



**Maßnahmen zur Steigerung
der N-Effizienz im Freilandgemüsebau
- Leitfaden für Beratung und Praxis -**

März 2021



Diese Broschüre ist entstanden in der Arbeitsgruppe Stickstoffmanagement im Gemüsebau

Zusammengestellt durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Fachbereich 63 – Gartenbau

Dr. Karsten Lindemann-Zutz, Dr. Renate Block, Caroline Banna-Köthemann, Sarah Françoise Meyer, Elisabeth Graaff, Christine Lessmann, Manfred Kohl

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Beratung Wasserrahmenrichtlinie und Wasserschutzkooperationen

Fachbereich 63 – Gartenbau

Fachbereich 61 – Landwirtschaft/Nachwachsende Rohstoffe

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Gemüseproduzenten:

Michael Bremke Gemüsehof

Konrad & Markus Schwarz GbR

Bonus GbR

Unternehmen der Wasserversorgung mit Trinkwasserschutzgebieten und Wasserschutzkooperationen in Gemüsebauregionen NRW

RheinEnergie

NEW NiederrheinWasser GmbH

Vermarktung

Landgard Obst & Gemüse GmbH & Co. KG

AZ Absatzzentrale Unternehmen Obst & Gemüse Kempen

Berufsverbände

Provinzialverband Rheinischer Obst- und Gemüsebauer e.V.

Landesverband Gartenbau Nordrhein-Westfalen

Inhalt

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Leitfaden zum N-Management	3
3. Vorplanung der Maßnahmen zur Düngoptimierung	6
3.1. Planen und Standardisieren der Abläufe zur schlaggenauen Düngung auf dem Betrieb.....	9
3.2. Kulturgruppenspezifische Bewertung einer 20%-reduzierten N-Düngung nach DüV	10
3.3. Sortenwahl (N-effiziente Sorten).....	12
3.4. Fruchtfolge.....	12
4. Berechnung der optimalen N-Düngemenge	14
4.1. Ermittlung des N-Potenzials von Böden	16
4.1.1. Bodenprobe	17
4.1.2. N-Analyse/ Messmethoden	18
4.2. Ableitung des fachlichen Düngedarfs zur Düngempfehlung	23
4.3. Ermittlung des N-Bedarfs zu Kulturbeginn	28
4.4. Ermittlung des N-Bedarfes während der Kultur und Aufteilung der Düngung in Grund- und Kopfdüngung.....	31
4.5. Ermittlung des N-Bedarfes mit dem Düngplanungsprogramm N-Expert.....	33
5. N-Düngestrategie	35
5.1. Organische Düngung und Wirtschaftsdünger	35
5.2. Mineralische Düngung	37
5.2.1. Düngemittelwahl	37
5.2.2. Technische Ausbringung.....	40
6. P-, K-, Mg-Düngung und Mikronährstoffe	45
7. Begleitendes Kulturmanagement	50
7.1. Zwischenfruchtanbau	50
7.2. Zwischenreihenbegrünung.....	57
7.3. Beregnung.....	57
7.4. Einarbeitung der Ernterückstände, Herbstbodenbearbeitung.....	58
8. Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen	59
9. Kulturdatenblätter.....	61
9.1. Blumenkohl (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> L.).....	67
9.2. Brokkoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> L.).....	79
9.3. Kopf- und Eissalat (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i> L.).....	86
9.4. Porree (<i>Allium porrum</i>).....	93
9.5. Weißkohl (<i>Brassica oleracea</i> convar. <i>capitata</i> var. <i>alba</i>)	102
10. Quellenangaben	110
11. Abbildungsverzeichnis	112
12. Tabellenverzeichnis	113

1. Einleitung und Zielsetzung

In den vergangenen Jahrzehnten sind die Anforderungen an dem Gemüsebau kontinuierlich gestiegen. Der Markt verlangt besonders hohe Qualitätskriterien, welche zum Teil deutlich über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen.

Die stark gestiegenen Pacht- und Produktionspreise kompensieren die Anbauer durch eine höhere Produktivität, um noch wirtschaftlich produzieren und am Markt bestehen zu können. Sie weiten folglich ihre betrieblichen Kapazitäten aus und erzeugen qualitativ einwandfreie Produkte. Hohe Erträge und erstklassige Qualitäten wie von Handel und Verbraucher erwartet, setzen eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen voraus.

Durch das intensive Monitoring in den vergangenen Jahren ist deutlich geworden, dass neben Gebieten mit einer hohen Viehdichte auch Gebiete mit düngungsintensiven Gemüsekulturen ebenfalls hohe Nitratbelastungen des Grundwasserkörpers aufweisen können.

Finden sich zu Beginn der Grundwasserneubildung (Okt./Nov.) hohe Gehalte an Nitrat im Boden, so besteht die Gefahr, dass das wasserlösliche Nitrat in das Grundwasser eingetragen wird.

Wesentliche Ursachen des N-Auswaschungsrisikos durch bestimmte Gemüsearten:

Mögliche hohe N-Restmengen im Herbst nach dem Anbau bestimmter Gemüsearten können unterschiedliche Ursachen haben:

- Manche Gemüsekulturen hinterlassen hohe N-Mengen durch auf dem Feld verbleibende **Ernterückstände**. Die Anrechnung der Mineralisation für die Folgekultur ist nicht genau genug vorhersehbar und kann zu Fehlern führen. Erfolgt die Ernte des Gemüses erst sehr spät im Herbst (Okt.-Dez.) können keine Kulturen mehr folgen, die diese Stickstoffmengen sinnvoll verwerten können (Beispiele: Blumenkohl, Brokkoli, Rosenkohl).
- Gemüse wird meist bei **vollem vegetativem Wachstum** geerntet. Da eine Stickstoffunterversorgung bei Gemüse Qualitätsverluste verursacht, die zur Nichtvermarktbarkeit führen, brauchen die meisten Gemüsekulturen zum Kulturende einen Stickstoffmindestvorrat von 20-50 kg N/ha im Boden.
- Absatz und Preis beeinflussen die Abernterate des Gemüses. Deshalb kann es vorkommen, dass ein Feld nur teilweise oder gar nicht geerntet werden kann. Gleiches passiert, wenn die Qualität des Gemüses nicht den Anforderungen des Marktes entspricht. Findet nach erfolgter Düngung keine Abfuhr statt, belastet das die Stickstoffbilanz. **Suboptimal mit N versorgtes Gemüse führt zu einem höheren Ausfallrisiko und in diesen Fällen zu höheren N-Resten.**
- Einige Gemüsekulturen haben nur eine geringe Durchwurzelungstiefe und können daher den bereits im Boden vorhandenen Stickstoff aus tieferen Schichten nicht erschließen (z.B. Feldsalat, Salat).
- Andere Gemüsekulturen haben einen **sehr hohen N-Bedarf**. Bei einer **einmaligen Düngegabe** besteht die Gefahr, dass bei einem Starkregen im Sommer Nitrat in nicht mehr erreichbare Schichten (> 30-60 cm) ausgewaschen werden kann (z. B. Blumenkohl).
- Der Anbau von Gemüse kann sich langfristig auf das Stickstoff-Nachlieferungsvermögen des Bodens auswirken.
- Im Gemüsebau wird bei kurz stehenden Kulturen und mehrfacher Nutzung der Boden mit jeder Bestellung bearbeitet.

- Die **N-Nachlieferung** ist stark von den Bodeneigenschaften (Bodenart, Humusgehalt) den klimatischen Bedingungen und der Nutzung der Böden abhängig. Die Standorteigenschaften müssen Teil der fachlichen Düngeplanung sein. Differenzierte Untersuchungen zur Menge an organischer Substanz und des N-Nachlieferungsvermögens im Boden auf Gemüseanbauflächen sind hier ein Werkzeug zu einer verbesserten Düngeplanung.
- Viele Gemüsebauflächen werden i. d. R. beregnet. Die Wassergabe muss sich an Bodeneigenschaften (Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität), dem Wasserbedarf der Kultur sowie der Durchwurzelungstiefe orientieren. Eine optimale **Beregnung und Verteilung des Wassers** kann die N-Effizienz erhöhen, zu hohe oder zu niedrige Wassergaben können sie verschlechtern.
- Wird Gemüse nach Gemüse im gleichen Jahr auf derselben Fläche angebaut, liegt eine **Mehrfachbelegung** vor. Dies stellt eine Herausforderung für den Anbauer hinsichtlich der Anrechnung und Verfügbarkeit des Reststickstoffs der Vorkultur dar.

Die zuvor genannten Faktoren können dazu führen, dass nach dem Anbau von düngungsintensivem Gemüse Nitratfrachten in das Grundwasser eingetragen werden können.

Die Vorgaben der Düngeverordnung 2020 verpflichten die Betriebe zur Durchführung und Dokumentation einer Düngebedarfsermittlung für jede angebaute Kultur sowie zu einer Dokumentation der Düngung.

Zielsetzung

In dieser Broschüre werden die bisher bekannten und unter Praxisbedingungen erprobten Einzelmaßnahmen im Gemüsebau aufgelistet, die dazu beitragen, den Nitratgehalt im Boden vor Beginn der Grundwasserneubildung im Herbst möglichst niedrig zu halten. Ziel ist möglichst wenig Nitrat aus dem Wurzelraum in das Grundwasser einzutragen.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen dazu geeignet sein, auch zukünftig hochwertiges regionales Gemüse ohne ein zusätzliches Anbaurisiko zu erzeugen. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass durch eine verantwortungsvolle Produktion Nährstoffeinträge in die Gewässer möglichst vermieden werden.

Im ersten Teil dieser Broschüre (Kapitel 3-8) werden mögliche Maßnahmen aufgezählt und beschrieben sowie hinsichtlich Aufwand und zu erwartendem Nutzen bewertet. Der zweite Teil (Kapitel 9) ordnet diese Maßnahmen den verschiedenen Gemüsekulturen zu. Damit soll eine Grundlage für ein betriebliches Stickstoffmanagement zur Reduzierung von Nitratausträgen aus dem Freilandgemüsebau geschaffen werden.

2. Leitfaden zum N-Management

Als Grundsatz der Zufuhr von Nährstoffen nach § 3 der Düngeverordnung muss diese stets unter Berücksichtigung der Standortbedingungen auf ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen und der Nährstoffversorgung aus dem Boden und aus der Düngung ausgerichtet sein. Dabei sind Aufbringungszeitpunkt und -menge so zu wählen, dass zum einen verfügbare oder verfügbar werdende Nährstoffe den Pflanzen zeitgerecht in einer dem Nährstoffbedarf der Pflanzen entsprechenden Menge zur Verfügung stehen und zum anderen Einträge in oberirdische Gewässer und das Grundwasser vermieden werden. Dies ist sowohl der zentrale Leitsatz der Düngeverordnung als auch dieser Broschüre.

Hieraus ergeben sich **vier zentrale Handlungsfelder**, die zusammen den Schwerpunkt der Optimierung des Nährstoffeinsatzes bilden. Sie müssen zielgerichtet betrachtet und angewendet werden.

I. Vorplanung zur Maßnahmenwahl

Als übergeordnete Maßnahme steht die Vorplanung vor Beginn der Saison und die Analyse der anzubauenden Kulturen, Fruchtfolge, Anbauintensität, Flächenbelegung und Absatzziele (Kaliber, Termine etc.). Es fließen hier auch Vermarktungsstruktur, Standortfaktoren (Bodenart, N-Nachlieferungspotenzial, Niederschlag, Temperatur sowie die organische Düngung) mit ein. Ergebnis ist eine Bewertung der Fruchtfolge hinsichtlich der Optimierung des N-Einsatzes sowie die Vorauswahl und Vorbereitung von düngebegleitenden Maßnahmen in der Saison.

II. Berechnung der optimalen N-Düngemenge

Vor jeder Düngung muss möglichst genau gemessen oder geschätzt werden, wie viel Stickstoff im Boden vorhanden ist. Daraus lässt sich errechnen, wie viel Stickstoff noch bis zum Erntetermin mit Ziel eines bestimmten Ertrags und Qualität noch durch Düngung ergänzt werden muss.

Hierzu stehen verschiedene Maßnahmen mit unterschiedlichem Aufwand und unterschiedlicher Genauigkeit zur Verfügung.

Die **Düngebedarfsermittlung (DBE) nach DüV** berechnet eine N-Obergrenze nach festem Schema und berücksichtigt dabei Vor- und Zwischenfrüchte, Vorkulturen sowie die organische Düngung der Vorjahre pauschal anhand von Tabellenwerten. Sie wird einmal zu Kulturbeginn berechnet. Folgt Gemüse nach Gemüse, fließt der analysierte Bodenstickstoffgehalt verpflichtend mit ein.

Das **EDV-Programm N-Expert** ermöglicht eine Abschätzung des Düngebedarfs zu jedem Kulturzeitpunkt, da die Werte des KNS-Systems (Kulturbegleitendes N_{\min} -Sollwert-System) hinterlegt sind. Die Datengrundlage von N-Expert und der DüV sind identisch und stammen vom IGZ (Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren). Der Vorteil gegenüber der DBE ist, dass bei N-Expert noch genauer standortspezifisch prognostiziert wird. Daten zur flächengenauen N-Nachlieferung können hinterlegt werden, wenn diese bekannt sind. Bezüglich der Empfehlungen vor Kulturbeginn unterscheiden sich N-Expert und DBE nach DüV oftmals nur um 0-5 %. Mit genauer Messung (N_{\min} -Probe) zum Kopfdüngungstermin kann eine Düngereinsparung erreicht werden, die jedoch in ihrer Höhe nicht vorher berechenbar ist. Auf vielen Schlägen können keine oder nur geringe Stickstoffmengen eingespart werden. Auf Einzelschlägen können bei lang stehenden Kulturen Einsparungen bis zu 50 % in trockenen, war-

men Jahren bei guter N-Nachlieferung erreicht werden. Das gesamtbetriebliche oder flächenspezifische Einsparpotenzial ist nicht im Voraus planbar. Einsparungen ohne Kulturrisiko erfordern ein sehr nahes Begleiten der einzelnen Sätze. Das Programm ist aufwändig und für den Experteneinsatz ausgelegt.

Das **KNS-System** ermöglicht es, den N-Bedarf der Pflanzen in jeder Kulturwoche zu berechnen. Hohe N-Gaben können auf Teilgaben aufgeteilt werden, dadurch vermindert sich das Risiko einer N-Auswaschung. In Kombination mit N_{\min} -Proben zum Kopfdüngungstermin kann eine hohe Einsparung erreicht werden, die jedoch in Ihrer Höhe nicht vorher berechenbar ist. Auf vielen Schlägen können keine oder nur geringen Stickstoffmengen im Vergleich zur DBE nach DüV eingespart werden. Dies kommt dadurch zustande, dass in den N-Bedarfswerte für Gemüsekulturen in der DüV schon eine Mineralisation und N-Freisetzung aus organischer Bodensubstanz während der Kulturdauer enthalten ist. Unter bestimmten Bedingungen (langjährige organische Düngung oder/und gemüsebauliche Nutzung) kann das Nachlieferungsvermögen des Bodens höher sein als pauschal in den N-Bedarfswerten und Abschlägen der DüV vorgesehen. Dies ist jedoch nicht im Voraus planbar und sehr abhängig von der Witterung ((warm, ausreichende Bodenfeuchte, hoher Humusgehalt). Auf Einzelschlägen können bei lang stehenden Kulturen Einsparungen bis zu 50 % in trockenen, warmen Jahren bei guter N-Nachlieferung erreicht werden. Das gesamtbetriebliche oder flächenspezifische Einsparpotenzial ist aus den oben beschriebenen Gründen nicht plan- oder ausreichend genau berechenbar.

Pflanzenmessungen können während der Standzeit im Feld den Ernährungsstatus der Pflanze widergeben und somit den genauen N-Bedarf abschätzen. In der Broschüre sind Ansätze wie z. B. SPAD-Messungen oder Pflanzensaftanalysen beschrieben. Diese sind aber bisher aufgrund der Kulturvielfalt im Gemüsebau i. d. R. nicht praxistauglich.

III. N-Düngestrategie

Der Dünger, der nach genauer Abschätzung der notwendigen Menge (Punkt II) zur optimalen Ernährung der Pflanzen ergänzt werden muss, ist so verlustarm und effizient wie möglich einzusetzen.

Reihen- und Unterfußdüngung: Besonders bei Reihenkulturen kann durch eine wurzelnahe Unterfußdüngung neben der Reihendüngung eine höhere Nährstoffeffizienz erreicht werden. Einige Gemüsekulturen haben deutlich weitere Pflanz- und Reihenabstände als die meisten Ackerkulturen. Schon allein durch das Aussparen von Fahr-, Beregnungs- und Erntegassen ergibt sich insbesondere bei Beetpflanzungen ein Düngeeinsparpotential von 10-15 %. Durch Unterfußdüngung kann dieses Einsparpotenzial weiter erhöht werden, da die Nährstoffkonzentration neben der Nährstoffmenge für das Wachstum und die Entwicklungsgeschwindigkeit vieler Gemüsekulturen besonders zu Kulturbeginn entscheidend ist. Allerdings sind bisher keine abgesicherten Erkenntnisse zur Ausbringung und Gabenhöhe und Düngearten vorhanden. Hier waren und sind weitere Versuche notwendig, um praktikable Beratungsempfehlungen zu entwickeln, damit Betriebe sinnvoll in diese Technik investieren können.

Blattdüngung: Eine N-Aufnahme über das Blatt hat aufgrund schneller Aufnahme und Wirkung eine hohe Stickstoffeffizienz. Ein kurzzeitiger N-Mangel z. B. durch Trockenheit kann ausgeglichen werden, geringe Mengen fehlenden Stickstoffs (5-15 kg N/ha) können gezielt auch spät im Kulturverlauf ausgebracht werden. Bei richtiger Anwendung können Blattdüngungen bei einer leicht unterversorgten Kultur zum richtigen Zeitpunkt dazu beitragen, Ertrag und Qualität kurzzeitig abzusichern.

Optimierte Düngemittelwahl zur Vermeidung von N-Auswaschung: Bei der Wahl des Düngemittels sind Standort, Jahreszeit, Kultur und Kulturdauer entscheidend. Die N-Form, Verfügbarkeit und Wirkungsgeschwindigkeit des Düngers müssen zu Kulturdauer und Bedarf der Pflanze passen. Auf nassen und auswaschungsgefährdeten Standorten können z. B. stabilisierte N-Dünger insbesondere bei längerer Kulturdauer sinnvoll sein.

IV. Begleitendes Kulturmanagement

Auch bei konsequentem Einsatz der Maßnahmen I - II ist ein N-Eintrag ins Wasser oder ein positiver N-Saldo zum Kulturende im Boden nicht immer vermeidbar. Bei einigen Gemüsearten ist dieses kulturartbedingt. Zum Ende der Kultur verbleiben Stickstoffmengen im Boden und in den Ernteresten. Diese N-Reste am Kulturende müssen durch Fruchtfolgegestaltung (Wechsel Flach-/Tiefwurzler) und durch den Anbau von Zwischenfrüchten möglichst für das Folgejahr konserviert werden. Konkrete Empfehlungen zur Auswahl von Zwischenfrüchten nach Gemüsekulturen abhängig von deren Anbau- und Erntezeiträumen sind in den Kulturdatenblättern (Kapitel 9) genannt.

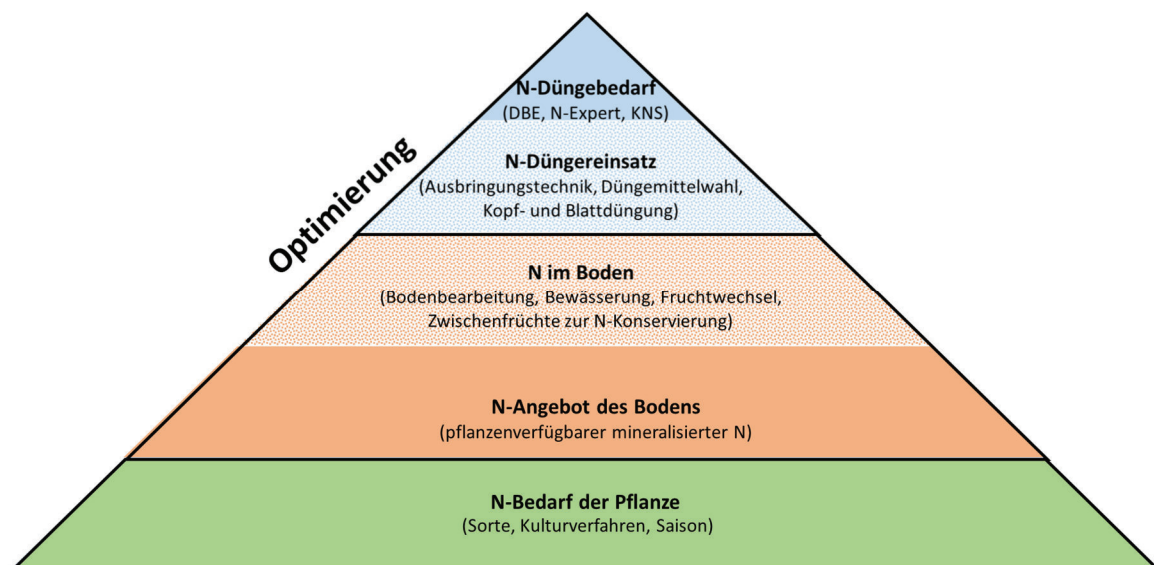


Abb. 1: Schema zur optimalen N-Ausnutzung im Gemüsebau

3. Vorplanung der Maßnahmen zur Düngoptimierung

Die betrieblichen Strukturen (regionale Gegebenheiten, Absatzwege, Kaliber-Produktionsziele, Flächen, Bodenarten, Kulturen, Bewässerungsmöglichkeiten), die bisher genutzte Düngetechnik und Düngestrategie, sowie die Fruchtfolge (Pflanz- und Erntetermine, Anbauportfolio) und Standortfaktoren (Niederschlag, Witterung, Bodenart, N-Nachlieferungspotenzial) bestimmen, welche Maßnahmen zur Reduzierung der N-Verluste sinnvoll sind und in welcher Größenordnung eine Optimierung der Düngung N-Verluste potenziell reduzieren kann.

