchtfolge kann die Ausnahme sinnvoll sein:

Tab. 16: Beispielrechnung und N-Düngbedarfsermittlung bei einer Fruchtfolge mit Mais, Triticale, Gerste, Kartoffeln und Roggen

N-Düngbedarfsermittlung		Mais	Triticale	Gerste	Kartoffeln	Roggen
Basisertrag	[dt/ha]	450	70	70	450	70
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	200	190	180	180	170
5-jähriges Ertragsniveau	[dt/ha]	400	70	60	400	70
Zu- und Abschläge	[kg N/ha]					
N _{min} -Gehalt im Boden	[kg N/ha]	-25	-25	-25	-25	-25
Ertragsdifferenz	[kg N/ha]	-10	0	-10	-10	0
Vor- und Zwischenfrucht	[kg N/ha]	0	0	0	0	0
N-Nachlieferung Boden	[kg N/ha]	0	0	0	0	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	-8	-8	-8	-8	-8
N-Düngbedarf	[kg N/ha]	157	157	137	137	137
Mittelwert	[kg N/ha]	145				
- 20 %	[kg N/ha]	-31,4	-31,4	-27,4	-27,4	-27,4
Maximale Düngung	[kg N/ha]	125,6	125,6	109,6	109,6	109,6
Mittelwert	[kg N/ha]	116				

Auf Hohertragsstandorten und für hoch bedürftige Kulturen ist die Ausnahme nicht sinnvoll:

Tab. 17: Beispielrechnung und N-Düngbedarfsermittlung bei einer Fruchtfolge mit Raps, Weizen A/B und Gerste

N-Düngbedarfsermittlung		Raps	Weizen A/B	Gerste
Basisertrag	[dt/ha]	40	80	70
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	200	230	180
5-jähriges Ertragsniveau	[dt/ha]	45	90	80
Zu- und Abschläge	[kg N/ha]			
N _{min} -Gehalt im Boden	[kg N/ha]	-30	-40	-30
Ertragsdifferenz	[kg N/ha]	+10	+10	+10
Vor- und Zwischenfrucht	[kg N/ha]	0	10	0
N-Nachlieferung Boden	[kg N/ha]	0	0	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	-7,5	-7,5	-7,5
N-Düngbedarf	[kg N/ha]	172,5	182,5	152,5
Mittelwert	[kg N/ha]	169		
- 20 %	[kg N/ha]	-34,5	-36,5	-30,5
Maximale Düngung	[kg N/ha]	138	146	122
Mittelwert	[kg N/ha]	135,3		

Beim obigen Beispiel mit geringem bis mittlerem Düngbedarf über die Fruchtfolge hätte die Ausnahmeregelung Vorteile, da bei -20 % im Mittel sonst nur 116 kg N/ha gedüngt werden dürften. Bei der Ausnahmeregelung wären es 20 kg N/ha mehr. Auf Hohertragsstandorten und für hoch bedürftige Kulturen (Tab. 17) bringt die Ausnahmeregelung keine Vorteile. Die maximale Düngung läge in beiden Fällen bei rund 135 bzw. 136 kg N/ha.

N-Effizienz des Anbaus im Fokus

Grundsätzlich regen die vorliegenden Vorgaben dazu an, den Fokus auf die N-Effizienz des gesamten Anbausystems zu legen. Kulturen, bei denen größere Teile der Düngung in Ertrag umgewandelt werden, sind dabei N-effizienter als solche, deren Ertrag vermehrt durch andere Faktoren bedingt wird. Auch ein Blick auf Sorten kann hier aufschlussreich sein: N-effiziente Sorten bringen bei gegebenem N-Angebot eine höhere N-Abfuhr hervor als andere Sorten. Häufig wird vermutet, dass unabhängig von der Kultur die ertragreichsten Sorten in den Landessortenversuchen in der Regel auch die N-effizientesten sind, da das N-Angebot für alle Sorten gleich ist. Vollständig kann dies aber erst dargelegt werden, wenn zusätzlich zum Ertrag über die erhobenen Qualitätsparameter die **N-Abfuhr** errechnet wird. Ziel muss es sein, einerseits ertragreiche und andererseits aber auch ertragsstabile Sorten auszuwählen. Hohe Proteingehalte sind in der Regel nur durch späte Stickstoffgaben zu erreichen, welche verglichen mit früheren Gaben eine deutliche größere Wirkungsunsicherheit mit sich bringen, da die dann wärmere und trockenere Witterung die Wirksamkeit der eingesetzten Stickstoffdünger limitieren kann. Neben der Pflanzengesundheit sind auch weitere die Ertragsstabilität beeinflussende Faktoren wie Standfestigkeit und Winterhärte nicht außer Acht zu lassen. Die Unterschiede zwischen den Sorten bezüglich der N-Effizienz sind im Vergleich zu den Unterschieden zwischen Kulturen vergleichsweise gering.

Gerade im Winterweizen wird die Diskussion um die Aussagekraft des Rohproteingehaltes

für die Backqualität mehr und mehr diskutiert. Mittlerweile sind auch Weizensorten auf dem Markt, die eine gute Backqualität trotz gleichzeitig moderater Rohproteingehalte liefern. Diese proteinärmeren Qualitätsweizensorten benötigen eine deutlich geringere oder keine N-Spätdüngung, die den Proteingehalt maßgeblich beeinflusst. Die Bewertung der Weizenqualität seitens der Mühlen bzw. des Handels anhand der sortenspezifischen Backqualität unabhängig vom Rohproteingehalt hat sich jedoch noch nicht durchgesetzt.

Gerade im Winterweizen stellt sich daher in nitratsensiblen Gebieten auch vor dem Hintergrund der im folgenden Abschnitt dargestellten Ertrags- und Qualitätsreaktion auf eine reduzierte Düngung die Frage, welche **Qualitätsstufe** angebaut werden sollte, wenn die Möglichkeit, seinen Weizen in Höhe des Stickstoff-Düngebedarfes zu düngen, nicht gegeben ist. Weizen unterschiedlicher Produktionsrichtungen unterscheiden sich im Stickstoff-Bedarfswert:

- I) Winterweizen E: 260 kg N/ha bei 80 dt/ha Ertrag (mit min. 14% Protein in der Vermarktung)
- II) Winterweizen A, B: 230 kg N/ha bei 80 dt/ha Ertrag (mit min. 12% Protein in der Vermarktung)
- III) Winterweizen C: 210 kg N/ha bei 80 dt/ha Ertrag

N-Effizienz von Weizensorten

Die Berechnung der N-Abfuhr erfolgt im Weizenanbau auf Basis von Proteingehalt und Ertrag ($\% RP * 0,86/5,7 * \text{Ertrag}$ (90 % Parzellenerträge)). In Abbildung 20 sind die relativen Kornerträge und Rohproteingehalte von verschiedenen Winterweizensorten aus dem Jahr 2022 auf Lehmböden in Südhannover *beispielhaft* dargestellt. Allen Sorten stand das gleiche N-Angebote aus N_{\min} und N-Düngung zur Verfügung. Zudem verlief der Pflanzenschutz über alle Sorten hinweg identisch. Aus der Grafik wird deutlich, dass der Kornertrag mit dem Rohproteingehalt negative korreliert. Jedoch weisen einzelne Sorten (Bsp. Nr. 5 oder 6) einen überdurchschnittlichen relativen Kornertrag sowie Rohproteingehalt auf. Daraus lässt sich ableiten, dass diese Sorten tendenziell über eine höhere N-Effizienz verfügen. Das bedeutet, dass effizientere Sorten mit demselben N-Input eine höhere N-Abfuhr durch das Erntegut erreichen. In der beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes lohnt es sich mit Blick auf die N-Effizienz, Sorten mit hohen Erträgen und gleichzeitig hohen Proteingehalten auszuwählen.

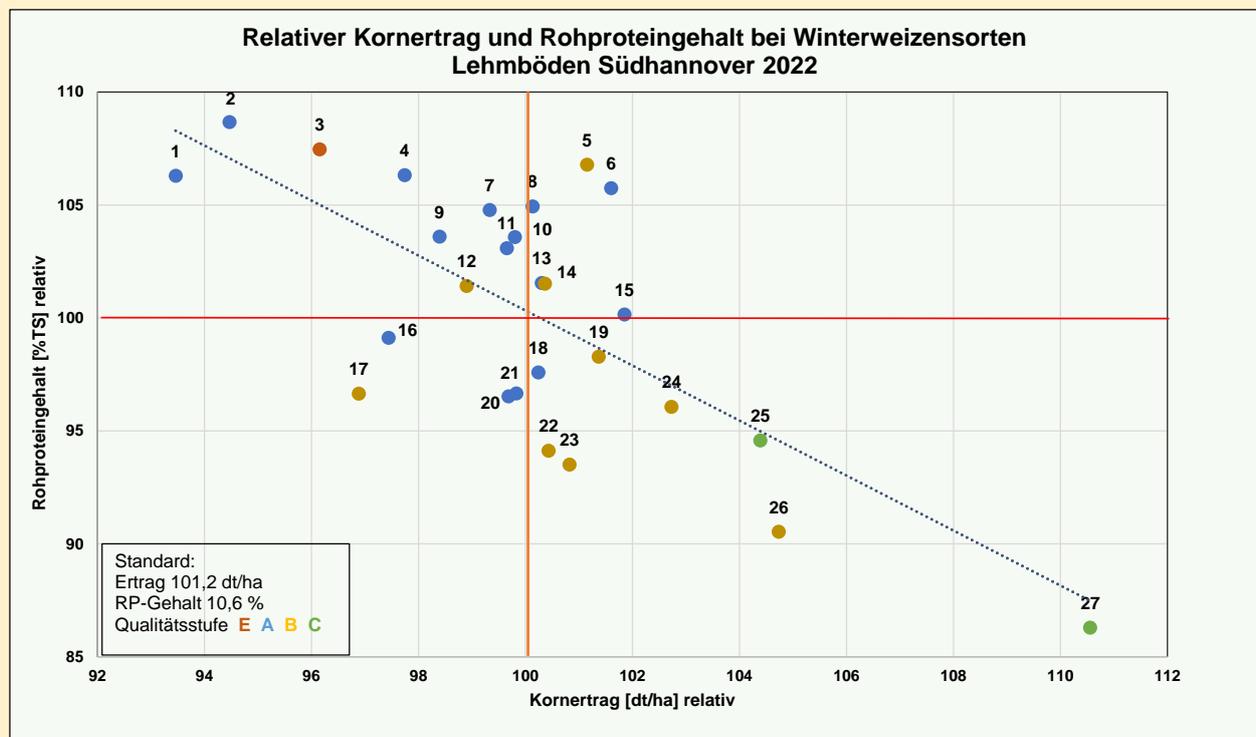


Abb. 20: Relativerträge/-gehalte von verschiedenen Sorten auf Einzelstandorten (Lehmböden in Südhannover) von Winterweizen (Qualitätsstufen: E, A, B und C), Standorte: Poppenburg, Königslutter, Höckelheim, Bad Gandersheim, Groß Munzel), Blatt- und Stoppelweizen

Damit einher gehen auch für die Vermarktung unterschiedliche Qualitätsansprüche. Da die Reaktion des Proteingehaltes auf eine reduzierte Düngung stärker ist als die Ertragsreaktion, ist das Risiko, die Qualitätsparameter in den einzelnen Qualitätsstufen bei reduzierter Düngung noch zu erreichen, entsprechend groß. Wenn der Stickstoff im nitratsensiblen

Gebiet nicht umverteilt werden kann, um bei größerer Reduktion einer anderen Kultur den Winterweizen in Höhe des Düngebedarfes auszudüngen, muss somit die zunächst die angebaute Qualitätsrichtung überdacht werden. Ein Anbau von Futterweizen ergibt dann Sinn, wenn die Vermarktungsmöglichkeit ent-

sprechend gegeben ist. Gerade, wenn der monetäre Unterschied der angestrebten Qualitätsrichtung klein ist, kann der Anbau von im Vergleich zu E-Sorten ertragreicheren B- und vor allen Dingen C-Weizensorten empfohlen werden.

Kurz & knapp:

- Ertragreiche Sorten nicht immer die am N-effizientesten (z. B. Weizen)
- Gesunde und ertragsstabile Sorten bevorzugen
- Einsatz N-effizienter Sorten möglicherweise bei reduziertem N-Angebot bei gesamtbetrieblicher Betrachtung als Stellschraube
- Qualitätsstufe auch in Abhängigkeit des erzielbaren Preises überdenken.

Ertragskurven im Vergleich

N-Steigerungsversuche der LWK Niedersachsen ergaben bei einer Reduzierung des N-Angebotes um 20 % im Mittel ca. **3-5 %** Minderertrag bei Getreide und Raps (teils starke Qualitätseinbußen) und ca. **1-3 %** Minderertrag bei Hackfrüchten (Abb. 21). Dargestellt ist immer das N-Angebot als Summe aus Düngung und N_{min}-Wert (0-90cm) und der davon abzuleitende Ertrag als quadratische Funktion.

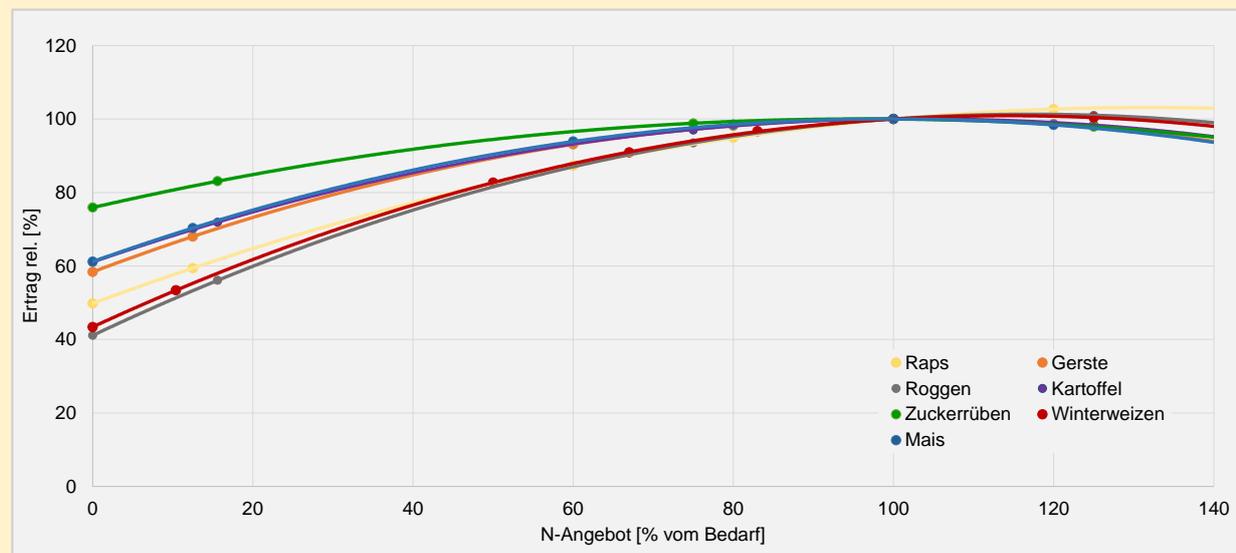


Abb. 21: Ertragskurven der wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen Niedersachsens (Versuche der LWK Niedersachsen, 2003 - 2021)

Hackfrüchte, Sommerungen: In Sommerungen haben neben der N-Düngung die durch Mineralisation verfügbarwerdenden Nährstoffe einen großen Ertragseffekt: Pflanzenbaulich muss hier auf die zeitliche Übereinstimmung der höchsten Nährstoffaufnahme der Sommerungen und der Mineralisation hingewiesen werden. Während der höchsten Nährstoffaufnahme läuft unter guten Bedingungen zeitgleich die Mineralisation auf einem hohen Niveau. Dies betrifft sowohl die Mineralisation von organischer Masse im Boden, als auch von Nährstoffen aus der zuvor gedüngten Organik, die in diesen Kulturen folglich in einem sehr hohen Maße und über den pflanzenverfügbaren Ammoniumanteil hinaus genutzt werden kann. Die Notwendigkeit späterer Stickstoffgaben lässt sich in diesen Kulturen besonders gut mit der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Methode ableiten.

Kulturartenwahl

Zur Erweiterung der Fruchtfolgen (FF) in roten Gebieten bieten sich vor allem Kulturen an, die das N-Angebot des Bodens gut nutzen, weil die Mineralisation zeitgleich zur höchsten N-Aufnahme am stärksten abläuft. Aufgrund dessen zeigen diese Kulturen nur eine vergleichsweise geringe Ertragsreaktion auf ein reduziertes N-Angebot (Abb.21). Ein reduziertes N-Angebot kann hier dann mit einer größeren Ertragsicherheit realisiert werden, wenn vegetationsbegleitend der tatsächliche Stickstoffbedarf der Kulturen zuverlässig ermittelt werden kann. Hierzu zählen insbesondere Sommerungen wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln, was langjährige N-Steigerungsversuche belegen.

Eine Anbauausweitung bei Zuckerrüben ist von den Lieferverträgen zur Zuckerfabrik abhängig. Auch als Ersatzsubstrat von Mais in Biogasanlagen wäre die Rübe denkbar, würde allerdings hinsichtlich der N-Effizienz keine/kaum Vorteile bringen. Zudem sind auch hier Fruchtfolge-Restriktionen bezüglich des maximal möglichen Anteils in der Rotation einzuhalten. Auch für Mais muss die Verwertung nach der Ernte gesichert sein. Ist die Verwertung als Silomais über Biogas oder Futtermittelverwertung eingeschränkt, ist auch der Anbau von Körnermais als Alternative zu bedenken.

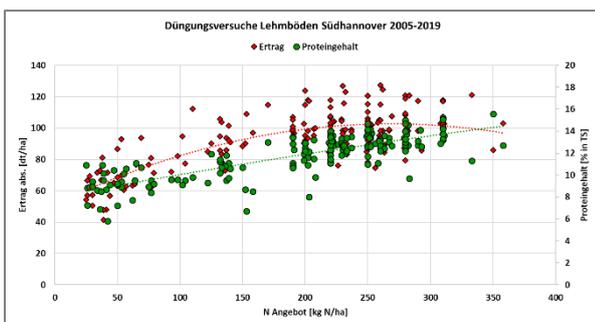


Abb. 22: Ertrag und Proteingehalt in Abhängigkeit vom Stickstoffangebot in Winterweizen

In der Abbildung 22 wird deutlich, dass der Winterweizen ertraglich stark auf eine reduzierte Stickstoffdüngung reagiert. Das wichtigste Qualitätskriterium im Weizen ist jedoch der Proteingehalt, dessen Reaktion auf eine verminderte Düngung ebenfalls betrachtet werden muss: der Zusammenhang zwischen Stickstoffdüngung und Proteingehalt im Weizen lässt sich nicht wie beim Ertrag mit einer Sättigungs-, sondern mit einer linearen Funktion beschreiben. Die Reaktion des Proteingehaltes auf eine reduzierte Düngung im Weizen ist also deutlich ausgeprägter als die des Ertrages. Noch bevor der Ertrag signifikant zurückgeht, sinkt der Proteingehalt – so deutlich, dass häufig Vermarktungsziele nicht mehr erreicht werden können. Der Weizen ist somit eine Kultur, in der eine reduzierte Düngung große Auswirkungen hat. Wenn möglich, sollte er durch Umverteilung der Stickstoffdüngung innerhalb der Flächen des roten Gebietes in Höhe seines Düngebedarfes gedüngt werden. Auch Körnerleguminosen wie beispielsweise die Ackerbohne, Erbse oder Lupine können aufgrund ihrer Fähigkeit zur N-Fixierung unabhängig vom N-Angebot gute Erträge liefern und bieten durch ihren Vorfruchtwert eine gute Möglichkeit zur Fruchtfolgeerweiterung (Tab. 18-20). Da die N-Fixierung aber nur bei geringem N-Angebot des Bodens stattfindet, bringen sie auch nur dann zusätzlichen Stickstoff ins System, der den nachfolgenden Fruchtfolgegliedern zur Verfügung steht. Bei hohem N-Angebot wie z. B. nach langjähriger organischer Düngung bedienen sie sich überwiegend aus dem N-Vorrat des Bodens. Für Körnerleguminosen ist in der Regel keine zusätzliche N-Düngung erforderlich.

Beispielrechnungen: Optimierte Fruchtfolgen mit Körnerleguminosen

In Fruchtfolgeversuchen von Kage et al. (2017) zeigte sich die Ackerbohne als Vorfrucht von Raps als besonders günstig. Der Raps kann die hohen N_{\min} -Reste nach der Ernte der Ackerbohnen gut aufnehmen, wodurch ein hoher N-Transfer zwischen den Fruchtfolgegliedern gewährleistet wird. Zudem profitiert er von dem hohen N-Angebot im Herbst. Eine Herbizidmaßnahme nach den Ackerbohnen ist für eine gute Etablierung der Rapsbestände jedoch unverzichtbar. Die höchsten N-kostenfreien Leistungen wurden in den Untersuchungen mit der Fruchtfolge Raps – Mais – WW erzielt. Die Fruchtfolge Ackerbohne – Raps – Weizen – Mais gewinnt bei N-Limitierung an Vorzüglichkeit. Dies ist auf die unterschiedlichen Produktpreise zurückzuführen und kann sich zukünftig ändern.

Tab. 18: N-kostenfreier Leistungen und N-Bilanzen von verschiedenen Fruchtfolgen

	N-kostenfreie Leistung			N-Bilanz		
	[€/ha]			[kg N/ha]		
Exemplarische Fruchtfolge	ök. Opt.	DüV	Düv-20%	ök. Opt.	DüV	Düv-20%
Raps – Weizen - Gerste	1272	1244	1193	70	38	18
Raps – Weizen – Ackerbohne – Weizen - Weizen	1264	1232	1194	57	36	16
Ackerbohne – Raps – Weizen - Mais	1244	1237	1222	27	24	4
Raps – Mais - Weizen	1350	1327	1287	54	36	11

Tab. 19: Beispielrechnung für die N-Verteilung der Ackerbohnen-Fruchtfolge 1

Fruchtfolge 1		Raps	Weizen (+ZF)	Ackerbohne	Weizen	Weizen
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	200	230	20	230	230
Basisertrag	[dt/ha]	40	80		80	80
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	40	90	50	90	85
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	200	240	20	240	235
N_{\min}	[kg N/ha]	25	45	40	50	30
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	10	0	10	
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	167	177	20	172	197
20% Abzug	[kg N/ha]	33	35	4	34	39
max. Düngemenge	[kg N/ha]	134	142	16	138	158
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	155	140	0	120	173
N-Vorteil	[kg N/ha]	21	-2	-16	-18	15

Tab. 20: Beispielrechnung für die N-Verteilung der Ackerbohnen-Fruchtfolge 2

Fruchtfolge 2		Ackerbohne	Raps	Weizen	Mais (+ZF)
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	20	200	230	200
Basisertrag	[dt/ha]		40	80	450
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]		40	90	500
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	20	200	240	210
N_{\min}	[kg N/ha]	40	35	45	45
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	10	10	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	-28	147	177	157
20% Abzug	[kg N/ha]	-6	29	35	31
max. Düngemenge	[kg N/ha]	-22	118	142	126
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	0	143	170	95
N-Vorteil	[kg N/ha]	-22	25	28	-31

Fruchtfolge 2 zeichnet sich durch eine besonders hohe N-Effizienz aus. Die Integration von Ackerbohne und Zwischenfrucht sowie die Stellung der einzelnen Fruchtfolgeglieder bringt große N-Vorteile, sodass die Winterungen nahezu bedarfsgerecht gedüngt werden können.

N-Vorteil von Körnerleguminosen

In Fruchtfolgeversuchen von Kage et al. (2021) kann durch die Erweiterung einer pfluglosen Fruchtfolge (Raps – Weizen – Gerste) durch eine Sommerung (Mais) und eine Leguminose (Ackerbohne) die Produktionsfunktion des Rapses N-effizienter werden, dass eine Reduktion des N-Angebotes um 20 % vollständig kompensiert werden könnte (Abb. 23). Der N-Vorteil liegt in diesem Beispiel bei 45 kg N/ha, während die Reduktion um 20 % nur 34 kg N/ha betragen würde.

Tab. 21: Düngbedarfsermittlung und N-Vorteil mit und ohne Sommerung + Leguminose

		Standard	Standard + Leguminosen und + Sommerung
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	200	200
Basisertrag	[dt/ha]	40	40
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	40	40
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	200	200
N _{min}	[kg N/ha]	30* ¹	35* ¹
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	10
N-Düngerbedarf	[kg N/ha]	170	155
20% Abzug	[kg N/ha]	34	31
max. Düngemenge	[kg N/ha]	136	124
Ertrag bei N-Düngerbedarf	[dt/ha]	44	47
Ertragsgleiche N-Düngung	[kg N/ha]		125
N-Vorteil	[kg N/ha]		45

*1 mittlere N_{min}-Werte für Raps 2016 – 2020

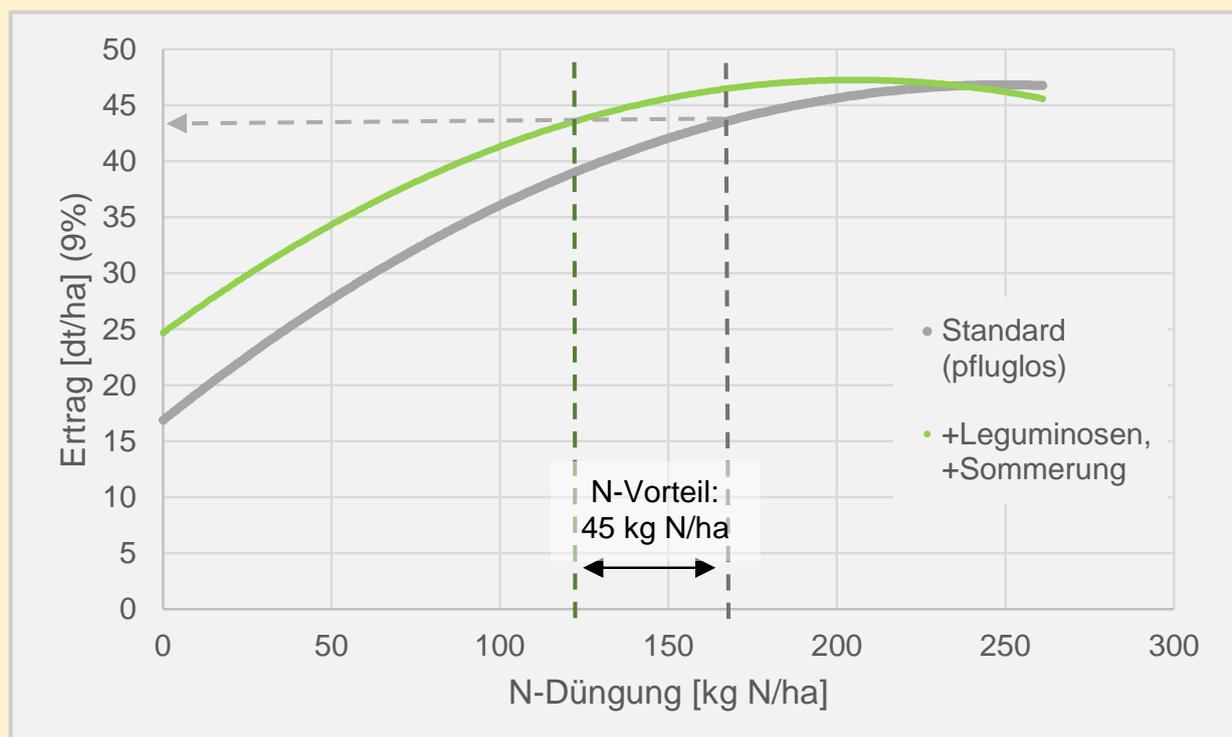


Abb. 23: Rapsertträge in Abhängigkeit von der N-Düngung in unterschiedlichen Fruchtfolgen, Standort Hohen-schulen, Mittel der Jahre 2007-2010, 90% der Parzellenerträge (Kage et al., 2017, verändert)

Leguminosen können insbesondere bei N-Restriktionen ökonomische Nachteile durch **Fruchtfolgeeffekte** ausgleichen. Wichtig ist allerdings, dass sie sachgerecht in die Frucht-

folge integriert werden, sowohl die Anbauabstände (Tab. 22) als auch die Verträglichkeit mit den anderen Hauptfrüchten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2003) müssen beachtet werden. Der größte Spielraum

für die Integration von Leguminosen bieten Mais- und Getreidefruchtfolgen. Aufgrund der ausgeprägten Selbstunverträglichkeit („Leguminosenmüdigkeit“) sollten in Zwischenfruchtgemengen solche Leguminosenarten

vermieden werden, die in der Fruchtfolge auch als Hauptfrucht angebaut werden und die gegen Wurzelerkrankungen oder bodenbürtig übertragenen Krankheiten empfindlich sind.

Tab. 22: Anbauabstände bei Leguminosen (LfL, 2003)

Futterleguminosen		Körnerleguminosen	
Art	Anbauabstand in Jahren	Art	Anbauabstand in Jahren
Rotklee	4 – 7	Erbsen	5
Luzerne	4 – 7	Ackerbohnen	3
Schwedenklee	1 – 2	Weißer Lupine	4
Weißklee	weitgehend selbstverträglich	Gelber Lupine	4
Espartette	4 – 7	Blaue Lupine	4
Seradella	1 – 2	Sojabohne	1-2-jähriger Nachbau mögl.
Inkarnatklee	keine Zahlenangaben, selbstverträglicher als Rotklee und Luzerne	Linse	5
Alexandrinerklee			
Gelbklee			
Zwischenfruchtgemenge	keine Angaben	Wicke	3

In Niedersachsen wird in Bezug auf die Leguminosen die Ackerbohne am häufigsten angebaut. Insgesamt haben Körnerleguminosen wie die Ackerbohne oder Erbse jedoch zum Nachteil, dass sie im Vergleich zu anderen Kulturen eine noch geringere Ertragsleistung und -stabilität besitzen. Bevor Körnerleguminosen neu in eine Fruchtfolge aufgenommen werden, muss auch deren (regionale) Vermarktbarkeit geprüft werden. Darüber hinaus bietet die innerbetriebliche Verwertung der Körnerleguminosen in der Fütterung eine Möglichkeit, die Wirtschaftlichkeit der Körnerleguminosen auf dem eigenen Betrieb zu erhöhen. Unter Umständen liegt der Futterwert der Leguminosen über dem Erzeugerpreis bei der Vermarktung.

Beim Anbau von Körnerleguminosen als Hauptfrucht in einer Fruchtfolge sind unbedingt die Anbaupausen zu beachten. Die

Wechselwirkung zwischen verschiedenen Leguminosenarten und ihren spezifischen Anbaupausen innerhalb des Ackerbausystems sind weiter zu erforschen. Neben den etablierten Leguminosen rücken auch Arten wie Lupinen und Sojabohnen in den Fokus. Der Anteil der in Deutschland ökologisch angebauten Sojabohnen liegt bei etwa 27 % (Destatis, 2021) Mit den neuen frühen Sorten kann die Sojabohne auch unter den klimatischen Bedingungen in einigen Regionen Niedersachsens angebaut werden. Ihr Anbau erfolgt in erster Linie auf leichten Standorten in der Lüneburger Heide und in Börderegionen. Unter den Lupinenarten ist die Blaue oder auch Schmalblättrige Lupine momentan die bedeutendste im Anbau, da sie im Vergleich zur Gelben und Weißen Lupine toleranter gegenüber der Anthraknose (Brennfleckenkrankheit) ist. Die Gelbe Lupine spielt derzeit keine Rolle im Anbau und es gibt auch keine in Deutschland zugelassene Sorte. Relativ neu auf dem Markt

Anpassungsstrategien

sind zwei anthraknosetolerante Sorten der Weißen Lupine (Frieda und Celina), die mit besonders hohen Rohproteingehalten sehr interessant sowohl für die Humanernährung als auch für die Fütterung sind. In der Lebensmittelindustrie dient die Weiße Lupine u. a. als Rohstoff für Fitnessprodukte, proteinreiche Brotaufstriche und Fleischersatzprodukte, außerdem ist das Lupinenmehl glutenfrei und somit auch für Menschen mit Zöliakie geeignet. Werden die hohen Ansprüche an die innere und äußere Qualität erfüllt, können 40 €/dt für den Landwirt künftig realisierbar sein, wobei im konventionellen Anbau Erträge von 4-5 t/ha erzielt werden können (Dabbelt, 2020). Die in Deutschland genutzten Lupinenarten unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Ansprüche an den Boden, an das Klima als auch

in der Qualität des Erntegutes deutlich. Bezüglich ihrer Standortansprüche ist die Gelbe Lupine dem Roggen, die Blaue Lupine der Gerste und die Weiße Lupine dem Weizen sehr ähnlich (Tab. 23). Die Blaue Lupine kann auf typischen Roggenstandorten (leichte, sandige Böden) ein attraktives und lohnendes Fruchtfolgeglied sein.

Kurz & knapp:

- Bei Mais und Zuckerrüben sind die Ertragsdepressionen bei reduziertem N-Angebot geringer als bei Weizen und Raps.
- Körnerleguminosen bringen zusätzlichen Stickstoff ins System
- Neue anthraknosetolerante Sorten der Weißen Lupine haben großes Potenzial

Tab. 23: Ansprüche der Lupinen-Arten (Schachler et al. 2016)

	Gelbe Lupine	Blaue Lupine	Weißer Lupine
Ansprüche an den Boden	gering, Sandboden	leichte und mittlere Böden	mittlere bis schwere Böden
pH-Bereich	sehr kalkempfindlich pH 4,6-6,0	weniger kalkempfindlich pH 5,0-6,8	weniger kalkempfindlich pH 5,5-6,8
Reifezeit	mittel	früh	spät
Anfälligkeit für Anthraknose	hoch	gering	hoch (alte Sorten)
Frostempfindlichkeit im Frühjahr	mittel	gering	mittel

Fruchtfolgegestaltung

Mit dem Blick auf Leguminosen unter dem Punkt Kulturartenwahl erscheint der Übergang zur Fruchtfolgegestaltung, gerade mit Blick auf die enormen Vorfruchtwerte der Körnerleguminosen, nur logisch. Enge Fruchtfolgen sind auf die Spezialisierung der Betriebe und die Nutzung der wirtschaftlichsten Kulturen zurückzuführen. Andererseits sind die Vorteile einer weiten Fruchtfolge bezogen auf phytosanitäre Parameter bekannt. Darüber hinaus ist auch die Erweiterung vor dem Hintergrund der Effekte höherer Humusgehalte auf Wasser- und Nährstoffdynamiken des Standortes im Hinterkopf zu behalten. Da die Fruchtfolgegestaltung so u. a. auch einen erheblichen Einfluss auf die N-Effizienz haben kann, ist sie wichtiger Teil der Anpassungsstrategien in roten Gebieten (Tab. 24-28). Bei der Steigerung der N-Effizienz in Fruchtfolgen kann im Wesentlichen zwischen zwei Ansätzen unterschieden werden:

Optimierung bzw. Maximierung des Stickstofftransfers zwischen den Fruchtfolgefeldern. Die Vermeidung von N-Verlusten steht dabei an erster Stelle, da dadurch N-Einsparungen möglich sind. Dies kann zum einen durch die Dauer der N-Aufnahme einer Kultur

und zum anderen durch den Einsatz von Zwischenfrüchten erfolgen. Neben der Verlustvermeidung ist auch die N-Fixierung durch den Einsatz von Leguminosen eine geeignete Maßnahme, um die Stickstoffversorgung in der Fruchtfolge zu verbessern.