Ausgehend vom Ist-Zustand gibt es verschiedene Optimierungsmöglichkeiten für einzelne Schläge, Kulturen oder die gesamte Fruchtfolge. Ein individuelles Wasserschutz- und Düngekonzept für den Gesamtbetrieb kann erstellt werden oder es lassen sich Einzelmaßnahmen auf Einzelschlägen umsetzen.

Ein wichtiges Werkzeug zur Ermittlung des Handlungsbedarfs ist eine **Analyse der bisherigen betrieblichen Düngung** anhand der Erfahrungen und der Dokumentation der Düngung. Es kann eine vereinfachte Herleitung des gesamtbetrieblichen Düngedarfs (für N, P und K) und die Gegenüberstellung der tatsächlich durchgeführten Düngung erfolgen. Um hieraus ein Einsparpotenzial für den Betrieb abzuleiten, sind Fachkenntnisse zur N-Aufnahme, N-Abfuhr, zu typischen N-Restmengen in Ernterückständen und über den N-Mindestvorrat der spezifischen Kulturen zum Kulturende nötig. Es lassen sich Flächen/Kulturen für die intensive Begleitung priorisieren, auf denen eine Einsparung gegenüber der DBE nach DüV aufgrund des Anbauplans (Anbauzeitpunkt und Fruchtfolge), technischen (genutzter Dünger und Ausbringtechnik), standortbezogenen (Bodenart, Humusgehalt, Vorkulturen, organische Düngung) und kulturspezifischen Gegebenheiten (z. B. N-Bedarf, N-Aneignungsvermögen, Durchwurzelungstiefe, Standzeit, Verträglichkeit gegenüber Kopfdüngungen/Blattdüngungen, Zeitpunkt Reihenschluss), der betrieblichen Strukturen sowie Absatzwege und Anbauziel möglichst positiv ist.

Eine gut geführte Ackerschlagkartei kann hier vieles erleichtern, ist aber nicht auf allen Betrieben Standard. Die Ackerschlagkartei stellt die Basis für die Optimierung der Düngung, Fruchtfolgegestaltung und Flächenmaßnahmen dar. Auch über technische Möglichkeiten kann im Vorfeld der Saison beraten werden bzw. eine Bewertung der bisher eingesetzten Technik vorgenommen werden. Gleiches gilt für den Einsatz, die Menge und den Ausbringungszeitpunkt sowie die Verteilung von Wirtschaftsdüngern und eingesetzten Mineraldüngerarten.

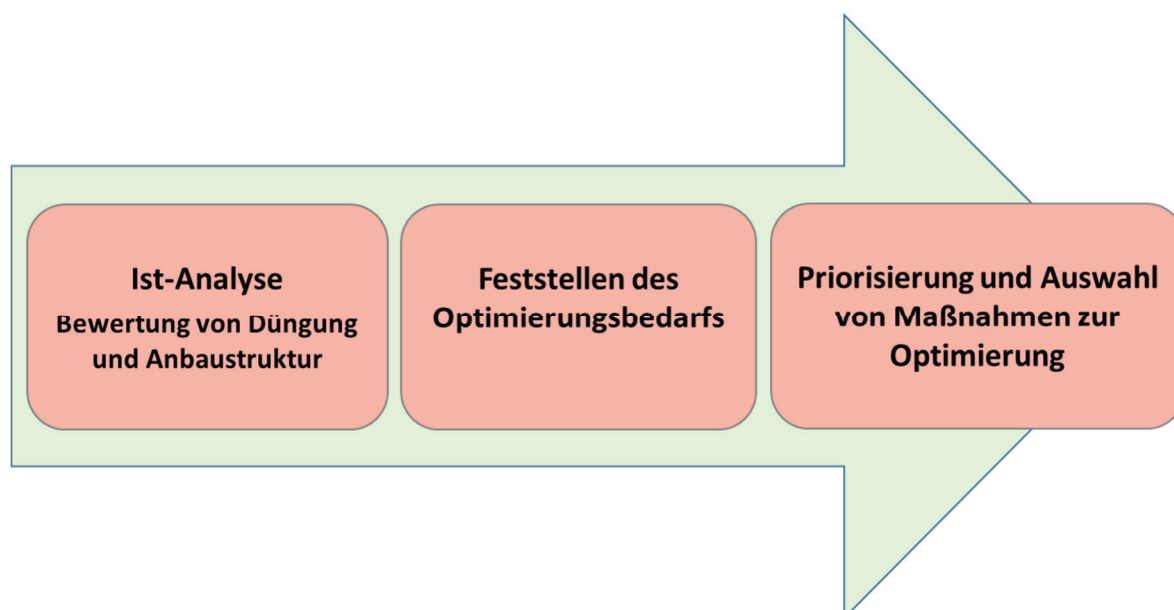


Abb. 2: Ablauf der (Gewässerschutz-)Beratung

Als nächster Schritt folgt die **Vorausplanung der folgenden Saison (Anbauplanung)**. Darauf basierend können geeignete Maßnahmen identifiziert und vorbereitet werden. Es können aber auch Fruchtfolge und Anbauportfolio bewertet werden.

Betrieb		N-Broschüre				Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen						
Düngejahr		01.01.2021-31.12.2021			Suche Kultur:							
Name	ha	Bodenart	pH	N Vorjahr Org.Düng kg je ha	Kultur Vorjahr	Zwischenfrucht	Kultur März	Kultur April	Kultur Mai	Kultur Juni	Kultur Juli	Kommentar
SalatHof1a2021	2,00	mittel			Kohlgemüse	Nichtleguminose, abgefroren	Salate, versch.			Salate, versch.		Pflicht Bodenprobe DüV Mai
WeißkohlFeld2a 2021	2,00	mittel			Gemüse ohne Kohlarten				Weißkohl, Frischmarkt (rund, spitz, fisch)			KNS System sinnvoll/ Aufteilung der Düngung empfohlen
Selleriehaus3a2 021	2,00	mittel		120	Körnermais	Nichtleguminose, abgefroren		Sellerie, Knollen			Salate, versch.	Pflicht Bodenprobe DüV Mai/ Reduzierung der Düngung für Sätze im Mai prüfen (N-Nachlieferung Norg)

Abb. 3: Fruchtfolgeplaner der LWK NRW als Beratungsinstrument zur Erstellung eines Anbauplans im Gemüsebaubetrieb mit ersten Beratungsempfehlungen

	√
Flächenverzeichnisse/Anbauverzeichnisse z. B. Schlagkartei, Flächenantrag	
Bodenprobenergebnisse max. 6 Jahre alt für alle Flächen inkl. Pachtflächen (> 1 ha)	
Kenntnis der organischen Düngung der Vorjahre für alle Flächen	
Auszug aus dem Meldeprogramm für organische Düngung	
Lieferscheine Kompost / Champost (Flurstücke müssen bereits Schlägen zugeordnet sein)	
Kenntnis der Vorfrüchte auf allen Schlägen, ggfs. mit Umbruchzeitpunkt	

Abb. 4: Übersicht der benötigten Informationen zur Düngevorplanung

Für eine Düngeplanung ist neben dem Anbauplan (z. B. geplante Kulturen, Mehrfachbelegung, Fruchtfolgen) die Flächenhistorie (z. B. organische Düngung, Saat- und Umbruchzeitpunkt von Zwischenfrüchten) zu berücksichtigen (siehe Tabelle 1).

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 1: Beispiel einer Flächenhistorie

		Größe [ha]	Letzte Kultur 2019	Gründung	Organische Düngung	Erste Kultur 2020	Letzte P-Analyse	N-Bedarfsermittlungen 2020 Bemerkungen
Schläge	Schlag 1	2	Weizen	abfrierend	Kompost in 2019 20 t/ha	Porree	2013	Standardbodenprobe durchführen
	Schlag 2	5	Blumenkohl	keine	Keine	Lollo-Salat	2017	Satzanbau 2x
	Schlag 3	4	Porree	abfrierend	Rindergülle 7 % 10 m³/ha	Lollo-Salat	2019	Satzanbau 2x
	Schlag 4	3	Lollo-Salat	abfrierend	Champost in 2020 30 t/ha	Blumenkohl	2020	Bewirtschaftungseinheit mit Schlag 5
	Schlag 5	3	Lollo-Salat	abfrierend	Champost in 2018 30 t/ha	Blumenkohl	2018	Bewirtschaftungseinheit mit Schlag 4
	Schlag 6	20	Möhren	keine	keine	Kohlrabi	2020	Satzanbau 2x
	Schlag 7	15	Blumenkohl	keine	keine	Weizen	2017	Vorfrucht Kohl 10 kg anrechnen

Auf Basis des Anbauplans kann ein ganzjähriges schlaggenaues Düngekonzept grob vorgeplant werden. Der N_{\min} -Bodenprobenbedarf lässt sich abschätzen und erste Düngebedarfsermittlungen können vorbereitet werden.

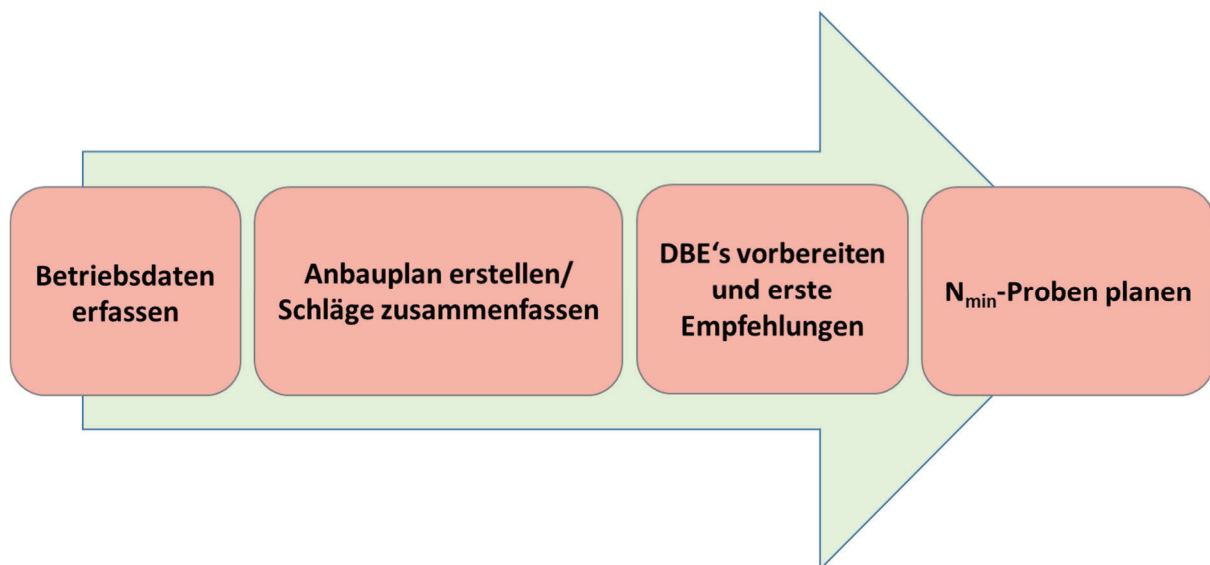


Abb. 5: Zeitlicher Ablauf der Düngeplanung

3.1. Planen und Standardisieren der Abläufe zur schlaggenauen Düngung auf dem Betrieb

Im Vergleich zu den meisten typischen Ackerkulturen wird Freilandgemüse nahezu während der gesamten Anbausaison gepflanzt und damit gedüngt. Der satzweise Anbau, die Mehrfachbelegung der Flächen, wechselnde Vorkulturen und z. T. unterschiedliche organische Dünger erhöhen den Aufwand für eine schlagspezifische Düngeplanung und schlagscharfe Begleitung der Düngung immens. Da die Kulturen z. T. eine sehr kurze Kulturdauer aufweisen, ein schneller Fruchtwechsel stattfindet, ein Wechseln von Flächen abhängig von aktueller Witterung, der Markt- und Absatzsituation und der Arbeitsbelastung bzw. der aktuell verfügbaren Schlagkraft im Betrieb abhängt, ist oftmals wenig Zeit für Düngeplanung. Bodenbearbeitung, Pflanzung, Düngung, Pflanzenschutz, Beregnung, Ernte, Vermarktung und Rückstandsmonitoring. Die Arbeitsabläufe finden inmitten der Saison oft parallel statt. Flexibilität und Spontanität ist eine Grundvoraussetzung erfolgreicher Betriebe. Der Betriebsablauf muss anhand aktueller Gegebenheiten und pflanzenbaulichen Erfordernissen angepasst werden, um auf den Markt und die Situation im Feld reagieren zu können. Damit in der Zeit der intensivsten Arbeitsbelastung möglichst flächenscharf eine optimale Düngung organisierbar bleibt, sind innerhalb des Betriebs neben **freien Mitarbeiterkapazitäten** auch **standardisierte Abläufe** wichtig. Zum Beispiel: Bodenproben immer direkt vor Ernte organisieren, Ergebnis bei Bedarfsermittlung berücksichtigen, Düngung kalkulieren, auf der Fläche umsetzen und sofort dokumentieren. Zum anderen kann es sinnvoll sein, kurze Formulare mit klarer Flächen und Kulturbezeichnung sowie in Düngermenge umgerechnete Düngeanweisungen zur Innerbetrieblichen Informationsweitergabe zu nutzen und den Ablauf so zu standardisieren.

Planungen vor der Saison sind wichtig, wenn die Bodenproben zur Arbeitsentlastung von einem(r) **professionellen Probenehmer(in)** gezogen werden sollen. Kennt diese(r) den Betrieb nicht, bietet sich ein Termin vor Ort für ein Kennenlernen des Betriebs und der Flächen, unterstützt durch Karten, an. Grobe Zeitpunkte und Flächen für die Probenahme werden identifiziert und Besonderheiten bei der Probenahme, wie z. B. das Beprobieren einzelner Sätze im satzweisen Anbau, besprochen.

Für eine präzise Düngung sind einige Daten (z. B. Pflanzzeitpunkt, erwartetes Ertragsniveau, Standdauer, Ernte- und Umbruchzeitpunkt) über die bewirtschafteten Flächen nötig. Diese Aktualisierung fordert viele kleine und mittlere Betriebe im Betriebsalltag, bei der Unterstützung angebracht ist. Im Gegensatz dazu gibt es in großen Betrieben meist spezialisiertes Personal für die Dokumentation. Eine gesamtbetriebliche und schlagbezogene Düngeplanung für N, P, und K aufzustellen, setzt ein entsprechend **geeignetes EDV-Programm** voraus. Ein potentiell geeignetes und frei verfügbares Programm ist **N-Expert** (http://www.igzev.de/projekt_type/n-expert-duengung-im-freilandgemuesebau), es gibt jedoch noch weitere mögliche **kostenpflichtige Schlagkarteiprogramme**. Eine optimale Lösung wäre ein Programm mit integrierter Ackerschlagkartei zur Dokumentation der tatsächlichen Düngung, Pflanzenschutz- und Kulturmaßnahmen mit Anbindung an die Schlagverwaltung. Zusätzlich sollte die Möglichkeit der Ausgabe der Flächen in Karten für den Austausch mit der Beratung oder für das Beauftragen von N_{\min} -Proben im Idealfall möglich sein.

Bewertung zum Aufwand für Beratung und Betrieb

Die Schwachstellenanalyse anhand der betrieblichen Aufzeichnungen dient der Einstiegsberatung. Der geschätzte Aufwand für die Analyse des Handlungsbedarfs sowie eine daraus abgeleitete Struktur für die Düngeplanung in der Saison beträgt je nach vorhandenen Aufzeichnungen, Anzahl Kulturen, Tauschflächen, organische Düngung, ggfs. eigener Tierhaltung, Gehalt der Informationen der Ackerschlagkartei, der Betriebsstruktur, der Komplexität des Anbausystems (Mehrfachbelegungen) und

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Fruchtfolgen in etwa **1-3 Arbeitstage für einen mittleren Betrieb (50-100 ha) mit typischen Satzkulturen** (ohne Fahrtzeit). Bei kleinstrukturierten Betrieben ist der Aufwand höher.

Für die Planung der Flächenbelegung zur Düngedarfsermittlung/-planung, Erstellen eines Anbauplanes (mit Historie und Plan der Erst- und Mehrfachbelegung) zusammen mit der Betriebsleitung ist ein Aufwand von mehreren Arbeitstagen anzusetzen, wenn der Betrieb zuvor die Daten „griffbereit“ hat. Ein Rechnen erster Düngedarfsermittlungen und die Erstellung erster Düngempfehlungen für das Frühjahr beträgt je nach Anzahl 2-5 h.

Der Aufwand für Zusatztermine für die Stickstoffdarfsermittlung nach Ergebnissen von Bodenproben und/oder unter Verwendung von N-Expert beträgt 0,5-1 h je Termin.

Hat der Betrieb Kapazitäten, die daraus abgeleiteten Maßnahmen alleine umzusetzen, kann nach bisherigen Erfahrungen und Rückmeldungen von Betrieben ein Arbeitszeitbedarf von bis zu 40 h entstehen. Dazu kommt in der Saison die Zeit für die Organisation der nach DüV notwendigen und zusätzlich sinnvollen Bodenproben, für Düngedarfsermittlungen sowie für die Umsetzung während der Saison.

Für die Umsetzung der Vorgaben der Düngeverordnung im Betrieb und Organisation der nach Düngeverordnung geforderten Pflichtbodenproben in der Fruchtfolge Gemüse nach Gemüse ist eine Vorplanung Voraussetzung für eine Umsetzung auf dem Betrieb. Eine umfassende Analyse der Betriebsflächen kann mehr als einen Arbeitstag in Anspruch nehmen.

3.2. Kulturgruppenspezifische Bewertung einer 20%-reduzierten N-Düngung nach DüV

Nach aktuell gültiger Düngeverordnung dürfen ab dem 01.01.2021 maximal 80 % des durch die N-Düngedarfsermittlung ermittelten N-Düngedarfs im Durchschnitt auf nitratsensiblen Flächen gedüngt werden. Bei vielen Gemüsekulturen, die im vollen vegetativen Wachstum geerntet werden, kann eine um 20 % reduzierte N-Düngung zu Nicht-Vermarktbarkeit wegen Nichterfüllen der Qualitätsnorm führen. In diesem Fall muss der Bestand unter finanziellen Einbußen eingearbeitet werden. Als Folge ist die potenzielle Nitratauswaschung erhöht. Um die N Düngung, N-Ausnutzung im Betrieb zu optimieren und Auswaschungsrisiken zu vermeiden, ist es daher notwendig, unterschiedliche Gemüsekulturen und Kulturgruppen hinsichtlich ihrer Reaktion auf eine Düngung unter Bedarf individuell zu bewerten.

Als erster Schritt wird der **Anteil der vom Betrieb bewirtschafteten Flächen auf roten Grundwasserkörpern** ermittelt. Hierzu hat die NRW-Landesregierung eine neue Landesdüngeverordnung verabschiedet, die zum 01.01.2021 mit einer erneuerten Gebietskulisse ausgewiesener nitratbelasteter Feldblöcke in Kraft trat. Im webbasierten Fachinformationssystem ELWAS-WEB vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV) NRW lässt sich mit dem Kartenservice ermitteln, ob von einem Betrieb bewirtschaftete Feldblöcke in NRW mit erhöhter Nitratbelastung im Grundwasser ausgewiesen sind:

<https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>

Fragen und Antworten hierzu sind zu finden unter:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/Landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverord-nung/binnendifferenzierung/index.htm>

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Im nächsten Schritt muss der **Anteil von Gemüse und landwirtschaftlichen Kulturen an der Gesamtfruchtfolge des Betriebs** ermittelt werden.

Die gemüsebaulichen und landwirtschaftlichen Kulturen werden hinsichtlich ihrer Reaktion auf eine verminderte N-Düngung in grobe Kategorien eingeteilt. Basis sind Erfahrungen der Beratung und Auswertungen der Daten, welche zur Ermittlung der N-Bedarfswerte herangezogen wurden (Weier und Scharpf: in Feller et al. 2011):

1. keine oder nur geringe Reaktion auf suboptimale N-Versorgung, geringes Risiko für Ertragseinbußen (Möhren, Zwiebeln, Spargel im Ertrag mit ausreichender organischer Düngung bei Neuanlage, Knollensellerie, Sommergetreide, AB Weizen, Braugerste, Mais auf langjährig organisch gedüngten Flächen, Zuckerrüben)
2. mittleres Risiko für Ertragseinbußen aber allgemein vermarktbar Qualität zu erwarten, kurzfristig tolerierbare Effekte auf Flächen mit mind. 50 Bodenpunkten (z. B. Eissalat oder Kopfsalat und Kohlrabi in kleinen Kalibern, Blumenkohl (8er oder mini) und Porree auf Standorten mit langjähriger organischer Düngung, Kartoffelsorten mit mittlerem N-Bedarf)
3. mittlere bis hohe Risiken für Ertragseinbußen und Risiko der Nichtvermarktbarkeit (Qualitätseinbußen) gegeben (z. B. Kopfkohl, Blumenkohl, Brokkoli, Stangensellerie, Salate in großen Kalibern und kurzer Standzeit, Porree, Feldsalat, Kohlrabi in großen Kalibern)
4. sehr hohes Risiko für Ertrags- oder Qualitätseinbußen, aufgrund nicht Erreichen der geforderten Qualitäten (z. B. Spinat, Wirsing, Bundzwiebeln).

Die Kategorien beschreiben im Allgemeinen bei gegebener Bodenfruchtbarkeit die kurzfristige Reaktion der Kulturen hinsichtlich Ertrag und Qualität. Maßnahmen, die zu einer verbesserten N-Versorgung beitragen, können die Anbaurisiken reduzieren. Verschiedene Demoversuche der LWK NRW von 2017 bis 2020 haben gezeigt, dass auf guten Böden und bei günstiger Witterung mit erhöhter N-Nachlieferung des Bodens eine Einsparung von 20 % unterhalb des ermittelten Düngebedarfs nach DüV auch bei kritischen Kulturen vielfach möglich sein kann.