Steigerung der Ertragshöhe und -sicherheit, Stressminderung

Eine enge Fruchtfolge kann zu Ertragsminderungen durch Fruchtfolgekrankheiten und negativen Effekten auf die Ressourcennutzungseffizienz führen. So kann die gleiche Kultur in der gleichen Umwelt in Abhängigkeit von der Fruchtfolgegestaltung eine sehr unterschiedliche N-Effizienz aufweisen.

Eine optimierte, aufgelockerte Fruchtfolge kann zur Risikostreuung beitragen und sich dadurch positiv auf Ertragshöhe und -sicherheit der Fruchtfolgeglieder auswirken.

Die Optimierung der Fruchtfolgen in roten Gebieten kann durch die Integration von N-effizienten Kulturen/Sorten, Leguminosen und Zwischenfrüchten erfolgen. Nach Möglichkeit sollte ein Wechsel von Halm- und Blattfrucht angestrebt werden. Auch eine Optimierung der N-Verteilung durch die Möglichkeit der Umverteilung zwischen den Kulturen trägt zur Steigerung der N-Effizienz bei.

Beispielrechnungen: Optimale N-Verteilung bei verschiedenen Fruchtfolgen zur Kompensation der -20 % auf Basis langjähriger Versuchsergebnisse:

Tab. 24: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge A

Fruchtfolge A		Winterweizen	Winterweizen	Wintergerste	Zuckerrüben
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	230	180	170
Basisertrag	[dt/ha]	80	80	70	650
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	90	85	85	800
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	240	235	195	185
N _{min}	[kg N/ha]	45	30	30	40
Vorfrucht	[kg N/ha]	10	0	0	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	177	197	157	137
20% Abzug	[kg N/ha]	35	39	31	27
max. Düngemenge	[kg N/ha]	142	158	126	110
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	154	170	132	80
N-Vorteil	[kg N/ha]	12	12	6	-30

Tab. 25: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge B

Fruchtfolge B		Winterweizen	Winterraps	Winterweizen	Zuckerrüben
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	200	230	170
Basisertrag	[dt/ha]	80	40	80	650
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	90	40	90	800
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	240	200	240	185
N _{min}	[kg N/ha]	45	25	45	40
Vorfrucht	[kg N/ha]	10	0	10	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	177	167	177	137
20% Abzug	[kg N/ha]	35	33	35	27
max. Düngemenge	[kg N/ha]	142	134	142	110
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	150	150	146	80
N-Vorteil	[kg N/ha]	12	14	4	-30

Tab. 26: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge C

Fruchtfolge C		Winterweizen	Mais	Winterweizen	Zuckerrüben
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	200	230	170
Basisertrag	[dt/ha]	80	450	80	650
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	90	500	90	800
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	240	210	240	185
N _{min}	[kg N/ha]	45	45	45	40
Vorfrucht	[kg N/ha]	10	0	10	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	177	157	177	137
20% Abzug	[kg N/ha]	35	31	35	27
max. Düngemenge	[kg N/ha]	142	126	142	110
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	170	98	170	82
N-Vorteil	[kg N/ha]	28	-28	28	-28

In einer viergliedrigen Fruchtfolge mit einer Hackfrucht (Fruchtfolge-Anteil 25 %) ergibt sich durch die Umverteilung des zur Verfügung stehenden Stickstoffs zwischen den Kulturen ein N-Vorteil von durchschnittlich 10 kg N/ha für die Winterungen. Mit einem Hackfrucht-Anteil von 50 % kann der N-Vorteil der Winterungen (Fruchtfolge C) bei 28 kg N/ha liegen (Tab. 26), sodass der Bedarfswert hier nahezu ausgeschöpft werden kann. Bei diesen Verlagerungen ist davon auszugehen, dass die Ertragsverluste bei den Hackfrüchten geringer ausfallen als bei den Winterungen. Somit führt eine Reduktion über 20 % hinaus bei den Hackfrüchten trotzdem zu einer Verbesserung des Gesamt-DB der Fruchtfolge.

Beispielrechnungen: Optimale N-Verteilung bei verschiedenen Fruchtfolgen zur Kompensation der -20 % auf Basis langjähriger Versuchsergebnisse:

Tab. 27: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge D

Fruchtfolge D		Winterweizen	Zuckerrüben	Winterweizen	Mais	Winterweizen	Winterrap
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	170	230	200	230	200
Basisertrag	[dt/ha]	80	650	80	450	80	40
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	90	800	90	500	90	40
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	240	185	240	210	240	200
N _{min}	[kg N/ha]	45	40	45	45	45	25
Vorfrucht	[kg N/ha]	10	0	10	0	0	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8	8	8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	177	137	177	157	187	167
20% Abzug	[kg N/ha]	35	27	35	31	37	33
max. Düngemenge	[kg N/ha]	142	110	142	126	150	134
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	157	80	157	95	157	158
N-Vorteil	[kg N/ha]	15	-30	15	-31	7	24

Tab. 28: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge E

Fruchtfolge E		Winterweizen	Zuckerrüben	Winterweizen	Erbse	Wintergerste	Winterrap
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	170	230	20	180	200
Basisertrag	[dt/ha]	80	650	80		70	40
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	90	800	90	45	90	40
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	240	185	240	20	200	200
N _{min}	[kg N/ha]	45	40	45		50	25
Vorfrucht	[kg N/ha]	10	0	10	0	10	0
org. Düngung Vorjahr	[kg N/ha]	8	8	8		8	8
Humus	[kg N/ha]	0	0	0	0	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	177	137	177	20	132	167
20% Abzug	[kg N/ha]	35	27	35	4	26	33
max. Düngemenge	[kg N/ha]	142	110	142	16	106	134
angepasste Verteilung	[kg N/ha]	157	80	157	0	100	156
N-Vorteil	[kg N/ha]	15	-30	15	-16	-6	22

Blattweizen vs. Stoppelweizen

Im Vergleich zum Stoppelweizen profitiert der Blattweizen stärker von der Vorfrucht. Insbesondere nach Winterfrucht, aber auch nach trockenen gerodeten Zuckerrüben. Bei deutlich späteren Saatterminen oder sehr feuchten Bedingungen wird der Vorteil geringer. Aus dieser Kombination (Vorfrucht, Saattermin, Ertrag) ergibt sich eine deutlich schlechtere N-Effizienz für den Stoppelweizen. Die Effizienz der N-Düngung kann also mit einem Wechsel von Blatt- und Halmfrucht in der Fruchtfolge gesteigert werden. Dies zeigte sich auch in Versuchen von Sieling et al. (2005), wobei Rapsweizen einen Maximalertrag von 97 dt/ha bei einem N-Angebot von 210 kg N/ha erzielte und Stoppelweizen 80 dt/ha bei 270 kg N/ha.

Der N-Vorteil des Blattweizens gegenüber dem Stoppelweizen lag im Mittel mehrjähriger Versuche der LWK auf Lehmlandorten (Königslutter, Höckelheim) und Marschen (Otterham) bei 50 kg N/ha (Abb. 24). Auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Düngeneiveaus können die -20 % vollständig kompensiert werden.

Tab. 29: Düngbedarfsermittlung und N-Vorteil bei Stoppel- und Blattweizen

		Stoppelweizen	Blattweizen
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	230	230
Basisertrag	[dt/ha]	80	80
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	85	90
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	235	240
N _{min}	[kg N/ha]	50* ¹	54* ¹
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	10
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	185	176
20% Abzug	[kg N/ha]	37	35
max. Düngemenge	[kg N/ha]	148	141
Ertrag bei N-Düngebedarf	[dt/ha]	101	108
ertragsgleiches N-Angebot	[kg N/ha]		176
N-Vorteil	[kg N/ha]		50

*¹ mittlere N_{min}-Werte für Stoppel- und Blattweizen für Lehmlandorten und Marschen 2016 – 2020

(Vorfrüchte Blattweizen: Zuckerrübe, Winterfrucht, Aussaatzeitpunkte: Stoppelweizen: Anfang Oktober, Blattweizen: nach Winterfrucht Anfang Oktober, nach Zuckerrübe Mitte Oktober bzw. nach Ernte der ZR)

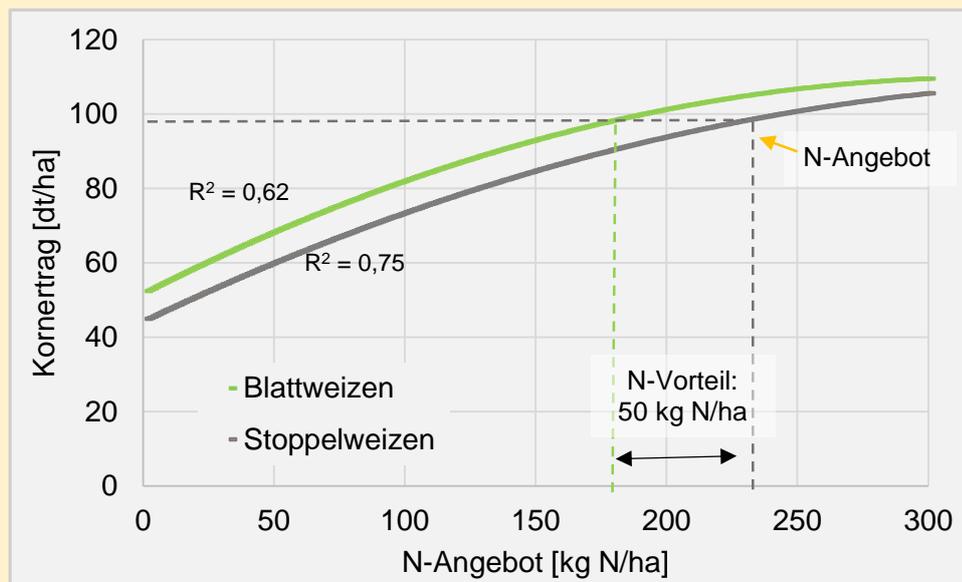


Abb. 24: Weizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot nach Blatt- und Halmvorfrucht (Lehmlandorte Höckelheim, Königslutter n = 22, Marschstandort Otterham n = 3), Jahre 2005 – 2015

Kurz & knapp:

- Erweiterung der Fruchtfolgen zur Erhöhung der Ertragsstabilität des Anbausystems durch
 - Wechsel von Sommerungen und Winterungen
 - Wechsel von Halm- und Blattfrucht
 - Gezielte Wahl von Vorfrucht-Nachfrucht
- Verbesserung des Stickstofftransfers in die Folgefrucht/ Vermeidung von Nährstoffverlusten

**Zwischenfruchtanbau und Unter-/ Beisaa-
ten**

Um zur Verfügung stehende Nährstoffe effektiv einzusetzen, muss der Aspekt der Konservierung der vorhandenen Nährstoffe über bspw. Sickerwasserperioden hinaus in den Fokus gerückt werden. So werden Nährstoffe nicht nur effektiver eingesetzt, ihr Einsatz kann unter Beachtung bzw. Erhebung einiger Parameter sogar reduziert werden und somit die Auswirkungen einer nicht durchdachten reduzierten Düngung sogar potenziell kompensieren.

Positive Effekte des Zwischenfruchtanbaus auf den Ertrag der Folgekultur sind in erster Linie auf leichten Standorten zu erwarten (Abb. 25). Leguminosen in Zwischenfruchtmischungen sind nicht nur für die Bestandesetablierung in roten Gebieten eine gute Maßnahme, sie können auch je nach Leguminosen-Anteil und Bestandesentwicklung relativ viel Stickstoff ins System bringen. Daraus können sich wiederum je nach Mineralisationsdynamik unterschiedlich große N-Vorteile ergeben. Diese sind wesentlich davon abhängig,

wieviel des über die Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs bereits im Frühjahrs- N_{\min} -Wert enthalten ist. Ist schon früh viel mineralisiert und der Frühjahrs- N_{\min} -Wert entsprechend hoch, reduziert sich der Düngbedarf bei der Düngbedarfsermittlung auch entsprechend. Ist der Frühjahrs- N_{\min} -Wert noch niedrig, aber eine erhöhte N-Nachlieferung zu erwarten, dann muss und sollte der ermittelte Düngbedarf bei der Düngbedarfsermittlung nicht voll ausgeschöpft werden. Der eingesparte Stickstoff kann dann anderen Kulturen mit einer angepassten Verteilung zugutekommen. Damit der Zwischenfruchtanbau zur Reduktion der gedüngten N-Menge beitragen kann, muss der in der Biomasse der Zwischenfrucht gebundene Stickstoff quantifiziert und bei der Bemessung der Düngung der Folgefrucht berücksichtigt werden. Da die N-Gehalte der oberirdischen Biomasse zum Vegetationsende recht konstant sind, kann die N-Aufnahme herkömmlicher Ölrettich- und Ölrettich/Senf-Bestände auch in der Praxis einfach und relativ sicher mit Hilfe der „Frischmasse-Methode“ oder noch einfacher anhand der Wuchshöhe geschätzt werden (Abb. 27). Diese Methoden basieren auf dem Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme der Bestände und der Frischmasseproduktion bzw. deren Wuchshöhe zum Vegetationsende. Zur N-Nachlieferung des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs in den Folgekulturen gibt es (noch) keine Faustzahlen, da die N-Nachlieferung von sehr vielen Faktoren (C/N-Verhältnis, Absterbegrad, Boden u.v.m.) abhängig ist. Erfahrungsgemäß kann nach Tendler & Beisacker

Anpassungsstrategien

(2015) rund 50 % (Zwischenfrucht ohne Leguminosen) bis 70 % (Zwischenfrucht mit Leguminosen) des aufgenommenen Stickstoffs

auf den N-Bedarf der Folgekulturen angerechnet werden.

N-Vorteil von Zwischenfrüchten

In dreijährigen Feldversuchen auf Sand- (Hamerstorf, beregnet) und Lehmboden (Höckelheim) wurde der Einfluss von Zwischenfrüchten (Ölrettich/Senf-Mischung) auf den Ertrag nachfolgender Zuckerrüben untersucht. Die Effekte der Zwischenfrüchte waren dabei in Abhängigkeit vom Standort ganz unterschiedlich (Abb. 27). Auf Sandboden zeigten sich deutlich positive Zwischenfrucht-Effekte bei den nachfolgenden Zuckerrüben. Der N-Vorteil lag rechnerisch bei 49 kg N/ha nach ungedüngter und 118 kg N/ha nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht. Ein um 20 % reduzierter N-Düngebedarf könnte vollständig kompensiert werden. Aus der Differenz der N-Vorteile geht zudem hervor, dass die Düngung von 60 kg N/ha zu den Zwischenfrüchten angerechnet werden könnte. Hierbei ist jedoch das leider nur recht geringe Bestimmtheitsmaß (ZR unged. $R^2 = 0,1942$; ZF ged. $R^2 = 0,1275$; Stroh $R^2 = 0,3554$) der Regressionskurven, wie auch die generell sehr flachen Kurvenverläufe zu berücksichtigen. Dadurch ist keine präzise Bestimmung des N-Vorteils möglich. Auf dem Lehmboden zeigten sich keine Zwischenfrucht-Effekte bei den nachfolgenden Zuckerrüben.

Tab. 30: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil von Strohmulch, ungedüngt und gedüngter Zwischenfrucht

		Hamerstorf		
		Strohmulch	Zwischenfrüchte ungedüngt	Zwischenfrüchte mineralisch gedüngt
Bedarfwert korrigiert	[kg N/ha]	160	160	160
N_{min}	[kg N/ha]	20* ¹	20* ¹	20* ¹
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	20	20
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	140	120	120
20% Abzug	[kg N/ha]	28	24	24
max. Düngemenge	[kg N/ha]	112	96	96
N-Aufnahme Zwischenfrüchte	[kg N/ha]		20	33
Erlös bei N-Düngebedarf	[€/ha]	2633	2699	2768
erlösgleiches N-Angebot	[kg N/ha]		111	42
N-Vorteil	[kg N/ha]		49	118

*¹ Mittelwerte der N_{min} -Werte in den Versuchen

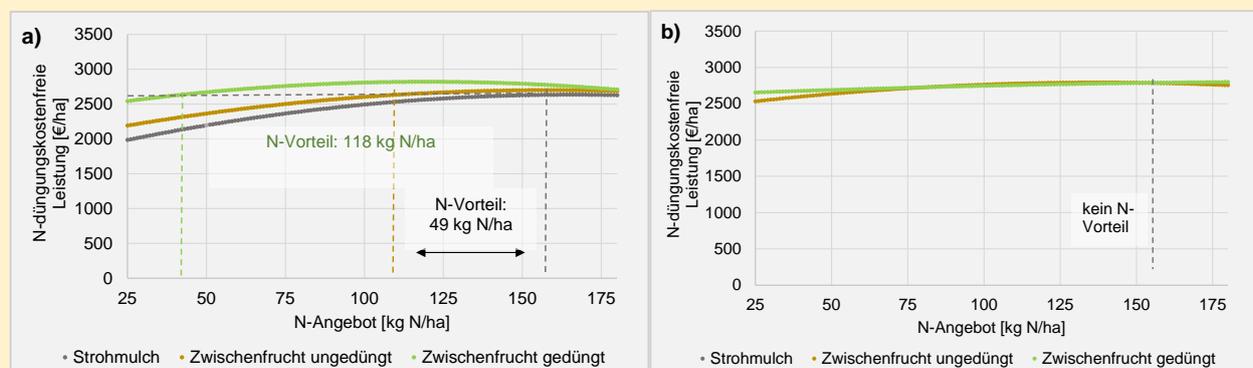


Abb. 25: N-düngungskostenfreie Leistung von Zuckerrüben in Abhängigkeit vom N-Angebot nach ungedüngten und mineralisch gedüngten Zwischenfrüchten sowie Strohmulch an den Standorten Hamerstorf (a) und Höckelheim (b), Jahre 2018 – 2021, je n=3.

Wenn der N-Transfer zwischen den Fruchtfolgefeldern über den Einsatz von Zwischenfrüchten erfolgt, muss auch darauf geachtet werden, dass der Stickstoff der Folgekultur rechtzeitig zum Zeitpunkt des hohen Bedarfs zur Verfügung steht. Nur so kann der Stickstoff effizient genutzt werden. Bei Zuckerrüben sollte der Stickstoff daher zur Jugendentwicklung im Mai zur Verfügung stehen, bei Mais ab

Juni. In Wintern ohne ausreichend Fröste ist bei Ölrettich-Beständen ein Abschlegeln bzw. ein früher Umbruch sinnvoll, in roten Gebieten sollte dafür der frühestmögliche Zeitpunkt nach dem 15. Januar gewählt werden (Abb. 26), denn insbesondere der Ölrettich friert in milden Wintern nicht zuverlässig ab und bereitet dann Probleme bei der Bestellung der Sommerung.

Ausblick: N-Vorteil frühzeitiger Umbruch

In Koldingen (Lehmboden) wurde in den Jahren 2020 und 2021 ein Zwischenfrucht-Umbruchversuch mit einer Ölrettich-Senf-Mischung und verschiedenen Umbruchterminen angelegt. Hier zeigte sich hauptsächlich im Jahr 2020, dass der März- N_{min} -Wert nach dem Umbruch im Februar im Vergleich zum späten Umbruch schon deutlich angestiegen war. Beim späten Umbruch müssen laut DüV noch 20 kg N/ha für die nicht abgestorbene Zwischenfrucht abgezogen werden. Insgesamt weist die Erlöskurve nach Umbruch im Winter einen N-effizienteren Verlauf auf. Der N-Vorteil des früheren Umbruchs gegenüber dem zur Rübenaussaat lag bei 27 kg N/ha und würde eine Reduktion des Düngedarfs um 20 % kompensieren.

Hinweis: Die Versuche wurden auf nicht auswaschungsgefährdeten Standorten durchgeführt und sind nicht ohne Weiteres auf auswaschungsgefährdete Standorte übertragbar.

Tab. 31: Düngedarfsermittlung und N-Vorteil verschiedener Umbruchtermine

		Umbruch Rübenaussaat	Umbruch Winter
Bedarfwert korrigiert	[kg N/ha]	160	160
N_{min}	[kg N/ha]	31*1	54*1
Vorfrucht	[kg N/ha]	20	0
N-Düngedarf	[kg N/ha]	109	106
20% Abzug	[kg N/ha]	22	21
max. Düngemenge	[kg N/ha]	87	85
Erlös bei N-Düngedarf	[€/ha]	2686	2713
erlösgleiches N-Angebot	[kg N/ha]		133
N-Vorteil	[kg N/ha]		27

*1 Mittlere N_{min} -Werte in den Versuchen

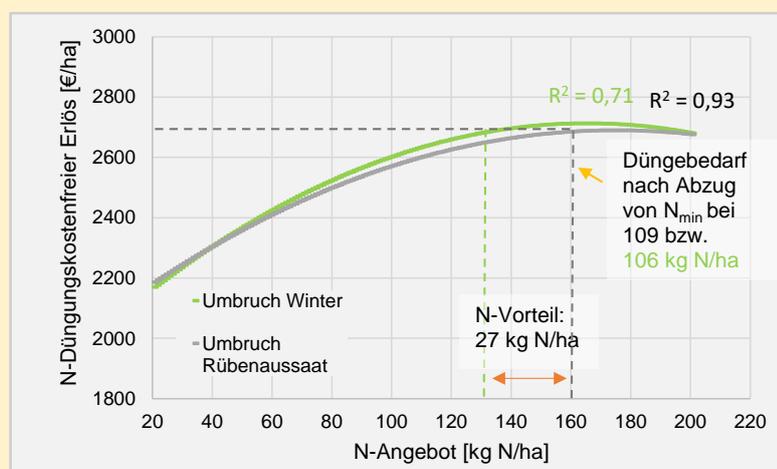


Abb. 26: N-düngungskostenfreie Leistung von Zuckerrüben in Abhängigkeit vom N-Angebot nach Umbruch der Zwischenfrucht im Februar und zur Rübenaussaat, Standort Koldingen, Jahre 2020 und 2021, n=2.

Anpassungsstrategien

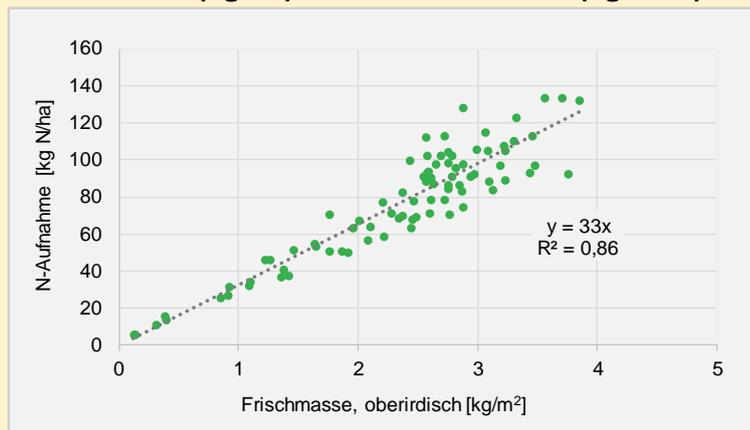
Werden Leguminosen als Winterzwischenfrüchte eingesetzt, ist ein Abschlegeln und Umbrechen in der Regel nicht erforderlich, da sie recht zuverlässig abfrieren. Ihr enges C/N-

Verhältnis sorgt zudem für eine zügige Mineralisation und Pflanzenverfügbarkeit des gebundenen Stickstoffs.

N-Aufnahme von Ölrettich/(Senf)-Beständen abschätzen

Da die N-Gehalte herkömmlicher Ölrettich/(Senf)-Bestände zum Vegetationsende recht konstant sind, kann deren N-Aufnahme auch in der Praxis einfach und relativ sicher mit Hilfe der „Frischmasse-Methode“ oder noch einfacher anhand der Wuchshöhe geschätzt werden:

Frischmasse (kg/m²) x 33 = N-Aufnahme (kg N/ha)



Für diesen Schätzrahmen muss lediglich mehrfach die Frischmasse eines Bestandes auf einer Fläche von 1 m² zum Vegetationsende (Ende Nov., Anfang Dez.) erfasst werden. 1 kg/ha Frischmasse entspricht dabei einer N-Aufnahme von 33 kg N/ha.

Abb. 27: Beziehung zwischen der oberirdischen Frischmasse von Ölrettich/(Senf)-Beständen und deren N-Aufnahme zu Vegetationsende, Projekt THG-ZWIFRU, Standorte Wehnen, Obershagen (beide 2018 – 2020), Ihinger Hof, Hevensen, Hohenschulen (alle 2018)

Noch einfacher - aber nicht ganz so zuverlässig (geringere Datengrundlage und Korrelation) - ist die Schätzung der N-Aufnahme mit Hilfe der Wuchshöhe des Bestandes:

1 cm Wuchshöhe = 1 kg/ha N-Aufnahme

Dafür ist die Wuchshöhe zum Vegetationsende heranzuziehen. Diese Schätzwerte gelten nur für herkömmliche Ölrettich- bzw. Ölrettich/Senf-Bestände. Die Daten wurden in Wehnen und Obershagen von 2018 – 2020 erhoben.

Kurz & knapp:

- N-Aufnahme der Zwischenfrüchte abschätzen
- Management der Zwischenfrucht an Folgefrucht und Standort ausrichten
- N-Transfer zur Folgefrucht steuern

Beisaaten im Raps

Können Beisaaten im Raps in Form von Leguminosen zur Reduzierung des N-Düngeaufwandes beitragen? Ansätze wie diese sind noch nicht intensiv untersucht, es gibt nur wenige Erfahrungen und noch keine Empfehlungen. Bei der LWK laufen derzeit entsprechende Versuche. In der Praxis bewährt haben sich Kleearten wie der Bockshorn- oder Alexandrinerklee sowie Ackerbohnen und Linsen als Beisaaten im Raps (Abb. 25). Unter guten Bedingungen können diese bis zu 30 kg N/ha fixieren (Döring 2018). Dieser Stickstoff wird nach dem Abfrieren der Leguminosen im folgenden Frühjahr für den Raps nutzbar. Bei der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme müssen die relativ hohen Saatgutkosten der Leguminosen berücksichtigt werden. Beisaaten können sich zudem positiv auf die Unkrautunterdrückung auswirken und zur Vergrämung bzw. Ablenkung von Schädlingen beitragen (GKB, 2018; Epperlein, J., Schmidt, A., 2019).



Abb. 28: Ackerbohne als Beisaat im Raps (Aufnahme im Herbst 2021, J. Schaper)

Mais-Mischanbau:

Hinsichtlich ihres Potenzials als Mischungspartner im Mais wurden auch Leguminosen untersucht. In Versuchen der LWK am Standort Stapel wurden Ackerbohnen, Weiße Lupine, Blaue Lupine, Erbse, Sonnenblume und Sorghum-Hirse auf ihre Eignung als Mischungspartner getestet. In diesen Versuchen konnte nur die spätblühende Stangenbohne als Mischungspartner ertraglich zu Mais in Reinkultur mithalten. Die übrigen Leguminosen führten zu signifikanten Mindererträgen. Zu beachten ist hierbei, dass die Leguminosen erst bei N-Mangel beginnen, Stickstoff zu fixieren. Bei bedarfsgerechter N-Versorgung des Mais bedienen sie sich aus dem Bodenvorrat. Zur Optimierung des Mais-Mischanbaus wird weiter geforscht.

Feldberegnung

Wassermangel führt bei Pflanzen neben einer eingeschränkten Nährstoffaufnahme auch zu einer geringeren Fotosyntheseleistung. Durch Wassermangel wird die Ausnutzung der gedüngten Nährstoffe negativ beeinflusst, das Wachstum vermindert und der Ertrag reduziert. Länger anhaltende oder häufig auftretende Trockenperioden während der Vegetationszeit können somit die Ursache für eine schlechte Effizienz der gedüngten Nährstoffe sein. Vor allem auf Standorten mit geringer Kapazität zur Wasserspeicherung (Sandböden), auf denen zusätzlich die Niederschläge in Höhe und Verteilung nicht für den Wasserbedarf der angebauten Kulturen ausreichen, ist das Risiko für eine reduzierte Nährstoff-Effizienz durch Wassermangel besonders hoch. Damit einher geht auch ein erhöhtes Risiko für Verlagerungsverluste von nicht aufgenommenen Nährstoffen z. B. nach einer schlechten Ernte. Mithilfe der Bewässerung hat der Landwirt die Möglichkeit, die Wasserversorgung der Pflanzen sicherzustellen.

Langjährige Feldversuche der LWK in Hamestorf (Abb. 30) belegen, dass größere Ertragszuwächse durch Bewässerung insbesondere bei Weizen, Wintergerste, Sommerbraugerste und Kartoffeln zu erwarten sind, während Zuckerrüben und Mais in den Versuchen weniger stark reagierten. Die höheren Erträge durch Beregnung hatten auch entsprechend höhere N-Entzüge zur Folge. Bei allen Kulturen konnten die Erträge durch Bewässerung auf einem hohen Niveau stabilisiert werden, was in Trockenjahren besonders entscheidend ist.

Die sicherere Düngewirksamkeit durch Bewässerung erhöht die Ertragsstabilität. Der ertragsrelevante Unsicherheitsfaktor „Wetter“ in Form von Niederschlagshöhe und -verteilung wird durch die Sicherung der Wasserzufuhr minimiert. Die Ertragserwartung wird mit höherer Wahrscheinlichkeit erfüllt und die gedüngten Nährstoffe besser genutzt. Die N-Salden können durch Beregnung reduziert und die N-Effizienz gesteigert werden.

Aufgrund der behördlich genehmigten Wasserentnahmemengen können nicht alle Kulturen „optimal“ nach ihrem Wasserbedarf bewässert werden. Das Wasser muss vorrangig auf die Kulturen verteilt werden, die die höchste Wirtschaftlichkeit aufweisen. Der Landwirt muss daher in Abhängigkeit von der angebauten Kultur, den jeweiligen Marktpreisen und der Witterung entscheiden, nach welcher Strategie er die unterschiedlichen Kulturen beregnet. Bei den Ackerfrüchten haben die Kartoffeln immer eine deutlich höhere Beregnungswürdigkeit als die Getreidearten. Beim Getreide ist die Braugerste die beregnungswürdigste Kultur, weil hier die Erreichung der vorgegebenen Qualitäten entscheidend für die Vermarktung. Für Futtergerste weist die Beregnung dagegen eine relativ geringe Wirtschaftlichkeit auf.

Für eine Investitionsentscheidung in die Bewässerung muss zuerst die Wirtschaftlichkeit für die gesamte Fruchtfolge ermittelt werden. Entscheidend ist, mit welchen Mehrerträgen bzw. welcher Ertragssicherheit in Abhängigkeit vom Standort (Boden, Klima) für die geplanten Kulturen gerechnet werden kann und wie hoch die Beregnungskosten sind.

Einfluss der Beregnung auf die N-Bilanzen

In Beregnungsversuchen der LWK am Standort Hamerstorf (lehmgiger Sand, 33 BP) von 2006 bis 2021 konnten durch Beregnung im Durchschnitt aller Versuchsjahre bei allen langjährig geprüften Kulturen (Winterweizen, Wintergerste, Silomais, Kartoffeln und Zuckerrübe) deutliche Ertragszuwächse von 18 % für Silomais bis hin zu 41 % für Winterweizen erzielt werden. Die N-Abfuhr erhöhte sich dadurch im Mittel um etwa 36 kg/ha, was eine Verbesserung der N-Effizienz gegenüber den unbewässerten Varianten bedeutet (Abb. 29).

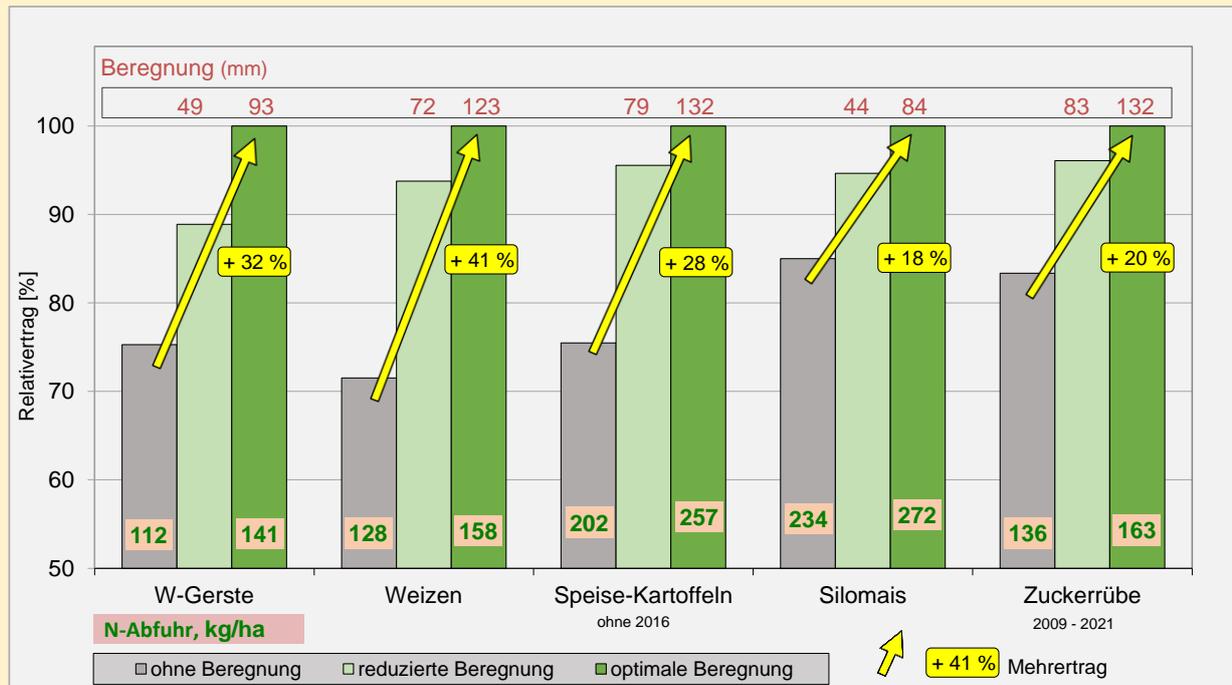


Abb. 29: Mittlere Erträge und N-Abfuhr verschiedener Kulturen mit und ohne Beregnung, Standort Hamerstorf, Mittel der Jahre 2006 – 2021.