In nassen Jahren ist das Risiko für Totalverluste bei Minderdüngung ohne Nachdüngung von Gemüsekulturen bis 60 cm Wurzeltiefe allgemein mit mittel bis hoch zu bewerten. Die Bewertung der Fruchtfolge muss anhand eines Abschätzen des Flächenanteils der unterschiedlichen Kategorien erfolgen und bietet grobe Anhaltspunkte. Bei mehr als 50 % der Kulturen auf „roten“ Flächen der Kategorien 2-4 sollten allgemeine Maßnahmen zur Kulturwahl und Erhöhung des Flächenanteils von Ausgleichkulturen (z. B. Mais, Ackergras, Zuckerrübe) empfohlen werden, um das Risiko für Ausfälle kalkulierbar zu halten. Eine solche Optimierung kann im Düngeportal NRW durchgeführt werden (siehe Abb. 6)

Schlag				Optimierung reduzierte N-Düngung					
Nr.	Name	Fläche ha	Nitratbelastete Fläche (N1a) Ja	Aussoot / Planung	Kultur	Nutzungsfäche ha	DBE N kg N / ha	Ziel N %	Ziel N kg N / ha
1	Maisfeld	2,0000	Ja	10.05.2021	Silomais (33 % TM)	2,0000	160	64	70
1	Salatkof	2,0000	Ja	01.03.2021	Salate, Versch.	2,0000	140	53	130
				01.07.2021	Salate, Versch.	2,0000	80	87	70
2	Weißkohlfeld	2,0000	Ja	30.05.2021	Weißkohl (Frischmarkt) (Satz 1)	2,0000	210	95	200
Summe für nitratbelastete Flächen nach §13a							1.180		939 (max: 944)

Abb. 6: Optimierung und Vorplanung der Düngung im Düngeportal NRW (Stand 10.02.2021)

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Für bestimmte Betriebsformen bzw. Anbauschwerpunkte (Erdbeeren, Möhren, Spargel, Zwiebel) kann auch im konventionellen Anbau die **160/80er-Regel** interessant sein: Werden im Betriebsschnitt weniger als 160 kg N-Gesamt ausgebracht, von denen maximal 80 kg N aus Mineraldünger stammen dürfen, dann können Betriebe von der pauschalen Reduzierung der Düngung um 20 % auf belasteten Flächen und von der flächenscharfen Begrenzung der organischen Düngung auf 170 kg N/ha ausgenommen werden. Für Spargel und Erdbeeren ist dies nach Erfahrungen der Betriebs- und Wasserschutzberatung im Betriebsschnitt, durch N_{\min} -Beprobung vor jeder Düngungsmaßnahme, ohne Anbaurisiko realistisch. Gemüsekulturen wie Zwiebel oder Möhren sind allgemein als unkritisch hinsichtlich des Kulturrisikos zu bewerten.

3.3. Sortenwahl (N-effiziente Sorten)

Untersuchungen zur N-Effizienz verschiedener Nutzpflanzen z. B. Mais und Raps haben gezeigt, dass genotypische Unterschiede in der Stickstoffeffizienz bei den verschiedenen Sorten bestehen. Dadurch könnte der verbleibende N_{\min} -Rest vermindert und die N-Auswaschung verringert werden.

Einige Untersuchungen zeigen bei verschiedenen Eissalatsorten oder Blumenkohlsorten auch Unterschiede im N-Aneignungsvermögen. Wünschenswert wäre es, wenn die N-Effizienz zukünftig einen höheren Stellenwert bei der Sortenauswahl bekäme.

3.4. Fruchtfolge

Die Abfolge der Kulturarten innerhalb der Fruchtfolge muss unterschiedliche Gesichtspunkte berücksichtigen. So sollte z. B. der Erntetermin der Vorkultur eine termingerechte Bestellung der Folgefrucht ermöglichen, den Krankheits- und Schädlingsdruck geringhalten, Vorfruchteffekte optimal ausnutzen und N-Verluste weitestgehend vermindern. Im Folgenden wird auf die Verminderung von N-Verlusten eingegangen.

Letzter Gemüsesatz nach einer Vorkultur „ohne“ N-Reste (Getreide)

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, potenzieren sich die möglichen Fehlerquellen beim satzweisen Anbau von Gemüse. Die Rest- N_{\min} -Werte nach dem letzten Gemüsesatz vor Winter sind in der Regel niedriger, wenn eine „räumende“ Kultur als Vorfrucht diente, die grundsätzlich wenig N hinterlässt. Ein Flächentausch zwischen Landwirten und Gemüseproduzenten bringt aus diesem Grunde deutliche Vorteile für den Gewässerschutz. In der Regel ist nach dem Anbau von Getreide mit Strohabfuhr der Stickstoffpool im Boden aufgebraucht und es sind keine hohen Nachlieferungen an Stickstoff zu erwarten. Darüber hinaus wird der Stickstoff von der Vorkultur Getreide bis 90 cm tief und gleichmäßig dem Boden entzogen, was ebenfalls einen Vorteil darstellt. Eine nachfolgende Gemüsekultur entzieht in der Regel nur in einer Tiefe bis 30 bzw. 60 cm. Die Bemessung des Düngers nach dem tatsächlichen Bedarf für eine Gemüsekultur in einem „leeren“ Boden ist exakter vorzunehmen, als für eine Fläche mit ungewissem Mineralisierungspotential aus Ernteresten, wenn beispielsweise eine Gemüsekultur mit hohen Ernteresten und ungleicher Abernterate als Vorfrucht dient. Die richtige Bemessung des Düngedarfs wird dann deutlich schwieriger. Folglich sollte in zukünftigen Rechtsnormen der hinsichtlich der N-Effizienz sinnvolle Flächentausch nicht durch bürokratische Hemmnisse behindert werden.

Flächenextensivierung mit Begrünung

Fläche ist bekanntlich knapp und teuer. Aus diesem Grund steigt die Nutzungsintensität in Gemüsebaubetrieben immer weiter an. Zur Minimierung von Stickstoffverlusten wären Extensivierungsflächen (z. B. Anbau von Zwischenfrüchten) in der gemüsebaulichen Fruchtfolge zu begrüßen. Dies erfordert allerdings eine bewusste Änderung der Fruchtfolge, was zu sehr hohen Opportunitätskosten führt (je nach Kultur 500-2.000 €/ha Ausfall an Deckungsbeitrag). So sollten Zwischenfrüchte nicht nur dann eingesät werden, wenn es der Betriebsablauf zeitlich zulässt, sondern (auch) nach dem zweiten Satz Gemüse, während der Grundwasserneubildungsphase stehen bleiben und erst im Folgejahr eingearbeitet werden („**erweiterter Herbstzwischenfruchtanbau**“).

Eine solche „Extensivierungsfläche“ könnte aber auch **in der Mitte einer Fruchtfolge** stehen. Beispiel: Im Frühjahr wird Brokkoli angebaut, der N-reiche Erntereste hinterlässt. Durch Starkregenereignisse kann der N_{\min} aus der oberen Bodenschicht nach unten verlagert werden. Ein nachfolgender Satz Salat, der nur aus der obersten Schicht Stickstoff aufnimmt, kann diesen Stickstoff nicht mehr nutzen. Wie bereits beschrieben, können Sommerzwischenfrüchte mit tiefer Durchwurzelung den Stickstoff aus den o. g. Bodenschichten aufnehmen und in ihrer Blattmasse speichern. Nach der Einarbeitung der Zwischenfrüchte stände der Stickstoff dem nachfolgenden Salatsatz in der obersten Bodenschicht zur Verfügung.

Weiteres N-Einsparpotential bietet eine **einjährige Extensivierung**. Hier wird beispielweise nach Winterporree, der nach der Überwinterung im Frühjahr geerntet wird, ein Zwischenfruchtgras eingesät. Der Aufwuchs wird abgefahren und ein erneuter Anbau von Gemüse erfolgt dann erst im Folgejahr.

Der Einbau solcher Extensivierungsflächen in die Fruchtfolge bringt für den Gemüseanbauer aber deutliche Ertragseinbußen, die oft aufgrund der höheren Pachtzahlungen für gemüsebauliche Flächen wirtschaftlich nicht zu tragen sind. Anreize in Form von Agrarumweltmaßnahmen und Fördermaßnahmen im kooperativen Gewässerschutz könnten die Akzeptanz erhöhen.

4. Berechnung der optimalen N-Düngemenge

Eine Pflanze ernährt sich überwiegend von dem Stickstoff, den ihr der Boden als mineralischen Stickstoff zur Verfügung stellt und aus dem über die Düngung zugeführten mineralischen oder organischen Düngern. Wichtige Maßnahmen zur Erhöhung der N-Düngeeffizienz im Gemüsebau sind das **Messen des Stickstoffes im Boden** und die möglichst genaue **Abschätzung des benötigten Stickstoffs der Pflanzen**.

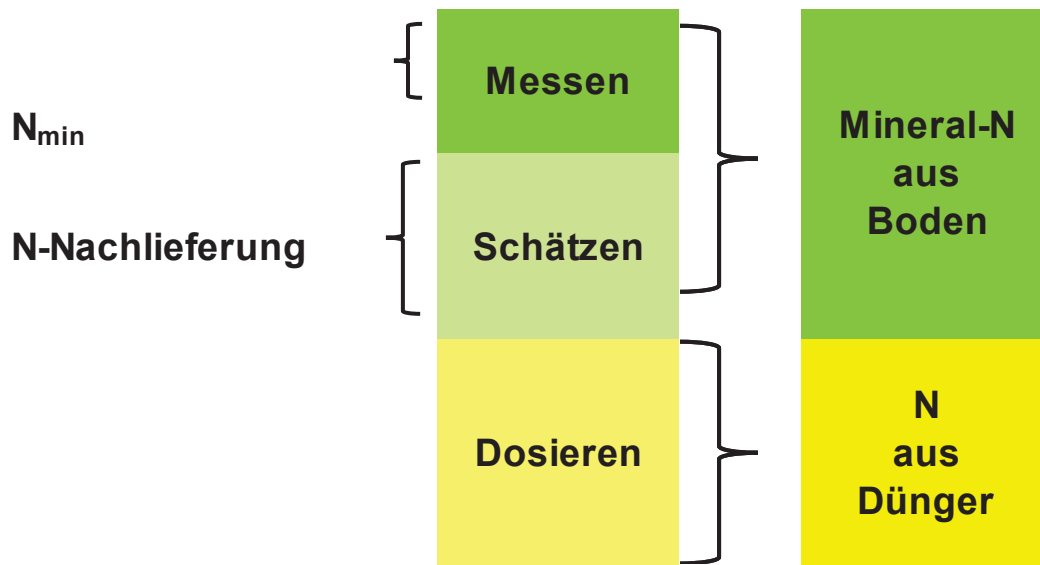


Abb. 7: Stickstoffquellen für die Ernährung der Pflanzen

Ein wesentliches Instrument für die Düngplanung ist daher die **Untersuchung des Bodens**. Für die Abschätzung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe (Phosphor, Kalium und Magnesium) sowie für das Mineralisierungspotenzial für Gesamt-N sind Beprobungs- und Untersuchungsintervalle von max. 3 Jahren zu empfehlen. Eine Analyse von leicht verfügbarem mineralischem Stickstoff (N_{\min}) ist vor oder auch mehrmals im Kulturverlauf, je nach Kulturart und Standortbedingungen, empfehlenswert.

Da der im Boden vorhandene Stickstoffpool während der Vegetation einem temperatur- und feuchtigkeitsabhängigen ständigen Einbau-, Abbau- und Umbauprozess unterliegt, muss gemessen oder abgeschätzt werden, wie viel pflanzenverfügbares Nitrat oder Ammonium vorliegen könnte. Durch die Analyse von Bodenproben auf mineralischen Stickstoff (N_{\min}) erhält man den aktuellen Wert des im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren mineralischen Stickstoffs. Darüber hinaus ist es sinnvoll, den Humusgehalt und das C/N-Verhältnis im Boden zu bestimmen, um das Mineralisierungspotential des Bodens abschätzen zu können. Wachstumsverzögerungen können sich nicht nur durch einen Mangel an Stickstoff, sondern auch durch ein unausgewogenes Verhältnis oder Mangel von anderen Nährstoffen im Boden, aber auch durch einen zu hohen oder niedrigen pH-Wert ergeben. Die Ermittlung weiterer Nährstoffgehalte im Boden kann Aufschluss darüber geben.

Der tatsächliche Ernährungszustand der Pflanze kann auch mittels einer **Blattanalyse** festgestellt werden (siehe Kapitel 6, Untertitel Blattuntersuchungen und Mikronährstoffe). Die Analyse des Pflanzmaterials gibt Hinweise zum Ernährungs- und Entwicklungszustand der Pflanze. Bei diesem Verfahren ist die repräsentative Pflanzenauswahl der entscheidende Einflussfaktor. Ebenso sind hohe Kosten damit verbunden.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 2: Messverfahren zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes von Boden und/oder Pflanze

	Womit?	Was?
Messen	<i>N_{min}-Proben</i>	Boden
	<i>Nitrachek</i>	Boden/Pflanze
	<i>Spad-Tester, N-Tester</i>	Chlorophyllgehalt der Pflanze
	<i>Waage, N-Pilot, N-Senor</i>	Pflanzenbiomasse

Tab. 3: Schätzverfahren zur Bestimmung des N_{min}-Gehalts des Bodens

Schätzen • organische Dünger • Nachlieferung Boden • Nachlieferung Erntereste	<i>Erfahrungen</i>	Faustzahlen
	<i>Düngefenster</i>	Beobachtungen
	<i>Berechnen mit Modellen</i>	N-Expert

Seit längerem wird an Modellen zur Berechnung von N-Nachlieferungen im Boden gearbeitet, die ständig verfeinert und aktualisiert werden.

Um die richtige Stickstoffmenge mit der Düngung auszubringen, benötigt man Informationen über den voraussichtlichen Pflanzenbedarf an Stickstoff. Darüber hinaus sollte der tatsächliche Nährstoffgehalt der Düngemittel bekannt sein. Eine aktuelle Analyse der geplanten auszubringenden **organischen** Düngemittel (mindestens zwei pro Jahr, Frühjahr/Herbst) ist immer den Faustzahlen aus Tabellenwerten vorzuziehen. Um den Einsatz von Düngemitteln zu optimieren, bedarf es einer geeigneten Auswahl des Düngemittels und einer Ausbringtechnik, die den Dünger dort ablegt, wo er gebraucht wird. Außerdem muss der Ausbringungstermin an die N-Aufnahmefähigkeit der Pflanze angepasst sein. Die Maßnahmen in der folgenden Tabelle sind zuerst zu optimieren, um die zugeführte Düngemenge dem tatsächlichen Pflanzenbedarf möglichst genau anzupassen.

Tab. 4: Faktoren, die bei der Dosierung von Düngemitteln berücksichtigt werden

	Was muss man wissen?	
Dosieren	Pflanzenbedarf	N-Bedarfswert (N-Sollwert)
	Nährstoffgehalte organische Düngemittel	Faustzahlen, besser Analysen
	Eigenschaften Düngemittel	Wirkung
	Ausbringtechnik	Verlustarm
	geeigneter Düngetermin	Grund- + mögliche Kopfdüngung

Im Gemüsebau ist aufgrund der in der Einleitung dargestellten Besonderheiten ein N-Verlust nicht immer vermeidbar. Um jedoch zu verhindern, dass dieser Stickstoffüberschuss ins Grundwasser ausgewaschen wird, können weitere Maßnahmen wie z. B. Kulturtechnik und Fruchtfolgegestaltung greifen:

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 5: Übersicht der Maßnahmen, die die N-Auswaschung in das Grundwasser reduzieren

Kulturtechnik	Sortenwahl	Kulturdauer/Anfälligkeit für Krankheitserreger/Schädlinge; effiziente N-Ausnutzung
	Beregnung	Zeitlich und mengenmäßig optimierte Wassergaben
	Erntereste-Management	Mulchen, Walzen, minimierte Bodenbearbeitung; Abfahren
Fruchtfolge	Zwischenfruchtanbau	Fixierung des N-Restes aus dem Boden in den Pflanzen
	Zwischenreihenbegrünung	bei Reihenkulturen oder in Fahrgassen
	Letzter Gemüseanbausatz nach „räumender Kultur“	Flächentausch mit Ackerkulturen, Sommerzwischenfruchtbau
	Flächenextensivierung	1 Jahr Stilllegung

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Maßnahmen im einzelnen vorgestellt.

4.1. Ermittlung des N-Potenzials von Böden

Möglichkeiten der Abschätzung des N-Nachlieferungsvermögens des Bodens

Der Boden liefert Stickstoff aus eingearbeiteten Ernteresten, Wirtschaftsdüngern und organischer Bodensubstanz (Humus) nach. Unter optimalen Bedingungen (Temperatur, Bodenfeuchte, pH-Wert (Kalkgehalt), Bodenluft usw.) erfolgt die **Mineralisation** relativ schnell. Unter suboptimalen Bedingungen ist die **N-Nachlieferung des Bodens** verlangsamt. Das Potenzial für die N-Nachlieferung kann pauschal durch die Vorgaben der DüV anhand von Tabellenwerten ermittelt werden. Für eine genaue standortspezifische Ermittlung sind Laboranalysen nötig:

- Messen der organischen Substanz (C-, Humusgehalt)
- Abschätzen des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens (Gesamt-N, C/N-Verhältnis)
- Abschätzen des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens durch Faustzahlen/Historie der N-Düngung der Flächen in Anlehnung an die N-Sollwertmethode der Kammer NRW. Hierbei kann pauschal bei langjähriger organischer Düngung, je Großvieheinheiten (GV)/ha (bzw. entsprechender org. Düngung) -10 kg N/ha bei lang stehenden Kulturen berücksichtigt werden.
- Feststellen des potenziell nachlieferbaren Stickstoffs durch Brutversuche. Dies ist bisher in der Praxis in Deutschland nicht genutzt und es besteht wenig Erfahrung. Die Ergebnisse lassen sich nicht immer auf das Freiland mit nicht kalkulierbarer Witterung übertragen. In Österreich ist das Verfahren der anaeroben Bebrütung nach Kandeler (1993) als ein wichtiges Bodenuntersuchungsverfahren genannt (BLF 2008). Dabei kann die N-Mineralisierung im anaeroben Brutversuch herangezogen werden, um die N-Nachlieferung des Bodens besser zu bewerten. Im Ergebnis kann eine Aussage zu potenziellen N-Nachlieferungen in mg N/1000 g Feinboden und Woche getroffen werden. Zur Einstufung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens wird empfohlen, diese Untersuchung alle 10 Jahre zu wiederholen. Anhand der **Einstufung des Stickstoff-Nachlieferungsvermögens des Bodens** kann dort die Berücksichtigung bei der Ermittlung der N-Düngung in Form pauschaler Abschläge angesetzt werden:
 - < 35 mg N/1000 g Feinboden und Woche → niedriges N-Nachlieferungsvermögen
 - 35-75 mg N/1000 g Feinboden und Woche → mittleres N-Nachlieferungsvermögen
 - > 75 mg N/1000 g Feinboden und Woche → hohes N-Nachlieferungsvermögen

4.1.1. Bodenprobe

Bei einer N_{\min} -Untersuchung wird der pflanzenverfügbare, mineralisierte Stickstoff im Boden durch die Analyse einer Bodenprobe ermittelt. Der dabei bestimmte Wert zeigt den Stickstoff im Boden an, der unmittelbar von den Pflanzen aufgenommen werden kann (Nitrat, Ammonium). Dabei handelt es sich immer um eine Momentaufnahme, da im Boden gebundener Stickstoff im Jahresverlauf stetig mineralisiert wird. Wie hoch diese Mineralisierung ausfällt, ist in hohem Maß von dem weiteren Temperatur- und Feuchteverlauf im Boden abhängig.

Wann ist der ideale Zeitpunkt für die Bodenprobenahme?

Der N_{\min} -Gehalt sollte vor Kulturbeginn bestimmt werden. Der Boden darf zum Zeitpunkt der Probenahme nicht frisch bearbeitet sein, da kurz nach der Bodenbearbeitung gezogene N_{\min} -Proben meist einen kurzfristig hohen N_{\min} -Bodenvorrat anzeigen. Etwa 1-2 Wochen nach erfolgter Bodenbearbeitung ist der Wert für die Folgekultur aussagekräftiger. Wenn früher neu gepflanzt werden muss, sollte die Probe während der Aberntephase der Vorkultur gezogen werden, wenn diese keinen Stickstoff mehr aufnimmt. Zwischen N_{\min} -Beprobung und Neupflanzung sollten nicht mehr als zwei Wochen vergangen sein. Zum Zeitpunkt der Probenahme sollte die Bodenfeuchtigkeit eine Bodenbearbeitung zulassen.

Für Kulturen mit langer Standzeit in Kombination mit langjähriger organischer Düngung ist es sinnvoll, zur möglichen Kopfdüngung, eine N_{\min} -Probe durchzuführen, um die Düngegabe noch präziser bemessen zu können. Zwischen der letzten Düngung und der Probenahme sollten mindestens drei Wochen mit ausreichender Bodenfeuchte vergehen, da N_{\min} -Proben von frisch gedüngten Flächen, aufgrund von N-Umsetzung, oftmals stark verfälscht sind.

Worauf muss bei Probenahmen geachtet werden?

Der Aussagewert einer N_{\min} -Analyse und damit die Richtigkeit der darauf aufbauenden Düngebedarfs-ermittlung hängt entscheidend von der Probenahme ab. Dies umfasst die Nutzung von geeignetem Werkzeug und das korrekte Vorgehen. Ein Fehler bei der Probenahme lässt sich nicht durch präzise Laboranalytik korrigieren.

Eine Anleitung ist über folgenden Link auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer verfügbar: <http://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/probenahme/probenahme-nmin-smin.pdf>.

Besonders wichtig ist es, eine Vermischung der einzelnen Bodenentnahmeschichten (0-30 cm/30-60 cm/60-90 cm) und eine Verunreinigung durch Erntereste zu vermeiden. Daneben ist die Mindestanzahl von 16 gut verteilten Einstichen notwendig, um einen aussagekräftigen Wert zu erhalten. Zudem ist eine Homogenisierung der Bodenprobe notwendig, um die Variabilität in der Fläche, die über die wiederholten Einstiche berücksichtigt wird, in der Probe richtig zu erfassen. Direkt nach der Bodenentnahme muss die Probe gekühlt werden. Eine Kühltasche mit Kühlakkus ist hilfreich. Eine längere Aufbewahrung der ungekühlten Probe im Auto verfälscht das Analyseergebnis.

4.1.2. N-Analyse/ Messmethoden

Nitratschnelltests und Reflektometer

Die Kombination von Teststäbchen und einem **Reflektometer** (z. B. Nitrachek 404) ermöglicht sowohl eine Schnellbestimmung (2-3 h) des Nitratgehaltes im Boden als auch des Nitratgehaltes im Pflanzensaft.