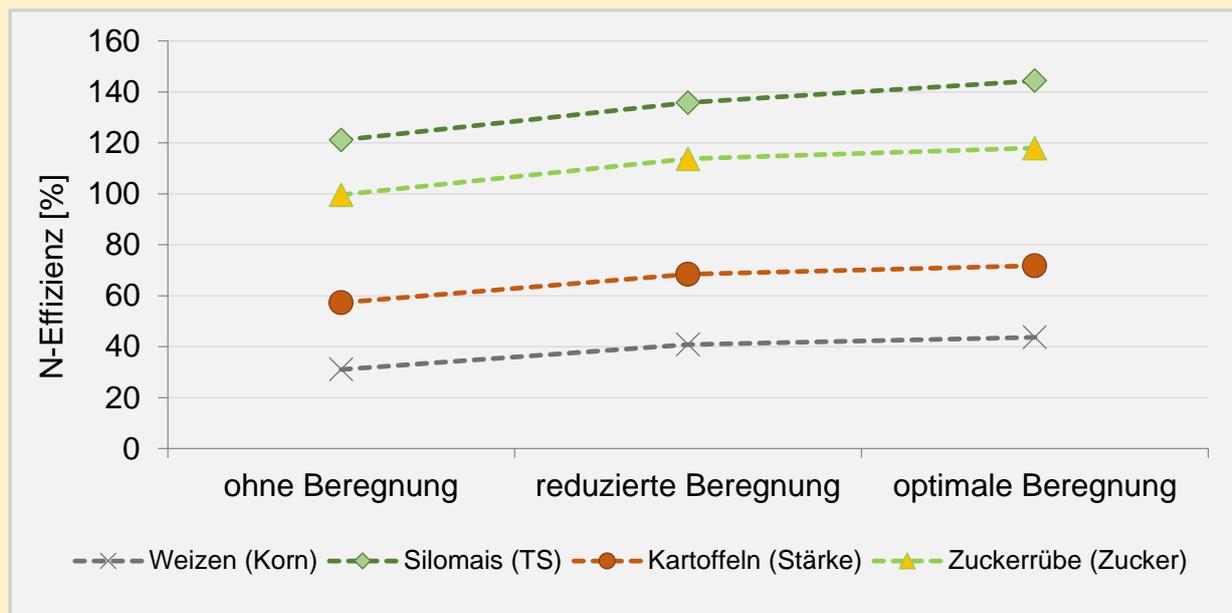


Abb. 30: N-Effizienz unterschiedlicher Kulturen mit und ohne Beregnung bei Düngung nach Bedarfswert, N-Gehalte bei Hackfrüchten Faustzahlen, Standort Hamerstorf, Mittel der Jahre 2006 – 2021.

Anpassungsstrategien

In Bezug auf die N-Düngung ist zu beachten, dass sich sowohl die Effizienz des Zusatzwassers als auch die Wirtschaftlichkeit der Beregnung mit einer Reduzierung der N-Düngermenge unterhalb der Bedarfswerte verringert.

Für Beregnungsbetriebe ist der Beregnungseinsatz dennoch in den meisten Fällen sinnvoll, um das begrenzte Stickstoffangebot besser zu nutzen und Ertragseinbrüche durch Trockenheit zu verhindern.

Beregnung: N-Vorteil am Beispiel Sommergerste

Sommergerste wird auf Sandböden überwiegend als Braugerste mit Beregnung angebaut, da die geforderten Qualitäten sonst oft nicht erreicht werden. Die unberegnete Variante ist daher dort nicht praxisüblich, dient aber zur Bewertung der Beregnungsmaßnahmen. Durch Beregnung ergibt sich bei diesen Annahmen (Abb. 31) ein N-Vorteil von 58 kg N/ha gegenüber der unberegneten Variante. Dieser reicht aus, um die -20 % zu kompensieren. Bei den Auswertungen wurde berücksichtigt, dass in Abhängigkeit von der Beregnung mit unterschiedlichen Ertragsniveaus zu rechnen ist, denen wiederum verschiedene Bedarfswerte zugrunde liegen. Auch wenn der Düngbedarf bei Braugerste um 20 % reduziert werden muss, lohnt sich eine Beregnung bei diesen Annahmen.

Tab. 32: Düngbedarfsermittlung und N-Vorteil von Sommergerste mit und ohne Beregnung

		Sommergerste	
		unberegnnet	beregnnet (67 mm)
N-Bedarfswert	[kg N/ha]	140	140
Basisertrag	[dt/ha]	50	50
Ertragsniveau Betrieb	[dt/ha]	50	70
Bedarfswert korrigiert	[kg N/ha]	140	160
N _{min}	[kg N/ha]	25	25
Vorfrucht	[kg N/ha]	0	0
N-Düngebedarf	[kg N/ha]	115	135
20% Abzug	[kg N/ha]	23	27
max. Düngemenge	[kg N/ha]	92	108
Erlös bei N-Düngebedarf	[€/ha]	958	1186
erlösgleiches N-Angebot	[kg N/ha]		82
N-Vorteil	[kg N/ha]		58

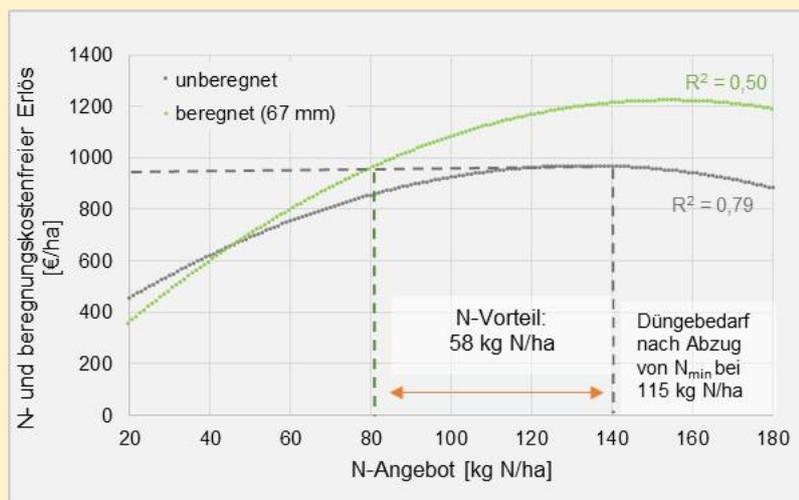


Abb. 31: N- und beregnungskostenfreier Erlös von Sommergerste in Abhängigkeit vom N-Angebot mit und ohne Beregnung, Standort Hamerstorf, Jahre 2015 – 2019, Annahmen: Braugerste 20 €/dt, N-Kosten 1 €/kg N, variable Beregnungskosten 2,50 €/mm, n=5

Kurz & knapp:

- Bewässerung erhöht Ertragsstabilität
- Verbesserung von Nährstoffausnutzung und Sickerwasserqualität
- Grundsätzlich Wirtschaftlichkeit prüfen

Ansätze aus der Landtechnik

Ansätze aus der Landtechnik werden politisch und gesellschaftlich häufig als wichtiger Aspekt zur Problemlösung genannt. An dieser Stelle ist ausdrücklich hervorzuheben, dass dieser Ansatz mit Sicherheit eine der Stell-schrauben zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz ist, die anderen hier genannten pflanzenbaulichen Faktoren aber ebenso zu beachten sind.

Neben der klassischen Drillsaat ist die Einzelkornsaat (EKS) das Saatverfahren, das bei Feldkulturen eingesetzt wird, deren Ertrag von einer gleichmäßigen Standraumverteilung auf einer Ackerfläche besonders profitiert. Bei klassischen Reihenkulturen wie Zuckerrüben und Mais ist dieses Saatverfahren lange etabliert.

Seit einigen Jahren gibt es Untersuchungen, die Vorteile der Einzelkornsaat auch bei Winterraps und Getreide mit dem Ziel einer gleichmäßigen Bestandsetablierung zu nutzen. Eine optimale Standraumverteilung fördert z. B. im Getreide einen gleichmäßigen Feldaufgang, die Ausbildung eines tiefreichenden Wurzelsystems und eine gleichmäßige Bestockung. Bei Winterraps wird zudem eine bessere Verzweigung gefördert. Vor allem unter Stressbedingungen kann so die Ertragssicherheit erhöht werden. Dies wird maßgeblich von Standort- und Jahreseffekten beeinflusst. Durch die gleichmäßigere Verteilung der Rapspflanzen ist auch die Einsparung von Saatgut möglich. Der verbesserte Wurzeltiefgang (Abb. 32) fördert eine optimale Einzelpflanzenentwicklung. Die Pflanzen profitieren dabei schon in der Jugendentwicklung von einer besseren Erschließung der Nährstoffe und

sind resilienter gegenüber Trockenheitsereignissen. Gerade bei reduzierter (N-)Düngung lassen sich daraus Vorteile für das Pflanzenwachstum ziehen.

In einem Versuch mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Saatverfahren wurde der Wurzeltiefgang von Rapspflanzen zum Eintritt in die Winterruhe gemessen. Der Wurzeltiefgang der **Rapswurzeln** bei der EKS betrug zu diesem Zeitpunkt 77 cm, in der Drillsaat nur 33 – 46 cm (Abb. 32, Bischoff et al.; 2007).

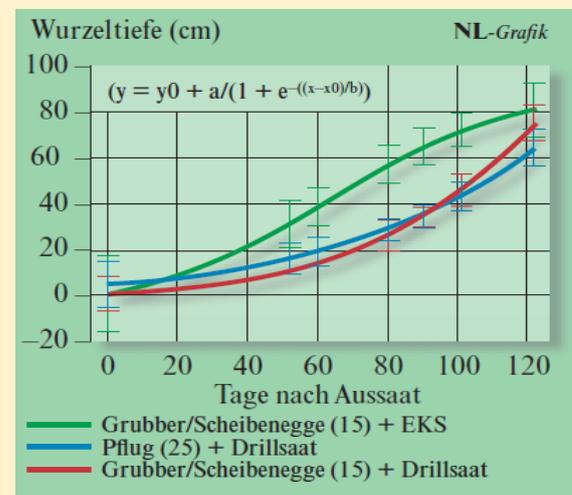


Abb. 32: Durchwurzelungstiefe von Winterraps (restaurierte Hybride mit dem MSLSystem, Bischoff et al. 2007)

Ein weiterer Vorteil dieses Saatverfahrens beim Winterraps ist die mögliche Kombination mit einer Unterfußdüngung, sofern eine Düngung im Herbst erfolgen soll/darf. Durch die platzierte Düngung „unter Fuß“, direkt neben der Saatreihe oder auch „Unterflur“ in Kombination mit Strip Till, wird die Nährstoffkonzentration unmittelbar neben der jungen Pflanze erhöht und sie wird gezielt versorgt. Mit der Unterfuß-Düngung kann gegenüber der flächendeckenden N-Düngung Stickstoff eingespart und somit eine höhere N-Effizienz erreicht werden.

Grundsätzlich ist die Notwendigkeit bzw. die notwendige Höhe einer Herbstdüngung in

Raps unter der Voraussetzung der Anrechenbarkeit auf die Frühjahrsdüngung kritisch zu prüfen.

Einzelkornsaat bei Raps

In den Jahren 2002 – 2009 wurden von der LLFG Bernburg am trockenen Löß-Standort Bernburg-Strenzfeld Feldversuche zum Einfluss von Bodenbearbeitung und Sätechnik auf den Ertrag von Winterraps durchgeführt. Hier erzielte die Einzelkornsaat gegenüber der Drillsaat gesicherte Mehrerträge von 7 dt/ha im Mittel der Jahre und Behandlungen. Zwischen Pflug- und Mulchsaat gab es keine signifikanten Unterschiede (Bischoff 2013). Der mit Standard-N-Gehalten ermittelte N-Entzug mit dem Erntegut lag bei Einzelkornsaat im Durchschnitt um 23 kg N/ha höher als bei Drillsaat. Die Einzelkornsaat hatte somit bei gleicher betriebsüblicher Düngung zur Steigerung der N-Effizienz beigetragen.

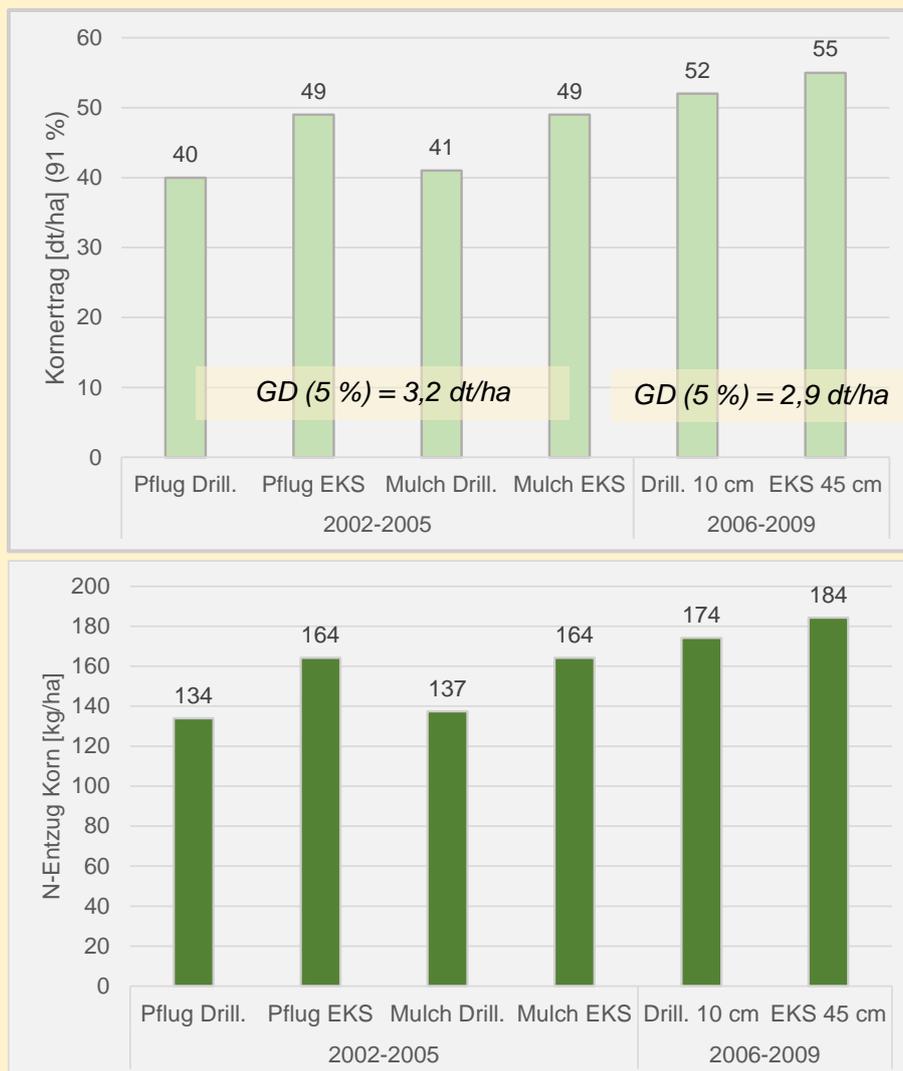


Abb. 33: Einfluss von Saattechnik (EKS und Drillsaat) und Bodenbearbeitung auf den Ertrag und den N-Entzug mit dem Erntegut (mit 3,35 kg N/dt Erntegut berechnet) von Winterraps, Standort Bernburg-Strenzfeld (trockener Löß), Saatzeit 20. – 25. August, Saatstärke 40 Körner/m² (Bischoff 2013, verändert)

Auch im Getreide wird vermehrt diskutiert, ob die Einzelkornsaat das Pflanzenwachstum und die N-Effizienz optimieren kann. Höhere

Erträge führen dabei meist auch zu höheren N-Entzügen, einem geringeren N-Saldo und

somit zu einer höheren N-Effizienz. In Versuchen von v. d. Ohe et al., 2016, mit Winterroggen und -weizen wurden bei Einzelkornsaat (MiniAir-Nova von Kverneland mit 12 cm Reihenabstand) im Vergleich zur Drillsaat höhere Erträge und N-Aufnahmen erzielt (Abb. 34).

Die Voraussetzung ist immer, dass die Technik einwandfrei funktioniert und ggf. weitere Aspekte des Systems, beispielsweise das Hacken in weiteren Reihen der Einzelkornsaat, integriert mit genutzt werden.

Ausblick: Einzelkornsaat im Getreide

In den Jahren 2013 – 2015 wurden in Borwede und Königslutter Versuche in Winterroggen und –weizen zum Vergleich der Saattechniken und Aussaatstärken angelegt (v. d. Ohe et al. 2016, Abb. 34). Dabei war die Einzelkornsaat der Drillsaat sowohl beim Weizen als auch beim Roggen im Mittel über alle Jahre und Standorte ertraglich signifikant überlegen. Da die N-Aufnahme jeweils auch durch Einzelkornsaat gesteigert wurde, lag auch die N-Effizienz höher. Beim Roggen wurde bei praxisüblicher Aussaatstärke rd. 4 % und beim Weizen rd. 3 % Mehrertrag erzielt, was an fast allen Standorten auf eine signifikant höhere Kornzahl je Ähre zurückzuführen war.

Als Drilltechnik wurde eine pneumatische Einzelkornsämaschine aus dem Gemüsebau eingesetzt, die für die Aussaat im Getreide nur zu Versuchszwecken eingesetzt wurde.

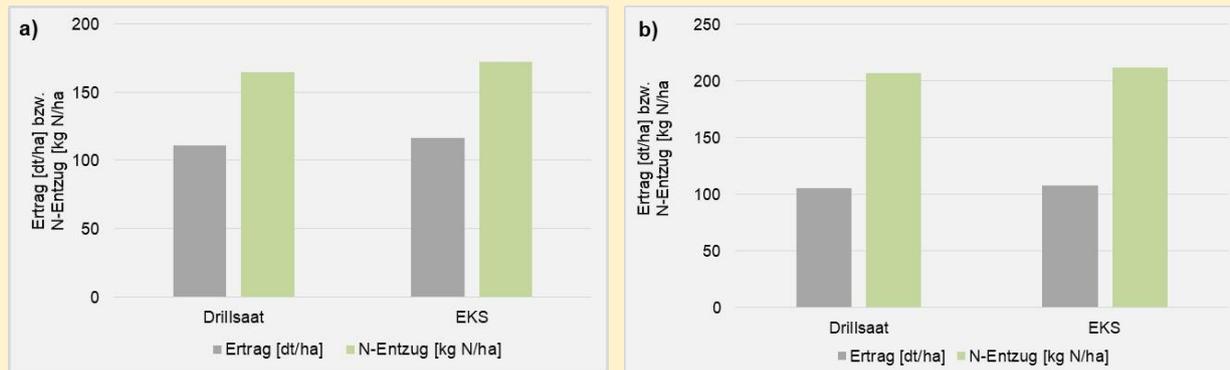


Abb. 34: Winterroggen- a) und Winterweizenerträge b) sowie N-Entzug in Abhängigkeit von der Saattechnik bei einer Aussaatstärke von 200 Körner/m², 2013-2014 bzw. 2013 - 2015, Standorte Borwede und Königslutter, EKS = Einzelkornsaat (Drillmaschine: MiniAir-Nova von Kverneland)

In ersten Versuchen zur Einzelkornsaat mit in der Praxis verfügbarer Technik im Getreide (Wintergerste und -weizen) mit unterschiedlichen Aussaatstärken wurden die Grenzen dieses Verfahrens bei unebenem Saatbett, hoher Aussaatstärke und unterschiedlicher Fraktionierung der Körner deutlich. Die Abb. 35 zeigt eine bessere Standraumverteilung der Einzelpflanzen bei Einzelkornsaat mit zunehmender Aussaatstärke. Das Ziel der Einzelkornsaat, mit geringerer Aussaatstärke gleichmäßige Bestände zu etablieren, wurde nicht erreicht. Durch die zu erwartenden technischen Fortschritte sollten in den nächsten Jahren die möglichen Potenziale besser ausgeschöpft werden können.

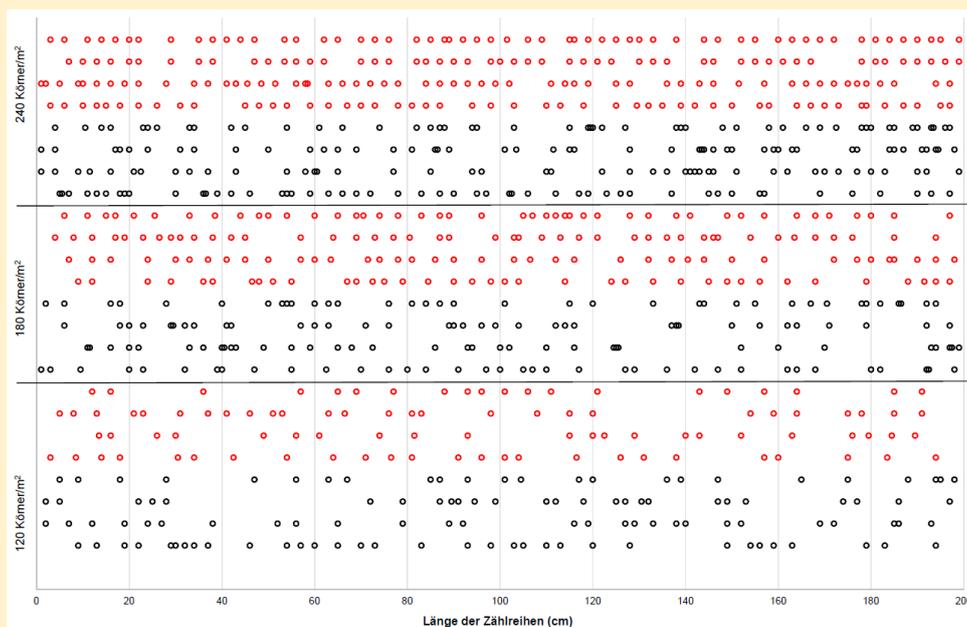


Abb. 35: Standraumverteilung der Einzelpflanzen von Wintergerste bei unterschiedlicher Aussaatstärke und Drilltechnik (EK = Einzelkornsaat (rot), DS = Drillsaat (schwarz)), Standort Poppenburg, Jahr 2018.

Kurz & knapp:

- Durch Einzelkornsaat kann die Standraumverteilung der Pflanzen verbessert werden
- Nährstoffausnutzung steigt vor allem beim Raps im Herbst durch tieferen Wurzelgang
- Einsparung der Herbstdüngung bei EKS und optimaler Bodenstruktur ohne Verdichtungen möglich
- bei Getreide (Roggen und Weizen) Mehrerträge zwischen 3 bis 4 dt/ha, somit höhere N-Entzüge bei gleicher N-Zufuhr wie in der Drillsaat
- neue Erkenntnisse zum Winterraps derzeit in Prüfung

Bodenbearbeitung

Die N-Effekte einer Pflugfurche vor der Aussaat im Vergleich zur Mulchsaat sollten immer in Abhängigkeit der Witterung bezogen auf den Bodenwasserhaushalt und die Bodenart betrachtet werden. Eine Pflugfurche kann einen kleinen Mineralisationsschub von 10 – 15 kg N/ha direkt nach der Bearbeitung im Vergleich zur Mulchsaat liefern, was Nmin-Untersuchungen der LWK zeigen. Damit kann z. B. bei Zwischenfrüchten die Jugendentwicklung gefördert werden, wenn Ihnen genug Wasser zur Verfügung steht. Eine N-effizientere Produktionsfunktion kann jedoch nicht immer belegt werden (siehe Kasten). Auch in Untersuchungen von Pahlmann & Kage (2018) in der klassischen Raps-Weizen-Gerste-Fruchtfolge war der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die N-Bilanz vergleichsweise gering.

Die Wahl der Grundbodenbearbeitung (Pflug, Grubber) hat insgesamt nur einen geringen Einfluss auf die N-Effizienz einer Kultur. Neben N-Effekten können aber auch andere Effekte, die über die N-Wirkung hinausgehen

N-Effekte von intensiver Bodenbearbeitung und Strohmanagement

In Onfarm-Versuchsanlagen 2010 und 2011 mit Zwischenfrüchten an vier Standorten wurden der Einfluss von Bodenbearbeitung und Strohabfuhr auf das Wachstum von Zwischenfrüchten untersucht. An allen Standorten stand Winterweizen als Vorfrucht und es wurde nicht langjährig organisch gedüngt. Die Pflugfurche zur Zwischenfruchtaussaat erwies sich dort als vorteilhaft zur Unterstützung der Jugendentwicklung. Sie brachte jedoch bis zum Vegetationsende letztendlich keine einheitlich gesteigerten N-Aufnahmen der Zwischenfrüchte, sodass die Pflugfurche nicht zur Steigerung der N-Effizienz beigetragen hat.

In mehrjährigen Bodenbearbeitungsversuchen mit Winterweizen auf Lehmboden am Standort Poppenburg konnte durch eine Pflugfurche zur Aussaat im Mittel der Jahre ein N-Vorteil von rund 34 kg N/ha gegenüber einer Mulchsaat erzielt werden. Dieser würde die -20 % in roten Gebieten nicht ganz kompensieren. In zweijährigen entsprechenden Rapsversuchen (2006, 2009) in Poppenburg führte die Pflugfurche nicht zu Ertragssteigerungen. In Untersuchungen der CAU Kiel hingegen brachte eine intensive Bodenbearbeitung mit Pflugfurche zu jeder Hauptkultur (Raps - Weizen – Gerste – Fruchtfolge) eine N-ineffizientere Produktionsfunktion gegenüber der gleichen pfluglosen Fruchtfolge. Die Ergebnisse sind standortabhängig und können somit nicht unmittelbar auf andere Standorte übertragen werden.

wie z. B. eine schnellere Bodenerwärmung, zu einer besseren Jugendentwicklung insbesondere bei Winterraps und Zwischenfrüchten führen. Letztlich hängt die Wahl der Bodenbearbeitung neben der Kultur und anderen Faktoren auch maßgeblich vom Standort und der Betriebsausrichtung ab. Auf erosionsgefährdeten Standorten ist der Grubber dem Pflug generell vorzuziehen.

Grundnährstoffversorgung und Bodenzustand optimieren

Standorte mit einer hohen Bodenfruchtbarkeit gewährleisten eine optimale Nährstoffspeicherung und -verfügbarkeit und sichern damit

die Nährstoffeffizienz über die Aufnahme durch die Pflanze. Eine unzureichende Grundnährstoffversorgung (Bsp.: Liebig'sche Tonne), standortuntypische pH-Werte, schlechte Humusversorgung, Bodenverdichtungen durch Vernässung oder falsche Bodenbearbeitung vermindern maßgeblich die Nährstoffeffizienz. Neben den Grundnährstoffen gibt es weitere Nährstoffe und Parameter, die bei der optimalen Bewirtschaftung der Flächen von Bedeutung sind.

Einfluss der P-K-Düngung auf Ertrag und N-Bedarf

In einem 10-jährigen Dauerdüngungsversuch der LUFA Nord-West von 1984 – 1993 auf einer Braunerde (LK Osnabrück, Gehaltsklasse C für Phosphor und B für Kalium) mit einer Fruchtfolge aus Wintergerste, Winterraps und Hafer wurde die Versuchsfrage untersucht, inwieweit sich der Ertrag und der N-Bedarf ändern, wenn P und K dem Boden nicht zugeführt werden (Abb. 36). Es wurde eine Variante mit Düngung nach Düngeempfehlung und eine Variante ohne PK-Düngung untersucht. Die Variante mit ausgeglichener PK-Düngung ist aufgrund des höheren Ertrages immer N-effizienter. In dem hier gezeigten 5-Jahres-Abschnitt liegt der N-Bedarf zum wirtschaftlichen Optimal-Ertrag bei 119 kg N/ha mit PK-Düngung bzw. 136 kg N/ha ohne PK-Düngung (VDLUFA 2005, verändert). Das N_{opt} verringert sich somit um 17 kg N/ha.

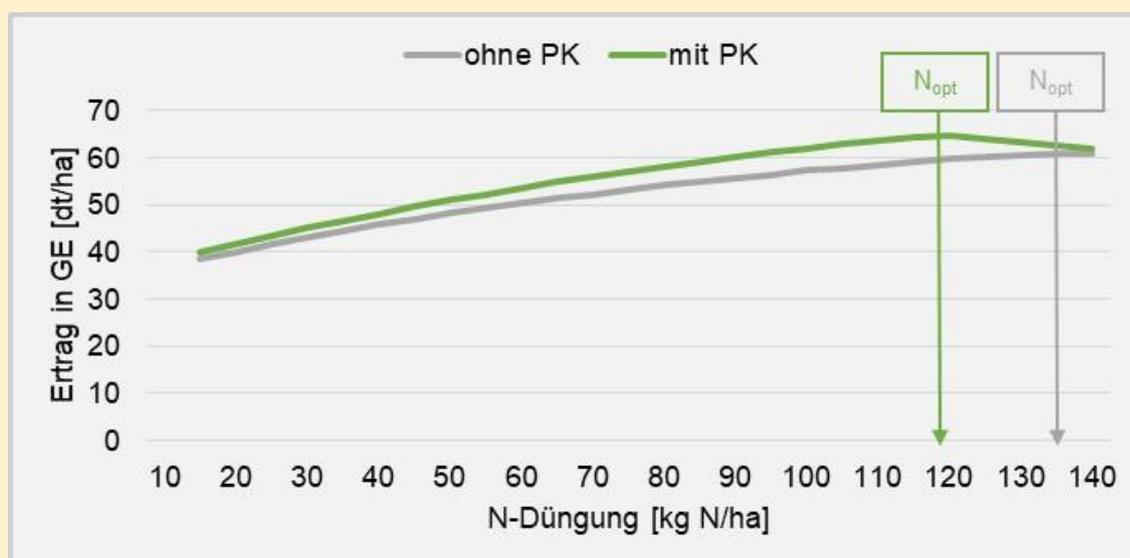


Abb. 36: Ertragswirkung und N-Bedarf in einem 5-Jahres-Abschnitt eines 10jährigen Dauerdüngungsversuch (Fruchtfolge GW-RAW-HA; GE = Getreideeinheiten) mit und ohne PK-Düngung (VDLUFA 2005, verändert)

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung

Die N-Effizienz ackerbaulicher Anbausysteme kann durch eine teilflächenspezifische N-Düngung gesteigert werden, ohne Produktivitätseinbußen zu verursachen (Pahlmann et al., 2017). Dabei kann die Menge an eingesetztem N-Dünger reduziert und das wirtschaftliche Ergebnis zugleich verbessert werden (Saikai et al., 2020). Die teilflächenspezifische Düngung kann insofern ein wichtiger Baustein im Bestreben um eine nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft sein.

Es gibt verschiedene Techniken und auch Anbieter, die das Ziel der Erfassung von Heterogenität der Bestände auf dem Acker haben. Dabei sind zwei Ansätze unterscheidbar: der nah- und der fernerkundliche. In beiden Fällen wird über visuelle Indices indirekt der Chlorophyllgehalt und in einem zweiten Schritt über (Rechen-) Modelle die Biomasse abgeschätzt (Tab. 33).

Tab. 33: Übersicht von den zwei Ansätzen für die teilflächenspezifische Düngung

Teilflächenspezifische Düngung	
fernerkundlich	naherkundlich
Sensor an Satelliten oder Drohne	Sensor am Schlepper
misst auf ganzer Fläche	misst nur auf Streifen neben der Fahrgasse
aus den so gewonnen Daten werden die ermittelten Indices über Modelle in Handlungsempfehlungen umgewandelt	
Applikationskarte	online/live
Arbeit vor Applikation nötig, anschließend Düngung nach im Vorfeld auf Basis der Indices erstellter Karte	Kalibration auf der Fläche nötig; anschließend Messung der Indices während der Düngerausbringung

In einer dreijährigen On-Farm Versuchsserie im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins (Pahlmann et al. 2017) konnte mit einem an der CAU Kiel entwickelten Algorithmus die **N-Bilanz im Winterraps** um durchschnittlich rund 28 kg N/ha gegenüber einer einheitlich optimalen N-Düngung gesenkt werden. In dieser Versuchsserie wurde der naherkundliche Ansatz verfolgt.

Das Vorgehen ist an dieser Stelle vergleichbar mit dem N-Tester. Bei fernerkundlichen Systemen wird aus multispektralen Satelliten- (z. B. Sentinel 2) oder Drohnenbildern eine Karte der Biomasseverteilung auf der Fläche erstellt. Bei naherkundlichen Verfahren werden Sensoren am Traktor montiert und messen während der Düngerausbringung online die jeweiligen Indices. Unter Berücksichtigung der festgestellten Heterogenität kann die Düngerverteilung teilflächenspezifisch angepasst werden. Um zu entscheiden, welche Form der Anpassung, ob eine Egalisierung oder Differenzierung sinnvoll sind, müssen weitere Informationen hinzugezogen werden. Bodenkarten oder eigenen Erfahrungen bspw. zu möglichen Bodenschadverdichtungen oder Schattenwurf können dafür geeignet sein. Es ist nicht zielführend, schwächere Bestände mit überproportionalen Düngemengen zu versorgen, so lange andere Faktoren wie Wasserverfügbarkeit oder Krankheitsgeschehen limitierend sind.

Welche Vorteile und Einsparpotenziale genutzt werden können, hängt von der individuellen Betriebs- und Flächensituation ab.

Die Beschaffung und der laufende Betrieb der Sensoren sind mit hohen Kosten verbunden. Wenn eine Heterogenität der Bestände aufgrund von unterschiedlicher Stickstoffversorgung bei einheitlicher Düngung zu Über- und Unterversorgung führt und damit die Effizienz schmälert, kann eine teilflächenspezifische Düngung anhand von Sensordaten oder Applikationskarten ein gutes Werkzeug zur Steigerung der N-Effizienz darstellen. Darüber hinaus können durch den Einsatz teilflächenspezifischer Düngung N-Verluste um 5-10 % verringert werden (Rösch et al., 2005). Je stärker die Stickstoffdüngung limitiert wird, desto eher ist der Einsatz teilflächenspezifischer N-Düngung ökonomisch sinnvoll (Karatay et al., 2018).

Insgesamt birgt die teilflächenspezifische Düngung auf heterogenen Schlägen Potenziale zur Steigerung der N-Effizienz, sie geht aber auch mit hohem Informationsbedarf sowie technischen und pflanzenbaulichen Anforderungen einher.

Ausgestaltung der Stickstoff-Düngung

Schon bei der Ausgestaltung der Stickstoffdüngung an sich kann bei der Beachtung einzelner Aspekte die Effizienz dieser Düngung verbessert werden. Neben den Möglichkeiten der Inhibierung der Stickstoffdüngemittel bieten auch die Wahl der Stickstoffform sowie die zeitliche Staffelung der N-Gaben eine Anpassungsmöglichkeit

Hinsichtlich einer positiven Ertragswirkung wird häufig auf den Unterschied zwischen ammonium- oder nitratbasierter N-Düngung eingegangen. Nitrat ist im Vergleich zu Harnstoff

oder Ammonium aufgrund seiner hohen Mobilität im Boden schneller pflanzenverfügbar und wird in Lösung passiv aufgenommen, während Ammonium nur bei Bedarf aktiv aufgenommen wird. Die Anwendung von Stickstoff in Form von Nitratdüngern wie z. B. Kalkammonsalpeter (KAS) kann daher eine schnelle Nährstoffversorgung erzielen. Amid-N (Harnstoff) wird im Boden von Amid zu Ammonium und dann zu Nitrat umgesetzt. Die Umsetzungsgeschwindigkeit hängt stark von Temperatur und Bodenfeuchtigkeit ab. Zur Vermeidung gasförmiger N-Verluste ist eine Einarbeitung in den Boden nach erfolgter Applikation innerhalb von 4 h nach der Ausbringung erforderlich. Die Einarbeitung ist in stehende Bestände ist allerdings nicht möglich, sodass seit dem 01.02.2020 der Einsatz von Harnstoff dann nur noch mit Zusatz von Ureasehemmstoffen möglich ist.

Auch kann der frühe Einsatz mit Nitrat zu Vegetationsbeginn und zum Schossen sinnvoll sein – gerade dann, wenn aus dem Bodenvorrat noch nicht ausreichend Stickstoff mineralisiert wurde.

Eine Verwendung von stabilisierten N-Düngern, wie zum Beispiel Ammoniumdünger mit Nitrifikationshemmstoff, und eine Reduktion der einzelnen Düngergaben können unter bestimmten Bedingungen zu einer höheren Ertragssicherheit beitragen.

Nicht zuletzt sind auch die Kosten der Dünger mit in die Entscheidung einzubeziehen: Harnstoffhaltige Düngemittel sind gerechnet auf das kg N in der Regel günstiger als nitratthaltige Düngemittel.

Mit Nitrifikationsinhibitoren (NI-) stabilisierte N-Dünger können die Gefahr der Nitratauswaschung durch Starkregenereignisse reduzieren, da die Stickstoffumwandlung in ihren Formen gehemmt ist. Ihr Einsatz kann deshalb insbesondere auf leichten Standorten mit hohem Auswaschungsrisiko von Vorteil sein. Während Nitrifikationshemmer längerfristig wirken, ist die Wirkung von Ureaseinhibitoren (UI-) eher kurzfristig, wenige Stunden bis Tage nach der Ausbringung, und vor dem Einwaschen des Düngers in den Boden aktiv (Abb. 37).

Unabhängig von der ausgebrachten Stickstoffform gilt für eine hohe Wirksamkeit der ausgebrachten Nährstoffe immer die Prämisse, dass die ausgebrachten Dünger gelöst sein müssen, um zu wirken. Wichtiger als die Form ist somit ein auf den Ausbringungszeitpunkt folgender moderater Niederschlag oder starke Tauereignisse zur Lösung des Düngerkorns. Auf zur Vorsommertrockenheit neigenden Standorten kann es so beispielsweise eine erhöhte, um stabilisierte amidhaltige Düngemittel ergänzte Startgabe sein, um ein Ausbringen der folgenden Gabe bei Trockenheit zu umgehen.

Wirkungsweise stabilisierter N-Dünger:

Während der Nitrifikation werden Ammonium-Ionen von Nitrosomonas zu Nitrit-Ionen (NO_2^-) oxidiert. Dieses Nitrit wird in einem zweiten Teilschritt durch Nitrobacter zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert. Der Nitrifikationsinhibitor hemmt ein Enzym in den ammoniakoxidierenden Nitrosomonas-Bakterien, so dass die Bildung von Nitrit unterbunden wird (Abb. 37, oben). Dadurch verzögert sich die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat um einige Wochen. Somit sinkt das Risiko, dass durch beispielsweise ein Starkregenereignisse der Stickstoff im Boden verlagert wird. Zudem sinken die Denitrifikationsverluste. Der Ureaseinhibitor sorgt für eine Beeinträchtigung der Hydrolyseaktivität des Enzyms Urease im Boden (Abb. 37, unten). Demzufolge werden die Ammoniakverluste stark reduziert.

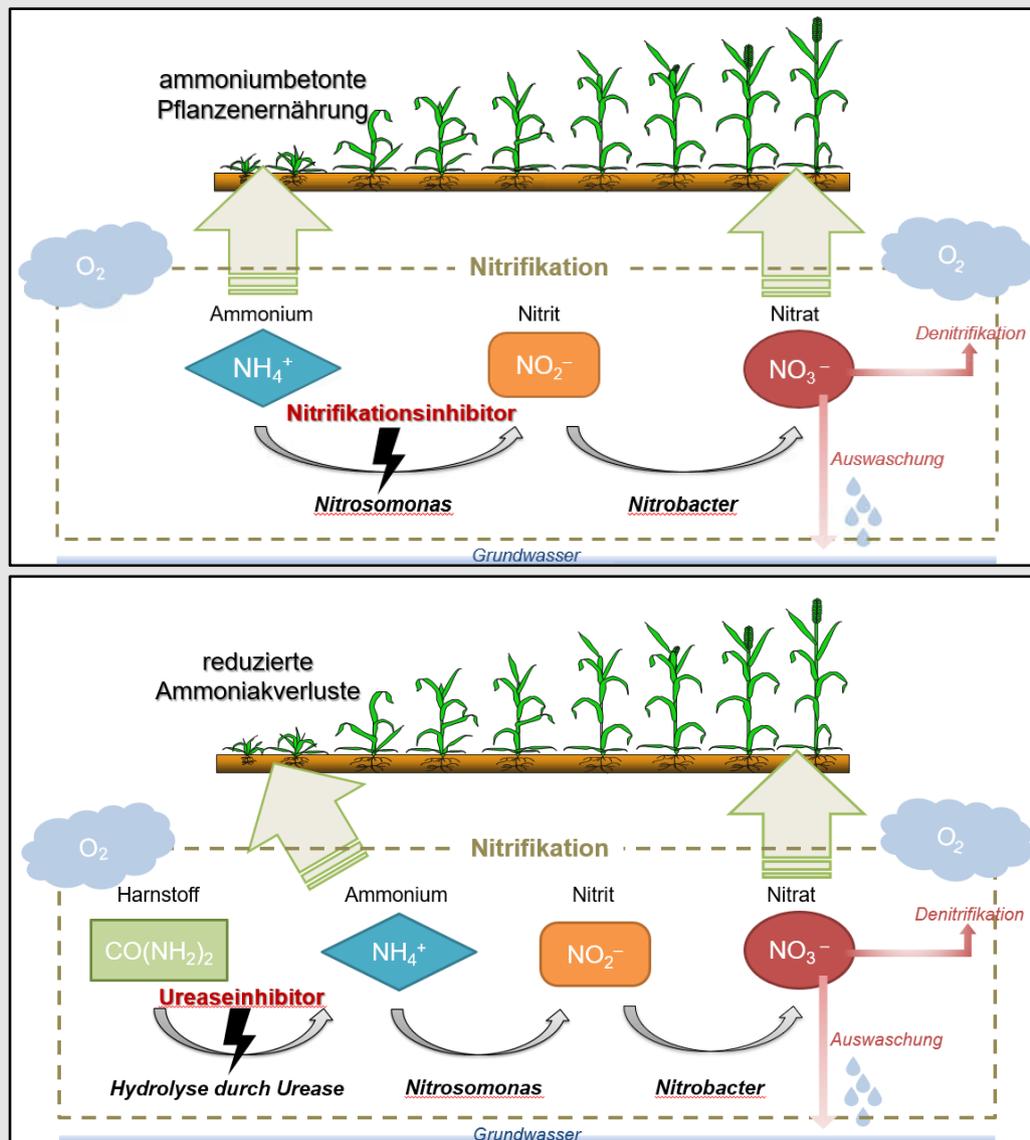


Abb. 37: Wirkungsweise stabilisierter N-Dünger, Nitrifikationsinhibitor (oben) und Ureaseinhibitor (unten)

Stabilisierte Dünger

In Düngungsversuchen mit Winterweizen wurde die Wirkung eines durch Nitrifikationshemmstoff stabilisierten Düngers untersucht (Abb. 38). Im Mittel aller Standorte und Jahre konnte mit dem Einsatz des stabilisierten Düngers ein N-Vorteil von 34 kg N/ha gegenüber herkömmlicher mineralischer Düngung mit drei und mehr Gaben erzielt werden. Hierbei ist jedoch nicht klar herauszustellen, ob es auf das Düngemittel oder die Gabenverteilung zurückzuführen ist. Die Effekte waren dabei auf Sandböden und sandigem Lehmboden größer als in der Marsch und auf schweren Lehmböden. Neben den tendenziell positiven Ertragseffekten lagen die Rohproteingehalte jedoch nur zwischen 11,3 % auf Sand- und 12,0 % auf Lehmböden und damit um 0,9 bis 0,2 % niedriger als bei herkömmlicher Düngung. Dies zeigen in der Tendenz auch mehrjährige Ergebnisse aus Sachsen und Sachsen-Anhalt. In Versuchen von Boese (2013) konnte für Lehmstandorte (Bernburg) kein Effekt eines stabilisierten gegenüber nicht stabilisierten Düngern nachgewiesen werden. Die Gabenteilung zeigte hingegen unabhängig von der gewählten Düngerform im Vergleich zur Einmalgabe einen positiven Effekt auf die Rohproteingehalte. Für leichte und trockenheitsgefährdete Standorte (Baruth, LK Bautzen) wurden durch Grunert (2019), bei generell sehr hohen Rohproteingehalten, mit dem Einsatz stabilisierter N-Dünger und optimaler Gabenteilung tendenziell bessere Erträge erzielt. Mehrkosten und eine nicht unerhebliche Schwefelzufuhr, die durch den hohen S-Gehalt von 13 % (160 kg N/ha über Entec 26 = 80 kg S/ha) zustande kommt, sind ebenfalls zu berücksichtigen. Stabilisierte Dünger spielen ihre Wirkung vor allen Dingen dann aus, wenn Witterungsereignisse ins Extreme gehen.

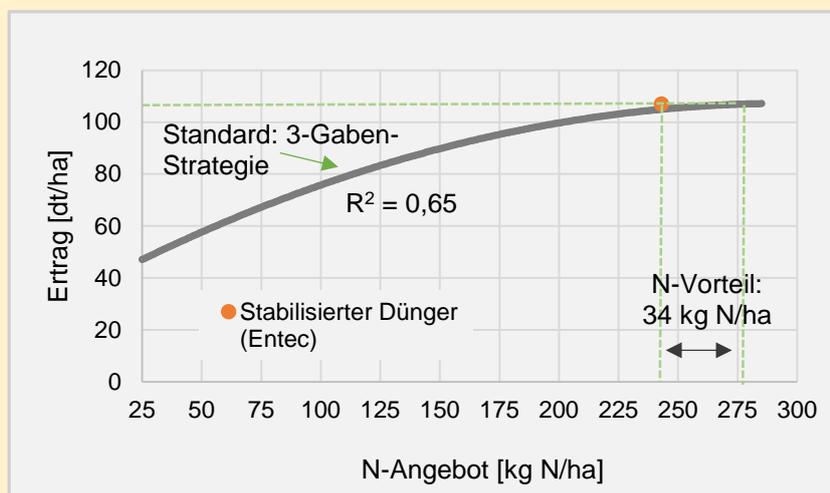


Abb. 38: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge beim Einsatz eines stabilisierten Düngers mit zwei Gaben (ENTEC 26), 8 Standorte in Niedersachsen, 2008 - 2016, n = 50

Das sogenannte **CULTAN-Verfahren** (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) stellt eine weitere Möglichkeit der Pflanzenernährung dar. Bei diesem Verfahren werden in den Boden punktuell hoch dosierte Ammoniumdepots injiziert, die stabil und somit nicht auswaschungsgefährdet sind. Über diese Depots werden die Pflanzen während der gesamten Vegetation mit ausreichend Nährstoffen versorgt. Die Pflanzen bilden Wurzelsysteme um das Depot aus. Die hohe Konzentration der Ammoniumdepots hemmt die Aktivität der Mikroorganismen, wodurch der mikrobielle Abbau des Ammoniums zu auswaschungsgefährdeterem Nitrat und die biologische N-Festlegung im Boden reduziert wird. Ebenfalls werden Verluste durch Ammoniakentgasung und Denitrifikation vermieden, was eine hohe N-Effizienz zur Folge hat.

Die Vorteile des CULTAN-Verfahrens bestehen in der Dosier- und Verteilgenauigkeit sowie der Platzierung des Nährstoffangebots an den Wurzeln, dort wo es die Pflanze nutzen kann. Zudem ist die Wirkung der CULTAN-Düngung vergleichsweise witterungsunabhängig. Bei diesem Verfahren entfällt allerdings die Möglichkeit der nachträglichen Anpassung der Düngung.

In mehrjährigen Versuchen der LWK auf Sandboden (2009-2012) konnten nur in einem Versuchsjahr signifikante Mehrerträge durch CULTAN-Düngung nachgewiesen werden. Insgesamt kann mit diesem Verfahren die Ertragsstabilität im Getreideanbau auf leichten Böden minimal erhöht werden.

CULTAN-Düngung im Winterweizen

In Exaktversuchen auf Sandboden (2009 – 2012) wurde die oberflächliche, dreigeteilte Düngung mit der Düngung nach dem CULTAN-Verfahren in Winterweizen verglichen. Positive Ertragseffekte des CULTAN-Verfahrens konnten dabei nur im Jahr 2009 gegenüber der Sollwert-Düngung und reduzierten Düngung (-15 %) festgestellt werden. Die Proteingehalte waren dabei höher als bei oberflächlicher, dreigeteilter Düngung. In den anderen Versuchsjahren konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Im Mittel der Jahre brachte die CULTAN-Düngung gegenüber der herkömmlichen Düngung aber einen N-Vorteil von 12 kg N/ha (Abb. 39). Zur Kompensation eines um 20 % reduzierten Düngedarfs reicht diese Maßnahme allein nicht aus.

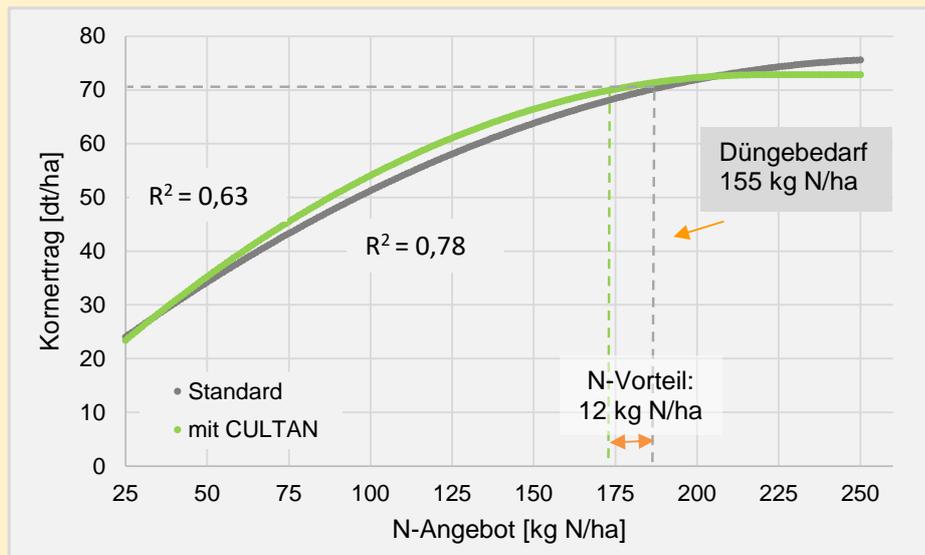


Abb. 39: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei Düngung nach dem CULTAN-Verfahren und herkömmlich bei oberflächlicher, dreigeteilter Düngung auf einem Sandboden, 2009 - 2012, n=4

Ein wichtiger Schritt zur Steigerung der N-Effizienz ist eine **bedarfs- und vor allem termin-gerechte Düngung**. Diese richtet sich grundsätzlich am Bedarf der Pflanze aus, orientiert sich aber auch am Standort und Witterungseinfluss des jeweiligen Jahres. Stickstoff steuert die Ausbildung der einzelnen Ertragskomponenten. Je nach (Entwicklungs-)zustand der Pflanzen in bzw. zu einem bestimmten Entwicklungsstadium wird über die N-Düngung die Entwicklung so gesteuert, dass der Pflanze zu jedem Zeitpunkt in ihrer Entwicklung eine richtig bemessene Stickstoffmenge zur Verfügung steht und das Ertragspotenzial optimal ausgeschöpft werden kann.

Standort und Witterung spielen in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle, da diese die Pflanzenverfügbarkeit des Nährstoffes beeinflussen. Der Standort entscheidet über die Verfügbarkeit und Nachlieferung von Nährstoffen und die Witterung über das „Transportmedium“ Wasser, welches die Nährstoffe zur Pflanze befördert.

Im Winterweizen erfolgt **die Verteilung der Düngermenge** üblicherweise auf drei Teilgaben: zum Vegetationsbeginn, zum Schossen und die späte Abschlussgabe zur Proteineinlagerung ins Korn.

Dieser üblichen Strategie mit gleichmäßiger N-Verteilung auf die Gaben wurden in zahlreichen Versuchen der LWK anderen Strategien (Abb. 40) gegenübergestellt und auf ihr Potenzial zur Ertragssteigerung untersucht. Im Mittel der Jahre war diese Verteilung gegenüber den anderen Varianten im Vorteil. Der Grundsatz: Solange die ausgebrachten Dünger in Lösung gehen und ohne vorherige Verluste von der

Pflanze aufgenommen werden können, ist die Strategie zweitrangig. Vor allem beim Anbau von Qualitätsweizen ist die 3-Gaben-Strategie der 2-Gaben-Strategie vorzuziehen, da sie höhere Rohproteingehalte erzeugt. Eine schossetontere Düngung kann zur Absicherung der Qualität von Vorteil sein. Eine Beurteilung des aktuellen Witterungsgeschehens eines jeden Jahres sowie in erster Linie der Bestandesentwicklung zum Düngungszeitpunkt ist somit essentiell.

Gabensplitting: Welche Strategie ist wo am besten?

Bei der LWK Niedersachsen wurden langjährige Versuche mit Winterweizen auf unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Als Standard diente jeweils eine N-Staffel mit herkömmlicher 3-Gaben-Strategie bei gleichmäßiger Verteilung. Verschiedene weitere Varianten wurden jeweils nur bei Düngung in Höhe des Bedarfswertes angelegt. Als Vergleichswert ergibt sich daher nur ein Mittelwert der Jahre und Standorte, der der dazugehörigen Ertragskurve gegenübergestellt wird. Aus den Versuchsergebnissen der LWK geht Folgendes hervor:

Frühjahrs- oder schossetont?

Unabhängig vom Standort konnte weder die Frühjahrs- noch die schossetonte Düngung ggü. dem herkömmlichen Standard mit gleichmäßiger Gabenverteilung zur Steigerung der N-Effizienz beitragen. Mit schossetonter Düngung konnte der Rohproteingehalt positiv beeinflusst werden. Dieser Effekt war aber nur geringfügig.

Zwei oder drei Gaben?

Unabhängig vom Standort lag das Ertragsniveau mit der 2-Gaben-Strategie auf dem gleichen Niveau wie bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie. Die Rohproteingehalte waren mit der 2-Gaben-Strategie im Mittel der Standorte und Jahre aber um 0,3 % niedriger. Auch bei der 2-Gaben-Strategie wurde die N-Menge zum Düngungstermin variiert. Verglichen wurde die Aufteilung der Düngermenge zu gleichen (50:50) und unterschiedlichen (2/3 und 1/3) Anteilen. Ertragseffekte konnten diesbezüglich aber nicht festgestellt werden.

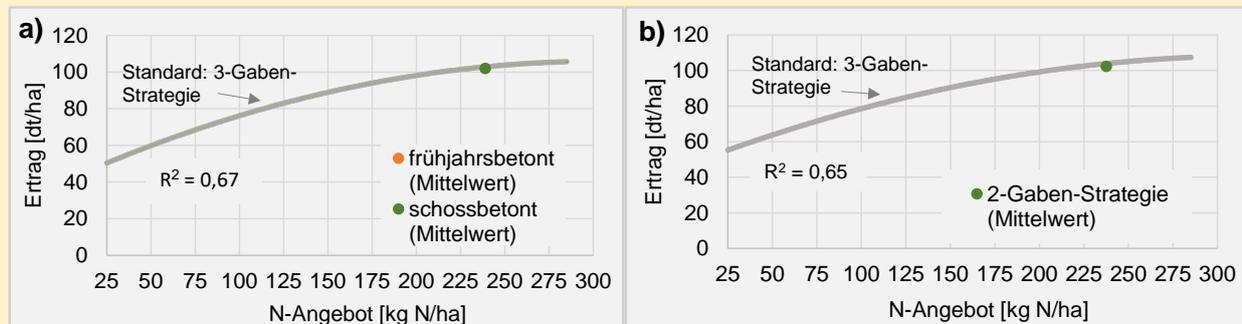


Abb. 40: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenverteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge bei a) 3-Gaben-Strategie frühjahrsbetont versus schossetont (n=48) und b) 2-Gaben-S

Da der Rohproteingehalt beim Anbau von Qualitätsweizen von nicht unerheblicher Bedeutung ist, sollte beim Qualitätsweizenanbau daher an der 3-Gaben-Strategie festgehalten werden. Eine schossetonte Düngung kann die Qualität absichern. Auf eine gesicherte Wasserversorgung zu den Düngungsterminen ist zu achten.

Über die Gabenteilung hinaus können **Pflanzenanalysen** hilfreiche Werkzeuge bei der Bemessung der gerade notwendigen N-Düngung sein. Sie liefern Informationen über den genauen Ernährungszustand der Pflanzen. So kann vor potentiellen Düngeterminen der Ernährungszustand der Pflanzen ermittelt und die Düngung zielorientiert angepasst werden. Ist die Stickstoffnachlieferung höher als zunächst angenommen oder der Witterungsverlauf ungünstig, kann Stickstoff eingespart werden. Auch die Anlage von **Düngefenstern**, durch reduzierte Düngung auf Teilflächen eignet sich zur Abschätzung der N-Nachlieferung aus dem Boden und der organischen Düngung (Pellet und Grosjean, 2007).

Beim sogenannten Nitratschnelltest bzw. **Nitrachek** wird die Nitratkonzentration im Stängelpresssaft ermittelt. Bei der Unterschreitung von bspw. 600-800 ppm wird eine weitere N-Gabe im Getreide angeraten (Nitsch, 2001). Beim **N-Tester** wird die Chlorophyllkonzentration der Blätter anhand der Grünfärbung (Reflektionsspektroskopie) geschätzt und damit

auf die N-Versorgung der Pflanzen geschlossen. Die **Spät-Frühjahrs-N_{min}-Methode** erfasst durch den späten Termin der Probenahme die flächenspezifische erfolgte N-Mineralisierung, welche stark durch die Frühjahwitterung beeinflusst wird. Die so ermittelte N-Menge steht den Kulturpflanzen zur Verfügung und kann daher bei der Düngung berücksichtigt werden. Besonders Kulturpflanzen wie Mais und Zuckerrübe sind in der Lage hohe Anteile ihres N-Bedarfs über die N-Mineralisierung im Boden zu decken. Aus diesem Grund stellt die Spät-Frühjahrs-N_{min}-Methode besonders für diese beiden Kulturen ein wichtiges Instrument dar, um die bedarfsgerechte Düngung zu optimieren, die Düngemittelkosten zu minimieren und zusätzlich grundwasserschützend zu agieren. Bei Anwendung der Methode empfiehlt sich eine verhaltende Startgabe in Abhängigkeit der Bodenart (siehe Tab. 34). Bei Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werten um den Bedarfswert ist im Juni keine Nachdüngung nötig.

Tab. 34: Übersicht von beratungsbegleitenden Pflanzenuntersuchungen (NLWKN 2015, verändert)

Untersuchung	Ziel	Durchführung
Pflanzenanalyse im Vegetationsverlauf	Ermittlung Nährstoffmangel; Ermittlung Aufwuchsleistung	Schnittproben werden getrocknet im Labor untersucht
Pflanzen-saftanalyse z.B. Nitrachek	Ermittlung des aktuellen Ernährungszustands der Pflanzen über die Nitratkonzentration	Messung der Nitratkonzentration im Pflanzenstängelpresssaft durch Messung des Indikatorstreifens mit dem Nitrachek-Reflektometer; Während der Hauptwachstumsphase kann die Messung zu den Düngeterminen wiederholt werden
Schätzung des Chlorophyllgehalts z.B. Yara N-Tester, Green-Seeker	Ermittlung des Chlorophyllgehalts im Blatt → korreliert mit dem N-Versorgungszustand der Pflanze	Messung erfolgt bspw. mit Yara-N-Tester über optisches Verfahren. Es wird der Lichtimpuls bei verschiedenen Wellenlängen nach der Durchstrahlung der Blätter gemessen.

Untersuchung	Ziel	Durchführung
Spät-Früh-jahrs-N_{min}-Methode	Ermittlung der flächen-spezifischen N-Mineralisierung	Die N _{min} -Probennahme erfolgt Ende Mai bis Anfang Juni in einer Tiefe von 0 bis 90 cm. <u>Bsp. Zuckerrübe: Startgabe je nach Bodenart:</u> Schwere Böden → 50 kg N/ha Leichte Böden → 80 kg N/ha

Bei der Untersuchung von pflanzlichem Material zur Beurteilung des aktuellen Düngebedarfs sollten folgende Punkte beachtet werden: Die Ergebnisse dienen nur der Überprüfung und eventuellen Korrektur bereits ausge-

führter Düngungsmaßnahmen. Die Nährstoffkonzentrationen in den einzelnen Pflanzenteilen können in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium sowie der Witterungs- und Wachstumsverhältnisse vor der Probenahme starken Schwankungen unterliegen.

Vegetationsbegleitende Maßnahmen im Winterweizen

Die LWK Niedersachsen untersuchte im Anbaujahr 2022 auf sechs verschiedenen Standorten verschiedenen Düngestrategien. Zudem lag ein Fokus auf vegetationsbegleitenden Maßnahmen mittels der Nitrachek-Methode und dem N-Tester. Diese Verfahren zur Ermittlung des tatsächlichen Düngebedarfs wurden mithilfe dieses Versuchs bewertet. In Abbildung 41 sind die Kornerträge zusammen mit der eingesetzten Düngermenge dargestellt. Anhand der Grafik lässt sich ableiten, dass die vegetationsbegleitenden Maßnahmen keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag nehmen. Die hier in der Abbildung nicht dargestellten Rohproteine der verschiedenen Varianten weisen jedoch nicht über alle Standorte hinweg dieselbe Tendenz auf. In Hamerstorf, Otterndorf und Schoonorth konnten höhere Rohproteingehalte aufgrund der vegetationsbegleitenden Maßnahmen im Vergleich zur Bedarfswertvariante erreicht werden. An den übrigen drei Standorten ließ sich ein genau gegenteiliges Ergebnis feststellen. **Hinsichtlich der N-Düngemengen wird allerdings deutlich, dass mit einem geringeren N-Input durch die vegetationsbegleitenden Maßnahmen ein statistisch gleicher Ertrag realisiert werden kann.** Dies schlägt sich dann monetär in geringeren Düngerkosten nieder, erfordert aber eine erhöhte Bestandesüberwachung.

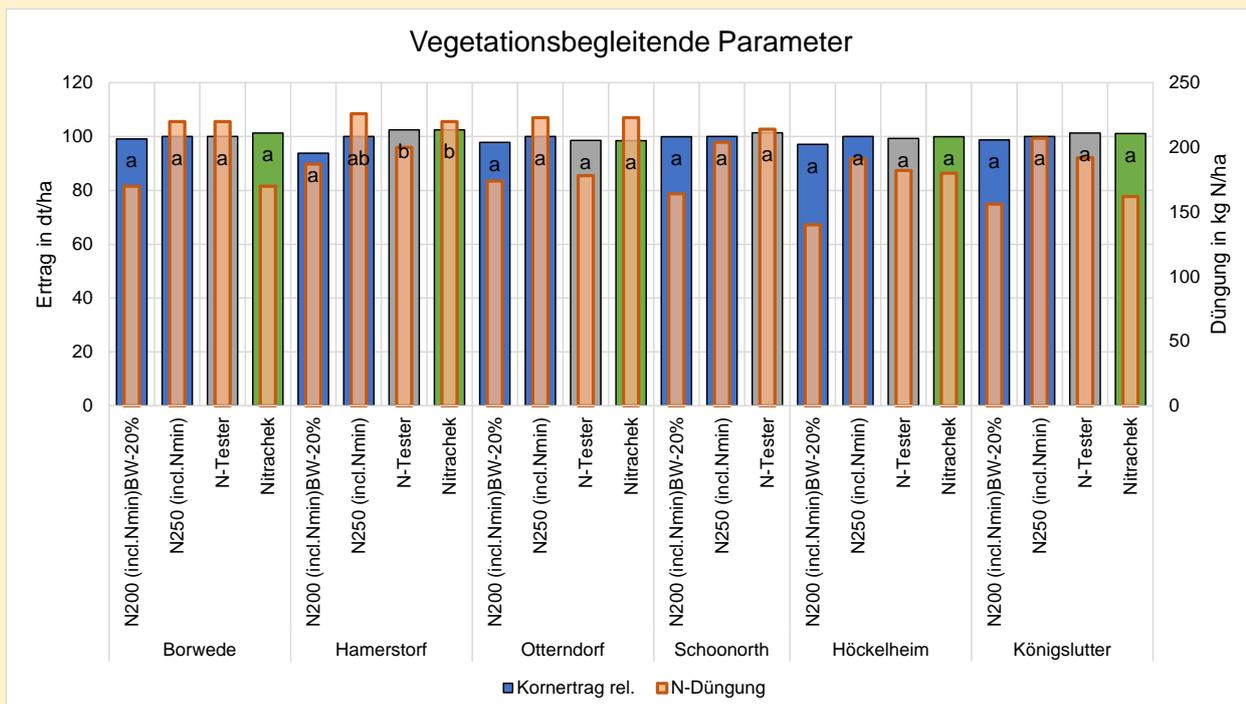


Abb. 41: Vegetationsbegleitende Düngestrategien im Winterweizen an sechs Standorten in Niedersachsen

Die Ergebnisse der Pflanzenanalysen können daher nicht zur Düngungsplanung, sondern nur zu deren Anpassung verwendet werden.

Prognosemodellgestützte N-Düngungssysteme verfolgen den Ansatz, durch Modellierung den Stickstoffbedarf und das -angebot abzubilden und dementsprechend im angestrebten Optimum zu düngen. Die Nutzung dieser Systeme an sich birgt noch keine Potenziale zur Düngereinsparung. Nur wenn die aus der Modellierung individuell abgeleiteten Handlungsempfehlungen treffgenau sind, wird durch die Einsparung von potenziell nicht notwendiger Düngung die Effizienz der eingesetzten Düngemittel gesteigert.

Die Prognosemodelle benötigen unterschiedliche Eingangsparameter wie z. B. die Bodenart, die Vorfrucht, die Schlaghistorie in Bezug auf (organische) Düngung und die Witterung im Laufe der Vegetation. In den meisten Fällen wird die Witterung anhand von Daten des Deutschen Wetterdiensts erfasst, da diese frei verfügbar sind. Alternativ werden Ansätze zur Erfassung des Klimas lokal und direkt auf der Fläche verfolgt. Dabei erfassen in situ-Sensoren das Mikroklima eines Pflanzenbestandes (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Bodentemperatur und Bodenfeuchte). Die Modellierung kann durch die Erfassung weiterer Parameter wie der Stickstoffversorgung der Pflanze oder Untersuchung der Bodenlösung verbessert werden. Es gibt allerdings derzeit noch kein marktreifes System, welches automatisch und in regelmäßigen Abständen bspw. den Stickstoffgehalt in der Bodenlösung und somit den aktuell pflanzenverfügbaren Stickstoff misst. Die zuverlässige Kenntnis

dieser Parameter würde die flächenspezifisch individuelle und optimale Düngungsempfehlung verbessern.

Veröffentlichungen (Yeshno et al., 2019, Ali et al., 2019) berichten allerdings von, durch Fortschritte in der Elektrotechnik und Halbleiterfertigung möglich gewordenen, Sensoren zur Nitrat-Quantifizierung in der Bodenlösung. Wenn diese Marktreife erreichen würden, wäre ein Monitoring der Nährstoffversorgung im Boden möglich und der Landwirt könnte reagieren, bevor ein Mangel erkenntlich wird. Dies stellt einen wesentlichen Vorteil gegenüber der ausschließlichen Erfassung von Parametern des Pflanzenaufwuchses dar. Diese weisen nämlich immer erst einen akuten Mangel aus, wenn er bereits an der Kulturpflanze sichtbar wird, also bereits eingetreten ist. Prognosemodelle und das Nitrat-Monitoring in der Bodenlösung böten somit den großen Vorteil, dass ein Mangel potenziell verhindert werden könnte, bevor er auftritt. Auf dieser Basis ließe sich die Düngung noch besser an den Bedarf der Pflanze anpassen.