Zur **Messung des N_{\min} -Gehaltes im Boden** werden 100 g Boden aus mindestens 16 Bodeneinstichen je Probenahme genommen. Die Beprobungstiefe richtet sich dabei nach der Kulturart (z. B. Tabelle 4, Anhang 4, DüV). Die Bodenprobe wird zeitnah mit 100 ml nitratfreiem Wasser gründlich gemischt bzw. geschüttelt und anschließend filtriert. Das Teststäbchen wird in diese Lösung getaucht und nach 60 Sekunden im Reflektometer gemessen.

Zur Berechnung des Nitratgehaltes in kg/ha muss die Bodenfeuchte bestimmt werden, d. h. der Boden muss im Backofen oder in der Mikrowelle getrocknet werden. Der Gewichtsverlust entspricht dann der Bodenfeuchte.

Die Teststreifen können aufgrund ihrer Produktionscharge, längere Lagerung bei geöffneter Verpackung und/oder unterschiedlicher Umgebungstemperaturen die Messungen beeinflussen. Aus diesem Grund muss daher in diesen Fällen vor der eigentlichen Messung ein Korrekturfaktor durch Kontrollmessung ermittelt werden. Dies geschieht mit Hilfe einer dem Gerät mitgelieferten Eichlösung (100 ppm). Anschließend kann mittels einer Tabelle aus der Bedienungsanleitung die entsprechende im Gerät einzugebende Lotzahl ermittelt werden, die im Gerät bis zur nächsten Kontrollmessung gespeichert bleibt. Die eigentliche Messung des Nitratgehalts im Boden kann auf zwei Wegen erfolgen:

1. Möglichkeit: genaue Rechnung

$$\left[\frac{[\text{Messwert} \times (100 + \text{Bodenfeuchte}) \times \text{Bodendichte} \times \text{Horizontdicke} \times \text{Faktor N}]}{(100 - \text{Bodenfeuchte})} \right] = \text{N}(\text{NO}_3^-) \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

Beispiel:

Messwert:	14 ppm
Bodenfeuchte:	13 %
Bodendichte*:	1,5 g cm ⁻³
Horizontdicke:	3 dm
Faktor N:	0,2258 (22,58 % N)

*Die Bodendichte lässt sich wie folgt aus der Horizontdicke ableiten: 0-3 dm → 1,4 g/cm³
 3-6 dm → 1,5 g/cm³
 6-9 dm → 1,6 g/cm³

$$\left[\frac{[14 \times (100 + 13) \times 1,5 \times 3 \times 0,2258]}{(100 - 13)} \right] = \mathbf{18,48 \text{ N}(\text{NO}_3^-) \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

2. Möglichkeit: vereinfachte Rechnung

$$\text{Messwert} \times \text{Verrechnungsfaktor } F = \text{N}(\text{NO}_3^-) \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

Zur Vereinfachung der Berechnung gibt es in der Bedienungsanleitung des Nitratek-Gerätes eine Tabelle, die für die ermittelte Bodenfeuchte einen Verrechnungsfaktor F angibt. In unserem Beispiel mit Bodenfeuchte 13 % wäre das der Tabellenwert 1,32 (siehe Tab. 1Tab. 6).

Tab. 6: Wertetabelle für Bodenfeuchte (in %) und die zugehörigen Verrechnungsfaktoren

Bodenfeuchte (in %)	Verrechnungsfaktor F
6	1,14
7	1,16
8	1,19
9	1,21
10	1,24
11	1,27
12	1,29
13	1,32
14	1,35
15	1,37
16	1,40
17	1,43
18	1,46
19	1,49
20	1,52

Mit diesem Faktor wird das Messergebnis (in ppm) nur noch multipliziert.

$$14 \times 1,32 = \mathbf{18,48 \text{ N}(\text{NO}_3^-) \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

Zur **Messung des Nitratgehaltes im Zellsaft** von Blättern und Strünken wird zunächst eine repräsentative Probe (Zickzack- oder Diagonalwege durch den Bestand und etwa 20-30 Blätter, Mittelrippe und Strunk) gewonnen. Das Material wird gepresst und das im Pflanzensaft enthaltene Nitrat färbt das Teststäbchen durch chemische Reaktion an. Die Farbausprägung des Teststäbchens wird anschließend von einem Reflektometer gemessen. Die Werte der Pflanzenanalyse eignen sich zur Anpassung der Düngegabe. Dabei wird anhand von kulturspezifischen Grenzwerten, ausgehend von dem Nitratgehalt (ppm) bei optimaler Ernährung, die Höhe der N-Gabe angepasst. Niedrige Nitratgehalte im Zellsaft zeigen einen zusätzlichen N-Düngebedarf an. Je niedriger der Nitratwert im Zellsaft ist, desto höher sollte die Düngegabe erfolgen. Vorsicht ist jedoch bei einer Ammoniumdepot-Düngung geboten, da dieser Zusammenhang dann nicht gegeben ist (Schweder et al. 2004). Im Gemüsebau ist die Methode bisher wenig verbreitet. Oft müssen zusätzliche Verdünnungsreihen angelegt werden, wenn die Konzentration des Pflanzensaftes für den Messbereich des Teststäbchens zu hoch ist. Dadurch erschwert sich die Handhabung des Verfahrens.

Mittlerweile existieren einige kulturspezifische Anhaltswerte für den optimalen Nitratgehalt aus der Schweiz. Bei Kulturen, die eine zeitliche Aufteilung der N-Düngung erfordern, liefert die Pflanzen-

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

saftanalyse wertvolle Hinweise zur Entscheidung, ob und in welcher Größenordnung eine Nachdüngung erfolgen soll. Es handelt sich dabei um keine „Exaktmethode“ im engeren Sinn. Liegt der gemessene Wert zwischen 500-1000 ppm unter dem betreffenden Sollwert, so wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha verabreicht. Wird der Sollwert um mehr als 1000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Tab. 7: Nitrat-Sollwerte bei der Pflanzensaftanalyse im Freilandanbau bezogen auf das Kulturstadium (ppm NO₃⁻) (Quelle: Neuweiler 2011)

Kultur Freilandgemüse	Provisorische Sollwerte (mg Nitrat pro kg Frischgewicht (ppm NO ₃ ⁻))						
	Wochen nach der Pflanzung bzw. nach dem Auflaufen						
	2	3	4	5	6	7	8
Kreuzblütler							
Blumenkohl							
Frühjahr unter Vlies			9000	8000	7000	6000	
Hochsommer	9000	9000	8000	7000	6000	4000	3000
Herbst		10000	9000	8000	7000	6000	
Brokkoli							
Frühjahr unter Vlies	10000	10000	10000	9000	8000	7000	6000
Vorsommer		10000	10000	9000	8000	6000	
Hochsommer		10000	10000	8000	6000	4000	
Spätsommer	10000	10000	10000	8000	7000	5000	4000
Herbst	10000	10000	10000	8000	7000	5000	4000
Chinakohl							
Frühjahr unter Vlies	6000	6000	5000	4000	3000	2000	1500
Frühsommer	6000	6000	5000	3000	3000	2500	2000
Hochsommer	6000	6000	4000	3000	2000	1500	1000
Spätsommer	6000	5000	4000	3000	2000	1500	1000
Herbst für Lager	8000	6000	5000	4000	3000	3000	3000
Kohl, rot							
Frühjahr unter Vlies			10000	10000	8000		
Spätsommer			10000	8000	7000	6000	5000
Kohl, weiß							
Frühjahr unter Vlies			8000	7000	6000	5000	4000
Korblütler							
Batavia und Eisberg							
Frühjahr unter Vlies			3000	3000	3000	2500	
Frühsommer	3000	2500	2500				
Hochsommer	3000	2500	2500				
Lollo rosso							
Frühsommer	2500	2000					
Hochsommer	2000	2000					
Kopfsalat							
Frühjahr unter Vlies			3000	3000	2500		
Frühsommer	3000	2500	2000				
Hochsommer	3000	2500	2000				

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Spätsommer	3000	2500	2000				
Herbst	3500	3000	2500				
Doldenblütler							
Fenchel							
Frühjahr unter Vlies			8000	8000	8000	7000	6000
Hochsommer		8000	8000	7000	6000	6000	
Spätsommer		8000	7000	6500	6000	5000	
Herbst		9000	8500	8000	7000	6000	
Karotten, früh							
Karotten, Lager-							
Sellerie, Knollen-							
Frühjahr unter Vlies			9000	9000	8000	7000	6000
Lagerware			6000	6000	5000	5000	4000
Industrie			7000	7000	7000	6000	
Sellerie, Stangen-							
Frühjahr unter Vlies			8000	8000	7000	7000	6000
Liliengewächse							
Lauch, Herbst- (Blatt)							
Lauch, Herbst- (Schaft)							
			3000	3000	3000	3000	3000
			3500	3500	3500	3500	3500

Tab. 8: Nitrat-Sollwerte bei der Pflanzensaftanalyse im Freilandanbau bezogen auf die Jahreszeit (Quelle: Neuweiler 2011)

Kultur Freilandgemüse	Provisorische Sollwerte (mg Nitrat pro kg Frischgewicht (ppm NO ₃))						
	Jahreszeit						
	Anf. Mai	Ende Mai	Mitte Juni	Anf. Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Anf. Sept.
Kohl, Einschneide-	12000	11000	10000	8000	6000	5000	2000
Kohl, Lager-			8000	7000	5000	4000	3000
Karotten, Früh-	6000	3000					
Karotten, Lager-				12000	10000	8000	4000
Lauch, Herbst- (Blatt)				4000	3000	3000	2000
Lauch, Herbst- (Schaft)				4500	3500	3500	2500
Rote Beete (Stiel)	6000	5000	4000	3000	2000		
Rote Beete (Knolle)			2500	2000	1500		
Rosenkohl			12000	12000	10000	8000	3000
Sellerie, Industrie-			6000	5000	4000	3000	2000
Sellerie, Lager-			6000	5000	4000	3000	2000
Zwiebel, Lager- (Blatt)		2000	1500	1000	500		

N-Tester (Yara) und SPAD-Messgerät (Konica Minolta)

Der **N-Tester** wird zurzeit hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzt, um den Stickstoff-Düngebedarf beim Schossen und Ährenschieben bei Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Triticale zu ermitteln. Hierzu misst der N-Tester die Chlorophyll-Konzentration in den Blättern. Diese spiegelt wider, wie gut die Pflanzen mit Stickstoff versorgt sind oder ob ein Mangel besteht. Der Messwert wird anhand von hinterlegten Versuchsdaten in eine Stickstoff-Düngeempfehlung für die zweite und dritte Stickstoff-Gabe umgerechnet. Das jüngste vollentwickelte Getreideblatt wird mit Licht zweier Wellenlängenbereiche durchleuchtet, die vom Chlorophyll unterschiedlich stark absorbiert werden. Das Restlicht wird in einer Fotodiode aufgefangen und zu einem Messwert umgerechnet. Die Messung sollte in der Mitte der Blattspreite des jüngsten, vollentwickelten Blattes erfolgen. Wird an unvollständig entwickelten Blättern gemessen, kann es passieren, dass zu viel Stickstoff empfohlen wird. Ist ein anderer Nährstoff (z. B. Schwefel) im Mangel, werden falsche Ergebnisse angezeigt.

Getreidesorten können sich bei gleicher Stickstoffversorgung erheblich in ihrer Chlorophyll-Konzentration und damit der Grünfärbung der Blätter unterscheiden. Während der verschiedenen Wachstumsphasen des Getreides kann diese Grünfärbung auch variieren. Auf Grund dieser Variation sind zur Erstellung einer Düngeempfehlung umfangreiche Versuche nötig. Die Firma Yara kalibriert ihre im N-Tester hinterlegten Daten für Getreide jährlich neu.

Der N-Tester ist eine spezielle Weiterentwicklung des tragbaren Chlorophyllgehalt-Messgerätes SPAD-502 der Firma Konica Minolta. Aufgrund des Mangels an geeigneten Daten im Gemüsebau ist der Einsatz von Chlorophyllgehalt-Messgeräten nicht verbreitet. Man kann das Messgerät nur nutzen, wenn man aufwendig eigene Düngeufen zur Kalibrierung anlegt und wöchentliche Messungen durchführt. Die LUFA Speyer hat dazu Versuche durchgeführt und Chlorophyllmessungen mit einem Düngefenster kombiniert. Dazu wurde ein nach N-Expert gedüngtes Düngefenster und ein reduziert gedüngter Gesamtbestand gemessen. Zum Kopfdüngungstermin erhielt das Düngefenster die nach „N-Expert“ empfohlene Düngermenge und der restliche Bestand nur zwei Drittel der Menge. Eine zusätzliche N-Gabe wurde nur dann gedüngt, wenn der Messwert des Gesamtbestandes 95 % unter dem Wert des Düngefensters (nach N-Expert) lag. In diesem Versuch wurde bereits durch die Anwendung der Methode N-Expert die ausgebrachte Düngermenge auf 60-80 % der Menge in der nach Faustzahlen gedüngten Variante reduziert. Eine weitere Reduzierung ergab die Kombination aus Düngefenster und Chlorophyllmessungen. Hier betrug die ausgebrachte Düngermenge je nach Kultur nur noch 40-60 % bei gleichbleibenden Ertrag (Quelle: Fachmagazin Gemüse 9/2010).

Neuere Versuche zeigen, dass sich Messreihen mit dem N-Tester für Kulturen mit kurzen Standzeiten (z. B. Eissalat) nicht lohnen. Auch bei Porree ergaben sich aufgrund der Blattstruktur keine brauchbaren Ergebnisse. Für Kohlarten könnte sich aber eine zukünftige Nutzung als sinnvoll erweisen (Quelle: Fachmagazin Gartenbauprofi 11/2016).

Messung der Biomasse

Eine Schätzung der N-Aufnahme mithilfe des **Pflanzengewichts** und eine Berechnung der aufgenommenen N-Menge ermöglicht eine genauere Abschätzung der notwendigen Höhe der Kopfdüngungsgabe. Mindestens vier repräsentative Pflanzen (je mehr, desto genauer) sollten hierbei abgeschnitten und gewogen werden. Über die Bestandesdichte, dem N-Gehalt in der Frischmasse und dem Tabellenwert aus dem IGZ-Heft 4 lässt sich die aufgenommene N-Menge errechnen (Feller et al. 2011).

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

In der Landwirtschaft sind zur Messung der Biomasse weitere „zerstörungsfreie“ Messgeräte im Einsatz. Der Einsatz mit auf Schleppern installierten Sensorsystemen in Kombination mit Steuerungstechnik zur teilflächenspezifischen Düngung (**Precision Farming**) ist zwar interessant, die Technik ist aber teuer und bisher nicht an die Bedürfnisse des Gemüsebaus angepasst.

Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Biomasse wäre die Auswertung von Satellitenbildern oder Bildern von Überflügen mit **Drohnen** etc. Denkbar wäre beispielsweise ein Einsatz zur Erfassung von nicht geernteten Gemüsebeständen zur verbesserten Berechnung der anrechenbaren N-Menge für die Folgekultur.

Ein Handgerät zur Messung der Biomasse in Kombination mit Messung des Chlorophyllgehalts (**N-Pilot®**) ist mittlerweile auch auf dem Markt. Seine Verwendbarkeit im Gemüsebau wird noch geprüft (WRRL-Modellbetriebe, <https://www.oekolandbau.nrw.de/betriebe/wrrl-modellbetriebe/>).

4.2. Ableitung des fachlichen Düngebedarfs zur Düngeempfehlung

In der Düngeverordnung ist für jede Kultur der wissenschaftlich ermittelte **N-Bedarfswert** zu finden. Individuelle Sonderfälle wie z.B. bestimmte Kulturen die nicht in den Tabellen der Düngeverordnung zu finden sind (z. B. Kräuter wie Koriander) regeln die zuständigen Landesstellen.

Auf Basis des Stickstoffbedarfswertes wird die **N-Obergrenze für die Düngung** ermittelt. Der jeweilige Düngebedarf ist dabei nach einem festgelegten Schema (Anlage 4, Tabelle 1, Düngeverordnung) zu ermitteln. Hierbei werden von dem ertragsabhängigen N-Bedarfswert der Kultur Faktoren wie die im Boden verfügbare N-Menge und pauschalierte Erwartungen für die N-Nachlieferung während der Kulturdauer abgezogen (Tab. 9: Faktoren für die Düngebedarfsermittlung für Acker- und Gemüsebau (Anlage 4, Tab. 1)).

Tab. 9: Faktoren für die Düngebedarfsermittlung für Acker- und Gemüsebau (Anlage 4, Tab. 1, DüV)

1.	Kultur
2.	Stickstoffbedarfswert (in kg N/ha)
3.	Ertragsniveau laut Tabelle mit Stickstoffbedarfswerten (in dt/ha)
4.	Ertragsniveau grundsätzlich im Durchschnitt der letzten drei Jahre (in dt/ha)
5.	Ertragsdifferenz (in dt/ha) aus
	Zu- und Abschläge in kg N/ha für
6.	im Boden verfügbare Stickstoffmenge (N_{min})
7.	Ertragsdifferenz
8.	Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat
9.	Stickstoffnachlieferung aus der organischen Düngung der Vorjahre
10.	Vorfrucht bzw. Vorkultur (Ackerbau/Gemüse)
11.	Zuschlag bei Abdeckung mit Folie oder Vlies zur Ernteverfrühung
12.	Stickstoffdüngbedarf während der Vegetation (in kg N/ha)
13.	Zuschläge auf Grund nachträglich eintretender Umstände, insbesondere Bestandsentwicklung oder Witterungsereignisse

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Ein wichtiger Faktor in der Fruchtfolge Gemüse nach Gemüse ist die Freisetzung des Stickstoffs aus den Ernterückständen der Vorkultur. Diese muss mindestens durch die in der Düngeverordnung genannten N-Mengen bei der Düngebedarfsermittlung berücksichtigt werden. Eine Ausnahme besteht, wenn zwischen dem Einarbeiten der Erntereste der Vorkultur und der N_{min}-Probe mindestens vier Wochen vergangen sind. In diesem Fall kann der in der Düngeverordnung genannte Wert für die N-Freisetzung der Vorkultur um bis zu 2/3 reduziert werden.

Ermittlung des N-Bedarfes mit dem Düngeportal NRW

Die Ermittlung des Düngebedarfs ist mit dem von der Landwirtschaftskammer NRW neu entwickelten Düngeportal NRW für alle in der DüV aufgeführten Kulturen sowie für eine Reihe weiterer in NRW häufig angebaute Gemüsekulturen möglich.

Um sich im kostenfreien Online-Portal anzumelden, müssen Sie lediglich Ihre persönlichen HIT-/ZID-Registriernummer und Ihren entsprechenden Pin im Login-Bereich eingeben: <https://www.duengeportal-nrw.de> (Chrome oder Firefox Browser empfohlen).

Das Düngeportal ist so konzipiert, dass die Betriebsdaten für weitere Module genutzt werden können. Das Einlesen von Daten aus dem InVekoS-Flächenverzeichnis und ein GIS-Modul, in dem diese Flächen mit weiteren Informationen zum Beispiel zur § 13a-Kulisse angezeigt werden können, vereinfacht die Bedienung. Es können individuell Schläge angelegt und bearbeitet werden. Das Einpflegen von Bodenuntersuchungsergebnissen, Anlegen von Nutzungen sowie Düngemittel, Dokumentation der vorgenommenen Düngungen etc. ist möglich.

In Kürze wird das Düngeportal auch um weitere Anwendungen (Dokumentation der Pflanzenschutzmaßnahmen, Stoffstrombilanz, Düngevorplanung etc.) ergänzt werden.

Wer Unterstützung bei der Nutzung des Düngeportal benötigt, findet ein FAQ, Anleitungen, Erklärvideos sowie eine Telefon-Hotline für Fragen auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/portal/index.htm>

Im Düngeportal können auf Schlägen verschiedene Nutzungen/Kulturen mit unterschiedlichen oder gleichen Pflanzterminen angelegt werden (Abb. 8). Diese Nutzungen können auch eine Teilgröße eines Schlages umfassen. Somit ist es im Düngeportal möglich, ohne eine Teilung des Schlages in viele Kleinststücke, gemüsebauliche Besonderheiten wie Satzanbau/Mehrfachnutzung und Teilflächennutzung zu berücksichtigen.

Nutzung anlegen	
Mehrfachbuchung für Schläge:	<input checked="" type="checkbox"/>
1 - SalatHof	<input checked="" type="checkbox"/>
Kultur	Gemüse Salate, Versch.
Aussaat/Pflanzung	01.03.2021
Kulturende (Umbruch)	16.07.2021
Nutzungsfläche [ha]	0,4500
Satznummer	2
Anteil Leguminosen [%]	

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

The screenshot displays the 'Düngung' (Fertilization) module of the Düngportal NRW. It features a navigation bar with 'Betriebsdaten', 'Düngung', 'Pflanzenschutz', 'Wetter', and 'Berichte'. Below the navigation bar, there are tabs for 'Externe Daten', 'Schläge', 'Tiere', 'Lagerraum', and 'Düngemittel'. The main interface is divided into two panels: 'Schlag' (Field) and 'Nutzung (Hauptkulturen & Zwischenfrüchte)' (Use (Main Crops & Cover Crops)).

Schlag				Nutzung (Hauptkulturen & Zwischenfrüchte)				
No.	Name	Fläche ha	Flächennutzung	Aussaat/Pflanzung	Status	Kultur	Satznummer	Nutzungsfläche ha
1	SalatHof	2,0000	Ackerland	05.04.2021	geplant	Salate, Versch. ^{DEE}	3	0,5500
				15.03.2021	geplant	Salate, Versch. ^{DEE}	2	1,0000
				01.03.2021	geplant	Salate, Versch. ^{DEE}	1	0,4500
2	Weißkohlfeld	2,0000	Ackerland	30.05.2021	geplant	Weißkohl (Frischmarkt) ^{DEE}	1	2,0000
3	Selleriehaus	2,0000	Ackerland	15.04.2021	geplant	Sellerie, Knollen ^{DEE}	1	2,0000
1	SalatHof	2,0000	Ackerland	05.09.2020	geplant	Phacelia		2,0000 ^Δ
1	Maisfeld	2,0000	Ackerland	10.05.2021	geplant	Silomais (33 % TM) ^{DEE}		2,0000

Abb. 8: Anlegen von Kulturen und Berücksichtigung vom Satzanbau im Düngportal NRW

Ermittlung des N-Bedarfs nach den Vorgaben der Düngeverordnung

Seit der novellierten Düngeverordnung 2017 sind die Vorgaben zur Düngebedarfsermittlung für alle Betriebe > 2 ha Gemüse oder mehr als 15 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche verpflichtend.