Das Düngemodul im Informationssystem für die integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) wurde in den Jahren 2010-2020 in Versuchen der Landwirtschaftskammer angewandt und steht hier stellvertretend für die Gruppe der Prognosemodelle. Aktuell ist das Düngemodul der ISIP nicht an die gültige Düngeverordnung angepasst und steht nicht zur Verfügung.

Dieses Simulationsmodell erstellt auf der Basis verschiedener Eingangsparameter eine N-Düngeempfehlung für das aktuelle Jahr. Ausgehend von einer durchschnittlichen Ertragserwartung der Fläche (Ø 5 Jahre) und der

Vorfrucht wird die Mineralisation des Standortes in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Temperatur simuliert und ein sog. „Ertragserwartungswert“ berechnet. Dieser wird mit Vorjahreswerten abgeglichen und zu einem aktuellen Ertragserwartungswert modelliert. Mit

aktuellen Wetterdaten erfolgt dann die Simulation eines potenziellen Ertrages. Diese Simulation erfolgt jeweils zum Schossen und Ährenschieben und dient der Anpassung der N-Düngermenge an die aktuelle Witterung. Somit wird eine standort- und witterungsangepasste N-Düngung empfohlen.

Vegetationsbegleitende Maßnahmen und Prognosemodell im Winterweizen

In Versuchen der LWK Niedersachsen wurde als vegetationsbegleitende Maßnahme das System „Nitrachek“ und als Prognosemodell das System „ISIP“ im Vergleich zur herkömmlichen 3-Gaben-Strategie geprüft. Im Prognosemodell „ISIP“ wird die auf Basis eines prognostizierten Ertrages ermittelte N-Düngung wie bei der herkömmlichen Strategie auch auf 3-Gaben verteilt. Beim System „Nitrachek“ sind auf Basis der aktuellen (gemessenen) N-Versorgung auch mehr als 3 N-Gaben möglich. Gedüngt wurde im Regelfall, wenn der Wert unter 800 ppm gefallen ist mit 40 kg N/ha und bei <600 ppm mit 60 kg N/ha. Beide Systeme zeigten jedoch hinsichtlich Ertragswirksamkeit und Steigerung der N-Effizienz im Mittel keine positiven Effekte (Abb. 42). Da die Erträge mit beiden Methoden unabhängig vom Standort unter denen der herkömmlichen 3-Gaben-Strategie lagen, gehen sie aus diesen Versuchen nicht als wirksame Maßnahme zur Steigerung der N-Effizienz hervor. In Bayern durchgeführte Versuche, in denen die 3-Gaben-Strategie mit dem Einsatz des N-Testers im Weizen verglichen wurde, bestätigen dieses Ergebnis (LfL Bayern, 2016). In Einzeljahren und an einzelnen Standorten sind jedoch positive Ertragseffekte aufgetreten. In Schleswig-Holstein wurde der Einsatz des N-Testers in Stoppelweizen mit einer Einmaldüngung verglichen. Auch dadurch konnte kein Ertragsvorteil festgestellt werden (LK SH, 2018).

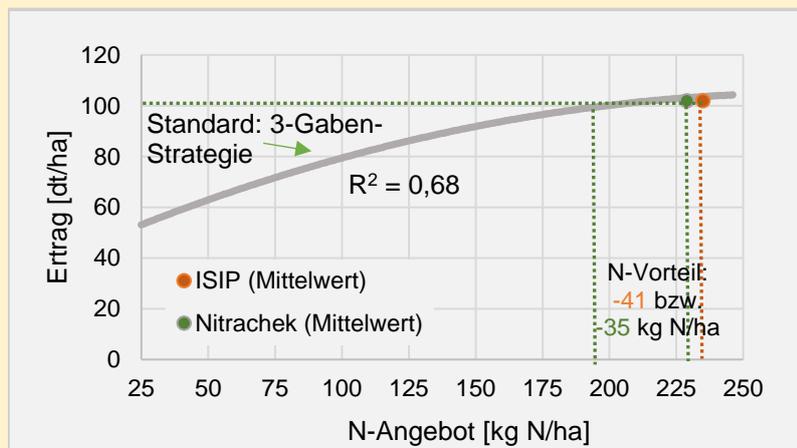


Abb. 42: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenverteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge beim Einsatz von Nitrachek und ISIP, 6 Standorte, Jahre 2010 - 2020 (n = 47)

Ausbringungstechnik und -zeitpunkt der organischen Düngung optimieren

Die Art der Ausbringung der organischen Dünger ist abhängig von Kultur und Zeitpunkt. Bei Hackfrüchten wie der Zuckerrübe und dem Mais, oder auch anderen Sommerungen, können organische Dünger aufgrund der direkten Einarbeitung in den Boden (z. B. Selbstfahrer mit Scheibenegge) besonders verlustarm ausgebracht werden. Hierdurch können bis zu 90 % der $\text{NH}_4\text{-N}$ Verluste reduziert werden. Beim Einsatz von 120 kg Gesamt-N aus Rindergülle können hierdurch etwa 27 kg N (entspricht 1 dt KAS) gegenüber einer Breitverteilung eingespart werden. Das Verfahren ist gegenüber dem Breitverteiler zwar deutlich teurer, be-

kommt aber insbesondere in den roten Gebieten deutlich mehr Beachtung. Werden organische Dünger im Weizen eingesetzt, kann dies sinnvoll nur im Frühjahr erfolgen. Bei Berechnung der erzielten Ausnutzung konnte die geforderte Mindestausnutzung nach Düngeverordnung im Getreide nicht erreicht werden.

Bei der Ausbringung organischer Dünger in Bestände, sollte daher möglichst verlustarme Technik zum Einsatz kommen, um eine hohe N-Ausnutzung des organischen Düngers zu erreichen. Die Schlitztechnik hat sich in vielen Versuchen als besonders effizient erwiesen und war dem Schleppschuh und -schlauch hinsichtlich der Mineraldüngeräquivalente überlegen (Tab. 35) .



Eine weitere Möglichkeit, die Stickstoffverluste bei der Einarbeitung in den Bestand zu minimieren und somit die Stickstoffausnutzung zu erhöhen, besteht in der Ansäuerung der organischen Düngemittel zum Beispiel mit Schwefelsäure. Bei diesem Verfahren wird der pH-Wert der Dünger herabgesetzt, denn bei dem für Gülle typischen pH-Wert von > 6 geht viel Stickstoff in Form von Ammoniak verloren (Abb. 43).

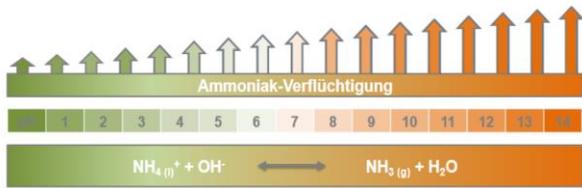


Abb. 43: Ammoniak-Verflüchtigungen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Nährstoffträgers

Eine Kombination aus verlustarmer Technik und Ansäuerung konnte die Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente der organischen Dünger in den Getreideversuchen deutlich erhöhen. Bei der Ansäuerung von Gärresten ist zu beachten, dass es sich bei der Schwefelsäure um einen Gefahrstoff handelt. Ab einer Transportmenge von 330 l ist eine ADR-Bescheinigung (Gefahrgutführerschein) erforderlich. Zudem dürfen Lagerung und Transport der Säure nur in doppelwandigen zugelassenen IBC-Containern erfolgen. Die Umwandlungsprodukte der

Schwefelsäure (0,6 kg Schwefel/l ausgebrachter Säure) sind pflanzenbaulich nutzbar.

Da Raps im Frühjahr schon zeitig gedüngt werden muss, eine Befahrbarkeit insbesondere auf schweren Standorten häufig aber noch nicht gegeben ist, empfiehlt sich der Einsatz der organischen Düngung, wenn dann im Herbst, wobei die Aspekte zur Herbstdüngung des Rapses im Allgemeinen auch hier zu beachten sind.

Im Grünland ist der Einsatz des Breitverteilers noch möglich, birgt aber gerade bei trockener und warmer Witterung das Risiko von hohen Ausbringungsverlusten. Deshalb sollte auch im Grünland frühzeitig der Schleppschuh /-schlauch eingesetzt werden. Da die Gülle insbesondere bei trockener Witterung unzureichend in den Boden eingewaschen wird und die Futterqualität darunter leidet, empfiehlt es sich, die flüssige Phase separierter Gülle einzusetzen. Falls keine Technik vor Ort ist und dies auch kein Lohnunternehmer anbietet, so kann der Einsatz vom Schleppschuh auch erst nach Wiederaustrieb des Grases erfolgen. Eine leichte Schädigung des Grases tritt in den Fahrgassen ein, jedoch wird die Gülle in den Boden und nicht auf die Gräser ausgebracht.

Was bringen Ausbringungstechnik und Ansäuerung?

Die LWK Niedersachsen hat von 2019 – 2021 an fünf Standorten in der Kultur Winterweizen Versuche zur Ausbringungstechnik und Ansäuerung durchgeführt. Dabei wurde immer eine mineralische N-Staffel zur Berechnung von Mineraldüngeräquivalenten, ein Technikvergleich (Schleppschlauch, Schleppschuh, Schlitzgerät) sowie die Ergänzung der (angesäuerten) Organik durch mineralischen Dünger untersucht. Im Mittel der Jahre führte der Einsatz emissionsarmer Techniken (Schlitzscheibe > Schleppschuh > Schleppschlauch) bei gleicher ausgebrachter Menge zu steigenden Erträgen. Zudem führte die Schwefelsäure im Mittel der Jahre und Standorte sowohl mit, als auch ohne mineralische Ergänzung, zu einem durchschnittlichen Mehrertrag von 3,2 dt/ha (Abb. 44). Die Mineraldüngeräquivalente konnten durch Säurezugabe verglichen mit der Schleppschlauchausbringung im Schnitt um bis zu 20 % erhöht werden.

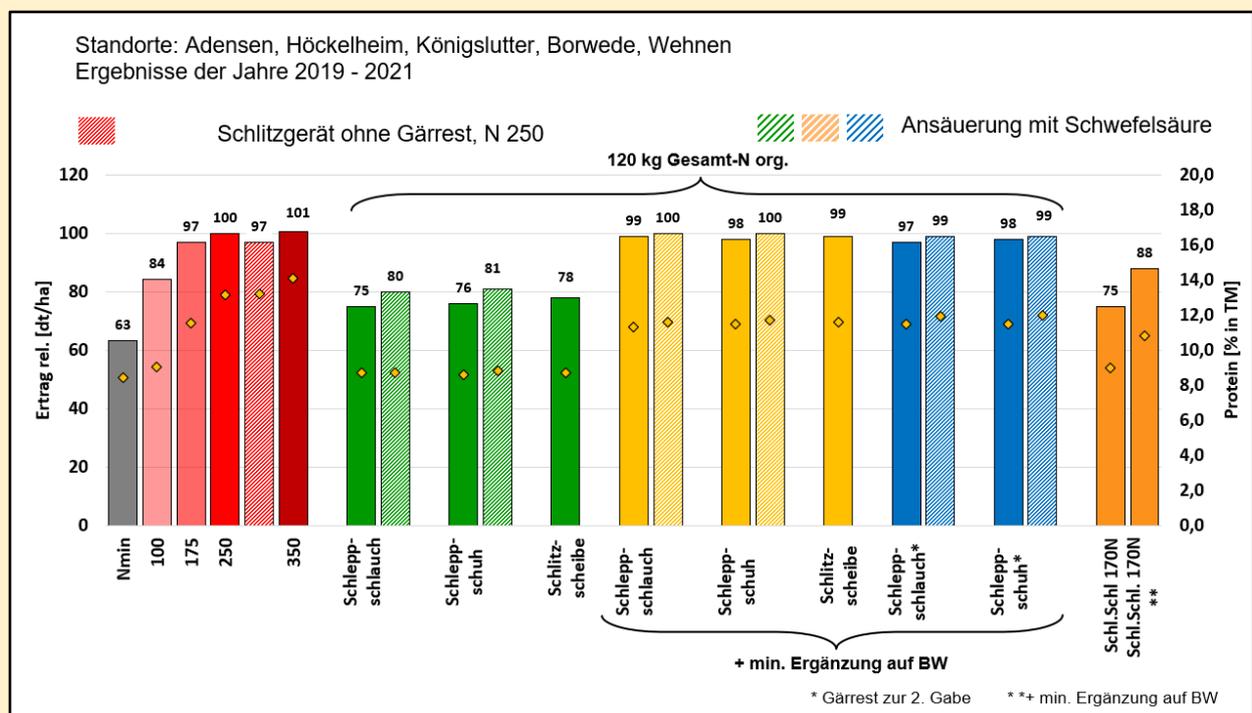


Abb. 44: Ausbringungstechnik flüssiger organischer Dünger in Winterweizen, mehrjährige Auswertung 2019 - 2022

Was bringen Ausbringungstechnik und Ansäuerung?

In umfangreichen Versuchen im Getreide von 2018 – 2021 an acht Standorten wurden verschiedene Ausbringungstechniken (Schleppschauch, Schleppschuh, Schlitzgerät) von Gülle mit und ohne Ansäuerung untersucht. Der N-Vorteil der Ausbringungstechnik wurde jeweils im Vergleich zum Einsatz des Schleppschauchs als Standard (=100 %) ohne Ansäuerung berechnet. Parallel wurde in dem Versuch eine mineralische Düngestaffel mitgeführt. Die daraus abgeleiteten Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) sind in Tab. 35 dargestellt. Diese lagen insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau, jedoch unabhängig von der Ausbringungstechnik mit Ansäuerung stets besser als ohne Säurezusatz. So brachte die Ansäuerung im Schnitt einen N-Vorteil von rund 23-24 kg N/ha.

Tab. 35: Erreichte Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) im Getreide in Abhängigkeit von der Ausbringungstechnik sowie der errechnete N-Vorteil (kg N/ha) gegenüber der Variante ohne Ansäuerung bzw. Schleppschauch

			Ausbringungstechnik				
			Schlauch (Standard)	Schlauch + Ansäuerung	Schuh	Schuh + Ansäuerung	Schlitz
Winterweizen (n=14)	MDÄ	[rel.%]	100	119	105	121	111
	N-Vorteil	[kg N/ha]		23	6	19	13
Wintergerste (n=6)	MDÄ	[rel.%]	100	122	108	126	113
	N-Vorteil	[kg N/ha]		26	10	22	16
Winterroggen (n=1)	MDÄ	[rel.%]	100	120	119	142	120
	N-Vorteil	[kg N/ha]		24	23	28	24
Winterroggen GPS (n=2)	MDÄ	[rel.%]	100	118	104	123	113
	N-Vorteil	[kg N/ha]		22	5	23	16
MW	N-Vorteil Ansäuerung	[kg N/ha]		24		23	
MW	N-Vorteil Technik	[kg N/ha]			11		17

Das große Potenzial von Schlitztechnik und Ansäuerung hinsichtlich der Reduktion der NH₃-Emissionen wurde auch in anderen Versuchen belegt.

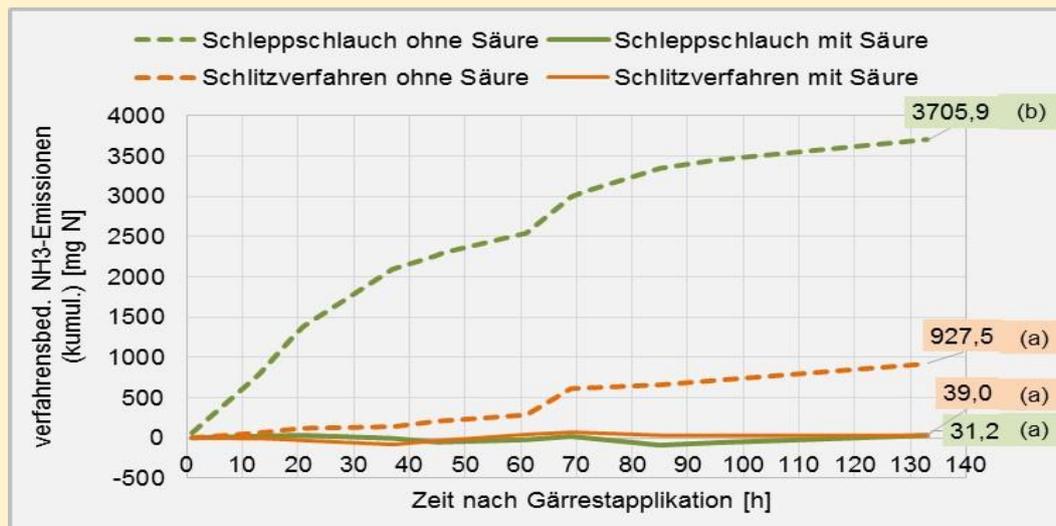


Abb. 45: Verfahrensbedingte NH₃-Emissionen in Abhängigkeit von der Applikationstechnik (Wegner et al. 2015, verändert)

Gülleausbringung auf Grünland:

Auch auf Grünland zeigen sich die positiven Effekte von Schleppschuh und Schlitztechnik bei der Ausbringung organischer Dünger (Abb. 46). Gerade bei trockener, warmer Witterung treten deutliche Ertragsunterschiede zwischen Breitverteilung, Schleppschlauch, -schuh und Schlitztechnik auf.

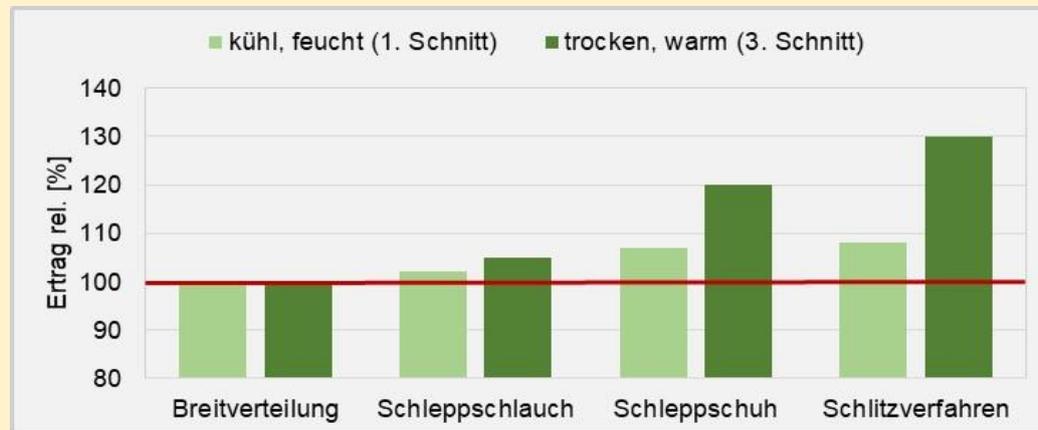


Abb. 46: Ertragswirkung nach Gülleausbringung auf Grünland bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Lorenz 1996, verändert)

In Veredelungsregionen mit hohen Maisanteilen bewirkt ein Verzicht auf eine mineralische Unterfußdüngung sofort eine deutliche Entlastung der Stickstoff- und Phosphorbilanzen. Betriebe, die zusätzlich organische Dünger abgeben müssten, können durch den Verzicht auf mineralische Düngemittel ihre Nährstoffabgabe deutlich verringern.

Die Unterfuß-Applikation organischer Dünger im Bereich der Maisreihe (Abb. 47) hat dabei mehrere Vorteile gegenüber einer breitflächigen Ausbringung oder ungezielten Einarbeitung. Die Platzierung im Abstand von 5 - 7 cm zum Maiskorn hat einen vergleichbaren Effekt auf die Jugendentwicklung wie eine mineralische Unterfußdüngung. Bei zu weitem Abstand zum Dünger leiden die Pflanzen in der Jugendentwicklung.

Die Stickstoffversorgung ausschließlich über organische Düngung erfolgen zu lassen, stellt

für den Mais grundsätzlich kein Problem dar, weil in den Sommermonaten zur Zeit der höchsten N-Aufnahme des Maises auch die Stickstoffmineralisation im Boden auf einem sehr hohen Niveau abläuft. Dieses gilt sowohl für die Mineralisation aus dem Bodenvorrat als auch aus der eingearbeiteten organischen Substanz.

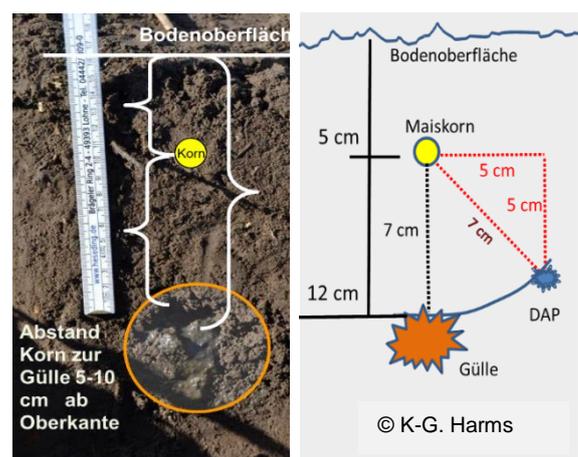


Abb. 47: Aufnahme und schematische Darstellung der Platzierung von organischen und mineralischen Düngern zum Maiskorn

Einsparpotenziale durch organische Unterfußdüngung nutzen

Silomais:

Die Versuche zur Gülle-Unterfußdüngung zeigen seit vielen Jahren, dass sie bei korrekter Umsetzung und genauer Ablage mineralische Unterfußdüngung ersetzen kann. Die hohe Nährstoffeffizienz der Unterfußdüngung in Kombination mit einer reduzierten mineralischen N-Düngung ist auch im Hinblick auf die Düngung in roten und gelben Gebieten sinnvoll umsetzbar. Ergebnisse eines Forschungsprojektes der Hochschule Osnabrück aus den Jahren 2013 - 2015 zeigen, dass bei einer Reduzierung der N-Düngermenge auf 66 % des Bedarfswertes Ertragsverluste mit einer flächig eingearbeiteten Düngung plus mineralischer Unterfußdüngung ausgeglichen werden konnten (Abb. 48). Die Reduzierung der Düngermenge in dieser Variante entsprach einer Einsparung von 20 – 25% der berechneten N-Menge (Berechnung der Düngermenge auf Basis Sollwert 180 kg N/ha abzgl. N_{min}) und somit der Vorgabe Reduzierung um 20 % in roten Gebieten.

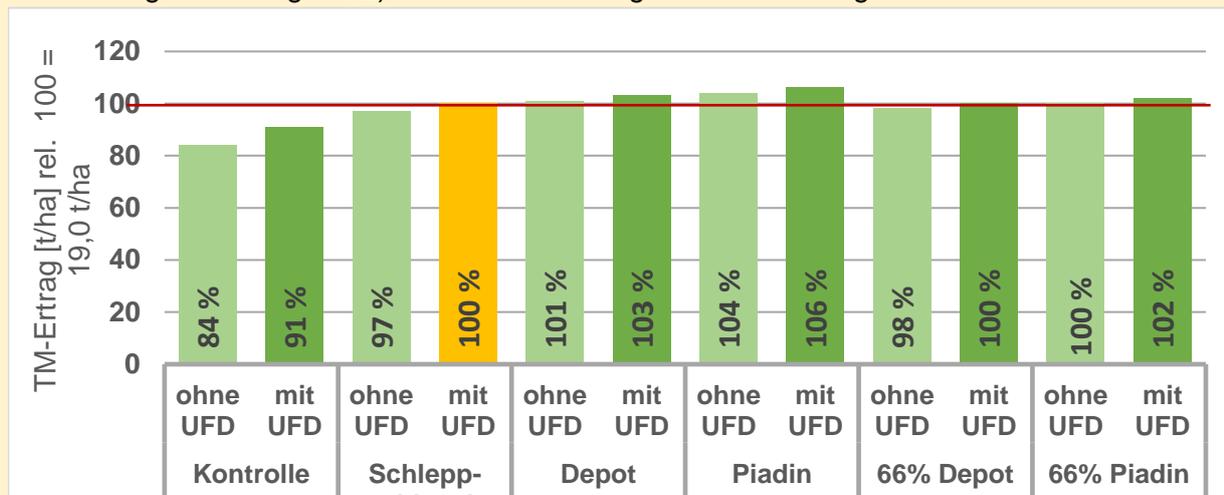


Abb. 48: Trockenmasseerträge von Silomais mit verschiedenen Applikationsvarianten der organischen N-Düngung, mit und ohne UFD, 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche der Hochschule Osnabrück im Verbund mit den Landwirtschaftskammern NI, NRW und S-H (Federolf et al. 2016, verändert)

Speisekartoffeln:

Auch in Versuchen der LWK mit Speisekartoffeln wurde die Ertragswirkung der Unterfußdüngung gegenüber breitflächiger Düngerverteilung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die organische Unterfußdüngung gerade auf nicht langjährig organisch gedüngten Flächen im Vergleich zur breitflächigen Verteilung ertragliche Vorteile bringt. Bei langjährig organisch gedüngten Flächen konnten keine Ertragsunterschiede zwischen den beiden Varianten festgestellt werden, da das hohe Mineralisationsvermögen dieser Standorte den technischen Vorteil der Platzierung ausgleicht.

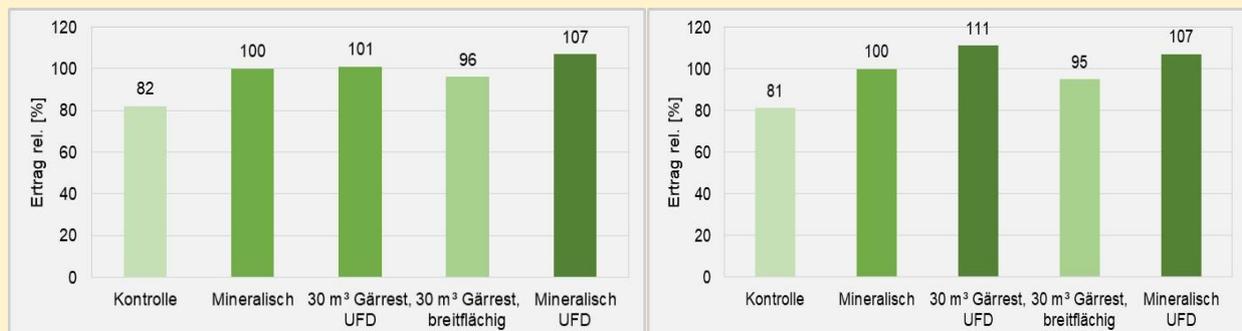


Abb. 49: Relativer Knollenertrag (%) von Speisekartoffeln bei unterschiedlicher Unterfußdüngung, Mittel aus drei Standorten (Goldenstedt, Rockstedt langjährig organisch gedüngt und Hamerstorf nicht langjährig organisch gedüngt), Hamerstorf, Mittel der Jahre 2014-2016

Organischer Dünger kann vom Mais in einem sehr hohen Maße und deutlich über den pflanzenverfügbaren Ammonium-Anteil hinaus genutzt werden.

Die Phosphordüngung ist bei Mais von besonderer Bedeutung. In der Regel wird mineralischer P-Dünger als Unterfußdünger gegeben, um Ertrag und Qualität abzusichern. Die junge Maispflanze ist auf eine hohe Konzentration wasserlöslichen Phosphors im Wurzelbereich angewiesen, damit das Wachstum und die Ausbildung der Kolbenanlage als Basis für hohe Trockenmasse- und Stärkeerträge gesichert sind. Die bisher übliche mineralische Unterfußdüngung kann, insbesondere von Be-

trieben mit hoher Wirtschaftsdüngerverfügbarkeit, durch eine organische Unterfußdüngung ersetzt werden.

Kurz & knapp:

- Die organische Düngung „Unterfuß“ kann bei Mais die mineralische Unterfußdüngung ersetzen und zeigt keine Ertragsnachteile
- Ein Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung im Mais bringt daher ein deutliches Einsparpotenzial für die Phosphorbilanzen
- eine reduzierte N-Düngung in Kombination mit einer organischen Unterfußdüngung zu Silomais kann die N-20% in roten Gebieten kompensieren
- in Kartoffeln ist die Unterfußdüngung ebenfalls ertraglich wirksam

4.3.2 Düngungsverbot im Herbst

Winterraps und Wintergerste

Beim Anbau von Winterraps in roten Gebieten darf bei N_{\min} -Werten nach der Ernte der Vorfrucht von $< 45 \text{ kg N/ha}$ noch mit maximal $60 \text{ kg Gesamt-N/ha}$ und/oder $30 \text{ kg NH}_4\text{-N/ha}$ (mineralisch + organisch) gedüngt werden. Da eine Herbstdüngung im Frühjahr aber in Abzug zu bringen ist, ist sie in roten Gebieten meist nicht mehr sinnvoll. Um dennoch eine ausreichende Vorwinterentwicklung zu erzielen, sollte auf andere pflanzenbauliche Maßnahmen zurückgegriffen werden. (Abb. 50). Außerdem sollte auf eine ausreichende Versorgung mit Kalium und Phosphor im Herbst geachtet werden. Auch neue Anbauverfahren, wie beispielsweise die Etablierung von leguminosenhaltigen Beisaaten im Raps oder wie zuvor beschrieben die Aussaat im Einzelkornverfahren können eine interessante

Option sein, um dem Raps mehr Stickstoff zur Verfügung zu stellen. Hierzu laufen aktuell Versuche bei der LWK.



Abb. 50: Notwendigkeit der Herbstdüngung pflanzenbaulich steuern

Zwischenfrüchte

Im Rahmen der Anpassungsstrategien dient der Einsatz von Zwischenfrüchten in erster Linie zur Vermeidung von N-Verlusten über Winter, wodurch ein hoher Stickstofftransfer zwischen den Fruchtfolgegliedern gewährleistet werden soll.

In roten Gebieten gibt es ein Anbaugesamt von Zwischenfrüchten vor Sommerungen, welche gedüngt werden sollen. Zwischenfrüchte ohne Futternutzung dürfen dabei nur mit Festmist oder Kompost gedüngt werden.

Ölrettich und Senf werden derzeit am häufigsten als Winterzwischenfrüchte angebaut. Sie sind in der Lage, die Nachernte- N_{min} -Werte zügig aufzunehmen und die N_{min} -Gehalte zum Vegetationsende zuverlässig auf ein Minimum zu reduzieren. Insbesondere der Ölrettich weist eine hohe N-Aufnahmekapazität auf und ist in vielen Fruchtfolgen einsetzbar (Tab. 36 und 37). Der Ölrettich ist jedoch für eine gute Entwicklung, wie die anderen Nichtleguminosen auch, auf ein ausreichendes N-Angebot im Boden angewiesen. Ohne zusätzliche N-Düngung steht nur der Nachernte- N_{min} -Wert und die N-Nachlieferung abzüglich des N-Bedarfs für die Strohhrotte zur Verfügung. Neben dem Strohmanagement ist die N-Nachlieferung auch vom Versorgungsgrad mit organischer Düngung abhängig. Die durchschnittlichen Nachernte- N_{min} -Werte sind von der Vorfrucht und der Witterung abhängig. Beim Anbau von Winterroggen sind diese relativ gering, beim Winterweizen liegen sie im moderaten Bereich und beim Rapsanbau werden unter den klassischen Kulturen die höhere Stickstoffüberhänge verzeichnet. Diese unvermeidbaren Überhänge entstehen durch vorzeitigen Blattabwurf und relativ geringe N-Gehalte im Erntegut. Nach Körnerleguminosen ist ebenfalls mit erhöhten Nachernte- N_{min} -Werten zu rechnen. Zudem weist das Stroh der Körnerleguminosen ein recht enges C/N-Verhältnis auf

(12:1 bis 30:1), was zu einer schnellen Mineralisation des gebundenen Stickstoffs führt. Dieser Stickstoff steht der Folgekultur zur Verfügung.

Soll dem Raps eine Sommerung folgen, bietet sich hier die Integration von z. B. kruziferen freien Zwischenfrüchten in der Raps-Fruchtfolge an, um den N-Transfer sicherzustellen. Hohe Nachernte- N_{min} -Werte ermöglichen auch ungedüngten Nichtleguminosen wie Ölrettich eine gute Entwicklung. Die Etablierung eines vitalen, multifunktionalen Bestandes ohne N-Düngung ist besonders auf Böden mit geringer N-Nachlieferung, geringen Nachernte- N_{min} -Werten und Strohverbleib (v. a. Roggen- u. Weizenstroh) auf der Fläche schwierig. Treffen diese drei Faktoren zu, ist die Verwendung von Nichtleguminosen (z. B. Ölrettich, Senf) wenig erfolgversprechend. In diesem Fall ist der Einsatz von Leguminosen in Zwischenfruchtmischungen geeignet, um die Entwicklung der Bestände abzusichern. Leguminosen sind aber ebenso wie Nichtleguminosen nicht für jede Fruchtfolge geeignet. Wie beim Anbau von Körnerleguminosen müssen auch beim Zwischenfruchtanbau mit Leguminosen die Verträglichkeit mit den anderen Hauptfrüchten (Tab. 36) und die Anbaupausen beachtet werden.

Leguminosen sind frühsaatfordernd und sollten bis zum 10. August ausgedrillt sein. Aufgrund der höheren Saatgutkosten für Leguminosen ist ein früher Aussattermin nicht nur aus pflanzenbaulicher, sondern auch aus ökonomischer Sicht zu empfehlen. Denn eine höhere N-Bindung in der Pflanzenmasse reduziert den N-Düngebedarf der Folgekultur.

Auch Mischungen von Zwischenfrüchten sind möglich. Dabei ist unbedingt auf eine gezielte Artenzusammensetzung zu achten. Insbesondere in roten Gebieten kann eine Zwischen-

fruchtmischung mit Leguminosen eine Möglichkeit sein, Stickstoff zu binden und diesen dem Mischungspartner für eine optimale Entwicklung zur Verfügung zu stellen.