Bei der Düngebedarfsermittlung wird auf Basis des N-Bedarfswertes der anzubauenden Kultur eine **N-Obergrenze für die Düngung** ermittelt. Der jeweilige N-Düngebedarf ist dabei nach einem festgelegten Schema (Tabelle 1 Anlage 4 Düngeverordnung, Düngebedarfsermittlung für Acker- und Gemüsebau) zu ermitteln.

In Abb. 9 wird der N-Bedarf für unser Beispiel Brokkoli nach Brokkoli ermittelt.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

DBE N (geplant)		DBE P ₂ O ₅ (geplant)
Berechnung [kg N/ha]		
N-Bedarfswert [kg N / ha]	310	+ 310
Ertrag 5 Jahre Ø Betrieb [dt FM / ha]	150 <small>Die Ertragsänderung kann möglicherweise nicht für die DBE P₂O₅ übernommen werden, da der Status abweichen kann.</small>	+ 0
Ertrag laut DüV [dt FM / ha]	150	
N _{min} [kg N / ha]	Laborwert <input type="text" value="50"/> <small>Richtwerte anzeigen</small>	- 50
Humus/Boden [kg N / ha]	humos (bis 4%)	+ 0
Organische Düngung Vorjahre [kg N / ha]	0	+ 0
Vorjahresfrucht [kg N / ha]	Keine	+ 0
Zwischenfrucht [kg N / ha]	Keine	+ 0
Erstereste Anbaujahr (Gemüse) [kg N / ha]	Brokkoli <small>N_{min}-Wert ≥ 4 Wochen nach Kulturende untersucht</small>	- 100
Folie/Vlies (Gemüse) [kg N / ha]	<input type="checkbox"/>	+ 0
N-Düngebedarf [kg N/ha]		160
Bestätigungsdatum	<input type="text" value="noch nicht bestätigt"/>	
Nachträgliche Korrektur [kg N/ha]		0
Korrekturdatum	<input type="text" value="noch nicht korrigiert"/>	

Abb. 9: N-Düngebedarfsermittlung im Düngportal am Beispiel Brokkoli nach Brokkoli

N-Bedarfswert = (N kg/ha)

(Anlage 4, Tab. 4, DüV)

Brokkoli hat bei einem Ertragsniveau von 150 dt/ha einen Stickstoffbedarfswert von **310 kg N/ha**

Nachkorrektur: Ertragsdurchschnitt letzten 3 Jahre

(Anlage 4, Tab. 5)

Weicht das Ertragsniveau um 20 % von diesen 150 dt/ha bei Brokkoli nach oben ab (> 180 dt/ha), dürfen 20 kg N/ha mehr gedüngt werden. Liegt das Ertragsniveau aber 20 % niedriger, müssen 20 kg N/ha abgezogen werden. Wir gehen in unserem Beispiel von keiner Abweichung aus.

Abzüglich N_{min}-Gehalt des Bodens (kg/ha)

Bei einer Gemüsevorkultur im gleichen Anbaujahr ist eine Bodenprobe nach DüV zwingend erforderlich. In unserem Beispiel lag die N_{min}-Probe bei 50 kg N/ha und wurde nach der Einarbeitung der Erstereste gezogen.

Abschlag Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat (Anlage 4, Tab. 6)

Es liegt in unserem Beispiel kein stark humoser Boden (Humusgehalt > 4 %) vor, deshalb erfolgt kein Abschlag.

Abschlag Vor- und Zwischenfrüchte

(Anlage 4, Tab. 7)

Der Abschlag für die Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten liegt für die Vorkultur Brokkoli bei 100 kg N/ha.

Abschlag Organische Düngung

(§ 4 Absatz 2, Satz 2, Nummer 4)

Weder im Vorjahr noch in der aktuellen Vegetationsperiode wurden organische Dünger ausgebracht, deshalb ist keine Anrechnung nötig.

Ermittelter N-Düngebedarf für das Beispiel Brokkoli nach Brokkoli:

Stickstoffbedarfswert:	310 kg N/ha
N _{min} (0-60 cm):	- 50 kg N/ha
Abschlag Vorfrucht:	-100 kg N/ha
N-Düngebedarf:	160 kg N/ha

Der ermittelte N-Düngebedarf ist bindend, das heißt eine Mehrdüngung darf nicht unbegründet erfolgen. Mit der Novellierung der DüV 2020 ist eine Nachdüngung aufgrund von Verlagerung nach Regen über den ursprünglich ermittelten Bedarf auf max. 10 % vom ursprünglich ermittelten Bedarf limitiert, da die Höhe einer möglichen Nachdüngung hierdurch eigentlich immer unterhalb der N-Aufnahme von Gemüse in den letzten Kulturwochen liegt. Aus diesem Grund sollte, auch wenn die Düngeverordnung dies nicht vorschreibt, Düngegaben über 100 kg N/ha wenn möglich auf mehrere Gaben aufgeteilt werden, um bei geringer Durchwurzelung des Bodens, besonders zu Kulturbeginn, das Risiko für eine N-Auswaschung bei Starkregen gering zu halten. Zudem kann die Höhe der Kopfdüngung dann noch besser auf die Kulturentwicklung und N-Nachlieferung des Bodens angeglichen werden.

In der aktuellen Version des Düngeplanungsprogramms N-Expert wird der voraussichtliche Bedarf der Kultur berechnet. Mögliche Einsparpotentiale, die sich aus der Mineralisierung des Bodens, aus Ernteresten oder vorhergehender organischer Düngung ergeben, werden hier unter Berücksichtigung der Bodenart und des Witterungsverlaufs berücksichtigt. Weitere Einsparungen sind für Gemüsekulturen in Kombination mit weiteren Maßnahmen (z. B. Zwischenfruchtanbau, mehrere Teilgaben zur Vermeidung von Auswaschung, N_{min}-Proben zum Kopfdüngungstermin) möglich.

Erfahrungen in den letzten warmen trockenen Jahren haben für spätere Anbausätze ein Einsparpotenzial gezeigt. Auch eine nach DBE ermittelte Nulldüngung kann bei entsprechenden Bedingungen zu Vollertrag führen. In diesen Fällen ist der Bedarf der Kultur aus dem N_{min}-Rest im Boden und der Nachlieferung aus Ernteresten gedeckt.

Besonders in der Fruchtfolge Gemüse nach Gemüse ist die Aussagekraft der Düngebedarfsermittlung abhängig von einer zum richtigen Zeitpunkt gezogenen N_{min}-Probe (Kapitel 4.1.1. Bodenprobe).

Bewertung des Aufwands

Einen erheblichen Mehraufwand ergibt sich insbesondere aus der Düngevorplanung, aber auch aus der fortlaufenden Aktualisierung der DBE's und der Dokumentation der Düngung. Die unterschiedlichen Betriebsstrukturen, Kulturen und Anbauformen erfordern dabei betriebsindividuelle und differenzierte Lösungen. Dazu müssen im Betrieb vor allem personelle Kapazitäten geschaffen werden, wodurch häufig auch Betriebsabläufe und -organisation angepasst werden müssen, um den Mehraufwand während der Saison gestemmt zu bekommen.

4.3. Ermittlung des N-Bedarfs zu Kulturbeginn

Den in NRW gültigen N_{\min} -Bedarfwerten für Ackerkulturen liegen Düngeversuche zugrunde, die regelmäßig durchgeführt werden. Im Gemüsebau ist aufgrund der Vielzahl der Kulturen und der fehlenden Düngeversuche ein anderer Weg eingeschlagen worden. Deutschlandweit anerkannte Experten kalkulieren die N_{\min} -Bedarfwerte für Gemüse anhand des Stickstoffes, der im Pflanzenaufwuchs wiedergefunden wird. Der N_{\min} -Sollwert bzw. der Stickstoffbedarfswert zu Kulturbeginn wird wie folgt ermittelt:

$$N \text{ im Aufwuchs} + N_{\min}\text{-Mindestvorrat} - \text{Netto-N-Mineralisierung} = N\text{-Bedarfwert}$$

N-im Aufwuchs

Zur Erstellung der Tabellenwerke für die N-Aufnahme der verschiedenen Gemüsebaukulturen wurden zahlreiche Feldversuche zum Biomasseaufwuchs an gemüsebaulichen Forschungsstationen ausgewertet.

N-Mindestvorrat

Unter dem N-Mindestvorrat versteht man die N-Menge, die im durchwurzelten Bodenbereich vorhanden sein muss, um die N-Versorgung bis zum Erntetag sicherzustellen. Diese Werte stammen - soweit vorhanden - aus Düngeversuchen oder aus Schätzwerten einer vergleichbaren Kultur. Während der Kulturdauer kann dieser Wert variieren und ist zu Kulturbeginn oftmals höher als zum Kulturende.

N-Netto-Mineralisierung

Zur Schätzung der Nettomineralisierung während der Vegetationszeit dienten Ergebnisse aus 15 Jahren Düngeversuchen der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau in Hannover.

N-Bedarfwert

Die so bestimmten N-Bedarfwerte sind in NRW seit der Düngeverordnung 2017 gültig. Neben der Ermittlung einer N-Obergrenze nach DüV sind diese auch Basis für fachliche Düngeempfehlungen. Dadurch kann die Freisetzung spezifischer von als N-Quellen wie bspw. der organischen Bodensubstanz oder aus Zwischenfrüchten zur Deckung des N-Bedarfs der Pflanze betrachtet werden.

Einfache Düngeempfehlungen für Erstkulturen auf Basis von N_{\min} -Richtwerten

Eine Düngebedarfsermittlung nach den Vorgaben der DüV ist für den Gemüsebau mit dem Düngeportal der Landwirtschaftskammer möglich. Dabei kann für eine Erstkultur immer ein N_{\min} -Richtwert verwendet werden.

Die folgenden Richtwert-Tab. 10-17 (Seite 29-31) beruhen auf Daten wissenschaftlicher Untersuchungen und Berechnungsverfahren, die die Einschätzung der N-Mineralisierung, Temperaturverläufe im Boden sowie verschiedene Bodenarten nach dem N-Expert-Verfahren berücksichtigen.

Grundsätzlich sind die Variabilität der Mineralisierung und N_{\min} -Verläufe im Gemüsebau jedoch als sehr hoch einzuschätzen, da weitere Faktoren, wie langjährige Bewirtschaftung oder Niederschläge, individuell sind und ebenfalls einen großen Einfluss ausüben.

Ab Juli/August empfiehlt es sich nicht auf Richtwerte zurückzugreifen, da die N-Gehalte im Boden zu warmer Jahreszeit stark abhängig von dem individuellen N-Nachlieferungsvermögen des Bodens und der Bearbeitungshistorie sind. Hier sollte dann mit einer Bodenanalyse der tatsächlich vorliegende N_{\min} -Gehalt in die Berechnung von Düngegaben miteinbezogen werden.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

N_{\min} -Richtwerte dürfen grundsätzlich für die ersten Gemüsekulturen in jedem Jahr auf einer konkreten Fläche sowie beim Anbau einer Gemüsekultur nach einer nicht-gemüsebaulichen Kultur verwendet werden (z. B. Nachbau von Gemüse nach Getreide). Folgt jedoch eine Gemüsekultur auf eine vorhergehende Gemüsekultur im selben Jahr, sind verpflichtend N_{\min} -Analyseergebnisse in der Düngebedarfsermittlung zu verwenden.

Tab. 10: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-30 cm

	Leichte Böden (kg N/ha)	Mittlere Böden (kg N/ha)	Schwere Böden (kg N/ha)
Januar	10	25	30
Februar	10	25	30
März	10	25	30
April	15	30	30
Mai	20	35	40
Juni	40	50	55
Juli	60	70	75
August	80*	95*	100*
September	100*	110*	115*
Oktober	110*	120*	125*

Tab. 11: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-60 cm

	Leichte Böden (kg N/ha)	Mittlere Böden (kg N/ha)	Schwere Böden (kg N/ha)
Januar	20	35	45
Februar	20	35	45
März	20	40	45
April	25	40	50
Mai	30	50	60
Juni	50	60	70
Juli	70	80	90
August	90*	105*	115*
September	110*	120*	130*
Oktober	120*	130*	140*

Tab. 12: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-90 cm

	Leichte Böden (kg N/ha)	Mittlere Böden (kg N/ha)	Schwere Böden (kg N/ha)
Januar	30	45	55
Februar	30	45	55
März	30	45	55
April	30	50	60
Mai	40	60	70
Juni	60	70	80
Juli	80	90	100
August	100*	115*	125*
September	120*	130*	140*
Oktober	125*	140*	150*

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 13: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur nach Getreide

	0-30 cm	0-60 cm	0-90 cm
Alle Zeitpunkte, alle Böden	15	25	35

Tab. 14: N_{\min} Gemüse mit Vorkultur Zwischenfrucht

	0 cm – 30 cm	0 cm – 60 cm	0 cm – 90 cm
Februar bis März, alle Böden (kg N/ha)	10	15	25

Tab. 15: N_{\min} -Richtwert für Kräuter weiterer Schnitt

	0 cm – 60 cm
Zeitpunkt nach dem 1. Schnitt im laufenden Jahr, alle Böden (kg N/ha)	40

Tab. 16: N_{\min} -Richtwert für 2. Ackerhauptfrucht 0-60 cm nach Gemüse

Bodenart	0-60 cm (kg N/ha)
Alle Böden	55

N_{\min} -Richtwerte für die Vorplanung zum 31.03. des laufenden Düngjahres nach § 13a DüV

Die folgenden Gemüserichtwerte beruhen auf Daten der N-Bedarfswerte, Abschätzung der Mineralisierung im Boden und N-Zufuhr, sowie Feldabfuhr durch Ernte (N-Expert-Verfahren) hierbei wurden Ergebnisse von Vorkulturen mit 0-30 cm und 0-60 cm Durchwurzelungstiefe sowie verschiedenen Bodenarten gemittelt.

Diese Werte dürfen ausschließlich für die nach DüV verpflichtende Vorplanung der Jahres N- Düngung (80 % des ermittelten Bedarfs auf nitratsensiblen Flächen (§ 13a)) zum 31.03. des laufenden Düngjahres genutzt werden. Da die Simulation die tatsächliche Variabilität des mineralischen Stickstoffbodgehalts nicht abdecken kann, ist für die Ermittlung des tatsächlichen Düngedarfs für Gemüse nach Gemüse nach dem 31.03. des laufenden Düngjahres weiterhin eine repräsentative N_{\min} -Probe zum Zeitpunkt Ende der Vorkultur zu verwenden. Der Richtwert, der zur Vorplanung genutzt wurde, ist dann durch das Ergebnis der N_{\min} -Probe zu ersetzen.

Tab. 17: N_{\min} -Richtwert Gemüse nach Gemüse, Planung § 13a-Flächen

	0 cm – 30 cm	0 cm – 60 cm
Alle geplanten Zeitpunkte Gemüse nach Gemüse, alle Böden (kg N/ha)	40	55

Düngeempfehlungen für Erstkulturen auf Basis gemessener N_{\min} -Werte

Unter bestimmten Bedingungen ist es sinnvoll, eine Bodenprobe auch für Erstkulturen zu ziehen. Besonders auf Flächen mit langjähriger organischer Düngung, organischer Düngung im vorangegangenen Herbst sowie in einem ungewöhnlich warmen Frühjahr und nach trockenen Wintern kann der tatsächliche N_{\min} -Gehalt im Boden höher als der Richtwert sein. Auf der anderen Seite kann besonders in einem ungewöhnlich kalten Frühjahr, nach einem sehr nassen Winter oder unmittelbar nach einer Zwischenfrucht, die noch kein N freigesetzt hat, weniger mineralischer Stickstoff im Boden sein, als durch den Richtwert vorgegeben.

Bewertung des Aufwands für Beratung und Betrieb

Die Kosten für eine N_{\min} -Bodenuntersuchung betragen ca. 40-50 €/Schlag. Zusätzlich ist der Arbeitsaufwand für die Organisation der Bodenprobe durch den Betrieb oder die Beratung zu beachten. Dieser Aufwand wird für unbekannte Flächen (Kartenmaterial GIS, Informationen zusammenstellen und dem Probenehmer übermitteln) auf ca. 15 Min./Fläche geschätzt. Bei der(m) Probenehmer(in) bekannten Flächen ist dieser Aufwand deutlich geringer.

Bewertung der Wirksamkeit

Das geschätzte Einsparpotenzial beträgt im Sommer meist 20-40 kg N/ha, in Einzelfällen bis zu 60 kg N/ha im Vergleich zur Verwendung von Richtwerten. Im Frühjahr beträgt das geschätzte Einsparpotential meist 5-15 kg N/ha. Auf Flächen mit Zwischenfrüchten sind die gemessenen N_{\min} -Werte häufig geringer als die Richtwerte. Sie werden mit zunehmender Erwärmung freigesetzt. Erfahrungen mit den Richtwerten unter Normalbedingungen im Frühjahr zeigen einen realistischen, aber verallgemeinerten N_{\min} -Gehalt. Die Messung des N_{\min} -Gehaltes im Frühjahr macht Sinn, wenn Gründe für eine relativ hohe Abweichung vorliegen.

Akzeptanz: mittel bis hoch

Die Verwendung eines N_{\min} -Messwertes anstatt eines für alle Flächen nutzbaren Richtwertes bedeutet einen Mehraufwand für die Düngebedarfsermittlungen und für die schlagspezifische Düngung gleicher Kulturen. Die geringe Abweichung des Messwertes vom Schätzwert, die ohne die oben genannten Bedingungen auftreten, kann den notwendigen Aufwand für den Betrieb unverhältnismäßig erscheinen lassen. Auf der anderen Seite kann dieses Vorgehen zu einer erhöhten Kultursicherheit und einem besseren Wasserschutz beitragen. Zudem bekommt man ein besseres Gefühl für das N-Nachlieferungsverhalten seiner eigenen Flächen.

4.4. Ermittlung des N-Bedarfes während der Kultur und Aufteilung der Düngung in Grund- und Kopfdüngung

Die in der Einleitung dargestellten Besonderheiten im Gemüseanbau zeigen, dass oft eine Düngeempfehlung aufgrund einer N_{\min} -Probe oder eines Schätzwertes zu Kulturbeginn nicht ausreichend ist. Die Berechnung von N-Bedarfswerten in Abhängigkeit von der Kulturdauer wurde für Gemüsekulturen in der Pfalz entwickelt. Dieses kulturbegleitende N_{\min} -Sollwert-System (KNS) (Lorenz et al. 1989) kalkuliert die entwicklungsspezifische Stickstoffaufnahme einzelner Gemüsekulturen.

Mit dem KNS-System ist es möglich, N-Sollwerte nicht nur für den Beginn der Kultur, sondern auch für beliebige Zeitpunkte während des Pflanzenwachstums zu berechnen, um so die N-Düngung flexibel an

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

den Bedarf der Pflanzen anzupassen. Dies ist besonders wichtig, wenn die Anbaubedingungen erwarten lassen, dass sich der N_{\min} -Vorrat des Bodens im Kulturverlauf stark ändert. Ein hohes N-Mineralisierungspotential im Boden ist beispielsweise nach einer erfolgten organischen Düngung, nach einer Vorkultur mit hohen N-Gehalten in den Ernteresten und auf Flächen mit langjähriger Gemüseproduktion zu erwarten.

Das KNS-System, welches zu jedem Kulturabschnitt des Gemüses einen Stickstoff-Sollwert vorgibt, ermöglicht es, durch begleitende N_{\min} -Proben während der Kultur auf die N-Dynamik im Boden zu reagieren und damit den Bilanzüberschuss zu senken. Dadurch verringert sich die am Ende der Gemüsekultur im Boden verbleibende Stickstoffmenge und somit wiederum das Auswaschungspotential. Auch die Aufteilung in eine Grunddüngung und eine bis mehrere Kopfdüngungen ist flexibel möglich. Dabei ist jedoch der Zeitpunkt des Reihenschlusses der Kultur sowie die Empfindlichkeit der Kultur gegenüber Verbrennungen bei der Auswahl von Düngemittel (siehe Kapitel 5.2.1. Düngemittelwahl) und Düngzeitpunkt zu beachten. Zum Kulturbeginn wird der N_{\min} -Gehalt durch eine Bodenprobe oder einen Richtwert in der Bodentiefe 0-30 cm bestimmt und die N-Aufnahme bis zum Kopfdüngungstermin zusätzlich dem N-Mindestvorrat zu Kulturbeginn kalkuliert. Dementsprechend wird dann aufgedüngt. Der N-Mindestvorrat zu Kulturbeginn ist höher als zu Kulturende, dadurch ist auch ein gewisser Puffer für den tatsächlichen Zeitpunkt der Kopfdüngung enthalten. Zum Kopfdüngungszeitpunkt wird der N_{\min} -Gehalt der gesamten Durchwurzelungstiefe berücksichtigt. Dadurch wird besonders auf leichten Standorten und bei flach wurzelnden Kulturen das Auswaschungsrisiko während der Kultur verringert.

Bei lang stehenden Kulturen bieten sich die kulturbegleitenden N_{\min} -Untersuchungen in Kombination mit dem KNS-System an. Dies ist besonders zu empfehlen, wenn warme, für die Mineralisation günstige Bedingungen, in den ersten Kulturwochen auftreten. Generell kann dies auf Flächen mit langjähriger organischer Düngung und erfahrungsgemäß hoher Mineralisierung empfohlen werden. Ziel ist es hierbei, möglichst nahe an den N-Mindestvorrat im Boden zu Kulturende heranzukommen (ohne diesen zu unterschreiten), um die Kultursicherheit zu gewährleisten. Die Schwierigkeit dabei ist es, den Einfluss der Witterung auf die Stickstoffdynamik im Boden (durch Messwerte oder Modellschätzung), aber auch auf das Wachstum und die Entwicklung und somit die Kulturdauer und N-Aufnahme der Pflanze (durch Beurteilung des Aufwuchses, optische Erscheinung, BBCH-Code) richtig zu bewerten und die noch bereit zu stellende Menge an Stickstoff richtig abzuschätzen.

Bewertung zum Aufwand für Beratung und Betrieb:

Der Mehraufwand in Form von Maschinen und Arbeitskosten für die Kopfdüngung muss durch den Betrieb geleistet werden. Die Erfahrungssätze für Maschinenring-Arbeiten betragen laut dem Kuratorium für Betriebshilfedienste für Landwirte etwa 9,20-11,50 €/ha inklusive Schlepper, Diesel und Fahrer, bei einer Arbeitszeit von etwa 15 min/ha. Die Preise für die Arbeitsgänge gelten für mittlere Böden und Schlaggrößen zwischen zwei und fünf Hektar. Bei kleineren Schlägen sind Preiszuschläge zwischen 10-20 % laut dem Kuratorium angemessen. Nach Rückmeldungen von Gemüsebetrieben sind bei kleinen Schlägen eher 30-40 % Aufschläge realistisch.

Bewertung zur Wirksamkeit des N-Minderungspotenzials:

Das geschätzte Einsparpotenzial beträgt 10-40 kg N/ha, unter günstigen Bedingungen im Einzelfall auch mehr oder unter ungünstigen Bedingungen auch 0 kg N/ha.

Akzeptanz: mittel bis hoch

Bei den meisten Kohlkulturen ist eine Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung oftmals schon übliche Praxis. Bei flach wurzelnden und kurz stehenden Kulturen (Salate) ist die Umsetzung oftmals noch nicht gegeben. Als Gründe werden Risiken der Verätzung durch die Kopfdüngung, schneller Reihenschluss und hoher Arbeitsaufwand bei sowieso sehr kurz stehender Kultur genannt.

4.5. Ermittlung des N-Bedarfes mit dem Düngeplanungsprogramm N-Expert

N-Expert basiert auf dem oben beschriebenen KNS-System und gibt Schätzwerte für die Mineralisierung während der Kulturdauer vor.

Das Programm schätzt den Zeitverlauf der N-Freisetzung aus organischen Düngern und berücksichtigt diese N-Menge bei der Düngungsempfehlung. Außerdem sind die Angaben zu organischen Handels- und Wirtschaftsdünger in der Datenbank erheblich erweitert, sodass organische Dünger, die z. B. im ökologischen Anbau eingesetzt werden, ausgewählt werden können. Die N-Freisetzung wird in Abhängigkeit von Düngertyp, N-Gehalt und C/N-Verhältnis des Düngers geschätzt.

Darüber hinaus wird die Bodentemperatur berücksichtigt. Jedem Betrieb werden langjährige Mittelwerte der Bodentemperaturen anhand der Postleitzahl zugeordnet. Der Benutzer kann diese langjährigen Mittelwerte verwenden oder aktuelle Bodentemperaturen selbst eingeben.

Zur Erstellung einer optimierten Düngeempfehlung werden in diesem Programm die Ertragserwartung, sortentypische Kulturdauer unter Normalbedingungen, der mineralische Stickstoff im Boden (N_{\min}), die Mineralisierung von Stickstoff aus organischer Bodensubstanz, organischen Düngemittel sowie aus Ernterückständen der Vorkultur temperaturabhängig berücksichtigt. Zusätzlich zu Stickstoff kann das Programm eine Düngeempfehlung für die Nährstoffe P, K und Mg leisten. Allerdings ist eine überjährige Betrachtung mit dem Programm bisher nicht möglich.

In dem Programm sind standardmäßig Erfahrungswerte für die N-Mineralisierung im Sommer bei 20 °C in 15 cm Bodentiefe hinterlegt. Über Messreihen kann dieser Wert der N-Mineralisierung bei 20 °C in 15 cm Bodentiefe validiert oder schlagspezifisch angepasst werden.

Aus diesem Wert und den Bodentemperaturen wird die N-Freisetzung im Jahresverlauf geschätzt, wobei das Programm immer von optimaler Bodenfeuchtigkeit ausgeht.

Durch die Vielzahl der einzugebenden Einflussfaktoren ist das Programm sehr umfangreich und setzt spezielle Kenntnisse bei der Bedienung voraus. Für Experten ist es für eine schlagbezogene Düngeplanung ein brauchbares Werkzeug und kann N-Einsparpotenziale gegenüber einer Standarddüngemittelbedarfsermittlung nach Düngeverordnung aufzeigen, ohne dass es zu einer kritischen Qualitätsminderung, kommt.

Zudem ermöglicht N-Expert eine Düngeplanung für den gesamten Betrieb. Dies allerdings erfordert ein entsprechend aufwendiges Einpflegen der Kultur- und Pflanzdaten neben der Pflege des auf dem Betrieb eventuell vorhandenen Ackerschlagprogramms. Zusätzlich kann mit N-Expert eine Saldierung einzelner Kulturen oder Schläge vorgenommen werden, was als Beratungsinstrument zur Betriebsanalyse genutzt werden kann.

Bewertung zum Aufwand für Beratung und Betrieb

Das Programm kann kostenfrei von Betrieben und Beratung genutzt werden. Für die konsequente Pflege einer Fläche über eine Anbausaison hinweg, das Einpflegen der pflanzenbaulichen Daten und der N_{\min} -Ergebnisse beträgt der Arbeitsaufwand ca. 0,5 h/pro Anbaufläche mit Mehrfachbelegung. Als Ergebnisse werden Düngeempfehlungen mit Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung für die Nährstoffe N, P, K und Mg ausgegeben. Eine Anbindung an die Ackerschlagkartei bzw. eine genaue Informationsweitergabe an die Beratung ist Voraussetzung für die Nutzung. Zudem erfordert das Programm eine intensive Einarbeitung des Anwenders.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Bewertung zur Wirksamkeit und des N-Minderungspotenzials:

siehe KNS-System

Akzeptanz: gering bis mittel

Bisher gibt es außerhalb begleitender Projekte wenig Erfahrungen in NRW. Die Überzeugung der Betriebe erfordert z. T. ein Absichern der Empfehlungen durch Düngefenster im Feld oder kulturbegleitende N_{\min} -Proben. Beide zusätzlichen Maßnahmen erhöhen die Kosten der Umsetzung. Besonders geringe Startdüngungen werden kritisch gesehen. Ein Hindernis stellt die für Betriebsleiter/Berater schwierige und zeitaufwendige Bedienung dar. Für die Beratung auf der Ebene des Gesamtbetriebs ist das Programm allgemein (bisher) zu aufwendig. Bei suboptimaler Wasserversorgung ist der tatsächliche Entwicklungstand der Kultur im Feld zu überprüfen, um auf Abweichungen in der N-Aufnahme reagieren zu können.

5. N-Düngestrategie

5.1. Organische Düngung und Wirtschaftsdünger

Die Wirksamkeit des Stickstoffes aus organischen Düngern hängt von der Form der Stickstoffbindung ab. Bei **Gülle** und **Jauche** kann der Ammonium-Anteil als voll düngewirksam angerechnet werden, das entspricht bei Rindergülle etwa 50 % und bei Schweinegülle etwa 70 % des Gesamt-N. Vor allem bei Gülle, Jauche und Geflügelkot sollte der Ausbringungstermin zur Vermeidung von Auswaschungsverlusten möglichst nahe am Bedarfszeitpunkt liegen. Optimal sind Termine zu Beginn oder während der Vegetation bzw. bei Sommerungen unmittelbar vor der Bestellung.

Flüssige Wirtschaftsdünger kommen im Gemüsebau für den Einsatz bei lang stehenden Kulturen in Frage. Hinsichtlich der Humuswirkung sollten aber Festmist von Huf- oder Klautentieren, Kompost oder Champost genutzt werden.

Bei **Biogasgärresten** handelt es sich nach der Düngemittelverordnung um organische Düngemittel, die je nach Substrat-Input auch der Bioabfallverordnung unterliegen können. Der Nährstoffgehalt der Gärreste schwankt stark, hier ist eine eigene Analyse vor Verwendung vorgeschrieben, Richtwerte dürfen nicht verwendet werden.

Festmist ist ein organisches Düngemittel, bei dem der enthaltene Stickstoff überwiegend in der organischen Substanz gebunden ist und deshalb erst durch Umsetzungsprozesse im Boden für die Pflanze verfügbar wird. Bei Rinder-, Schweine-, Schafs- und Ziegenmist kann im Anwendungsjahr von einer etwa 25%igen N-Wirkung ausgegangen werden. Bei Puten-, Enten-, Gänse- und Kaninchenmist liegt die N-Ausnutzung im Anwendungsjahr bei rund 20-30 %, bei Hähnchen- und Hühnermist bei 30-40 %. Geflügelkote aus einstreulosen Haltungsverfahren weisen höhere und schneller verfügbare N-Gehalte auf als die Festmiste und ähneln daher in der Düngewirksamkeit eher der Gülle.

Komposte: Unterschieden werden reine Grünschnittkomposte sowie Grün-/Biokomposte, bei denen Grünschnittmaterial und die Inhalte der Biotonne gemeinsam kompostiert werden. Im Allgemeinen weisen Komposte eine relativ niedrige aktuelle N-Wirkung auf, die im Anwendungsjahr 5-max. 10 % kaum überschreiten dürfte. Soweit im Untersuchungsattest der Gehalt an löslichem N ausgewiesen ist, ergibt sich die N-Wirkung im Anwendungsjahr aus der Summe des löslichen Stickstoffes plus 2 % des Gesamtstickstoffgehaltes.

Champost (abgetragenes Pilzkultursubstrat) stammt aus der Speisepilzproduktion. Die Stickstoffwirkung im Anwendungsjahr kann mit ca. 25 % des enthaltenen Stickstoffes angenommen werden. Phosphat, Kali und Magnesium sind mittelfristig voll düngewirksam. Zu beachten sind die hohen Gehalte an basisch wirksamen Bestandteilen sowie der Schwefelgehalt, der die Größenordnung des N-Gehaltes erreichen kann. Angaben hierzu sind der düngemittelrechtlichen Deklaration zu entnehmen. Bei der Herstellung der Pilzkultursubstrate kommen neben Stroh, Gips, Kalk u. a. hauptsächlich Pferde- oder Hühnermist zur Anwendung. Daher ist der im Champost enthaltene Stickstoff, wie Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft zu sehen, d. h. der Stickstoff ist auf die N-Obergrenze der Düngerverordnung anzurechnen. Bei der Anwendung von Champost sind die Vorgaben der Bioabfallverordnung zu beachten.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Die Nährstoffzusammensetzung organischer Düngemittel ist stark schwankend. Aktuelle Laboranalysen sind deshalb immer eine Grundvoraussetzung für einen bedarfsgerechten Einsatz und sollten immer der Verwendung von Richtwerten vorgezogen werden.

Da Laboranalysen Zeit brauchen, kann man sich mit Schnelltests zur Bestimmung des Ammonium-Anteils (z. B. **Quantofix-N-Volumeter**) behelfen. Auch die **Nahinfrarotspektroskopie-Technik** (NIRS-Technik) mit exakter Steuerung und Messung der N-Ausbringung ist neuerdings in modernen Ausbringegeräten für flüssigen Wirtschaftsdünger im Einsatz.

Der organisch gebundene Stickstoff in Wirtschaftsdüngern muss zunächst umgewandelt werden. Das Umwandeln ist neben anderen Faktoren temperatur- und feuchtigkeitsabhängig. Die große Schwierigkeit beim Einsatz von organischen Düngemitteln, ist die Abschätzung der frei werdenden N-Menge im Kulturverlauf. Diese ist neben den bereits genannten Wittereinflüssen von Standortfaktoren (z. B. pH-Wert des Bodens, Feldkapazität bzw. Luftkapazität, Aktivität von Mikroorganismen) sowie von den Eigenschaften des Düngemittels (z. B. Struktur bzw. Oberfläche, C/N-Verhältnis, Gesamtstickstoffgehalt) beeinflusst.

Mehrfache N_{\min} -Beprobungen während der Vegetationsperiode können helfen diese Stickstofffreisetzung zu erfassen und damit die N-Versorgung der Pflanzen bedarfsgerecht zu steuern.

Laut Düngeverordnung dürfen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft im Gemüsebau nicht zur Kopfdüngung verwendet werden.

Tab. 18: Mindestwerte für die N-Ausnutzung aus organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln im Jahr des Aufbringens (Landwirtschaftskammer NRW 2021)

Ausgangsstoff des Düngemittels	Mindestwirksamkeit* im Jahr des Aufbringens in % des Gesamtstickstoffgehaltes
Rindergülle	1. bei Aufbringen auf Ackerland: 60 2. bei Aufbringen auf Grünland: 50 ab 1. Februar 2025: 60
Schweinegülle	1. bei Aufbringen auf Ackerland: 70 2. bei Aufbringen auf Grünland: 60 ab 1. Februar 2025: 70
Rinder-, Schaf- und Ziegenfestmist	25
Schweinefestmist	30
Hühnertrockenkot	60
Geflügel- und Kaninchenfestmist	30
Pferdefestmist	25
Rinderjauche	90
Schweinejauche	90
Klärschlamm flüssig (< 15 % TM)	30
Klärschlamm fest (\geq 15 % TM)	25
Pilzsubstrat (Champost)	10
Grünschnittkompost	3
Sonstige Komposte	5
Biogasanlagengärrückstand flüssig	1. bei Aufbringen auf Ackerland: 60 2. bei Aufbringen auf Grünland: 50 ab 1. Februar 2025: 60
Biogasanlagengärrückstand fest	30

*mindestens muss jedoch der Gehalt an Ammonium (NH_4^+) angerechnet werden

5.2. Mineralische Düngung

5.2.1. Düngemittelwahl

Die Herstellung von N-Düngern erfolgt in technischen Verfahren durch Bindung des Stickstoffs aus der Luft. Stickstoff liegt in Düngemitteln in Form von Nitrat (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+) und Amid (Amid-N) vor. Die N-Formen unterscheiden sich in ihrer Wirkungsgeschwindigkeit.

Nitrat-Stickstoff wird mit dem Bodenwasser an die Wurzel zur Aufnahme in die Pflanze transportiert. NO_3^- ist daher für eine schnelle und unmittelbare Versorgung der Pflanze mit Stickstoff geeignet.

Ammonium-Stickstoff kann ebenfalls unmittelbar von der Pflanze aufgenommen werden. Ammonium wird in und an zwei und drei Tonschichtmineralen angelagert und ist damit vor Auswaschung geschützt. Frei verfügbar ist jeweils nur der Anteil Ammonium-Ionen der über Kationen von den Austauscherplätzen verdrängt wird. Die Pflanzenwurzel muss für die Aufnahme von Ammonium-N mit der Wurzel zum Nährstoff-Ion wachsen. Die Aufnahmezeit ist daher im Vergleich zu Nitrat-N geringer. Ammonium wird in Abhängigkeit von der Bodentemperatur über Nitrifikation zu Nitrat umgewandelt. Ammonium ist daher als „langsamere“ N-Quelle für die Ernährung der Pflanze zu bezeichnen.

Amid-N kann nicht unmittelbar von der Pflanze aufgenommen werden, sondern muss immer erst im Boden zu Ammonium-N und dann zu Nitrat-N umgewandelt werden. Die Umwandlung von Amid-Düngern, wie Harnstoff mittels Urease in Ammonium, ist temperaturabhängig und wird als Ammonifikation bezeichnet. Die Bodentemperatur ist auch für die Geschwindigkeit der Umsetzung von Ammonium zu Nitrat (Nitrifikation) ein wesentlicher Faktor. Bei Bodentemperaturen um 5°C dauert es ca. 6 Wochen bis 50 % des Ammonium-Stickstoffs zu Nitrat umgebaut werden, bei 20°C nur eine Woche.

Wirkungsgeschwindigkeit nach der Düngung			
schnell	mässig schnell	langsam	sehr langsam
Nitrat	Ammonium	Amid	mit Nitrifikationshemmern, Umhüllungen etc.
	Beispiele:	{ Harnstoff Kalkstickstoff Entec, Alzon	

Abb. 10: Wirkungsgeschwindigkeit verschiedener Stickstoffdünger

Für die Amid- und Ammoniumform besteht die Gefahr von gasförmigen Ammoniakverlusten. Bodenbedingungen wie ein hoher pH-Wert, eine geringe Pufferkapazität und ein geringes Ammonium-Absorptionsvermögen (z. B. geringer Gehalt an Ton oder org. Substanz), geringe Bodenfeuchte und Auflage aus Pflanzenteilen (unbearbeiteter Boden/reduzierte Bodenbearbeitung) erhöhen das Verlustrisiko. Dies ist ebenso bei hohen Temperaturen mit starkem Wind (hohe Evapotranspiration) und bei Trockenheit nach Düngerapplikation der Fall.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Sowohl das Enzym Urease als auch die Bodenbakterien *Nitrobacter* und *Nitrosomonas* können durch chemische Reagenzien (Urease- und Nitrifikationshemmern) gehemmt werden, sodass sich ein Umbau deutlich verlangsamt. Man spricht dann von stabilisierten Düngemitteln. Auf dem Markt gibt es auch Düngemittel, die durch eine Umhüllung, z. B. mit einem Kalkgerüst (Timac), verzögert umgewandelt werden.

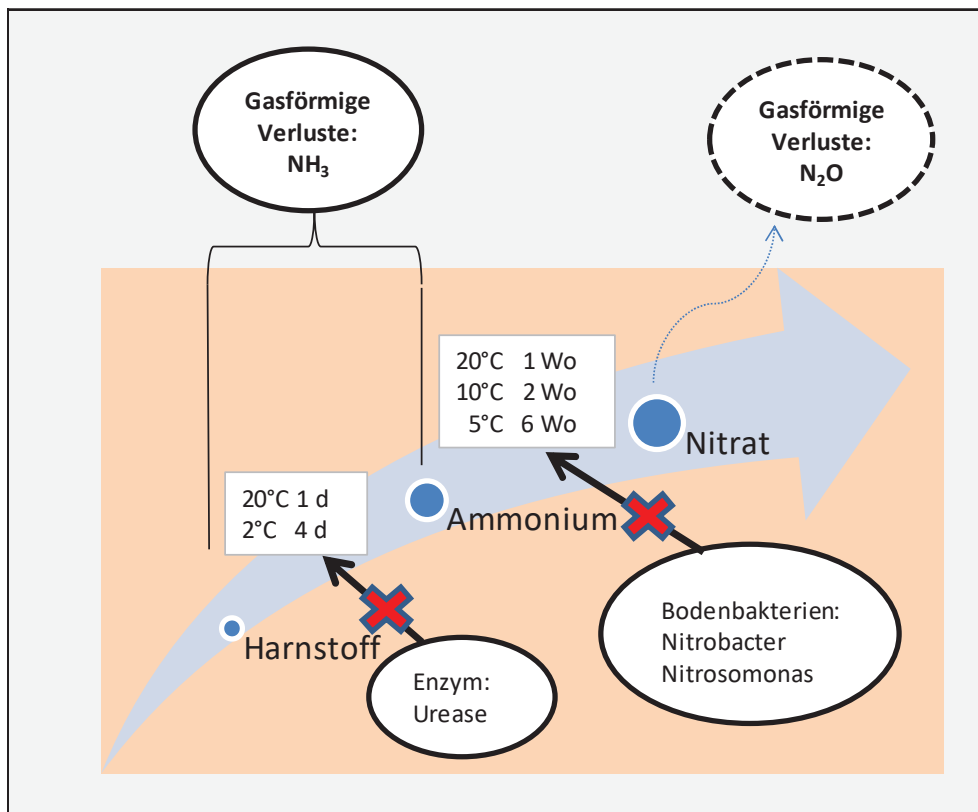


Abb. 11: Umwandlungsprozess von Harnstoff zu Nitrat

Die Auswahl des Düngemittels und der darin enthaltenen N-Form beeinflusst die Stickstoffverfügbarkeit für die Kultur. Es kann keine generelle Empfehlung einer Düngerform oder eines stabilisierten Düngers gegeben werden. Kriterien für die Auswahl von Düngemitteln sind die Wirkungsgeschwindigkeit und der Anwendungszeitpunkt. Hierbei ist die Freisetzung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs entscheidend. Es muss zu jedem Zeitpunkt sichergestellt sein, dass die Kultur optimal mit Stickstoff versorgt ist und keine Auswaschung ins Grundwasser erfolgt.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 19: Auswahlkriterien für Stickstoffdünger nach Wasserschutzkriterien

Gemüse:	Nitrat/ Ammonium			stabilisierter Ammonium- Dünger depot		
	Nitrat	Ammonium	Harnstoff	Kalkstickstoff	Dünger	depot
mit geringer Durchwurzelung auf sandigen Standorten			+ Einarbeitung	x	x	
			+ Einarbeitung	x	x	x
mit kurzer Kulturdauer	x	x				
mit langer Kulturdauer		+ Kopfdüngung	+ Einarbeitung	x	x	x
mit hohem Nährstoffbedarf		+ Kopfdüngung		x	x	x
frühe Kulturen (kalter Boden)	x	x				
späte Kulturen (kalter Boden)	x	x				
für die Nachdüngung	x					
bei Trockenheit	x					

Die Freisetzung des Stickstoffs aus **Depotdüngern** und **stabilisierten Düngern** wird insbesondere durch die Bodenfeuchtigkeit und die Temperatur gesteuert. Besonders bei langanhaltender Trockenheit und Kälte ist eine Verfügbarkeit des Stickstoffs und somit die Düngewirkung stabilisierter N-Dünger verzögert. Dies kann zu einem zu Ernährungsstörungen und zum anderem zu erhöhten Stickstoffgehalten im Boden zu Kulturrende führen.

Im Frühjahr bietet sich eine Kombination aus stabilisierten Düngern und schnell verfügbaren N-Düngern (z. B. Kalksalpeter (CaN), Kalkammonsalpeter (KAS)) an. Hierdurch wird Auswaschung bei flach wurzelnden Kulturen vermieden und gleichzeitig auch bei niedrigen Temperaturen die N-Versorgung sichergestellt. Für Kulturen mit einem hohen Stickstoffbedarf (Porree, Kohl) und langer Kulturdauer ist die Verwendung von stabilisierten N-Düngern zu empfehlen, wenn eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit und eine an den Pflanzenbedarf angepasste Stickstofffreigabe sichergestellt ist.