Tab. 36: Eignung von Zwischenfrüchten bezogen auf die Hauptfrüchte

	Kartoffeln*	Zuckerrüben**	Raps	Mais	Getreide	Leguminosen
Ölrettich	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓
Senf	x	✓	x	✓	✓	✓
Phacelia	x	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓
Rauhafer	(✓)*	✓	✓	✓	(✓)	✓
Ramtilkraut	(✓)*	(✓)	x	✓	✓	✓
Buchweizen	(✓)*	x	✓	✓	✓	✓
Lein	(✓)*	✓	✓	✓	✓	✓
Alexandrinerklee	x	✓	✓	✓	✓	x
Sommerwicke	(✓)*	(✓)**	✓	✓	✓	x
Ackerbohne	x	(✓)**	✓	✓	✓	x
Erbse	x	(✓)**	✓	✓	✓	x
Lupine	x	(✓)**	✓	✓	✓	x

Stand: 16. Februar 2022

✓
 (✓)
 x

geeignet

geeignet mit Einschränkungen

nicht geeignet

*Auf Flächen, auf denen ein erhöhtes Befallsrisiko mit TRV besteht, kommt nur Ölrettich in Reinsaat in Frage
 **Auf Flächen ohne höheres Befallsrisiko mit Ditylenchus dipsaci können alle Leguminosen verwendet werden.

Tab. 37: Mischungsbeispiele für Zwischenfrüchte

Anbausituation	Mischung	Saatmenge (kg/ha)	Körner je m ²	Samenanteil (%)	geeignet für
	Ölrettich	15	125	56	Zuckerrüben, Getreide, Mais, Leguminosen
	Senf	7	100	44	
	Summe	22	225		
klassisch	Ölrettich	15	125	41	(Zuckerrüben), Getreide, Mais, Leguminosen
	Senf	5	71	24	
	Phacelia	2	105	35	
	Summe	22	302		
kruziferenfrei	Ölrettich	10	83	56	Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Raps, Leguminosen
	Rauhafer	15	65	44	
	Summe	25	149		
rote Gebiete	Rauhafer	20	87	45	(Zuckerrüben), Mais, Leguminosen
	Phacelia	2	105	55	
	Summe	22	192		
rote Gebiete und sicher abfrierend	Ölrettich	20	167	53	Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Raps
	Wicke	60	150	47	
	Summe	80	317		
sicher abfrierend	Senf	8	114	50	Mais, Zuckerrüben, Getreide
	Erbse	70	47	21	
	Alexandrinerklee	2	67	29	
	Summe	80	228		
sicher abfrierend	Senf	12	171	45	(Zuckerrüben), Getreide, Mais, Leguminosen
	Phacelia	4	211	55	
	Summe	16	382		
	Senf	12	171	48	
Phacelia	2	105	30		
Ramtilkraut	2	77	22		
Summe	20	354			

Annahme TKG: Alexandrinerklee 3 g, Erbse 250 g, Ölrettich 12 g, Phacelia 1,9 g, Rauhafer 23 g, Senf 7 g, Wicke 40 g

Trockenmasse-Produktion und N-Aufnahme von Zwischenfrüchten:

Die TM-Produktion von Ölerrettich/Senf-Beständen wird neben dem N-Angebot ($N_{min} + N\text{-Düngung}$) des Bodens auch von der N-Nachlieferung bestimmt. Am langjährig organisch gedüngten Standort Wehnen mit hoher N-Nachlieferung erzielten auch ungedüngte Ölerrettich/Senf-Bestände hohe TM-Erträge, sodass dort keine N-Düngung zu den Nichtleguminosen erforderlich ist. In Obershagen dagegen war die TM-Produktion der Bestände ohne N-Düngung überwiegend gering. Eine N-Düngung auf diesem nicht langjährig organisch gedüngten Standort ist für die Bestandesentwicklung vorteilhaft.

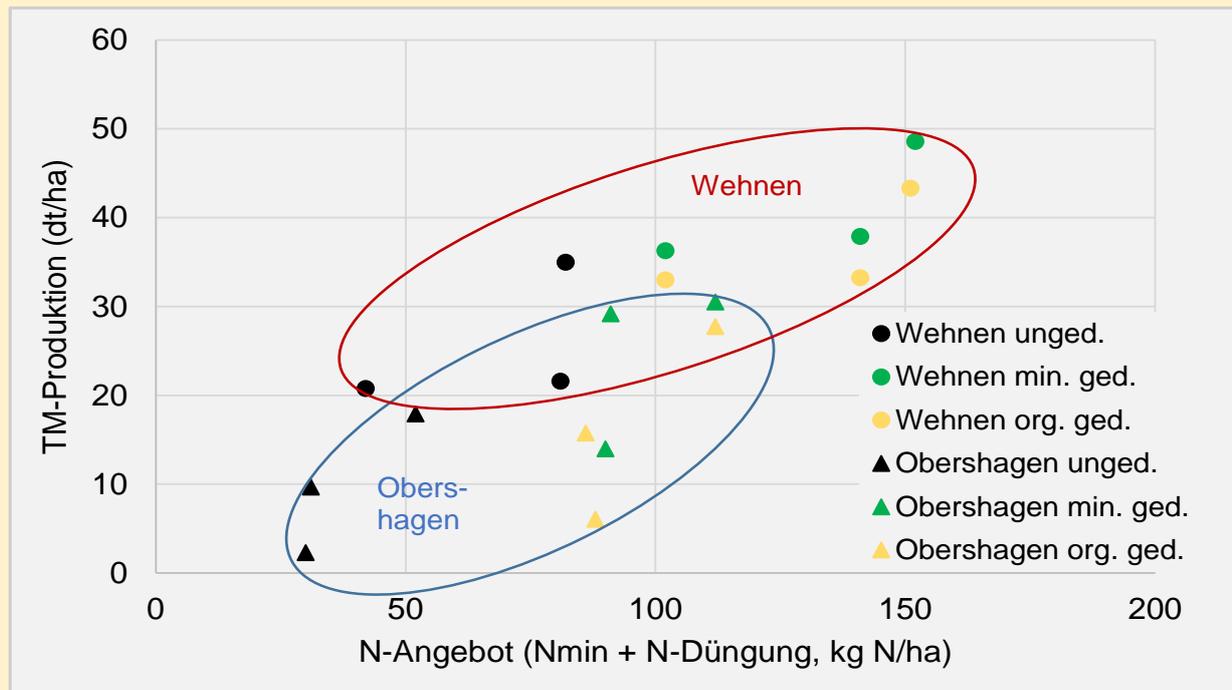


Abb. 51: TM-Produktion von Ölerrettich/Senf-Beständen bei unterschiedlichem N-Angebot auf langjährig (Wehnen) und nicht langjährig organisch gedüngtem Standort (Obershagen), 2018 – 2020, n = 6.

In einer OnFarm-Versuchserie mit Streifenanlagen der LWK Niedersachsen von 2020 - 2021 an den drei Standorten Adenstedt, Dungenbeck und Halligdorf wurde jeweils das große Potenzial der Leguminosen deutlich, sich bei geringem N-Angebot gut zu entwickeln (Abb. 52).

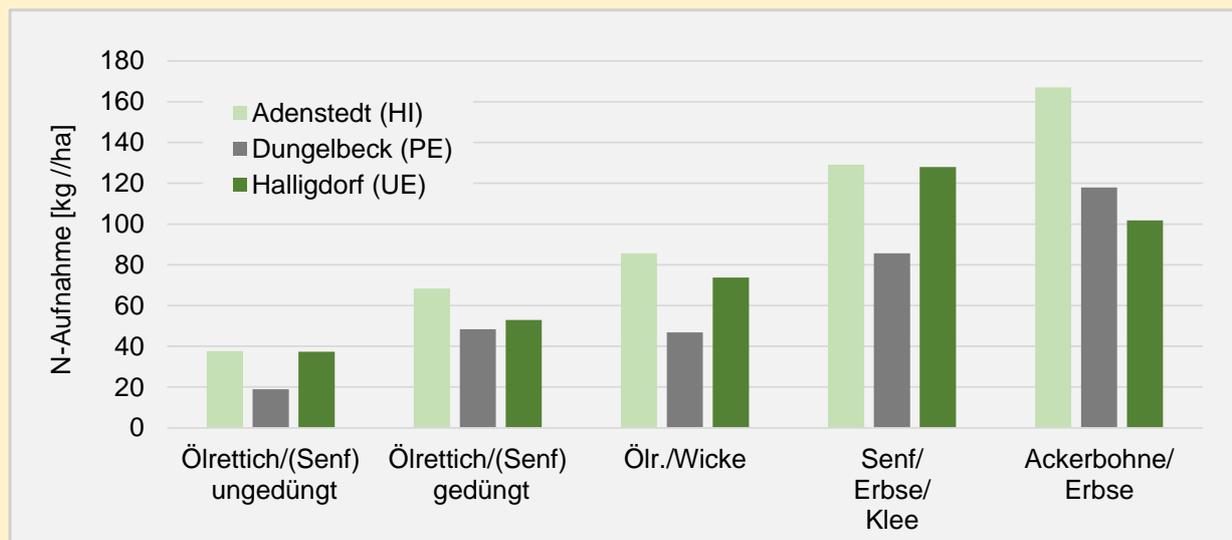


Abb. 52: N-Aufnahmen (oberirdisch) von Zwischenfruchtmischungen an den Standorten Adenstedt, Dungenbeck und Halligdorf, Mittel der Jahre 2020 – 2021, n = 6

Kurz & knapp:

- Nichtleguminosen als Zwischenfrüchte einsetzen, wenn hohe Nachernte- N_{\min} -Werte auftreten
- Bei geringen Nachernte- N_{\min} -Werten können sich Leguminosen in Zwischenfrüchten eignen.
- Eignung der Zwischenfrucht für die Fruchtfolge beachten

4.3.3 Reduzierung der Düngung auf Grünland

Im Herbst dürfen maximal 60 kg Gesamt-N aus flüssigen organischen und organisch-mineralischen sowie flüssigen Wirtschaftsdüngern auf Grünland aufgebracht werden. Für die meisten Betriebe hat dieser Punkt keine direkten Auswirkungen. Denn werden, wie häufig üblich, etwa 70 kg N_{org} zum ersten Schnitt und jeweils 50 kg N_{org} zum zweiten und dritten Schnitt ausgebracht, so sind die 170 kg N_{org} bereits erreicht und eine weitere organische Herbstdüngung ohnehin nicht mehr möglich. Einzelbetriebe müssen die Schlagkraft noch deutlich erhöhen, um bereits Mitte des Jahres die organische Düngung im Grünland abgeschlossen zu haben. Durch das zusätzliche Verbot der Ausbringung auf Frost sollte hierbei

auf möglichst bodenschonende Verfahren gesetzt werden. Problematisch wird die Einschränkung der organischen Herbstdüngung für Betriebe, die auf schwer befahrbaren Flächen, wie zum Beispiel Moor- oder Marschstandorten, arbeiten. Für diese Betriebe ergibt sich nun nicht mehr die Möglichkeit, die organische Düngung nach hinten zu verschieben. Um die N-Wirkung der organischen Düngung insbesondere bei späten Düngungsterminen für den ersten Schnitt zu erhöhen, empfiehlt es sich die Gülle zu separieren und die flüssige, schneller wirkende Phase ins Grünland zu fahren. Generell wird sich ein höherer Lagerbedarf der Betriebe ergeben, der nur über Lagerraumbau oder –pacht gedeckt werden kann.

4.3.4 Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N_{org} -Grenze

Bislang hatten Betriebe die Möglichkeit, im Betriebsdurchschnitt 170 kg N_{org} aus organischen Düngemitteln auf ihre Flächen aufzubringen. In roten Gebieten gilt diese Grenze nun einzelschlagbezogen. Wie in Abbildung 54 dargestellt, durfte bislang im Grünland

mehr als 170 kg Gesamt-N/ha ausgebracht und zur Zwischenfrucht gedüngt werden. Durch die neue Vorgabe reduziert sich der Einsatz der Organik im Grünland sowie zur Zwischenfrucht und erhöht sich in diesem Beispiel im Getreide (Roggen).

Beispiel: Ausbringungsmengen an Gesamtstickstoff organischer Dünger zu unterschiedlichen Kulturen vor und nach der schlagspezifischen 170 kg N_{org}/ha Berechnung.

Bevor die schlagspezifische 170 kg N_{org}-Obergrenze galt, wurden bestimmte Kulturen oberhalb, andere dafür unterhalb von 170 kg N_{org} über Organik gedüngt. Insbesondere durch den Wegfall der Düngung von Zwischenfrüchten in roten Gebieten reduziert sich in der Regel die gesamtbetriebliche 170 N_{org} Obergrenze um bis zu 20 kg N_{org}/ha.

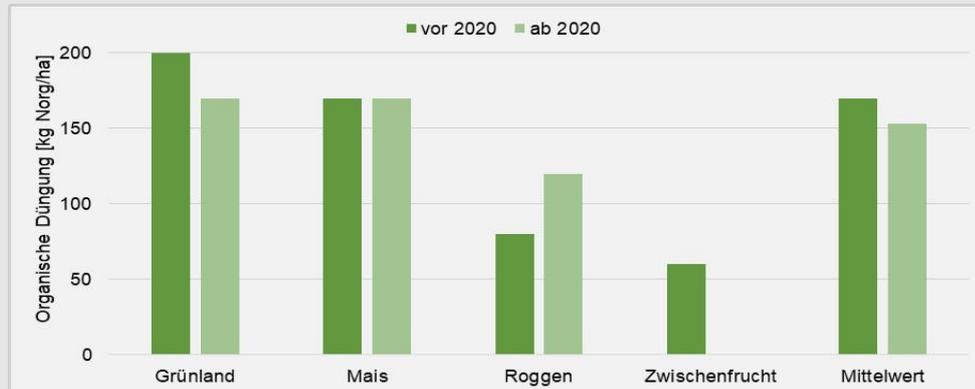


Abb. 53: Organische Düngung in Gesamt-N zu unterschiedlichen Kulturen

Hinweis: Bei diesen Berechnungen auf Grundlage der Versuche wurde die Qualität nicht berücksichtigt. Baut der Betrieb Backweizen an, können die Qualitäten durch die Erhöhung der Organik evtl. nicht eingehalten werden und es ergeben sich andere Konstellationen. Auch für diesen Fall gilt also: Welche Anpassung die am besten geeignet ist, muss für jeden Betrieb individuell betrachtet werden.

Generell gilt aber auch, dass der Phosphor-Bedarf der Kulturen eingehalten werden muss bzw. maximal in Höhe der voraussichtlichen P-Abfuhr gedüngt werden darf. Dies hat zur Folge, dass die Ausbringungsmenge von organischen Düngemitteln mit hohen P-Gehalten meist bereits durch Phosphor begrenzt ist und die 170 kg N_{org} gar nicht erreicht werden. Je enger das Verhältnis von Phosphat zu Stickstoff im Düngemittel ist, desto geringer können die maximal möglichen N-Gaben ausfallen, um gleichzeitig bei der P-Düngung nicht die voraussichtliche Abfuhr von im Mittel rund 60-

80 kg P₂O₅/ha und Jahr zu überschreiten. Während bei Gärresten oder Rindergülle in aller Regel der Stickstoffanteil im Dünger deutlich über den P₂O₅-Gehalten liegt, können hier zumeist die vollen 170 kg N_{org} ausgebracht werden. Dies ist vor allem bei HTK oder, je nach Fütterung, auch bei Schweinegülle nicht der Fall (Abb. 54). Durch die hohen P₂O₅-Gehalte im Verhältnis zum Stickstoffgehalt werden bei einer Ausbringung von 100 kg N_{org}/ha gleichzeitig zwischen 35 und 80 kg P₂O₅/ha ausgebracht, sodass die 170 kg N_{org} nicht ausgeschöpft werden können.

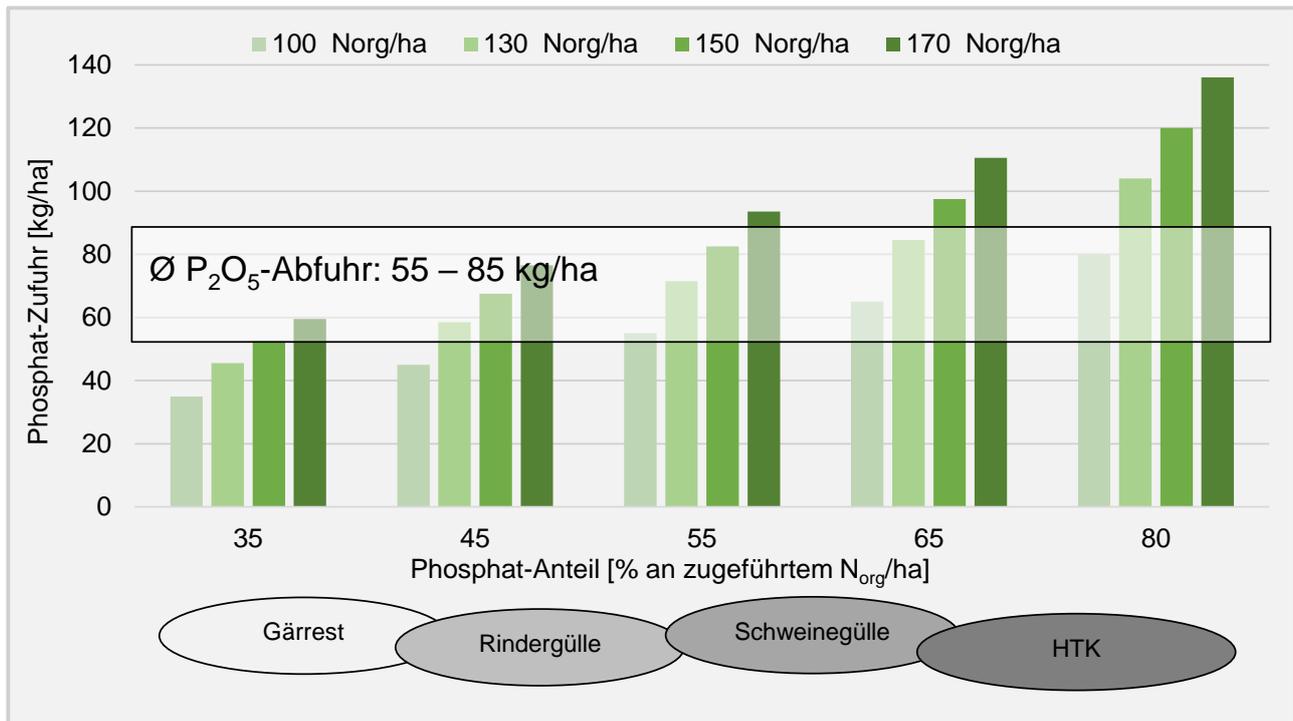


Abb. 54: Einfluss des P-Gehaltes und der Ausbringungsmenge auf die P₂O₅-Zufuhr organischer Dünger

Natürlich besteht auch die Möglichkeit der P-Düngung über die Fruchtfolge, sodass die volle Menge zum Erreichen der 170 kg N_{org}-Grenze auch bei P-Überschuss in einzelnen Jahren gefahren werden darf. Reine Ackerbaubetriebe, die Phosphor über die Fruchtfolge düngen, können also problemlos HTK aufnehmen und einsetzen, wenn in den nächsten Jahren auf der Fläche weniger bis gar kein Phosphor gedüngt wird. Viehhaltende Betriebe haben diesen Spielraum häufig nicht, da die organischen Düngemittel in jedem Jahr und zu jeder Kultur ausgebracht werden. Diesen Betrieben wird daher empfohlen, anfallenden HTK oder Schweinegülle gegen Gärrest

oder Rindergülle einzutauschen, um weniger Phosphor auszubringen und die 170 kg N_{org}-Grenze damit einzuhalten. Bei Schweinegülle kann alternativ die Fütterung umgestellt werden, um den P-Gehalt zu reduzieren.

Auch das Grünland ist von der schlagspezifischen 170 kg N_{org}/ha-Obergrenze betroffen. In der Vergangenheit konnte der Kaliumbedarf durch die erhöhte Gabe von Wirtschaftsdüngern (200 - 250 kg N_{org}/ha) im größeren Maße gedeckt werden als bei 170 kg N_{org}/ha. Daraus ergibt sich, dass die Betriebe jetzt 40 – 60 kg K₂O/ha mehr streuen müssen. Phosphat muss im Grünland nicht mineralisch ergänzt werden.

Beispiel: Anpassung zur Einhaltung der schlagspezifischen 170 kg N_{org}-Obergrenze

Anbaufläche: 100 ha (50 ha Silomais, 25 ha Weizen, 25 ha Roggen), org. Düngung: Rindergülle
 Die bisherige Düngung bei der 170 N_{org}-Grenze für den Betriebsdurchschnitt: Der Mais wird mit 200 kg/ha und das Getreide mit 140 kg Gesamt-N/ha aus Rindergülle gedüngt. Der Betriebsdurchschnitt liegt bei 170 kg N_{org}/ha. Die Phosphor-Zufuhr über die Fruchtfolge liegt bei 76,5 kg P₂O₅/ha.

Variante 1: Die organische Düngung des Mais wird auf 170 kg N_{org}/ha reduziert, die des Getreides bleibt gleich. Der Mineraldüngereinsatz im Mais steigt. Die Phosphor-Zufuhr über die Fruchtfolge reduziert sich leicht auf 70 kg P₂O₅/ha, durchschnittlich werden nun noch 155 kg N_{org}/ha ausgebracht. Auswirkungen: zusätzliche Kosten für Mineraldünger, zusätzliche Kosten für Gülleabgabe

Variante 2: Alle drei Kulturen werden mit 170 kg N_{org}/ha gedüngt. Damit sinkt der Mineraldüngereinsatz im Getreide. Im Betriebsdurchschnitt können weiterhin 170 kg N_{org}/ha ausgebracht werden. Der Betrieb muss jedoch mit Ertragseinbußen im Getreide rechnen, was Versuche der LWK Niedersachsen zeigen. Auswirkungen: geringere Kosten für Mineraldünger, Ertragseinbußen.

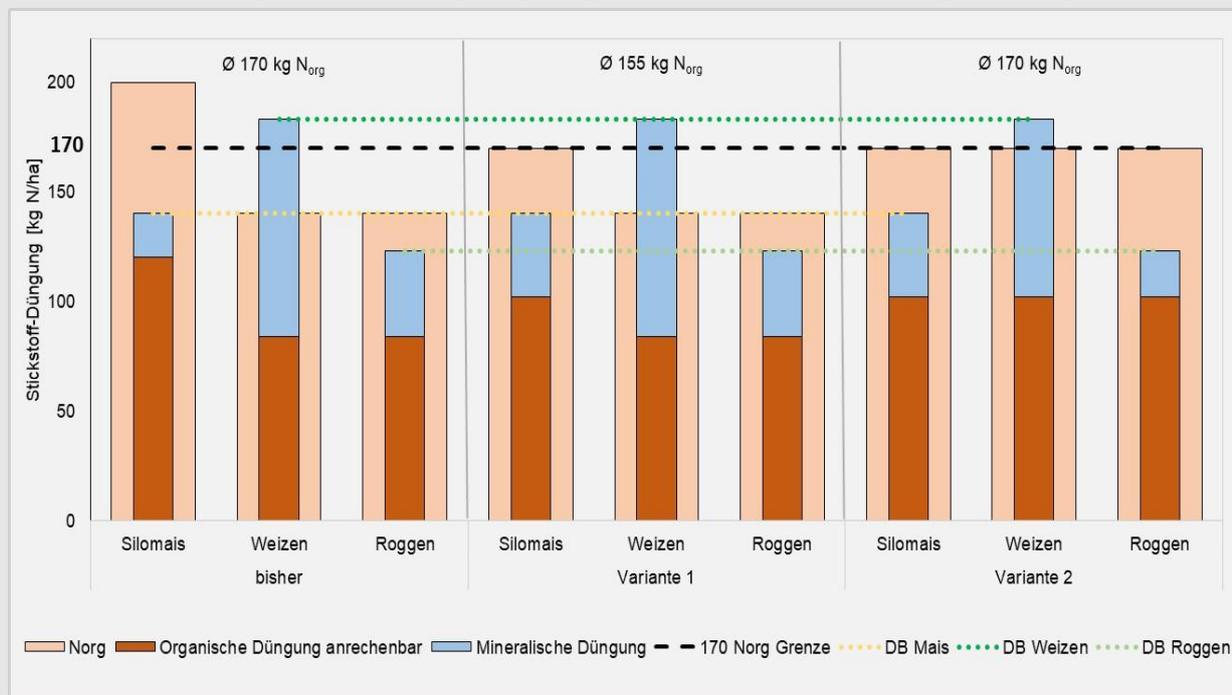


Abb. 55: Einhaltung der schlagspezifischen 170 kg Norg-Obergrenze anhand zweier Varianten

Variante 3: Umstellung der Fruchtfolge: Reduzierung des Getreideanteils auf 25 % zugunsten von Kulturen wie Zuckerrüben mit guter Verwertung von organischer Düngung. Wird das Getreide weiterhin mit 140 kg N_{org} gedüngt, die Zuckerrübe jedoch mit 170 kg N_{org}/ha, so werden im Betriebsdurchschnitt statt 155 kg N_{org} nun 162,5 kg N_{org} ausgebracht. Die P-Düngung über die Fruchtfolge läge hier mit 80,5 kg P₂O₅/ha in Höhe des Bedarfes/der Abfuhr. Wenn auf allen Flächen 170 kg N_{org}/ha gedüngt werden, sind die finanziellen Verluste nun geringer. Auswirkungen: reduzierte Kosten für Gülleabgabe, geringe zusätzliche Mineraldüngerkosten.

Welche Maßnahme für den Betrieb die kostengünstigere ist, hängt vom Abgabepreis und der Güllemenge, dem Einkaufspreis des Mineraldüngers und dem Auszahlungspreis der Produkte ab.

4.3.5 Zwischenfruchtanbauebot vor Sommerungen

Flächen, die bis zum 01.10. beerntet und im Folgejahr mit einer Sommerung bestellt werden, müssen in Zukunft über den Winter begrünt sein, sofern die folgende Hauptkultur gedüngt werden soll. Dies ist in Form einer Zwischenfrucht oder auch einer Untersaat möglich. Auf Flächen mit Kulturen, die nach dem

01.10. beerntet werden, muss keine Begrünerung mehr erfolgen. Zu beachten ist hierbei das Düngungsverbot für Zwischenfrüchte im Herbst. Leguminosen in Reinsaat oder im Gemenge können in diesem Fall Abhilfe leisten. Zu beachten ist an dieser Stelle aber der Aussattermin

4.4 Umgang mit in mit Nitrat belasteten Gebieten geltenden Vorgaben auf Grünland

Das Risiko einer Gefährdung von Grundwasserkörpern durch Nitratverlagerungen unter Grünlandnutzung ist im Allgemeinen sehr gering (Benke et al., 1999). Bedingt wird dies durch den durchgehenden ganzjährigen Bewuchs. Unter Grünlandnutzung findet keine jährliche Bodenbearbeitung und somit Mineralisationsanregung von gebundenem Stickstoff statt. Grünlandflächen werden fast ausschließlich zur Erzeugung von Futter bzw. zur Weidehaltung genutzt. Die Bedürfnisse der Tierhaltung definieren die Qualitätsansprüche an die Aufwüchse, dies erfordert eine entsprechende Düngung.

Die für die **Stickstoffbedarfsermittlung** zugrunde gelegten Werte der Düngeverordnung, berücksichtigen lediglich den Entzug des jeweiligen Nutzungsregimes (nach Anzahl Schnitte). Da hiervon noch entsprechende Abschläge vorzunehmen sind, wird weniger Stickstoff gedüngt als durch die Nutzung entzogen wird. Hieraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit, die N-Gaben so gezielt und effizient wie möglich zu gestalten.

Betriebe mit Grünlandflächen im nitratsensiblen Gebiet müssen die Summe des Düngedarfs der betroffenen Flächen um 20 % reduzieren. Durch die zusätzlichen Auflagen in den mit Nitrat belasteten Gebieten findet eine mittelfristige Extensivierung dieser Grünlandflächen statt. Die intensive Nutzung mit mehr als zwei Schnitten wird deutlich eingeschränkt.

Der **Einsatz von organischen Düngern** wird im nitratsensiblen Gebiet schlagspezifisch eingeschränkt. Es dürfen maximal 170 kg N/ha aus organischen Düngern wie z. B. Gülle ausgebracht werden. Diese wird aus dem Gesamtstickstoffgehalt des Düngemittels ohne Berücksichtigung von gasförmigen Ausbringungsverlusten etc. berechnet. Im Beispiel einer typischen Rindergülle mit 3,7 kg N/ m³ wären das z. B. maximal 45 m³ Gülle, die aufgeteilt zu den Nutzungen gedüngt werden dürfen.

Soll noch eine organische Düngung nach dem 01.09. erfolgen, darf in mit Nitrat belasteten Gebieten nur max. 60 kg N/ha (z.B. 16 m³ Rindergülle bei einem N-Gehalt von 3,7 kg N je m³ Gülle) ausgebracht werden.

In mit Nitrat belasteten Gebieten beginnt die Ausbringungssperfrist für flüssige N- und P-haltige Düngemittel (z.B. Rindergülle) bereits am 01.10. und endet am 30. Januar. Es kann keine Verschiebung der Sperrfrist beantragt werden.

Die Sperrfrist für Festmiste und Kompost ist in nitratsensiblen Gebieten ebenfalls vorgezogen und beginnt bereits am 01. November und geht bis zum 15. Januar. Die Erweiterung der Sperrfristen für flüssige N- und P-haltiger Düngemittel auf Grünland ist zur Risikominimierung von Abschwemmung und Nährstoffeintrag in Oberflächen nahe Gewässer effektiv. Aus pflanzenbaulicher Sicht muss auf Grünlandflächen die Kaliumversorgung, die durch die Düngung mit organischen Mehrnährstoffdünger ebenfalls gegeben wurde, eventuell ausglich werden. Ob die Erfahrung der Praxis, das späte Düngegabe die Winterhärte der Narben positiv beeinflussen, sich verschlechtert, bleibt zu beobachten. Die Winterhärte scheint mehrfaktoriell beeinflussbar.

Es müssen geeignete Voraussetzungen auf dem Grünland herrschen müssen, um ausreichende Trockenmasseerträge und Qualitäten zu erzielen. Dabei konnte bisher eine ausreichende Stickstoffdüngung teilweise Defizite des Standortes oder der Narbenqualität kompensieren. Dies ist nicht mehr möglich. Daher ist es wichtig, die gesamte Bewirtschaftung im Blick zu haben. Neben einer guten Narbenpflege mit regelmäßigen Nachsaaten ist auch die Versorgung mit Grundnährstoffen wie z. B. Kali oder auch Schwefel zu beachten. Bei niedrigen pH-Werten auf Mineralböden ist entsprechend zu kalkan.

Gesamtbetrieblich gilt es die Nährstoffe optimal, mit geringstmöglichen Verlusten, einzusetzen. Hier ist nicht nur der Wirtschaftsdünger zu nennen, sondern auch die Grundfutterwerbung und -konservierung. Außerdem gibt es oft Optimierungspotential in der Fütterung. Jeder Betrieb ist individuell und sollte für die Optionen bewerten und umsetzen.

Futterbaubetriebe in mit Nitrat belasteten Gebieten

Anders als Ackerbaubetriebe auf marktfruchtfähigen Standorten produzieren Futterbaubetriebe zumeist auf nicht ackerfähigen Grünlandstandorten (Moor- und Marschböden) sowie auf sandigen Ackerstandorten ihr betriebseigenes Futter, bestehend aus Gras und Maissilage für die Milcherzeugung. Im Betriebskreislauf fällt entsprechend des Viehbestandes Wirtschaftsdünger zumeist Gülle und geringenteilig Mist an.

Höhere Nitratbelastungen gehen in der Regel weniger von der Grünlandbewirtschaftung aus, sondern können nach Erfahrungen in den Trinkwasserschutzgebieten eher vom Silomaisanbau verbunden mit organischer Düngung auf leichten Böden oder auf Ackerböden mit hohem Humusanteil entstehen.

Der Silomais wird überwiegend in Selbstfolgen oder in engen Fruchtfolgen mit Ackergras oder Winterroggen angebaut. Um in engen Maisfolgen das Risiko von Nährstoffausträgen nach der Maisernte zu verringern ist der Anbau einer Gras-Untersaat ein wirksames Instrument. Aufgrund zunehmender Sommertrockenheit verstärkt die Untersaat allerdings das Risiko von Ernteverlusten beim Silomais.

Futterbaubetriebe in mit Nitrat belasteten Gebieten können weniger mit einer Anpassung ihrer Fruchtfolge oder Grünlandnutzung reagieren, sondern müssen über technische sowie Management bedingte Verbesserungen (Ausbringungstechnik, Separation, Lagerraumnutzung, etc.) eine Effizienzsteigerung ihrer organischen Düngung erzielen.

4.5 Umgang mit in eutrophierten Gebieten geltenden Vorgaben auf Ackerland

Die Vorgaben in eutrophierten Gebieten schränken die P-Düngung ein. Gerade in Kulturen, die auf eine P-Düngung bspw. in ihrer Jugendentwicklung positiv reagieren, macht sich diese Vorgabe auf den meisten niedersächsischen Standorten bemerkbar. Anpassungsstrategien, mit denen auf die Maßnahmen in gelben Gebieten reagiert werden kann,

sind nachfolgend erläutert. Pflanzenbaulich relevant ist hier die Reduktion der P-Düngung auf hoch versorgten Standorten. Die ebenfalls mit der Kullisse verbundene Meldepflicht dient eher dazu, die betrieblichen Nährstoffflüsse besser im Blick zu haben.

4.5.1 Reduzierung der P-Düngung auf hoch versorgten Standorten

Phosphat ist und bleibt ein essentieller Pflanzennährstoff. Nicht nur für den Energiestoffwechsel ist er von entscheidender Bedeutung. Auch das Wurzelwachstum ist direkt vom ver-

fügbaren P-Angebot abhängig. In der P-Kullisse muss der P-Einsatz nach den beschriebenen Vorgaben deutlich gesenkt werden (Tab. 38-39).

Beispiel: Auswirkungen der Reduzierung der P-Düngung am Beispiel Silomais im Futterbaubetrieb

Aus dem voraussichtlichen Ertrag von 450 dt/ha Frischmasse und einem P₂O₅-Gehalt von 0,17 kg/dt ergibt sich ein P₂O₅-Bedarf/ha für Silomais von 77 kg/ha. Bei leicht oder normal versorgten Böden darf in Höhe dieser Abfuhr gedüngt werden. Hoch versorgte Böden, auf denen nur eine Düngung in Höhe von 50 % der Abfuhr erlaubt ist, dürfen dann noch mit 38,5 kg P₂O₅ gedüngt werden und auf sehr hoch versorgten Böden ist keine Zufuhr von P-haltigen Düngemitteln erlaubt.