Um während der gesamten Kulturdauer die Versorgung mit N zu gewährleisten, empfiehlt es sich bei sehr kaltem Boden im Frühjahr oder Herbst schnell verfügbaren N-Dünger zu verwenden. Bei einem hohen Stickstoffbedarf der Kultur ist eine Aufteilung der Düngegabe in eine Grunddüngung und ein bis zwei Kopfgaben zu empfehlen, auch wenn stabilisierte Dünger eingesetzt werden. Gegebenenfalls muss durch geeignete Berechnungsmaßnahmen sichergestellt werden, dass der vorhandene Stickstoff von der Pflanze aufgenommen werden kann. (CaN, KAS, Ammonsulfatsalpeter (ASS), Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL), Schwefelsaures Ammoniak (SsA), Harnstoff-Ammonsulfat (HAS)).

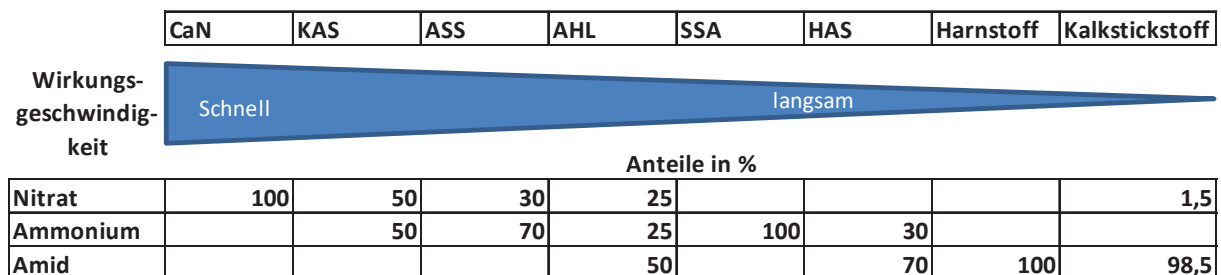


Abb. 12: Wirkungsgeschwindigkeit verschiedener mineralischer Stickstoffdünger und -formen die in den Mineraldüngern vorliegen

Kalkstickstoff ist wie ein stabilisierter Dünger zu werten. Beim Umbau entsteht Dicydiamid, ein Nitrifikationshemmer, der auch dem stabilisierten Harnstoff (ALZON®) zugesetzt wird. Wichtige Nebenwirkungen machen Kalkstickstoff für den Gemüseanbau interessant. Der im Kalkstickstoff enthaltene Kalk ist schnell wirksam, stabilisiert die Bodenstruktur und beugt der Verschlämmung vor. Mit seinen desinfizierenden Eigenschaften beugt Kalkstickstoff bodenbürtigen Krankheiten wie Kohlhernie, Sklerotinia, Verticillium und Fusarium vor. Auch im Boden vorkommende Schädlinge wie Nacktschnecken und Drahtwürmer werden dezimiert. Darüberhinaus hat er eine herbizide Wirkung. Die Kalkstickstoffgaben zur Unkrautbekämpfung müssen unbedingt bei der Düngeplanung berücksichtigt werden. Für die meisten Gemüsekulturen wird ein Einsatz 10-14 Tage vor der Pflanzung bzw. 8-10 Tage nach Pflanzung mit einer Aufwandmenge von 2-4 dt/ha empfohlen, was einer Düngegabe von 40-80 kg N/ha entspricht. Bei einer Kopfdüngung ist es wichtig, dass der Pflanzenbestand trocken ist und die Pflanzen gut angewachsen sind. Zudem sollte der Boden möglichst feucht sein. Bei kühler Witterung und trockenem Boden ist eine Anwendung von Kalkstickstoff, wie von anderen stabilisierten Düngern, nicht sinnvoll.

Bei Verwendung von flüssigen Düngemitteln ist auch ein mögliches Ätzzisiko beim Einsatz von AHL zu beachten. Eine Düngung mit KAS in Salatbeständen als Kopfdüngung ist ebenfalls kritisch, da es zu Verbrennungen kommen kann. Es besteht hier die Möglichkeit Kalksalpeter (z. B. Tropicote®) zu nutzen. Auch ASS hat ein geringes Ätzzisiko.

Einige Gemüsekulturen vertragen die Ammonium-Ernährung nicht gut und reagieren evtl. mit Ertrags- einbußen (z. B. Spinat). Auf die Ammoniumdepotdüngung wird im nächsten Unterkapitel Technische Ausbringung näher eingegangen.

5.2.2. Technische Ausbringung

Zur Ausbringung von mineralischen Düngemitteln werden hauptsächlich **Zweischeiben-Wurfstreuer** benutzt. Allerdings steht bei diesen Geräten die Schlagkraft vor der Verteilgenauigkeit.

Moderne Geräte sind mittlerweile häufig mit einer Wiegetechnik ausgestattet und lassen eine gewisse Teilbreitensteuerung mit GPS-Unterstützung zu. Unbedingt notwendig ist die Montage einer Grenzstreueinrichtung, damit möglichst kein Dünger auf Nichtzielflächen landet.

Die **pneumatischen Düngerstreuer** haben eine höhere Verteilgenauigkeit auf der Fläche und die Teilbreitensteuerung ist leicht umsetzbar. Nachteile sind aber die geringere Schlagkraft, die Nichteignung für mehlartige Dünger, die Feuchte- und die Windanfälligkeit und letztendlich auch der sehr hohe Anschaffungspreis. Auf dem deutschen Markt sind zurzeit nur Großstreuer zu kaufen mit 36 m Gestänge.

Für den Gemüsebau eignen sich daher vor allen **Kastendüngerstreuer**. Mit ihnen lässt sich der Dünger beetweise ausbringen, dadurch gelangt der Dünger ausschließlich auf die Zielfläche.

Durch die geringere Arbeitsbreite ist die Schlagkraft natürlich deutlich geringer. Aber durch die niedrigere Fallhöhe ist die Windabdrift geringer und alle Düngerformen sind einsetzbar.

Wünschenswerte Innovationen für Kastendüngerstreuer wären:

- elektronisch kontrollierte und elektrisch betätigte Schieberöffnung (Servomotor)
- definierte, reproduzierbare Streuöffnung
- Kopplung zwischen Fahrgeschwindigkeit und Ausstreumenge per Rechner, dadurch wäre die Ausbringmenge konstant auf der Fläche
- Ausbringmenge nach Programmvorgaben
- teilflächenspezifisch

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Die Kastendüngerstreuer lassen sich durch einige Umbaumaßnahmen so umrüsten, dass sie als Reihendüngerstreuer arbeiten. Es werden seit neuesten auch kleinere für den Gemüsebau geeignete Streuer angeboten (Fachmesse Agritechnica 2019).



Abb. 13: Reihendüngerstreuer der Firma Lauwers (Foto: Marco Breuer)

Im Mais wird eine **Düngeablage „Unterfuß“** schon langjährig praktiziert und findet in letzter Zeit auch verstärkten Einsatz im Kartoffelanbau. Die Düngeablage erfolgt mittels Schlitzscheiben wenige Zentimeter unter dem Samenkorn oder der Knolle. Dass sich die Stickstoff-Effizienz durch eine Dünger-Applikation „Unterfuß“ beim Anbau von Gemüse verbessern lässt ist wahrscheinlich, muss aber noch getestet werden.

Flüssige Stickstoffdünger wie z. B. AHL werden mit Pflanzenschutzspritzen ausgebracht. Hierbei sind die Verluste auf Nichtzielflächen ähnlich gering wie bei pneumatischen Düngerstreuern/ Kastenstreuern. Eine unangepasste Düngeausbringung kann beim Einsatz von flüssigen N-Düngemitteln (z. B. AHL, ASL) Ursache einer schlechten Wirksamkeit sein. Ein zu enger Bodenkontakt kann dazu führen, dass der gedüngte Stickstoff vorübergehend stärker festgelegt wird, was sich vor allem bei nachfolgend ungünstigen Witterungsbedingungen (Kälte, Trockenheit) negativ auf die N-Verfügbarkeit auswirkt. Entscheidend für die Stickstoffverfügbarkeit ist die witterungs- und standortabhängige Dauer der N-Festlegung. Die grobtropfige Ausbringung konzentrierter Lösungen mindert das Risiko schlechter N-Wirkung (LWK NRW 2015). In Versuchen der Landwirtschaftskammer NRW in den letzten Jahren war die Wirkung von AHL, mit Mehrlochdüse ausgebracht, vergleichbar mit der von KAS, Harnstoff und SSA.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Beim **CULTAN-Verfahren** (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition, deutsch: *kontrollierte Langzeitammoniumernährung*) wird der Stickstoff überwiegend in Form von Ammonium im Boden als Depot eingebracht (Sommer 2005). Die Düngelösung wird 7-20 cm tief in der Nähe der Pflanz- oder Saatreihen injiziert. Diese Art der Düngung verringert die gasförmigen N-Verluste und Auswaschungen sowie die Zahl der Arbeitsgänge und sichert die Erträge. Es können Saat bzw. Pflanzung und Düngung in einem Arbeitsgang vorgenommen werden, wobei allerdings spezielle Maschinen erforderlich sind.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche CULTAN-Düngung:

- Niedrige Nitrat-Gehalte im Boden und niedrige Nachlieferung aus dem Boden
- Kulturen mit längerer Kulturdauer und hohem N-Bedarf
- Bevorzugt: leichte humusarme Böden

Vorteile der CULTAN-Düngung:

- Bessere N-Ausnutzung durch Platzierung des Düngers in der Pflanzenreihe im Vergleich zur Flächendüngung
- Verringerter N-Austrag durch gehemmte Umwandlung des Ammoniums; Depot ist toxisch für Mikroorganismen
- Verminderter Arbeitsaufwand
- Erträge und Qualitäten vergleichbar
- Verringerter Unkrautdruck

Nachteile der CULTAN-Düngung:

- Hoher Investitionsaufwand, Logistik und Handhabung aufwändig, geschultes Personal nötig
- Fehler bei der Dünger-Applikation nicht direkt erkennbar, Nachdüngung schwierig bis unmöglich ohne N-Überschuss
- Hohe einmalige N-Gabe birgt die Gefahr, dass bei einem Umbruch der Kultur, z. B. aus Krankheitsgründen, die gesamte N-Menge bereits im Boden ist
- N_{\min} -Proben für nachfolgende Kulturen nur schwierig durchzuführen, Depot muss zerstört und gleichmäßig verteilt werden und Ammonium muss zwingend mit untersucht werden
- Unterschiedliche Wirkung bei den verschiedenen Gemüsekulturen (Ammonium empfindliche Kulturen z. B. Spinat)
- Nicht immer über die gesamte Vegetationsperiode von Vorteil, im Frühjahr evtl. Nährstoffmangel bei den Pflanzen und im Herbst wird Depot evtl. nicht vollständig aufgebraucht.

Fertigation: Bei vielen Reihenkulturen, wie beispielsweise Erdbeeren und Spargel, wird die Bewässerung und die Düngung in einem System über Tropfschläuche gesteuert. Während der Vegetationszeit erfolgen wöchentlich kleine Düngegaben. Wasserlösliche Mineraldünger werden mit dem Beregnungswasser in Form einer Nährlösung direkt an die Pflanze transportiert. Dies hat den gleichen Effekt wie eine Reihendüngung mit tagesgenauer Dosierung. Bei Erdbeeren wird beispielsweise ab der Vollblüte und der Fruchtbildung die N-Menge deutlich reduziert. Soll die Fertigation erfolgreich eingesetzt werden, sollten die Nährstoffgehalte im Boden möglichst gering sein. Bei Erdbeeren wird die Fertigation meist mit einem Dammanbau und dem Einsatz von Mulchfolie kombiniert. Ein Nachteil der Fertigation sind die hohen Anschaffungskosten und der hohe Aufwand beim Auf- und Abbau der Tropfschläuche (Plastikmüll).

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Bewertung zum Aufwand für Beratung und Betrieb - Kosten/Aufwand:

Angebote von Firmen für Kastendüngesteuer bewegen sich in einer Größenordnung von 6.000-8.000 €. Nach Erfahrungen der WRRL-Modellbetriebe sind etwa weitere 2.500 € zusätzlich notwendig, wenn Software, GPS-Steuerung und Teilreihenabschaltung integriert werden. Es entstehen keine höheren Betriebskosten im Beetanbau oder wenn das System mit einer Pflanzmaschine kombiniert wird. Zunehmend werden von Herstellern auch Reihendüngerstreugeräte angeboten.

Bewertung zur Wirksamkeit und des N-Minderungspotenzials:

Für die meisten Betriebe mit Beetkulturen ist der Einsatz von Kastenstreuern schon Standard. Das geschätzte Einsparpotenzial beträgt 10-max. 30 kg N/ha im Vergleich zu breitwürfigen Streuen. Es werden etwa 10-15 % bei Beetanbau im Vergleich zur breitwürfigen Düngung eingespart. Bei Reihendüngung ggfs. mehr, dies ist aber noch in Versuchen zu prüfen (WRRL-Modellbetriebe).

- sinnvoll im Beetanbau (Salate, Kräuter, ...)
- Versuche im Porree in Kombination mit Schuffelgängen
- Versuche mit Kohl mit Reihendüngung (WRRL-Modellbetriebe, Landesinitiative N-Minderung)

Akzeptanz: mittel-hoch

Bisher sind Betriebsleiter, die auf diese Systeme umgestellt haben, sehr zufrieden.

Bei Kulturen ohne Beetanbau (Blumenkohl, Porree) bisher kaum/keine Nutzung.

Kombination mit Pflanzmaschinen ist möglich, hier Prüfung in Modellbetrieben der WRRL, welche Kulturen hierfür in Frage kommen oder ob eine Teilgabe in welcher Menge im Vergleich zu breitwürfigen Gaben Ertragsvorteile bringen.

Einstellung des Düngerstreuers

Die richtige Einstellung des Düngerstreuers verbessert die Nährstoffeffizienz. Ein **korrekter Anbau** des Düngerstreuers an den Schlepper nach Betriebsanleitung ist Voraussetzung für eine gleichmäßige Düngerausbringung. Die **optimale Einstellung eines Düngerstreuers** wird durch die physikalischen Eigenschaften des jeweiligen Düngemittels bestimmt. Eine bedarfsgerechte Düngung erfordert eine korrekte Einstellung des Düngerstreuers und verlangt eine sorgfältig durchgeführte Abdreprobe. Bei neueren Düngerstreuern ist dies nicht mehr nötig und wird elektronisch geregelt. Der Düngerstreuer sollte immer an den jeweiligen Dünger angepasst und neu eingestellt werden.

Die Richtigkeit dieser wichtigsten Einstellungen der Düngerstreuer sollte regelmäßig überprüft werden. Die Fachleute überprüfen u. a. die tatsächliche Zapfwelldrehzahl, die Höheneinstellung des Streuers, den Zustand der Antriebsaggregate und die Mineraldüngerqualität. Bei einer Überprüfung fahren die Schlepper mit dem Düngerstreuer über eine Testbahn mit Auffangschalen (50x50 cm). Je nach Arbeitsbreite des Streuers wird die Anzahl variiert. Der Rastereinsatz in den Schalen verhindert dabei das Herausspringen der Düngerkörner. Die Auffangschalen werden anschließend in Messzylinder entleert, so dass man das Streubild erfassen kann.



Abb. 14: Überprüfen der Verteilgenauigkeit durch das Streubild (Foto: Renate Block)

Das Streudiagramm (siehe Abb. 14) gibt Hinweise auf die Dosierung und Verteilgenauigkeit. Anhand dieser Ergebnisse erschließen sich Abweichungen und machen eine Optimierung der Einstellungen möglich. Auch die Überprüfung der Grenzstreueinrichtungen ist damit möglich. Bisherige Testungen zeigen, dass viele Steuer ein ungleichmäßiges Streubild aufweisen und eine Korrektur zu einer Optimierung der Düngerausbringung führt.

Ausbringtechnik Wirtschaftsdünger

Ein Miststreuer zur genauen Verteilung von Stallmist sollte vier aufrechte Exaktstreuwalzen oder/und ein Tellerstreuerwerk besitzen. Ein regelbarer hydraulischer Kratzboden mit Vor- und Rücklauf oder ein Stauschieber bei Tellerstreuerwerken sollte vorhanden sein. Streuer ohne Grenzstreueinrichtung sind nicht zu empfehlen. Wünschenswert wäre darüber hinaus die elektronische, geschwindigkeitsabhängige Streumengenregulierung.

Bei der Verwendung von flüssigen, organischen Düngern (Biogasgärrest, Gülle) ist es wichtig den Stickstoff bedarfsgerecht in den Boden zu bringen. Hierfür eignet sich im Frühjahr insbesondere eine Ausbringung mit einem Injektionsgerät oder mit Schleppschuhtechnik (Wendland und Lichti 2012). Weitere Entwicklungen wie die Ausbringung von Gülle-Unterfuß und nur streifenweise Bearbeitung der Fläche (Strip-Till) sollten auf ihre Übertragbarkeit auf den Gemüsebau geprüft werden, was z. T. in den WRRL-Modellbetrieben getestet wird.

6. P-, K-, Mg-Düngung und Mikronährstoffe

Neben Stickstoff beeinflussen auch alle anderen Nährstoffe die Ertragssicherheit und das Wachstum der Kultur. Ein Mangel eines Nährstoffes kann nicht durch die Erhöhung eines anderen Nährstoffes ausgeglichen werden. Zudem gibt es Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Nährstoffen, daher sollte kein Nährstoff bei der Düngung einzeln nur für sich oder ohne die Faktoren Boden und Pflanze betrachtet werden: Die Abb. 15 zeigt die Wechselwirkungen der einzelnen Nährstoffe in Pflanze und Boden.

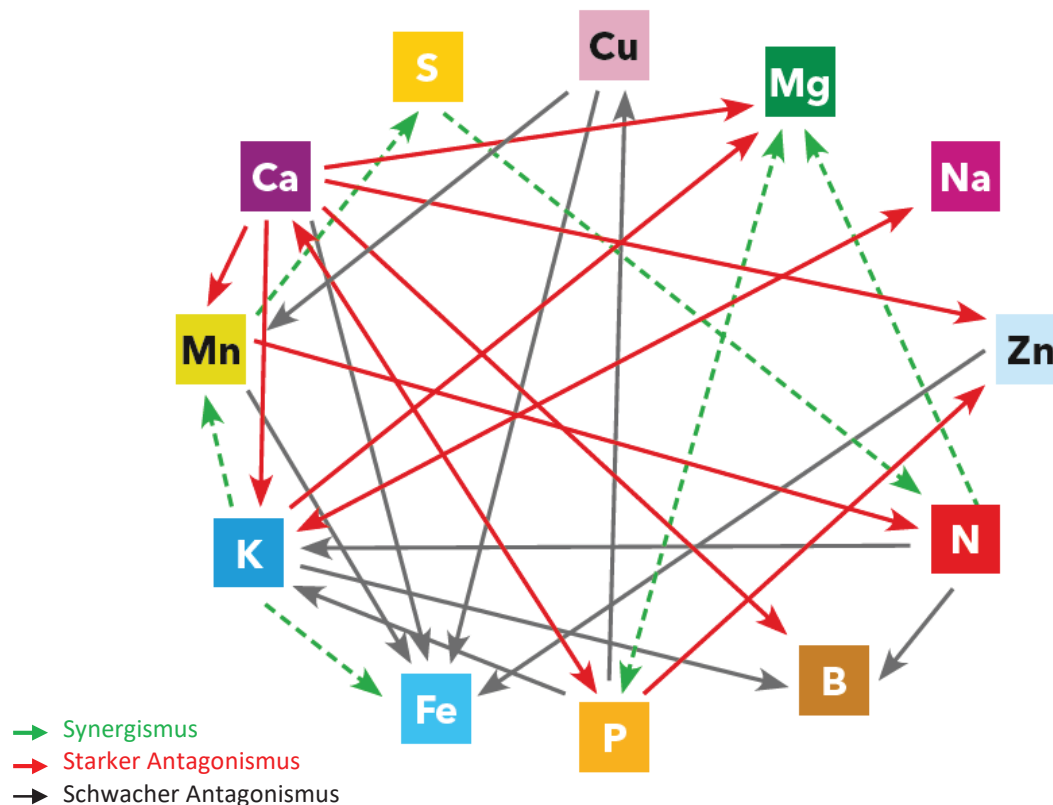


Abb. 15: Wirkungsgefüge der Nährstoffe (K+S Minerals and Agrikulture GmbH undatiert)

Regelmäßige, am besten jährliche, Untersuchungen des Bodens auf die Makronährstoffe sind unerlässlich um eine optimale Versorgung der Pflanzen zu gewährleisten. In der Praxis besteht die Gefahr, dass ein Wuchsmangel in der Kultur häufig dem Nährstoff Stickstoff zugeschrieben wird, obwohl ein anderer Nährstoff (z. B. S) oder Wachstumsfaktor (z. B. Wasser) sich im Mangel befindet. Dies kann zu einer überhöhten oder schlecht wirksamen Stickstoffdüngung führen. Für die Grunddüngung eignen sich zum Beispiel Patentkali (30 % K_2O , 10 % MgO , 17 % S) oder Kieserit (25 % MgO , 20 % S). Weiterhin ist eine optimale Bodenreaktion die Voraussetzung für den Erfolg vieler verschiedener Düngungsmaßnahmen. Das Maß für die Bodenreaktion ist der pH-Wert. Dieser kann durch Kalkung angehoben werden. Der Bedarf der meisten Makronährstoffe (P, K, Mg) welche neben Stickstoff das Pflanzenwachstum und die Qualität am stärksten beeinflussen, wird anhand der Nährstoffgehaltsklassen des Bodens und dem Nährstoffentzug der jeweiligen Kultur berechnet. Dafür wird der Nährstoffentzug der Kultur mit einem entsprechenden Faktor verrechnet. Der Bodengehalt wird für diese Nährstoffe mittels einer Standardbodenproben-Analyse ermittelt. Das Ergebnis der Bodenanalyse wird in Abhängigkeit von der Bodenart einer Gehaltsklasse zugeordnet (siehe Tab. 20).