Tab. 38: Berechnung der P₂O₅-Abfuhr und die erlaubte P₂O₅-Düngung in Abhängigkeit vom Versorgungszustands des Bodens

Berechnung der P ₂ O ₅ -Abfuhr				Erlaubte P ₂ O ₅ -Düngung		
N-Bedarf	Ertrag	P ₂ O ₅ -Gehalt	P ₂ O ₅ -Abfuhr	normal versorgte Böden	hoch versorgte Böden	sehr hoch versorgte Böden
[kg/ha]	[dt/ha]	[kg/dt]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]
130	450	0,17	77	77	38,5	0

Eine Unterfußdüngung zum Mais mit 1 dt/ha NP-Dünger (20/20) ist praxisüblich. Bei normal versorgten Böden bleibt somit ein Düngbedarf von 57 kg P₂O₅/ha, der durch organische Düngung gedeckt werden kann. Bei einer Standard-Rindergülle mit 1,5 kg P₂O₅/m³ ergibt dies 38 m³/ha. Auf hoch versorgten Böden sollte die erste Maßnahme der Verzicht der mineralischen Unterfußdüngung sein. So kann der Betrieb noch 25 m³/ha Rindergülle verwerten. Das heißt, es müssen 13 m³/ha abgegeben werden (Tab. 39).

Tab. 39: Anpassungen der P₂O₅-Düngung bei unterschiedlichen Versorgungszuständen des Bodens

		N-Düngung	P ₂ O ₅ -Düngung
		[kg N/ha]	[kg P ₂ O ₅ /ha]
Bedarf/Abfuhr		130	77
normal versorgte Böden	UFD mit 20/20 1 dt/ha	20	20
	Rindergülle 38 m³ [3,7 kg/m ³ N; 1,5 kg/m ³ P ₂ O ₅]	84 anrechenbar (141 gesamt)	57
	Summe	104	77
hoch versorgte Böden	20/20 0 dt/ha	0	0
	UFD mit Rindergülle 25 m³ [3,7 kg/m ³ N; 1,5 kg/m ³ P ₂ O ₅]	56 anrechenbar (93 gesamt)	38
	Summe	56	38
sehr hoch versorgte Böden	20/20 0 dt/ha	0	0
	Rindergülle 0 m³ [3,7 kg/m ³ N; 1,5 kg/m ³ P ₂ O ₅]	0	0
	Summe	0	0

Bei angenommenen Abgabekosten von 10 €/m³ lägen somit bei 130 €/ha auf hoch versorgten Böden bis 380 €/ha auf sehr hoch versorgten Böden.

Um die Abgabekosten, die durch die Beschränkungen bei der P-Düngung auf hoch und sehr hoch versorgten Flächen entstehen, zu senken, gibt es für den Betrieb folgende Möglichkeiten:

Regelmäßige Bodenanalyse

Auch wenn die Düngeverordnung Bodenuntersuchungen nur alle 6 Jahren vorschreibt, sind Untersuchungen alle drei Jahre sinnvoll.

Für eine repräsentative Grundbodenuntersuchung sollte ein Einstich an 20 gleichmäßig verteilten Stellen (quer oder diagonal zur Bearbeitungsrichtung) durchgeführt werden. Vorgewende und Mietenplätze sind zu meiden. Die Probenahme erfolgt auf Ackerland in der Bodenschicht von 0-30 cm (Grünland 0-10 cm). Die 20 Bohrkern sollten im Eimer gemischt und anschließend zum Analyselabor geschickt werden. Nähere Informationen zur korrekten Bodenprobenahme gibt es beispielsweise bei der LUFA Nord-West.

Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung

Auf leichten Böden besteht die Möglichkeit, die Unterfußdüngung auf organische Unterfußdüngung umzustellen. Auf normal versorgten Böden könnte bei Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung mehr Rindergülle ausgebracht werden, da die 20 kg/P₂O₅/ha aus der mineralischen Unterfußdüngung durch Gülle oder Gärrest ersetzt werden können. Auf hoch versorgten Standorten könnten somit die Abgabekosten gesenkt werden, da für 20 kg P₂O₅/ha als Unterfußdüngung 13 m³/ha mehr aufgebracht werden können (25 m³ statt 12 m³).

Auf kalten und trägen Standorten wie Marschen oder Moorflächen ist dieses System allerdings ungeeignet. Beim Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung muss beachtet werden, dass auch die Erträge um etwa 5 % sinken, wie Versuche der LWK Niedersachsen zeigen. Der finanziellen Einbußen wären jedoch in der Regel geringer, als die Abgabekosten der Rindergülle.

Grundsätzlich gilt es, die Notwendigkeit der P-Unterfußdüngung auf dem eigenen Standort

zu ermitteln. Durch Düngefenster ist dies einfach möglich, da sich gerade in der Jugendentwicklung des Maises, die die Phosphat-Startgabe im Wesentlichen unterstützt, gut erkennen lassen. Versuche zeigen, dass auf solchen Standorten, die positiv auf eine P-Unterfußdüngung reagieren, auch P-haltige Mikrogranulate alternativ geprüft werden können. In ersten Ergebnissen führen sie ab einer ausgebrachten Menge von mindestens 10kg P₂O₅/ha zu ähnlichen Erträgen wie eine mineralischen Unterfußdüngung. In Kombination mit einer Gülle-Unterfußdüngung führt die Saatbanddüngung mit P-haltigen Mikrogranulaten zu sogar zu signifikanten Ertragssteigerungen.

Abgabe und Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern

Fallen mehr Nährstoffe an, als im eigenen Betrieb verwertet werden können, müssen diese abgegeben werden. Hohe Abgabemengen und -kosten für Wirtschaftsdünger begünstigen eine vorherige Aufbereitung. Betriebe, die nur noch 50 % der Phosphatabfuhr düngen dürfen, müssen je nach Kultur etwa 30 - 50 kg P₂O₅/ha abgeben. Das entspricht je nach Inhaltsstoffen etwa 20 - 33 m³/ha Rindergülle. Durch eine Separation kann der Phosphatgehalt in der festen Phase je nach Trockensubstanz etwa um 20 - 30 % erhöht werden. Die Abgabemenge würde somit auf 16-27 m³/ha Rindergülle reduziert (Tab. 40).

Tab. 40: Phosphatabgaben vor und nach der Separation von Rindergülle

Phosphatabgabe (P ₂ O ₅)	[kg/ha]	30	50
P ₂ O ₅ in der Rindergülle	[kg/m ³]	1,5	1,5
Abgabemenge ohne Separation	[m ³]	20	33
Erhöhung des P ₂ O ₅ -Gehaltes um 25 % durch Separation	[%]	1,9	1,9
Abgabemenge nach Separation	[m ³]	16	27

Fütterung in der Tierhaltung

In viehintensiven Regionen wird viel Phosphor über Kraftfutter zugefüttert. Vom Tier nicht verwertete Mengen gelangen über organische Dünger auf die landwirtschaftlichen Flächen

4.6 Umgang mit in eutrophierten Gebieten geltenden Vorgaben auf Grünland

Sowohl auf Acker als auch auf Grünlandflächen in eutrophierten Gebieten wird in Abhän-

zurück. Über eine stickstoff- und phosphatreduzierte Fütterung kann der Nährstoffanfall deutlich reduziert werden. Dies zeigt sich in der Fütterung von Mastschweinen, bei denen durch mehrphasige Fütterung der P-Anteil im organischen Dünger um etwa 20 % geringer ist. Im Futterbau muss hier noch optimiert werden. Stellschraube ist hierfür qualitativ gutes Grundfutter, was nur durch regelmäßige Narbenpflege sowie optimierte Düngung und Erntemanagement zu erzielen ist.

Anpassung des Tierbestandes

Die Anpassung des Tierbestandes muss betriebsindividuell geprüft und bewertet werden. Hierfür sind neben den pflanzenbaulichen Kriterien auch die ökonomischen Gesichtspunkte zu betrachten. Deshalb wird an dieser Stelle nicht intensiver auf die Anpassung des Bestandes eingegangen, sondern auf eine Betriebsanalyse verwiesen.

Kurz & knapp:

- P-Düngung in bedürftigen Kulturen

Ackerbaubetriebe

- in bedürftigen Kulturen gezielt Organik als Unterfußdünger einsetzen

Viehhaltende Betriebe

- Mineralische UFD durch Gülleunterfußdüngung ersetzen
- P-reduzierte Fütterung
- Gülleabgabe in vieharme Regionen nach Aufbereitung
- Anpassung der Tierbestände

gigkeit des Humusgehaltes und der Phosphorgehalte im Boden die Phosphordüngung eingeschränkt. Bei sehr hohen Phosphorgehalten

im Boden und stark humosen Böden kann unter Umständen dann keine P-Düngung mehr zulässig sein. Auf diesen Standorten darf kein Mehrnährstoffdünger wie z.B. Rindergülle mehr eingesetzt werden, mit Ausnahme von Ökobetrieben.

Da der Phosphorbedarf von Gras im Vergleich zu Stickstoff geringer ist, kann für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern oftmals der Phosphordüngebedarf der begrenzende Faktor für die Gesamtmenge an Wirtschaftsdünger je Fläche sein. Dies kommt auf das N/P-Verhältnis in der Gülle/Gärrest sowie die Phosphatgehalte in den Böden an.

In eutrophierten Gebieten verlängert sich die Sperrfrist für phosphorhaltige Düngemittel bis zum 15.02., weshalb vorher eine organische Düngung mit z.B. Rindergülle nicht durchgeführt werden darf.

Schon jetzt gibt es innerhalb der sog. phosphatsensiblen Gebiete je nach Versorgung des Bodens Restriktionen in der P-Düngung. Bei vielen Betrieben orientiert sich die Tierhaltung im Rahmen der 170 kg N-Grenze. Hier sind über Wirtschaftsdünger ausreichende P-Mengen für den Bedarf des Grünlandes vorhanden. Eine zusätzlich mineralische P-Gabe ist nicht erforderlich und ist in der Praxis auch nicht üblich. Somit lassen sich in beim Phosphor im Gegensatz zum Stickstoff die Mengen nicht durch eine Anpassung der Mineraldüngung reduzieren. Hier kann nur die organische Düngung in Gänze, oder die P-Frachten der Gülle durch Separation verringert werden. Weniger Gülle auszubringen wäre mit einer höheren Nährstoffabgabe, einer Reduzierung der Tierzahlen oder dem Bewirtschaften von

mehr Fläche verbunden. Auch sollten zunächst alle Möglichkeiten der Gülleaufbereitung genutzt werden. Gerade für Betriebe, bei denen Phosphor zum begrenzenden Faktor wird, bietet sich eine Separation der Gülle an. Die Fütterung in der Milchviehhaltung bietet vielfach noch weiteres Potential zur Phosphor-reduzierung. Hier sind P-Reduzierte Mineral- bzw. Kraftfutter zu nennen. Ein deutlicher größerer Hebel bietet die Steigerung der Grundfütterleistung. Auswertungen zeigen hier eine große Heterogenität der Milchviehherden. Mit steigendem Anteil der Milcherzeugung aus Grundfutter, sinkt der Zukauffutteraufwand je kg Milch. So können die betrieblichen P-Salden gesenkt werden. Weiterhin lassen sich die Kosten für Zukauffuttermittel und Gülleabgabe reduzieren. Unabdingbare Voraussetzung für eine Steigerung der Grundfütterleistung ist gute Grundfutterqualität. Im Grünland sind hier neben der Narbenpflege, dem Schnitzeitpunkt vor allem auch die Futterkonservierung wichtig. Hohe Verdichtung des Silos, gute Abdeckung und ausreichender Vorschub sind hier nur einige Punkte die es zu beachten gilt.

4.7 Einschätzung der aus den gesetzlichen Vorgaben resultierenden Auswirkungen auf den Pflanzenbau

Auf Grundlage der zuvor getätigten Recherchen lässt sich eine Bewertung der Auswirkungen für den Pflanzenbau durch die neue Düngegesetzgebung ableiten. Je nach Region und insbesondere nach der betrieblichen Ausrichtung kann die individuelle Betroffenheit der dargestellten Schemata abweichen. Eine Beurteilung muss somit zusätzlich immer auch auf betrieblicher Basis durchgeführt werden.

4.7.1 Konventionelle Landwirtschaft

Die konventionelle Landwirtschaft ist durch die düngerechtlichen Vorgaben zum Teil sehr stark betroffen. Konsequenzen und Probleme bei der Umsetzung der einzelnen Vorgaben und eine Bewertung der Betroffenheit sind Tabelle 41 zu entnehmen. Die Betroffenheit der verschiedenen

Kulturen sowie unterschiedlicher Düngung und Bodenarten durch die jeweilige gesetzliche Vorgabe wird abgebildet und ist durch die unterschiedlich farbig gekennzeichneten Punkte, die auf Basis einer fachlichen Einschätzung erfolgt sind, dargestellt

Tab. 41: Übersicht gesetzliche Vorgabe, Konsequenzen und Betroffenheit, (WW = Winterweizen, GW = Wintergerste, RW = Winterroggen, TW = Wintertriticale, ZR = Zuckerrübe, KA = Kartoffel, S = Sand, IS = lehmiger Sand, L = Lehm, T = Ton)

gesetzliche Vorgabe	Konsequenzen und/oder problematische Umsetzung	Betroffenheit													
		● = geringe ● = mittlere Betroffenheit; ● = hohe Betroffenheit													
		Winterkulturen			Sommerkulturen				Grünland	Düngung		Standorte / Bodenart			
WW	GW/RW/TW	Raps	ZR	KA	Sommer-Getreide	Mais	orga-nisch	minera-lisch		S, IS	L	T	Moor		
FLÄCHENDECKENDE VORGABEN IN GRÜNEN GEBIETEN															
N-Düngebedarfsermittlung	Bedarfswerte als maximale Obergrenze	●	●	●		●		●			●	●	●		
Überschreitung des Düngebedarfs um max. 10 %	bei extremen Witterungsbedingungen (hohe bis sehr hohe Niederschläge, die zu Auswaschung in der Vegetation führen) ist 10% des Bedarfswertes zu gering (max. 10 – 20 kg N/ha)		●			●		●		●		●	●		
Kenntnis über N-Gehalt in Düngemitteln															
Erhöhung der Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten (Acker)	Ausnutzung im Ø des Betriebes geringer, Flächen ohne langjährige organisch Düngung		●		●	●	●		●		●	●	●		
Einschränkungen Phosphatzufuhr (§ 3 Abs. 6)	P-Düngung ist bis in Höhe der Abfuhr möglich, Betrieb mit Flächen, die eine hohe P-Versorgung aufzeigen, müssen mehr P exportieren (Ausschöpfen der 170 N-Grenze nicht möglich, Zukauf von mineralischem N notwendig)								●						●
Anrechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus der Herbstdüngung	Raps und Wintergerste (Bedarfswert bezieht sich auf den N-Bedarf in der Hauptvegetation)		●	●					●						
Ausbringungsverbot auf gefrorenem Boden	Ausbringung oft erst nach Abtrocknung der Böden möglich, zu spät für Winterungen	●	●	●	●	●		●	●		●	●	●	●	●
Hangneigung und Gewässerabstände	Bestimmungsschlüssel fehlt noch!	● GILT GRUNDSÄTZLICH!													
Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland	Innerhalb von 4 Stunden (ab 2025 innerhalb 1 h)				●	●	●	●						●	●
Harnstoff nur mit Ureasehemmstoff oder Einarbeitung innerhalb von 4 h															
bodennahe streifenförmige Aufbringung oder direkte Einarbeitung flüssiger organischer Düngemittel auf bestelltem Ackerland															
Berücksichtigung der 170 kg N _{org} -Grenze bei Flächen mit Düngebeschränkung									●						
Verlängerung der Sperrfrist für FM/ Kompost	Gilt für Festmist von Huf- und Klautentieren					●			●		●	●	●		
Sperrfrist für die Aufbringung P-haltiger Düngemittel									●						
Aufzeichnungspflicht	Dokumentationspflicht (geeignete Software für die Aufzeichnung vorteilhaft)	● GILT GRUNDSÄTZLICH!													
Lagerung															
VORGABEN IN „NITRAT BELASTETEN“ UND „EUTROPHIERTEN“ GEBIETEN															
Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %	geringer N-Bedarf → geringe Abfuhr, N _{min} -Werte unverändert	●		●	●	●	●	●							

gesetzliche Vorgabe	Konsequenzen und/oder problematische Umsetzung	Betroffenheit													
		● = geringe ● = mittlere Betroffenheit; ● = hohe Betroffenheit													
		Winterkulturen				Sommerkulturen				Grünland	Düngung		Standorte / Bodenart		
WW	GW/RW/TW	Raps	ZR	KA	Sommer-Getreide	Mais	orga-nisch	minera-lisch	S, IS		L	T	Moor		
Düngungsverbot im Herbst	Etablierung der Zwischenfrucht schwierig		●	●	●	●	●	●		●		●	●	●	
Reduzierung der Düngung auf Grünland (01.09. - 30.09)	fachlich nachvollziehbar, durch Ausbringungsverbot auf Frost aber ggf. erforderlich							●							
Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N _{org} -Grenze	unter Ackerland und Grünland darf 170 N _{org} nicht überschritten werden; Erhöhung im Grünland sehr positiv für Wasserschutz		●				●	●	●	●					
Sperrfrist Verlängerung ab 01.10.									●						
Erweiterung der Sperrfrist für Festmiste und Komposte									●						
Zwischenfruchtenangebot vor Sommerungen	Zwischenfrucht ohne Düngung schwer zu etablieren						●		●					●	
LANDESDÜNGEVERORDNUNG (08.05.2021)															
NITRAT BELASTETE GEBIETE															
Ermittlung des verfügbaren Stickstoffs	logistisches Problem, aber lösbar						●								
Reduzierung der Einarbeitungszeit	logistisches Problem, aber lösbar						●		●		●	●	●		
EUTROPHIERTE GEBIETE															
Reduzierung der P-Düngung	organische Düngung auf Flächen mit hohen P-Gehalten kaum möglich				●		●		●		●				●
Erhöhung der Gewässerabstände									●	GILT GRUNDSÄTZLICH!					

4.7.2 Ökologischer Landbau

Der ökologische Landbau ist durch die Vorgaben der Düngeverordnung und Einschränkungen in den roten Gebieten weniger stark betroffen. Nach den Vorgaben der EU-Ökoverordnung sind mineralische Stickstoffdünger nicht erlaubt. Zugelassene mineralische Phosphatdünger beschränken sich auf Rohphosphate, deren Wirkung jedoch langsamer und weniger effizient ist. Somit verbleiben nur organische Düngemittel für die Düngung im ökologischen Landbau. Ihr Einsatz ist aber insbesondere für die in Anbauverbänden (Bioland, Naturland, Demeter, etc.)

organisierten Betriebe reglementiert. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit für im ökologischen Landbau zugelassene organische Düngemittel begrenzt. Auch pflanzenbauliche Gründe begrenzen den Einsatz stickstoffhaltiger organischer Düngemittel, da durch sie der Beikrautdruck erhöht werden kann. So ergeben sich bei einzelnen Punkten auch Probleme für den Ökologischen Landbau, die Gesamtbetroffenheit ist dennoch geringer und Strategien für alternative Maßnahmen sind nur zum Teil erforderlich.

Tab. 42: Übersicht gesetzliche Vorgabe, Konsequenzen und Betroffenheit, (WW = Winterweizen, GW = Wintergerste, RW = Winterroggen, TW = Wintertriticale, ZR = Zuckerrübe, KA = Kartoffel, S = Sand, IS = lehmiger Sand, L = Lehm, T = Ton).

gesetzliche Vorgabe	Konsequenzen und/oder problematische Umsetzung	Betroffenheit													
		● = geringe Betroffenheit ● = mittlere Betroffenheit; ● = hohe Betroffenheit													
		Winterkulturen			Sommerkulturen				Grünland	Düngung		Standorte / Bodenart			
WW	GW/RW/TW	Raps	ZR	KA	Sommer-Getreide	Mais	organisch	mineralisch		S, IS	L	T	Moor		
FLÄCHENDECKENDE VORGABEN IN GRÜNEN GEBIETEN															
N-Düngebedarfsermittlung	Bedarfwerte als maximale Obergrenze														
Überschreitung des Düngebedarfs um max. 10 %															
Kenntnis über N-Gehalt in Düngemitteln	Wichtig, da ausschließlich organische Düngemittel ausgebracht werden dürfen, deren Nährstoffgehalte stark schwanken können	●	●	●	●	●		●	●						
Erhöhung der Mindestwirksamkeit von Gülle und Gärresten (Acker)	Relevant für die Sommerungen ZR und Mais, da diese hauptsächlich mit Wirtschaftsdüngern gedüngt werden				●			●							
Einschränkungen Phosphatdüngung															
Anrechnung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs aus der Herbstdüngung	Nur bei Raps relevant, da dieser im Herbst mit flüssigen org. Düngemitteln angedüngt wird, Raps hat nur eine sehr geringe Anbaubedeutung im Ökolandbau			●											
Ausbringungsverbot auf gefrorenem Boden	Ausbringung von Festmist und Komposten hat größere Bedeutung, Vermeidung von Strukturschäden im Winter/Frühjahr	●	●	●	●	●	●	●				●	●	●	
Hangneigung und Gewässerabstände															
Einarbeitungszeit auf unbestelltem Ackerland															
Harnstoff als Düngemittel															
Aufbringung flüssiger organischer Düngemittel auf bestelltem Ackerland															
Berücksichtigung der 170 kg N _{org} -Grenze bei Flächen mit Düngebeschränkung	Ausbringung von Festmist hat größere Bedeutung, geringe Anrechenbarkeit des Stickstoffs; Festmiste eher zu Sommerungen				●	●	●	●	●						
Verlängerung der Sperrfrist für FM/ Kompost															
Sperrfrist für die Aufbringung P-haltiger Düngemittel															
Aufzeichnungspflicht															
Lagerung															
VORGABEN IN „NITRAT BELASTETEN“ UND „EUTROPHIERTEN“ GEBIETEN															
Reduzierung des N-Düngebedarfs um 20 %	Ist nur für Ökobetriebe relevant, die mehr als 160 kg N/ha Gesamtbetriebsdurchschnitt aufweisen, Verbandsbetriebe fallen raus, nur wenige EU-Biobetriebe überschreiten diese Grenze			●		●		●							

Anpassungsstrategien

gesetzliche Vorgabe	Konsequenzen und/oder problematische Umsetzung	Betroffenheit																	
		= geringe Betroffenheit			= mittlere Betroffenheit;				= hohe Betroffenheit										
		Winterkulturen			Sommerkulturen				Grün- land	Düngung		Standorte / Bodenart							
		WW	GW/ RW/ TW	Raps	ZR	KA	Sommer- Getreide	Mais		orga- nisch	minera- lisch	S, IS	L	T	Moor				
Düngungsverbot im Herbst	Vorrangig Ausbringung von Festmist und Kompost, unterliegen keiner Einschränkung; höhere Betroffenheit bei HTK und nicht ausreichender Lagermöglichkeit			●															
Reduzierung der Düngung auf Grünland	Problematisch wenn Lagerraum nicht ausreichend vorhanden ist									●									
Schlagspezifische Anrechnung der 170 kg N _{org} -Grenze	Ausbringung von Festmist hat größere Bedeutung, geringe Anrechenbarkeit des Stickstoffs; Festmiste eher zu Sommerungen				●	●	●	●	●										
Sperrfrist Verlängerung ab 01.10.																			
Erweiterung der Sperrfrist für Festmiste und Komposte	Zeitfenster für günstige Ausbringungsbedingungen wird enger, Strukturschäden müssen vermieden werden				●	●	●												
Zwischenfruchtanbauebot vor Sommerungen	Problematisch bei hohem Besatz von Wurzelunkräutern auf den Flächen, dann wäre eine Unkrautkur nach der Ernte nötig, ggf. fehlende Zeit zur Etablierung einer Zwischenfrucht				●	●	●	●											
LANDESDÜNGEVERORDNUNG (08.05.2021)																			
NITRAT BELASTETE GEBIETE																			
Ermittlung des verfügbaren Stickstoffs	Logistisches Problem wg. hohen Probenaufkommen bei LUFA				●	●	●	●											
Reduzierung der Einarbeitungszeit	Problematisch nur bei HTK				●	●	●	●		●									
EUTROPHIERTE GEBIETE																			
Reduzierung der P-Düngung																			
Erhöhung der Gewässerabstände																			

5 Zusammenfassende Betrachtung und Ausblick

In dieser Informationsbroschüre sind die rechtlichen Rahmenbedingungen durch die Ausweisung der mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebiete und den damit verbundenen Bewirtschaftungsauflagen verdeutlicht. Innerhalb Niedersachsens ist die regionale Betroffenheit durchaus unterschiedlich. Nichts desto trotz können alle Betriebe, die ihre Betriebsabläufe überdenken müssen oder wollen, aus dieser Broschüre Anpassungsstrategie entnehmen.

Diese Anpassungsstrategien zeigen im Wesentlichen einen effektiven Einsatz der nach Fachrecht noch zur Verfügung stehenden Nährstoffmengen auf und somit um

- eine effektive Nutzung der eingesetzten Düngemittel durch die Pflanzen
- eine Mobilisierung von Nährstoffen durch anbautechnische Maßnahmen sowie
- eine Konservierung der vorhandenen Nährstoffe über bspw. Sickerwasserperioden hinaus umzusetzen.

Die Stickstoff-Effizienz bzw. der Vorteil einzelner Maßnahmen gegenüber anderen Verfahren ermöglichen es, das gesamte System zu betrachten und je nach Standort, Fruchtfolge und Kultur die richtigen Strategien zu wählen. Dabei ist das Ziel grundsätzlich davon unabhängig, ob organische oder mineralische Düngemittel eingesetzt werden. Denn aus beiden Nährstoffformen muss letztendlich möglichst viel zur Pflanzenernährung zur Verfügung stehen.

Über Anpassungsstrategien im Bereich des Fruchtfolgemanagements lassen sich den Berechnungen zufolge die größten Potentiale zur

Kompensation möglicher Ertragsverluste und Steigerung der N-Effizienz erschließen. Der Einbau von Körnerleguminosen und ein ausgeglichenes Verhältnis von Sommerungen und Winterungen lässt zum einen eine bedarfsgerechtere Verteilung der N-Düngung zu und führt zum anderen durch die Erweiterung der Fruchtfolge zu pflanzenbaulichen Vorteilen, die sich in einer insgesamt höheren Ertragsleistung ausgewählter Kulturen bemerkbar machen. Der Zwischenfruchtanbau spielt in Regionen mit Hackfruchtanbau, insbesondere bei Zuckerrüben und Kartoffeln, langjährig etabliert eine große Rolle. Unterschiede in der N-Effizienz ergaben sich den Versuchen zufolge aber in Abhängigkeit der Bodenarten. So konnte ein N-Vorteil durch den Anbau leguminosenhaltiger Zwischenfrüchte vor allem auf leichten Standorten nachgewiesen werden. Dieses war in den bisherigen Versuchen auf schweren Standorten nicht nachweisbar. Dort hingegen lässt sich das Zwischenfruchtangebot vor zu düngenden Sommerungen am besten durch den Anbau einer reinen Leguminosen-Zwischenfrucht umsetzen, wenn diese sich nicht anderweitig in der Fruchtfolge befinden.

Auf schweren Standorten kann auch durch die Wahl eines früheren Umbruchzeitpunktes (Umbruch im Winter statt direkt vor der Aussaat) die Mineralisation im Boden angeregt werden. Allerdings ist der Zeitpunkt so zu wählen, dass es zu keiner Grundwasserbelastung durch erhöhte Nitratverlagerung kommt.

Einen großen Einfluss auf die N-Effizienz wurden in langjährigen Versuchen durch die Beregnung nachgewiesen. Durch eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanze wird die Nährstoffversorgung und der zu erzielende Ertrag abgesichert.

Des Weiteren kann durch einen entsprechenden Technikeinsatz bereits bei der Aussaat, aber auch bei der Bestandesführung Einfluss auf den späteren Ertrag der Kultur genommen werden. So kann auch bei oder vor der Aussaat die Platzierung der Dünger im Wurzelbereich der Pflanzen stattfinden, um eine hohe Effizienz der eingesetzten Nährstoffe zu erreichen.

Neben dem Blick auf den Nährstoff Stickstoff sind auch die Grundnährstoffe zu berücksichtigen. Eine hohe N-Effizienz ist eher zu erreichen, wenn ein Standort optimal mit Grundnährstoffen versorgt ist und diese zum richtigen Zeitpunkt der Pflanze zur Verfügung gestellt werden können. Mittels Bodenuntersuchung lässt sich der Versorgungszustand eines Bodens prüfen und beurteilen. Darüber hinaus legt eine gute Bodenstruktur die Basis für eine gute Nährstoffaneignung der Kulturpflanzen. Jede Bodenbewegung führt bei entsprechender Temperatur und Feuchtigkeit zu verstärkter Mineralisation, welche man sich kurzfristig zunutze machen kann. Ziel ist es, den Boden schonend und zum richtigen Zeitpunkt zu bearbeiten, um negative Auswirkungen wie Bodenverdichtungen etc. zu vermeiden. Die Intensität der Bodenbearbeitung und ihre Wirkung auf Wachstum und Ertrag einer Kultur kann ebenso über einen langen Zeitraum überprüft werden, wenn die Verfahren

durchgängig angewendet werden. Die richtige Verteilung der N-Düngung spielt bei der Ernährung der Pflanze neben der bedarfsgerechten Düngermenge eine wichtige Rolle. Auch die Verwertungsrichtung und/oder Qualität des Ernteproduktes kann durch die Stickstoff-Düngung beeinflusst werden.

Aus dieser Betrachtung insgesamt lässt sich der Schluss ziehen, dass sich die untersuchten Anpassungsmaßnahmen, die für rote Gebiete im Rahmen dieser Informationsbrochure untersucht worden sind, hinsichtlich einer möglichen N-Effizienz z. T. sehr stark voneinander unterscheiden. Das bedeutet aber auch, dass grundsätzlich die N-Düngung in Höhe des Bedarfswertes für eine optimale Versorgung der Pflanze wichtig ist. Je weniger Dünger zur Verfügung stehen, desto mehr ist ein wirkungssicherer Einsatz unter Beachtung der Witterung notwendig. Eine flexible Verteilung der Düngung innerhalb der Kulturen im Rahmen einer standortangepassten Fruchtfolge lässt für die Bewirtschaftung in roten Gebieten noch den nötigen Spielraum zu.

Insgesamt ist für den betrieblichen Erfolg bei der Umsetzung der Maßnahmen individuell aus den unterschiedlichen Bereichen ein erfolgreiches Konzept zusammenzustellen.

Ausblick

Mit dieser Informationsbroschüre ist eine Arbeitshilfe entstanden, die bei der Kompensation der Auswirkungen der Vorgaben in roten Gebieten eine wesentliche Hilfe bietet.

Die Informationsbroschüre spiegelt den derzeitigen Kenntnisstand wider, der sich aus den langjährigen Versuchen zu pflanzenbaulichen Fragestellungen der letzten Jahre ergeben hat. So wird auch ersichtlich, dass nicht alle Fragestellungen, die heute eine Relevanz haben, im Rahmen von Versuchen abgeprüft worden sind, sondern das nach wie vor in dieser Hinsicht Handlungsbedarf besteht. Ziel ist es, für die Vorgaben in den roten und gelben Gebieten, die „richtigen Fragen“ zu stellen und diese zielorientiert zu untersuchen. Dieses erfordert einen weiteren intensiven Austausch zwischen Bewirtschafter*innen und den Berater*innen, um die sich daraus entwickelnden Fragen und Ideen aufzunehmen und weiter zu prüfen.

Jeder Bewirtschafter, jede Bewirtschafterin kann aber aus den bisher untersuchten und hier beschriebenen Anpassungsmaßnahmen

diejenigen heraussuchen, die im eigenen Betrieb und unter den standörtlichen Bedingungen am sinnvollsten umgesetzt werden können. Der Fokus sollte dabei immer auf der Maßnahme liegen, die die größtmögliche N-Effizienz und die geringsten zu erwartenden negativen Auswirkungen auf das betriebswirtschaftliche Ergebnis hat. Welche Maßnahme das ist, hängt von vielen betrieblichen Faktoren und den Bedingungen des zu betrachtenden Gebietes oder der Region ab.

Wenn im Sommer 2023 unter Berücksichtigung der denitrifizierenden Verhältnisse des Grundwassers eine erweiterte Kulisse ausgewiesen wird, werden die hier beschriebenen Anpassungsstrategien für einen noch größeren Teil der Betriebe relevant. Je teurer Düngemittel sind, desto eher beschäftigen sich auch nicht in den Gebietskulissen liegende Betriebe mit den behandelten Fragestellungen. Seien Sie sich sicher: Wir setzen um, was den Pflanzenbau bewegt und bleiben dabei nah dran an den Fragestellungen der Landwirtschaft von heute für die Landwirtschaft von morgen.

6 Literaturverzeichnis

Ali, A., Wang, X., Chen, Y., Jiao, Y., Mahal, N.K., Moru, S., Castellano, M.J., Schnable, J.C., Schnable, P.S. & Dong, L. (2019): Continuous monitoring of soil nitrate using a miniature sensor with poly(3-octyl-thiophene) and molybdenum disulfide nanocomposite. ACS Appl. Mater. Interfaces 2019, 11, 29195 – 29206.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (2003): Beratungsunterlagen für den ökologischen Landbau, Fruchtfolgebedingte Krankheiten von Leguminosen im ökologischen Landbau.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (2015): N-Düngung von Winterweizen bei Trockenheit (Versuch 536) (Versuchsergebnisse aus Bayern, 2008, 2011 und 2014).

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL) (2016): N-Düngung zu Winterweizen anhand verschiedener Düngesysteme (DSN, N-Sensor und N-Simulation) mit und ohne organische Düngung (Versuchsergebnisse aus Bayern, 2011 bis 2014).

Baeumer, C. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 3. Auflage.

Benke, M., Kayser, M., Thomann, B. und Kayser, A. (1999): Begleitende Untersuchungen des oberflächennahen Sickerwassers mittels der Saugkerzen-Methode zur kontinuierlichen Erfassung der Verlagerung und Auswaschung von Nitrat-Stickstoff, Phosphat und Kalium aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. Projekt- und Forschungsbericht FOSVWE, Vechta

Bischoff, Dr. J. & Hofmann, Dr. B. (2007): Besserer Start durch Einzelkornsaat? Top Agrar 07/2007

Bischoff, J. (2013): Langjährige Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Raps: Starke Einzelpflanzen wurzeln tief. LOP 7/2013

Bless, H. G., Beinhauer, R. & Sattelmacher, B. (1991): Ammonia emission from slurry applied weed stubble and rape in North Germany. J. Agric. Sci. (Camb.) 117: 225-231.

Dabbelt, D. (2020): Ist die Weiße Lupine auf der Überholspur? Top Agrar 12/2020.

Döring, A. 2018: Beisaaten in Raps. Was kann das neue Anbausystem? Innovation 2/2018, S. 8-9.

Epperlein, J., Schmidt, A. (2019): Anbau von Raps mit Begleitpflanzen im Anbausystem Einzelkornsaat und Weiter Reihe – Abschlussbericht für ein mit Mitteln des ELER geförderten Vorhaben

Federolf, C.-P., Westerschulte, M., Neddermann, N., Olf, H.-W. & Trautz, D. (2016): Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-Effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch "Depot-Applikation" zur Verminderung der Umweltbelastung; Abschlussbericht Hochschule Osnabrück.

GKB (2018): Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e. V. Abschlussbericht „Begleitpflanzen im Raps“ Ringversuch 2018

Grunert M. (2019): Prüfung von stabilisierten Düngern bei Winterweizen auf leichtem Standort 2016-2019, https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/B78_Kurzbericht20_fuer_2019.pdf, abger. 27.07.2022

- Henke, J., Sieling, K., Sauermann, W., & Kage, H. (2009):** Analysing soil and canopy factors affecting optimum nitrogen fertilization rates of oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, 147(1), 1-8.
- Kage, H., Sieling, K., Pahlmann, I. & Ratjen, A. M. (2017):** Nährstoffeffizienz im Spannungsfeld zwischen Produktionsleistung und Umweltschutz. Vortrag im Rahmen der Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) mit dem Thema Nährstoffeffizienz – zentrales Kriterium im Pflanzenbau. Institut für Pflanzenbau & Pflanzenzüchtung Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Kage, H., Rose, M., Pahlmann, I. & Sieling, K. (2021):** Fruchtfolgegestaltung als Mittel für eine effektive Stickstoff-Düngung. Vortrag im Rahmen des 25. Brandenburger Düngetages 2021 (27.01.2021), Uni Kiel und technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Internet-Youtube-Stream.
- Karatay, Y. N., Meyer-Aurich, A., & Gandorfer, M. (2018):** Ökonomik der teilflächenspezifischen N-Düngung von Weizen unter Berücksichtigung von Qualität, Risiko und N-Düngerrestriktionen. 38. *GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen*.
- Koriath, H. (1975):** Güllewirtschaft, Gülledüngung; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Lorenz, F., Steffens, G. (1996):** Gülleeinsatz auf Grünland mit unterschiedlichen Verteiltechniken. KTBL
- LWK Niedersachsen (2020):** Ergebnisse aus den Wasserschutzversuchen und weiteren Feldversuchen anderer pflanzenbaulicher Maßnahmen, Abschlussbericht der Versuchsjahre 2018 und 2019
- LWK Niedersachsen (2021):** Nährstoffbericht für Niedersachsen 2019/2020, LWK Niedersachsen, Düngbehörde
- Nitsch, A. (2001):** Arbeitsanleitung für Nitratbestimmungen mit Teststreifen und dem Reflektometer Nitrachek 404.
- NLWKN (2015):** Grundwasserbericht Niedersachsen.
- Ohe, Dr. C. v. d., Baumecker, M., Hachmeister, R., Peters, Dr. J. & Pohast, A. (2016):** Mehrerträge durch Einzelkornsaat? Ringversuche 2013 – 2015; KWS Einbeck, Humboldt-Universität Berlin, LFA Mecklenburg-Vorpommern, Kverneland Group, LWK Niedersachsen.
- Pahlmann, I. & Kage, H. (2018):** Steigerung der N-Effizienz im Ackerbau: Welche Optionen haben wir in intensiven Anbausystemen? Aus „Vorträge zur Hochschultagung 2018“ der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, S. 113 – 120.
- Pahlmann, I., Böttcher, U. & Kage, H. (2017):** Developing and testing an Algorithm for sitespecific N fertilization of winter oilseed rape. *Compot. Electron. Agric.* 136, 228 – 237.
- Pellet, D., & Grosjean, Y. (2007):** Fumure azotée du tournesol: intérêt de la méthode Héliotest pour la Suisse. *Revue suisse d'agriculture*, 39(1), 5-9.
- Rösch, C., Dusseldorp, M., & Meyer, R. (2005):** Precision Agriculture. 2. Bericht zum TA-Projekt Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden–Ökonomische und ökologische Potenziale.

Saikai, Y., Patel, V., & Mitchell, P. D. (2020): Machine learning for optimizing complex site-specific management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105381.

Schachler, B., Achachler, B., Schmiechen, U. & Sauermann, Dr. W. (2016): Anbauratgeber Blaue Süßlupine, Ufop-Praxisinformation.

Sieling, K., Sauermann, W. & Kage, H. (2010): Optimierung der N-Düngung von Raps durch Berücksichtigung der bereits aufgenommenen N-Menge. VDLUFA-Schriftenreihe 66, Kongressband 2010, S. 201-208.

Sieling, K., Sauermann, W. & Kage, H. (2009): Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial. Abschlussbericht für die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V.

Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C. & Christen, O. (2005): Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy* Volume 22, Issue 1, January 2005, Seiten 71 – 84

Tendler, L. & Beisecker, R. (2015): Mit so viel Stickstoff können Sie rechnen. *dlz agrarmagazin*, November 2015, S. 106-110.

VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 60 (2005): Kongressband 2004 Rostock, Vorträge zum Generalthema „Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen“, S. 705-712.

Wegner, C., Kureck, L., Bull, Dr. I. & Ramp, C. (2015): Frühjahrsgabe von Gärresten im Winterweizen. In: Beiträge zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Heft 55.

Wetter, Prof. Dr. C. & Brüggling, Dr. E. (2019): Mest op Maat – Nachhaltiger Dünger nach Maß. Herausgeber: Labor für Umwelttechnik.

Yeshno, E., Arnon, S., & Dahan, O. (2019): Continuous in-situ monitoring of nitrate concentration in soils – a key for groundwater protection from nitrate pollution. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*.

https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/starkregen/starkregen_node.html, 10.01.2022

https://www.landwirtschaft-mv.de/static/LFA/Dateien/Hefte/MdLFA_Heft55.pdf, S. 57ff

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_31_p002.html, 15.07.2022

7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Hinweise zu den düngerechtlichen Vorgaben	9
Tab. 2: Rechtlicher Rahmen der N-Düngung nach Ernte der Hauptfrucht in Niedersachsen (In allen nicht dargestellten Anbaukonstellationen ist keine Herbstdüngung erlaubt!)	11
Tab. 3: Übersicht über die geltenden Sperrfristen Herbst/Winter (Stand 2021/2022)	15
Tab. 4: P-Düngebedarf in Abhängigkeit der Versorgungsstufe und des Humusgehaltes.....	21
Tab. 5: Umrechnung der P ₂ O ₅ -Gehalte in P-Gehalte	21
Tab. 6: Standorteigenschaften erwähnter Versuchsstandorte der LWK Niedersachsen; * Beregnungsstandort.....	24
Tab. 7: Exemplarische Berechnung des N-Düngebedarfs am Beispiel Winterraps.....	30
Tab. 8: Berechnung des N-Düngebedarfs am Beispiel Dauergrünland 4-Schnittnutzung.....	30
Tab. 9: Berechnete Verlagerungstiefen (cm) bei unterschiedlichen Regenmengen und Standorten für Hackfrüchte. Die Verlagerungstiefen beziehen sich auf die Sickerwassermenge in dem angegebenen Zeitraum, also Niederschlag abzüglich Verdunstung und Bodenauffüllung.....	31
Tab. 10: Schätzrahmen für eine Herbstdüngung bei Winterraps, -gerste und Zwischenfrüchten...	38
Tab. 11: Grundlegende Angaben zu dem Beispielbetrieb	46
Tab. 12: Angaben zu der Tierhaltung des Beispielbetriebes	46
Tab. 13: Verschärfung des Lagerbedarfs der Gülle im roten Gebiet.....	46
Tab. 14: Maßnahmen zum Lagerbedarf der Gülle im roten Gebiet.....	46
Tab. 15: Maßnahmen zur Kompensation der Auswirkungen der -20% in der landwirtschaftlichen Praxis.....	49
Tab. 16: Beispielrechnung und N-Düngebedarfsermittlung bei einer Fruchtfolge mit Mais, Triticale, Gerste, Kartoffeln und Roggen.....	50
Tab. 17: Beispielrechnung und N-Düngebedarfsermittlung bei einer Fruchtfolge mit Raps, Weizen A/B und Gerste	50
Tab. 18: N-kostenfreier Leistungen und N-Bilanzen von verschiedenen Fruchtfolgen.....	55
Tab. 19: Beispielrechnung für die N-Verteilung der Ackerbohnen-Fruchtfolge 1	55
Tab. 20: Beispielrechnung für die N-Verteilung der Ackerbohnen-Fruchtfolge 2	55
Tab. 21: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil mit und ohne Sommerung + Leguminose	56
Tab. 22: Anbauabstände bei Leguminosen (LfL, 2003)	57
Tab. 23: Ansprüche der Lupinen-Arten (Schachler et al. 2016).....	58
Tab. 24: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge A	60
Tab. 25: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge B	60
Tab. 26: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge C.....	60
Tab. 27: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge D.....	61
Tab. 28: Beispielrechnung für eine optimale N-Verteilung für die Fruchtfolge E	61

Abbildungsverzeichnis

Tab. 29: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil bei Stoppel- und Blattweizen.....	62
Tab. 30: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil von Strohmulch, ungedüngt und gedüngter Zwischenfrucht.....	64
Tab. 31: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil verschiedener Umbruchtermine	65
Tab. 32: Düngebedarfsermittlung und N-Vorteil von Sommergerste mit und ohne Beregnung	70
Tab. 33: Übersicht von den zwei Ansätzen für die teilflächenspezifische Düngung.....	77
Tab. 34: Übersicht von beratungsbegleitenden Pflanzenuntersuchungen (NLWKN 2015, verändert)	86
Tab. 35: Erreichte Mineraldüngeräquivalente (MDÄ) im Getreide in Abhängigkeit von der Ausbringungstechnik sowie der errechnete N-Vorteil (kg N/ha) gegenüber der Variante ohne Ansäuerung bzw. Schleppschlauch	94
Tab. 36: Eignung von Zwischenfrüchten bezogen auf die Hauptfrüchte	99
Tab. 37: Mischungsbeispiele für Zwischenfrüchte	99
Tab. 38: Berechnung der P ₂ O ₅ -Abfuhr und die erlaubte P ₂ O ₅ -Düngung in Abhängigkeit vom Versorgungszustands des Bodens.....	108
Tab. 39: Anpassungen der P ₂ O ₅ -Düngung bei unterschiedlichen Versorgungszuständen des Bodens	108
Tab. 40: Phosphatabgaben vor und nach der Separation von Rindergülle.....	110
Tab. 41: Übersicht gesetzliche Vorgabe, Konsequenzen und Betroffenheit, (WW = Winterweizen, GW = Wintergerste, RW = Winterroggen, TW = Wintertriticale, ZR = Zuckerrübe, KA = Kartoffel, S = Sand, IS = lehmiger Sand, L = Lehm, T = Ton).....	113
Tab. 42: Übersicht gesetzliche Vorgabe, Konsequenzen und Betroffenheit, (WW = Winterweizen, GW = Wintergerste, RW = Winterroggen, TW = Wintertriticale, ZR = Zuckerrübe, KA = Kartoffel, S = Sand, IS = lehmiger Sand, L = Lehm, T = Ton).	115
Tab. 43: Berechnung des N-Saldos (Nährstoffbericht für Niedersachsen 19/20, verändert):.....	130
Tab. 44: Definitionen des Begriffs Bewirtschaftungseinheit	131
Tab. 45: Abschläge in Abhängigkeit von Vor- und Zwischenfrüchten (DüV Anlage 4 Tabelle 7, S. 29-30)	131
Tab. 46: Mindestwerte für die Ausnutzung des Stickstoffs aus organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln im Jahr des Aufbringens, die aus folgenden Ausgangsstoffen bestehen (DüV Anlage 3, S. 23)	132
Tab. 47: Stickstoffbedarfswerte für landwirtschaftliche Ackerkulturen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau (DüV Anlage 4 Tabelle 2, S. 24).....	133
Tab. 48: Zu- und Abschläge auf Grund von abweichendem Ertragsniveau bei Ackerkulturen (DüV Anlage 4 Tabelle 3, S. 25).....	133
Tab. 49: Abschläge auf Grund der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat (DüV Anlage 4 Tabelle 6, S. 29)	133

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anteil mit Nitrat belastetes Gebiet bezogen auf Ackerland- und Grünlandfläche (AL+GL) an der landwirtschaftlichen Fläche (%) auf Landkreisebene.....	6
Abb. 2: Anteil mit Nitrat belastetes Gebiet bezogen auf Ackerlandfläche (AL) an der landwirtschaftlichen Fläche (%) auf Landkreisebene.....	7
Abb. 3: Anteil mit Nitrat belastetes Gebiet bezogen auf Grünlandfläche (GL) an der landwirtschaftlichen Fläche (%) auf Landkreisebene.....	7
Abb. 4: Gesamtfläche innerhalb von mit Nitrat belasteten Gebieten für Ackerland- bzw. Grünlandfläche (ha) auf Landkreisebene (Daten ATKIS)	7
Abb. 5: Aufbringungsverbote und Einarbeitungsregeln an Gewässern (einzuhaltende Gewässerabstände in der Ebene sowie für hängiges Gelände nach DüV	13
Abb. 6: Ausschnitt der Themenkarten im Nibis®-Kartenserver.....	13
Abb. 7: Kartenausschnitt vom Nibis®-Kartenserver zu den Abstandsvorgaben gemäß § 5 Abs. 3 DüV 2020 und Vorgaben gemäß § 38a WHG	14
Abb. 8: Händische Ermittlung der Hangneigung im Gelände; Quelle: Marie-Christin Albers, LWK Niedersachsen.....	14
Abb. 9: Auswahl erwähnter Versuchsstandorte der LWK Niedersachsen (Legende: lila=Küstenmarschen, gelb=Sandlössgebiete, rot=Lössgebiete, braun=Mittelgebirge)	23
Abb. 10: N-Effizienz am Beispiel von Blatt- und Stoppelweizen in Abhängigkeit vom N-Angebot, im Mittel der Standortgruppen Lehm- (Königslutter, Höckelheim) und Marsch (Otterham), Jahre 2005 – 2015, n=25).	25
Abb. 11: Ermittlung des N-Vorteils grafisch bei a) vollständiger und b) eingeschränkter Datengrundlage	26
Abb. 12: Niederschlagssumme (mm) für die jeweiligen Landkreise vom 28.04. bis 28.05.2013. ...	31
Abb. 13: TM-Erträge von Silomais und N_{\min} -Werte, Standort Dalldorf, 2013 (Erläuterung: N_{\min} Frühjahr (11.04.) und nach den Niederschlägen (05.06.); nach der Ernte im Düngungsversuch (Var. 0 – 250 kg N/ha))	32
Abb. 14: N_{\min} -Gehalt unter Kartoffeln im Landkreis Uelzen im Frühjahr vor der Düngung und am 28.05.2013 nach 101 mm Niederschlag.....	32
Abb. 15: Potenzielle Mineralisierungsrate und N-Aufnahme verschiedener Kulturen im Jahresverlauf (Baeumer, 1992).....	34
Abb. 16: Ölertrag (dt/ha) von Raps in Abhängigkeit vom N-Angebot bei reiner Frühjahrsdüngung und mit organischer sowie mineralischer Herbstdüngung, Standort Ostharingen a) (2018, 2020, 2021) und Höckelheim b) (2018-2020), n = 6.	37
Abb. 17: Ammoniakverluste bei Ausbringung organischer Düngemittel auf Stoppel (Bless und Sattelmacher 1991, verändert).....	43
Abb. 18: Jahreszeitlicher Verlauf des Lagerraumbedarfes ohne Möglichkeit der Herbstdüngung..	45

Abb. 19: Beispielhafte Ertragskurve für eine Winterung	48
Abb. 20: Relativerträge/-gehalte von verschiedenen Sorten auf Einzelstandorten (Lehmböden in Südhannover) von Winterweizen (Qualitätsstufen: E, A, B und C), Standorte: Poppenburg, Königslutter, Höckelheim, Bad Gandersheim, Groß Munzel), Blatt- und Stoppelweizen	52
Abb. 21: Ertragskurven der wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen Niedersachsens (Versuche der LWK Niedersachsen, 2003 - 2021)	53
Abb. 22: Ertrag und Proteingehalt in Abhängigkeit vom Stickstoffangebot in Winterweizen	54
Abb. 23: Rapsenerträge in Abhängigkeit von der N-Düngung in unterschiedlichen Fruchtfolgen, Standort Hohenschulen, Mittel der Jahre 2007-2010, 90% der Parzellenerträge (Kage et al., 2017, verändert)	56
Abb. 24: Weizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot nach Blatt- und Halmvorfrucht (Lehmstandorte Höckelheim, Königslutter n = 22, Marschstandort Otterham n = 3), Jahre 2005 – 2015.....	62
Abb. 25: N-düngungskostenfreie Leistung von Zuckerrüben in Abhängigkeit vom N-Angebot nach ungedüngten und mineralisch gedüngten Zwischenfrüchten sowie Strohmulch an den Standorten Hamerstorf (a) und Höckelheim (b), Jahre 2018 – 2021, je n=3.	64
Abb. 26: N-düngungskostenfreie Leistung von Zuckerrüben in Abhängigkeit vom N-Angebot nach Umbruch der Zwischenfrucht im Februar und zur Rübensaat, Standort Koldingen, Jahre 2020 und 2021, n=2.....	65
Abb. 27: Beziehung zwischen der oberirdischen Frischmasse von Ölrettich/(Senf)-Beständen und deren N-Aufnahme zu Vegetationsende, Projekt THG-ZWIFRU, Standorte Wehnen, Obershagen (beide 2018 – 2020), Ihinger Hof, Hevensen, Hohenschulen (alle 2018).....	66
Abb. 28: Ackerbohne als Beisat in Raps (Aufnahme im Herbst 2021, J. Schaper)	67
Abb. 29: Mittlere Erträge und N-Abfuhrer verschiedener Kulturen mit und ohne Beregnung, Standort Hamerstorf, Mittel der Jahre 2006 – 2021.	69
Abb. 30: N-Effizienz unterschiedlicher Kulturen mit und ohne Beregnung bei Düngung nach Bedarfswert, N-Gehalte bei Hackfrüchten Faustzahlen, Standort Hamerstorf, Mittel der Jahre 2006 – 2021.....	69
Abb. 31: N- und beregnungskostenfreier Erlös von Sommergerste in Abhängigkeit vom N-Angebot mit und ohne Beregnung, Standort Hamerstorf, Jahre 2015 – 2019, Annahmen: Braugerste 20 €/dt, N-Kosten 1 €/kg N, variable Beregnungskosten 2,50 €/mm, n=5	70
Abb. 32: Durchwurzelungstiefe von Winterraps (restaurierte Hybride mit dem MSLSystem, Bischoff et al. 2007).....	71
Abb. 33: Einfluss von Saattechnik (EKS und Drillsaat) und Bodenbearbeitung auf den Ertrag und den N-Entzug mit dem Erntegut (mit 3,35 kg N/dt Erntegut berechnet) von Winterraps, Standort Bernburg-Strenzfeld (trockener Löß), Saatzeit 20. – 25. August, Saatstärke 40 Körner/m ² (Bischoff 2013, verändert)	72

Abb. 34: Winterroggen- a) und Winterweizenerträge b) sowie N-Entzug in Abhängigkeit von der Saattechnik bei einer Aussaatstärke von 200 Körner/m ² , 2013-2014 bzw. 2013 - 2015, Standorte Borwede und Königslutter, EKS = Einzelkornsaat (Drillmaschine: MiniAir-Nova von Kverneland).	74
Abb. 35: Standraumverteilung der Einzelpflanzen von Wintergerste bei unterschiedlicher Aussaatstärke und Drilltechnik (EK = Einzelkornsaat (rot), DS = Drillsaat (schwarz)), Standort Poppenburg, Jahr 2018.....	74
Abb. 36: Ertragswirkung und N-Bedarf in einem 5-Jahres-Abschnitt eines 10jährigen Dauerdüngungsversuch (Fruchtfolge GW-RAW-HA; GE = Getreideeinheiten) mit und ohne PK-Düngung (VDLUFA 2005, verändert)	76
Abb. 37: Wirkungsweise stabilisierter N-Dünger, Nitrifikationsinhibitor (oben) und Ureaseinhibitor (unten)	80
Abb. 38: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenverteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge beim Einsatz eines stabilisierten Düngers mit zwei Gaben (ENTEC 26), 8 Standorte in Niedersachsen, 2008 - 2016, n = 50.....	81
Abb. 39: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei Düngung nach dem CULTAN-Verfahren und herkömmlich bei oberflächlicher, dreigeteilter Düngung auf einem Sandboden, 2009 - 2012, n=4	83
Abb. 40: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenverteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge bei a) 3-Gaben-Strategie frühjahrsbetont versus schossetont (n=48) und b) 2-Gaben-S	85
Abb. 41: Vegetationsbegleitende Düngestrategien im Winterweizen an sechs Standorten in Niedersachsen.....	88
Abb. 42: Winterweizenerträge in Abhängigkeit vom N-Angebot bei herkömmlicher 3-Gaben-Strategie mit gleichmäßiger Gabenverteilung (Kurven), dazu abgetragen die mittleren Erträge beim Einsatz von Nitrachek und ISIP, 6 Standorte, Jahre 2010 - 2020 (n = 47).....	90
Abb. 43: Ammoniak-Verflüchtigungen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Nährstoffträgers	92
Abb. 44: Ausbringungstechnik flüssiger organischer Dünger in Winterweizen, mehrjährige Auswertung 2019 - 2022	93
Abb. 45: Verfahrensbedingte NH ₃ -Emissionen in Abhängigkeit von der Applikationstechnik (Wegner et al. 2015, verändert)	94
Abb. 46: Ertragswirkung nach Gülleausbringung auf Grünland bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen (Lorenz 1996, verändert)	95
Abb. 47: Aufnahme und schematische Darstellung der Platzierung von organischen und mineralischen Düngern zum Maiskorn	95
Abb. 48: Trockenmasseerträge von Silomais mit verschiedenen Applikationsvarianten der organischen N-Düngung, mit und ohne UFD, 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche der	

Abkürzungsverzeichnis

Hochschule Osnabrück im Verbund mit den Landwirtschaftskammern NI, NRW und S-H (Federolf et al. 2016, verändert)	96
Abb. 49: Relativer Knollenertrag (%) von Speisekartoffeln bei unterschiedlicher Unterfußdüngung, Mittel aus drei Standorten (Goldenstedt, Rockstedt langjährig organisch gedüngt und Hamerstorf nicht langjährig organisch gedüngt), Hamerstorf, Mittel der Jahre 2014-2016	96
Abb. 50: Notwendigkeit der Herbsdüngung pflanzenbaulich steuern.....	97
Abb. 51: TM-Produktion von Ölrettich/Senf-Beständen bei unterschiedlichem N-Angebot auf langjährig (Wehnen) und nicht langjährig organisch gedüngtem Standort (Obershagen), 2018 – 2020, n = 6.....	100
Abb. 52: N-Aufnahmen (oberirdisch) von Zwischenfruchtmischungen an den Standorten Adenstedt, Dungenbeck und Halligdorf, Mittel der Jahre 2020 – 2021, n = 6	100
Abb. 53: Organische Düngung in Gesamt-N zu unterschiedlichen Kulturen	102
Abb. 54: Einfluss des P-Gehaltes und der Ausbringmenge auf die P ₂ O ₅ -Zufuhr organischer Dünger	103
Abb. 55: Einhaltung der schlagspezifischen 170 kg Norg-Obergrenze anhand zweier Varianten	104
Abb. 56: Bildung von Bewirtschaftungseinheiten für N _{min} -Beprobung	132

9 Abkürzungsverzeichnis

CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Verfahren
DüV	Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 28.04.2020
FM	Frischmasse
GV	Großvieheinheiten
GW	Wintergerste
IS	lehmiger Sand
KA	Kartoffel
L	Lehm
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
N	Stickstoff
NDüngGewNPVO	Niedersächsische Verordnung über düngerechtliche Anforderungen zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat oder Phosphat
NH₄	Ammonium
N_{min}	mineralischer Stickstoff im Boden
NO₃	Nitrat
P	Phosphor
p.a.	pro Jahr
P₂O₅	Phosphorpentoxid
RP	Rohproteingehalt
RW	Winterroggen
S	Sand
T	Ton
TM	Trockenmasse
TW	Wintertriticale
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

10 Anhang

Tab. 43: Berechnung des N-Saldos (Nährstoffbericht für Niedersachsen 19/20, verändert):

N-Flächenbilanzsaldo [kg N/ha*a] =			
N-Zufuhr	+	N-Saldo-Verbringung	- N-Abfuhr
<ul style="list-style-type: none"> • Tierische N-Ausscheidungen • Mineraldüngung • nicht verwertete Futtermengen • N-Bindung durch Leguminosen • Klärschlamm • Kompost 		(Im- und Exporte inklusive Gärreste)	<ul style="list-style-type: none"> • N aus Marktfrüchten (inklusive Silomais, Ackergras und Leguminosen zur Ganzpflanzenernte)
Saatgut			N aus Dauergrünland

Definition Bewirtschaftungseinheit (DüV), LWK Niedersachsen, Düngbehörde

Für die Düngbedarfsermittlung nach DüV und die N_{\min} -Beprobung in roten Gebieten (NDüngGewNPVO) können Bewirtschaftungseinheiten gebildet werden. Nach welchen Parametern diese jeweils zu bilden sind, zeigt die nachstehende Tabelle.

Tab. 44: Definitionen des Begriffs Bewirtschaftungseinheit

Definition Bewirtschaftungseinheit (im Rahmen der Düngbedarfsermittlung nach DüV, 2020) Quelle: FAQ Nr. 147-0144	Definition Bewirtschaftungseinheit (gilt nur für die N_{\min} -Beprobung in roten Gebieten nach NDüngGewNPVO, 2021) Quelle: Ausführungshinweise, Webcode: 01039497
Um eine Bewirtschaftungseinheit zu bilden, müssen folgende Parameter bei den zusammen zu fassenden Flächen übereinstimmen ...	
gleiche Hauptbodenart	gleiche Hauptbodenart
P-Versorgung (P-Gehaltsklasse)	
Humusgehalt	
gleiche Vorfrucht	nur bei <u>Sommerungen</u> : gleiche Vorfrucht (BlattVF, GetreideVF mit Zwfr, GetreideVF ohne Zwfr)
organische Düngung im Vorjahr	
geplante Nutzung (gleiche Pflanzenart)	bei <u>Winterungen</u> : gleiche aktuelle Hauptfrucht (Winteraps, WWeizen BlattVF, WWeizen GetreideVF, anderes Wintergetreide) bei <u>Sommerungen</u> : Differenzierung nach Aussaatzeitpunkt früh (März) bzw. spät (April)
Ertragserwartung <u>grüne</u> Gebiete: Ø der letzten 5 Jahre <u>rote</u> Gebiete: Ø der Jahre von 2015 – 2019)	

Stand: Februar 2022

Tab. 45: Abschläge in Abhängigkeit von Vor- und Zwischenfrüchten (DüV Anlage 4 Tabelle 7, S. 29-30)

Vorfrucht (Hauptfrucht des Vorjahres)	Mindestabschlag in kg N/ha
Grünland, Dauerbrache, Luzerne, Klee, Klee gras, Rotationsbrache mit Leguminosen	20
Rotationsbrache ohne Leguminosen, Zuckerrüben ohne Blattbergung	10
Raps, Körnerleguminosen, Kohlgemüse	10
Feldgras	10
Getreide (mit und ohne Stroh), Silomais, Körnermais, Kartoffel, Gemüse ohne Kohlarten	0
Zwischenfrucht	
Nichtleguminosen, abgefroren	0
Nichtleguminosen, nicht abgefroren	
• Im Frühjahr eingearbeitet	20
• Im Herbst eingearbeitet	0
Leguminosen, abgefroren	10
Leguminosen, nicht abgefroren	
• Im Frühjahr eingearbeitet	40
• Im Herbst eingearbeitet	10
Futterleguminosen mit Nutzung	10
Andere Zwischenfrüchte mit Nutzung	0

Tab. 46: Mindestwerte für die Ausnutzung des Stickstoffs aus organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln im Jahr des Aufbringens, die aus folgenden Ausgangsstoffen bestehen (DüV Anlage 3, S. 23)

Ausgangsstoff des Düngemittels	Mindestanrechenbarkeit gem. Düngeverordnung in % des N-Gehaltes
Gärrest flüssig	60 (Grünland 50)
Gärrest fest	30
Schweinegülle	70 (Grünland 60)
Rindergülle	60 (Grünland 50)
Hühnertrockenkot	60
Geflügel- und Kaninchenmist	30
Rinder-, Schaf-, Ziegenfestmist	25
Schweinefestmist	30
Pferdefestmist	25
Rinderjauche	90
Schweinejauche	90
Klärschlamm flüssig (< 15 TM)	30
Klärschlamm fest (≥ 15 % TM)	25
Pilzsubstrat	10
Grünschnittkomposte	3
Sonstige Komposte	5

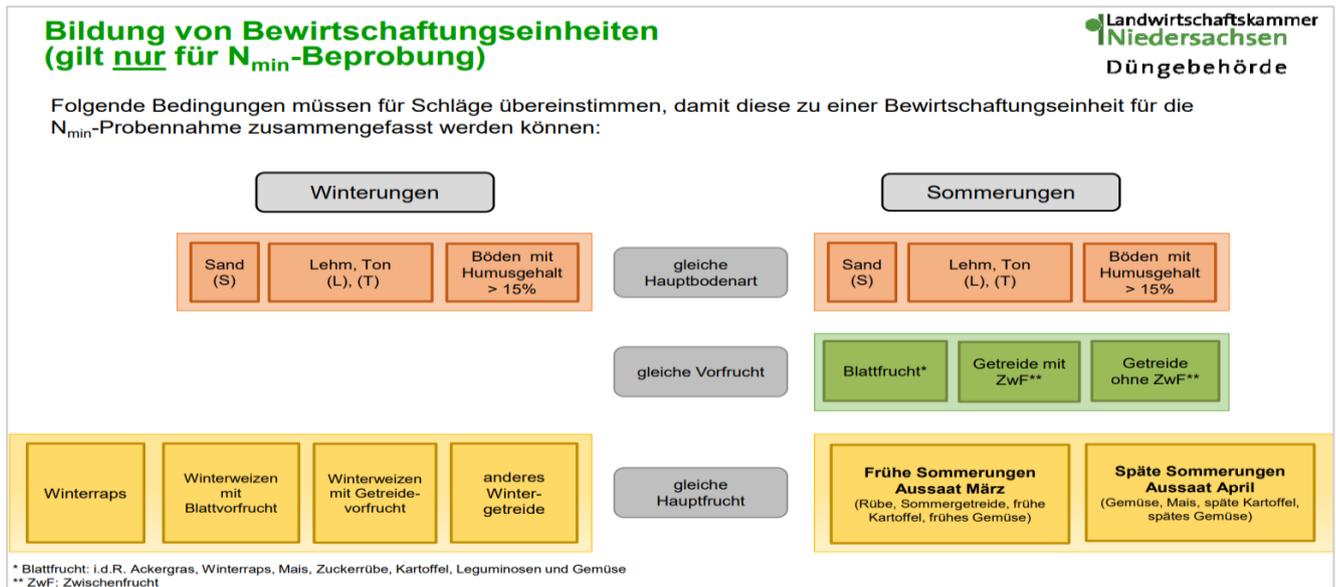


Abb. 56: Bildung von Bewirtschaftungseinheiten für N_{min}-Beprobung

Tab. 47: Stickstoffbedarfswerte für landwirtschaftliche Ackerkulturen in Abhängigkeit vom Ertragsniveau (DüV Anlage 4 Tabelle 2, S. 24)

Kultur	Ertragsniveau (dt/ha)	N-Bedarfswert (kg N/ha)
Winterraps	40	200
Winterweizen A, B	80	230
Winterweizen C	80	210
Winterweizen E	80	260
Hartweizen	55	200
Wintergerste	70	180
Winterroggen	70	170
Wintertriticale	70	190
Sommergerste	50	140
Hafer	55	130
Körnermais	90	200
Silomais	450	200
Zuckerrübe	650	170
Kartoffel	450	180
Frühkartoffel	400	220
Sonnenblume	30	120
Öllein	20	100

Tab. 48: Zu- und Abschläge auf Grund von abweichendem Ertragsniveau bei Ackerkulturen (DüV Anlage 4 Tabelle 3, S. 25)

Kultur	Ertragsdifferenz in dt/ha	Höchstzuschläge bei höheren Erträgen in kg N/ha je Einheit nach Spalte 2	Mindestabschläge bei niedrigeren Erträgen in kg N/ha je Einheit nach Spalte 2
Raps	5	10	15
Getreide und Körnermais	10	10	15
Silomais	50	10	15
Zuckerrüben	100	10	15
Kartoffeln	50	10	10

Tab. 49: Abschläge auf Grund der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat (DüV Anlage 4 Tabelle 6, S. 29)

Humusgehalt in %	Mindestabschlag in kg N/ha
> 4,0 (humos)	20

Danksagung

An dieser Stelle ein herzliches Dankeschön allen Autoren, Organisatoren und Institutionen, die durch Bereitstellung von Daten, Ergebnissen, Material und Zeit an der Er- und Ausarbeitung dieser Informationsbroschüre mitgewirkt haben.