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 20: Gehaltsklassen und Faktor zur Berechnung der Düngeempfehlung P, K, Mg

Gehaltsklasse		Faktor	Düngeempfehlung
A	sehr niedrig	≈ 2	stark erhöhte Düngung
B	niedrig	≈ 1,5	erhöhte Düngung
C	anzustreben	≈ 1	Düngung nach Entzug
D	hoch	≈ 0,5	reduzierte Düngung
E	sehr hoch	0	keine Düngung
F	extrem hoch		Maßnahmen gegen Überversorgung

Phosphat

Die Düngeempfehlung von Phosphat (P_2O_5) erfolgt in Abhängigkeit des Gehaltes im Boden (Standardbodenproben-Analyse), der Bodenart, dem Anbauzeitpunkt, dem P-Entzug der Einzelkultur und der Fruchtfolge. Abweichungen in der Düngeempfehlung zu anderen Nährstoffen (K, Mg) ergeben sich aufgrund der starken Sorption von P im Boden. Durch die P-Festlegung im Boden befindet sich eine sehr geringe Konzentration von P_2O_5 in der Bodenlösung. Zur P-Aneignung haben Pflanzen verschiedene Mechanismen entwickelt. Unter anderem wird der pH-Wert durch die Pflanzenwurzel aktiv abgesenkt, um eine P-Verfügbarkeit zu erreichen. Dies wird durch die Analysemethode Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (CAL-Auszug) im Labor nachgeahmt. Zur Berechnung des Bedarfs wird der Nährstoffentzug der Kultur mit einem Faktor entsprechend der Nährstoffgehaltsklasse des Bodens multipliziert. Die Nährstoffgehaltsklasse des Bodens ist dem Ergebnis der Standardbodenprobe zu entnehmen. Die Nährstoffentzüge verschiedener Gemüsekulturen können folgender Liste entnommen werden: https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_N-P-K-Mg-Feldabfuhr_Gemuese.pdf.

Unter normalen Bedingungen ist das Ergebnis der Standardbodenanalyse, ein gutes Abbild des den Pflanzen zu Verfügung stehenden Phosphats. Bei besonders kühlen Bedingungen und früher Pflanzung im Jahr ist aber die Leistung der Pflanze in Hinsicht P-Aneignung eingeschränkt. Es kann so auch auf Böden mit der Gehaltsklasse D oder E zu einem physiologischen P-Mangel kommen (lila Färbung, Wuchshemmung). Hier empfiehlt sich abweichend von der Standardberechnung nach CAL Methode auch bei hohen Bodengehalten eine Gabe wasserlöslichen Phosphats. Die Höhe dieser Fröhdüngung auf einem D oder E Boden sollte je nach Witterung und Jahreszeit 50-100 % des erwartenden Entzugs der ersten Kultur betragen und mit einem voll wasserlöslichen P-Dünger erfolgen. Diese frühe P-Düngung ist dann Ertragswirksam und somit ein Faktor für eine gute N-Effizienz und gesicherte Nährstoffentzüge.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 21: Einteilung der Bodenuntersuchungsergebnisse (CAL mg P₂O₅/100 g Boden) in Gehaltsklassen nach Bodenart

1	2	3	4
mg P ₂ O ₅ /100 g Boden		Gehaltsklassen P ₂ O ₅	Faktor Empfehlung
flachgründiger Sand, utL, tL, T	S, IS, sU, ssL, IU, sL, uL, L		
0-5	0-3	A	2
6-13	4-9	B	1,5
14-24	10-18	C	1
25-38	19-32	D	0,5
> 39	> 33	E	0

Durch das Phosphat-Angebot im Boden sind zudem Effekte auf das Wurzelwachstum und -morphologie zu erwarten. Im Gegensatz zu Stickstoff ist bei geringem P-Angebot die Gesamtwurzellänge häufig absolut höher als bei guter oder sehr guter P-Versorgung. Dies kann die Verfügbarkeit von anderen Wachstumsfaktoren (Wasser) beeinflussen.

Für die Auswahl von mineralischen P-Düngern gilt, dass wasserlösliche P-Dünger auf allen Standorten prinzipiell geeignet sind. Nur bei sehr geringer Düngermenge auf stark P festlegenden Böden (Kalkböden, saure Böden) gilt dies nicht. Schwerlösliche Ca-Phosphate (Hyperphos, Thomasphosphat) wirken besser auf kalkfreien und sauren bis stark sauren Böden. Auch bei geringer biologischer Aktivität (durch Kälte und/oder Trockenheit) sind wasserlösliche P-Dünger erste Wahl. Eine relativ gute Nutzung schwerlöslicher Ca-Phosphate ist durch Leguminosen zu erwarten. Die Nebenwirkungen von P-Düngern beeinflussen den pH-Wert des Bodens und damit die Verfügbarkeit von anderen Nährstoffen und P selbst. So haben Hyperphosphat und Thomasphosphat eine Kalkwirkung. Daneben bringen mineralische P-Dünger andere Nährstoffe mit. In Superphosphat ist neben Ca, S enthalten, während in Thomasphosphat Magnesium, Schwefel und Mikronährstoffe enthalten sind. Dünger wie Triplesuperphosphat und Superphosphat wirken bodenversauernd. Diammonphosphat wirkt alkalisch und je nach Standort, pH-Wert und N-Düngung kann NH₃ toxisch wirken.

Kalium und Magnesium

Der Düngebedarf von Kalium und Magnesium wird analog zu Phosphor anhand der Nährstoffgehaltsklassen des Bodens und dem Nährstoffentzug der jeweiligen Kultur berechnet. Dafür wird der Nährstoffentzug der Kultur mit einem Faktor entsprechend der Nährstoffgehaltsklasse des Bodens multipliziert. Die Nährstoffgehaltsklasse des Bodens ist dem Ergebnis der Standardbodenprobe zu entnehmen. Die Nährstoffentzüge verschiedener Gemüsekulturen können Sie folgender Liste entnehmen: https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_N-P-K-Mg-Feldabfuhr_Gemuese.pdf.

Beispiel Kalium-Düngung: Kaliumbedarf von Porree bei einem Bodengehalt von 21 mg K₂O/100 g Boden CAL-Methode, mittlerer Boden

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

1. Erwarteter Entzug: $600 \text{ dt Porree/ha} \times 36 \text{ kg K}_2\text{O}/100 \text{ dt Porree} = 216 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$

Tab. 22: Faktor für Errechnung des Düngedarfs in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse

Gehaltsklasse	Faktor Empfehlung
A	2
B	1,5
C	1
D	0,5
E	0

2. Bedarf: $216 \text{ kg K}_2\text{O/ha (Entzug)} \times 0,5 \text{ (Faktor Gehaltsklasse D)} = 108 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$ fachlich empfohlene Düngung

Auch das K/Mg-Verhältnis muss bei der Düngedarfsermittlung berücksichtigt werden, da die zwei Nährstoffe antagonistisch wirken können. Ist es kleiner als 1,7, besteht die Gefahr eines latenten Kaliummangels. In diesem Fall sollte für die Düngedarfsermittlung die nächstniedrigere K-Gehaltsklasse angenommen werden. Ist der Boden der K-Gehaltsklasse E zuzuordnen, muss keine Anpassung vorgenommen werden. Analog muss bei der Düngedarfsermittlung von Magnesium vorgegangen werden, wenn das K/Mg-Verhältnis größer als 5 ist.

Für die Grunddüngung eignen sich zum Beispiel Patentkali (30 % K_2O , 10 % MgO , 17 % S) oder Kieserit (25 % MgO , 20 % S).

Schwefel

Die Schwefel-Düngedarfsermittlung erfolgt analog zur Stickstoff-Düngedarfsermittlung.

Kohlarten und Sellerie sind Kulturen mit einem hohen Schwefelbedarf und -entzügen von 60-80 kg S/ha. Kulturen mit mittlerem S-Bedarf und Entzug sind Porree, Zwiebeln und Spargel 30-50 kg S/ha.

Salate, Spinat und Möhren haben einen geringen S-Bedarf mit Entzügen von 10-20 kg S/ha.

Eine Düngung macht besonders bei Überwinterungskulturen im Frühjahr, zu Frühlkulturen oder bei Kulturen mit hohem S-Bedarf Sinn. Das ideale Verhältnis von Stickstoff zu Schwefel beträgt bei Kohl und Zwiebeln 5:1. Bei Spinat und Salaten etwa 10:1. Ohne ausreichende Schwefelversorgung sinkt die N-Effizienz deutlich.

Calcium und Kalk

Höhere NPK-Gaben und Erträge erhöhen den Calciumbedarf von Pflanzen. Versauernd wirkende N-Dünger reduzieren die Calcium-Verfügbarkeit im Boden. Kalkdünger erhöhen die Verfügbarkeit von Calcium im Boden. Da die Aufnahme anderer Nährstoffe ebenfalls vom pH-Wert des Bodens abhängig ist, können bei zu niedrigem pH-Wert auch diese durch Kalkung verfügbar gemacht werden. Optimal ist ein pH-Wert zwischen 6 und 7, auf leichten Böden auch etwas darunter.

Ausführliche Informationen zur **Kalkung** finden Sie hier:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/kalkung-pdf.pdf>

Blattuntersuchungen und Mikronährstoffe

Blattanalysen sind während der Kultur ein wichtiges Instrument um Ernährungsstörungen zu erkennen. Wie bei den Makronährstoffen kann ein Mangel eines Mikronährstoffes die Stickstoffaufnahme in die Pflanze beeinträchtigen. Durch eine optimierte Mikronährstoffversorgung können Erträge und Qualitäten gesteigert werden. Dies kann zu einer Erhöhung der N-Effizienz beitragen. Ein Mangel an Calcium in der Pflanze kann einen physiologischen Mangel hervorrufen, der zu Innenbrand bei Salat führt. Kann durch so einen Mangel das Gemüse nicht vermarktet werden, erfolgt auch keine Ernte. Von der Fläche erfolgt dann keine Abfuhr mit allen bereits geschilderten Problemen für die Stickstoffbilanz.

7. Begleitendes Kulturmanagement

7.1. Zwischenfruchtanbau

Anbau von Herbstzwischenfrüchten und Winterzwischenfrüchten

Der Anbau von Zwischenfrüchten trägt zur Reduzierung der Stickstoffauswaschung bei, da auswaschungsgefährdetes Nitrat in den Pflanzen gebunden wird. In anderen Sprachen bezeichnet man die Zwischenfrüchte deshalb auch sehr passend als Fangpflanzen (**Catch-Crops**). Der Zwischenfruchtanbau ist eine der wirksamsten Maßnahmen zur Senkung der Herbst- N_{\min} -Werte.

Daneben führt der Anbau von Zwischenfrüchten zumeist zusätzlich zu weiteren positiven Effekten für die Bodengesundheit. Wenn über eine Mischung von verschiedenen Gründüngungspflanzen nachgedacht wird, kommt es nicht allein auf die Anzahl der verschiedenen Arten an, sondern auch auf die möglichst große Unterschiedlichkeit im Verhalten und Wachstum der Arten, um das ökologische Gleichgewicht im Boden positiv zu beeinflussen. Asynchronie stabilisiert noch vor Artenvielfalt das ökologische System, in diesem Fall den Boden. Der Anbau von Zwischenfrüchten fördert z. B. durch Vermehrung nützlicher Nematoden die Gesunderhaltung der nachfolgenden Kulturpflanzen. In einem gesunden Boden beträgt das Verhältnis von Nützlichen zu Schadnematoden 9 zu 5 %. Die Vermehrung nützlicher Nematoden erschwert die Etablierung schädlicher Nematoden, da diese Nischen besetzen, die dann nicht mehr von Schadnematoden eingenommen werden können. Verschiedene Zwischenfrüchte können mit ihren Wurzelabscheidungen (säurehaltigen Exsudaten) Nährstoffe wie z. B. Phosphor aus dem organischen Anteil des Humusanteils des Bodens verfügbar machen. Andere als Zwischenfrucht geeignete Pflanzen können durch Chelatbildung Phosphor aus dem anorganischen Pool des Bodens aufnehmen und damit für die nachfolgende Kultur nutzbar machen.

Für den Anbau der nachfolgenden Kultur sollte auch der freiwerdende Stickstoff aus dem Aufwuchs für die nachfolgende Kultur gerechnet werden. Als Faustzahl können hier 10 kg N/ha pro 10 cm Aufwuchs im Mittel angerechnet werden. Ab einer Aufwuchshöhe von 30 cm, also 30 kg eingespartem Stickstoff für die nachfolgende Kultur, ist der Anbau von Gründüngung auch wirtschaftlich positiv zu bewerten, wenn man die eingesparte N-Menge und weitere Auswirkungen durch Gründüngung monetär bewertet.

Aber nicht nur der Aufwuchs ist von Interesse, sondern auch das, was sich „unterirdisch“ tut: Einige Pflanzen sind besonders gut geeignet auch Verdichtungen im Boden aufzubrechen. **Tiefenrettich** (*Raphanus sativus* L.) kann 180-200 cm tief wurzeln. Er bildet eine Hauptwurzel aus, mit der er den Boden bis in tiefe Schichten regelrecht aufzureißen und ihn dabei 8-10 cm anzuheben vermag. Er friert sicher bei niedrigen Temperaturen ab. Von den teilweise bis zu 4 cm im Durchmesser dicken Wurzelstücken bleiben aber trotz Zersetzung im Winter skelettartige Strukturen im Boden zurück, die zusammen mit dem durch die Wurzel aufgelockerten und angehobenen Boden das Porenvolumen im Boden verbessern, sodass im Frühjahr in Versuchen bis zu 2 °C höhere Bodentemperaturen nach dem Anbau von Tiefenrettich gemessen worden sind. Die Wurzel des **Öllein** wächst sehr schnell auch in tiefere Bodenschichten ein. Wenn sie auf eine Verdichtung stößt, reagiert sie solange mit drehend, „bohrenden“ Bewegungen der Hauptwurzel, bis sie, auch kleinste Poren nutzend, die Verdichtung durchwachsen hat. Unterhalb der Verdichtung entwickelt sich dann auch das ausgedehnte Netz von Seitenwurzeln weiter. **Lupine** und **Luzerne** oder **Steinklee** wachsen ebenfalls bis zu 1,5 m tief und sind in der Lage Verdichtungen zu durchwachsen. Die Fähigkeit auch verdichtete Schichten mit den Wurzeln zu durchdringen und auch nach dem Absterben der Wurzel bzw. nach dem Umbruch Strukturen im Boden zu hinterlassen, erhöht das Infiltrationsvermögen des Bodens entscheidend. Die Infiltration beschreibt

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

die Geschwindigkeit, mit der eine bestimmte Menge Wasser pro Zeiteinheit im Boden versickern kann. Böden mit guter, stabiler Struktur sind in der Lage innerhalb von 24 Stunden 100 mm Wasser aufzunehmen. Bei zunehmender Gefahr durch Starkregen ist dies ein nicht zu vernachlässigender Aspekt im Gemüsebau.

Aber es gibt auch Einschränkungen, die beim Anbau von Gründüngung zu beachten sind: Es gibt zunächst einmal die bekannten ungünstigen Pflanzen im Rahmen einer Gemüsefruchtfolge, die vermieden werden sollten. Keine Kreuziferen wie Senf oder Ölrettich, bei einer Fruchtfolge mit Kohlgewächsen oder kein Anbau von Sonnenblumen als Zwischenfrucht vor dem Anbau von Salat, um nicht die Bildung von Dauersporen von *Sklerotinia* im Boden zu fördern. Auch beim Ramtillkraut ist hinsichtlich Sklerotien Vorsicht geboten.

Vorteilhaft für das Bodenleben bei schnellauflaufenden Pflanzen ist auch die sogenannte **Schattengare**. Regenwürmer gehen bei hohen Bodentemperaturen z. B. in unbeschatteten Böden in eine inaktive Ruhephase über oder sterben ab. Die Schattengare, die mit schnellwachsenden Gründüngungspflanzen erreicht werden kann, wirkt sich hier positiv aus. Ab Herbst, wenn Regenwürmer viel „Futter“ brauchen, bietet die sich zersetzende Gründüngung Nahrung und Grundstoff für den Aufbau von Humus und (regen)stabilen Krümeln (*Lombrizin*). Weitere positive Effekte ergeben sich durch die Förderung von Antagonisten pflanzenpathogener bodenbürtiger Krankheiten durch Gründüngung. Unter anderem fördern z. B. Wicken das Wachstum eines antibiotikabildenden Stammes von *Bacillus subtilis*. Auch altbekannte Mischungen, wie das Landsberger Gemenge, bestehend aus Weidelgras und Inkarntklee, haben durch die in den Wurzeln gebildeten Aminosäuren eine antibiotische Wirkung im Boden. Dies kann sich ebenfalls auf die Boden- und Pflanzengesundheit auswirken und somit zum Erfolg der nachfolgenden Kultur beitragen.

Gründüngungsmischungen, die eigens für die Konservierung von Stickstoff in z. B. Wasserschutzgebieten zusammengestellt worden sind, sind z. B. leguminosenfreie Saatgutmischungen. Handelt es sich um Saatgutmischungen, die im Winter abfrieren, dann sollten diese erst im Frühjahr eingearbeitet werden. Grundsätzlich sind nichtabfrierende Gründüngungspflanzen vorteilhaft, um Stickstoff zu konservieren und die z. B. im Fall von milden Temperaturen im Winter weiterwachsen und N aufnehmen können.

Um eine möglichst hohe Minderung des Nitratauswaschungspotenzials zu gewährleisten, sollte die Zwischenfrucht möglichst früh eingesät werden. So kann eine ausreichend lange Wachstumsperiode und damit eine ausreichende Stickstoffaufnahme gewährleistet werden. Nachteil einer frühen Zwischenfruchteinsaat z. B. im August, mit langer Wachstumszeit bis zum Herbst, könnte aber auch, je nach angebauter Zwischenfrucht, die Bildung von sehr viel organischer Substanz sein, die schwierig einzuarbeiten sein kann. Das Einarbeiten bei hohem Aufwuchs und ligninhaltiger Pflanzenmasse wird einfacher wenn vor dem Umbruch abgeschlegelt wird. Bei hohem Aufwuchs von Gräsern kann die Nutzung in einer Biogasanlage oder als Futter eine sinnvolle Feldabfuhr sein und Einarbeitungsprobleme ausschließen.

Auswahl geeigneter Zwischenfrüchte

Bezogen auf den Zwischenfruchtanbau müssen im Gemüsebau Arten ausgeschlossen werden, die in Gemüsefruchtfolgen auch nur ansatzweise ein Risiko darstellen können. So sind insbesondere im Kohlanbau zur Verminderung des Kohlherniebefalls alle Kreuzblütler als Zwischenfrucht auszuschließen. Auch Sklerotinia spielt bei zahlreichen Gemüse-, Gewürz- und Zierpflanzenkulturen eine wichtige Rolle. Sonnenblumen, Ramtillkraut, Perserklee, Alexandrinerklee, Sommerwicke und Futterraps sind potenzielle Wirtspflanzen für Sklerotinia und sollten daher als Zwischenfrüchte in für Sklerotinia anfällige Gemüsefruchtfolgen (vor allem Salate, Möhren, Bohnen, Erbsen, Chicorée, Petersilie, Endivie, Sellerie), wenn möglich, ausgeschlossen werden. Aus diesen Gründen ist das Spektrum geeigneter Zwischenfrüchte in Gemüsefruchtfolgen sehr überschaubar. Als fruchtfolgeneutral im Gemüseanbau gelten beispielsweise **Phacelia, Rauhafer, Buchweizen, Lein, Welsches Weidelgras, Englisches Raigras oder Grünroggen**. Bei Buchweizen ist unbedingt ein Aussamen im Herbst zu vermeiden, da Ausfallsamen im Frühjahr zum Keimen kommen können und wachsende Buchweizenpflanzen in der nachfolgenden Gemüsekultur mit zugelassenen Herbiziden schwer zu bekämpfen sind. Aufgrund des Satzanbaus im Gemüsebau werden die Flächen oftmals spät geräumt. Aus diesem Grund sind spätsaatverträgliche (Ende August bis Anfang/Mitte September) Arten wie Senf, Ölrettich, Phacelia, Roggen, Buchweizen (mit Einschränkung), Welsches Weidelgras und Winterrüben zu bevorzugen. Vor diesem Hintergrund sollte bei der Auswahl der Zwischenfruchtmischung bei späten Aussaatterminen unbedingt die darin enthaltenen Arten und deren Anteile berücksichtigt werden (Kivelitz 2017).

Zur **Auswahl von Zwischenfrüchten unter Berücksichtigung von Fruchtfolge und Saatzeit** hat die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen eine Broschüre herausgegeben:

http://www.riswick.de/versuche/pflanzenbau/zwischenfruechte/veroeffentlichungen/Zwischenfruechte_Fruchtfolgen.pdf.

Abzuwägen ist im Gemüsebau ob sich ein Gemisch oder eher die Aussaat einer einzigen Art am besten eignet. Zu den Eigenschaften der einzelnen Zwischenfrüchte hat die Landwirtschaftskammer einen „**Zwischenfruchtpass**“ herausgegeben:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/lwk-zwischenfruchtpass.pdf>.

Zur **Berechnung der Aussaatmenge** kann die App „Saatstärkenrechner Greening“ der Kammer sowohl im Google Play Store als auch im Apple App Store kostenfrei heruntergeladen werden:



► **Saatstärkenrechner Greening - App für Android laden**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.nrw.lwk.pflanzenbau>



► **Saatstärkenrechner Greening - App für iOS laden**

<https://itunes.apple.com/de/app/saatstarkenrechner-greening/id1001137447?l=de&ls=1&mt=8>

Zwischenfruchtmanagement

Die klimatischen Bedingungen sind in den vergangenen Jahren zunehmend extremer geworden. Die letzten Vegetationsperioden waren nach vereinzelt nassen Perioden (Jahr 2016) durch langanhaltende Trockenheit gekennzeichnet. Grundsätzlich muss die Entscheidung getroffen werden, ob für die betreffende Fläche eine Gründüngung in Frage kommt. Gründüngungen, die aufgrund des Endes der Vegetationsperiode oder der kurzen Standzeit in der Fruchtfolge kaum Wachstum und Stickstoffaufnahme zeigen, führen zu mehr N-Auswaschung und Erosion. Für sehr viele Zwischenfruchtmischungen gilt der 25.-28. August als letzter möglicher Aussattermin. Wenige Gründüngungen können aus wasserwirtschaftlicher Sicht (im Hinblick auf ausreichende N-Aufnahme während der Sickerwasserperiode) bei guten Voraussetzungen in Bezug auf Wetter und Bodenbedingungen bis Mitte Oktober gesät werden, wie z. B. Grünroggen.

Die Bodenvorbereitung hängt von den angebauten Zwischenfrüchten ab. Manche Arten und Mischungen brauchen keine besonders exakte Bodenvorbereitung. Andere, z. B. Phacelia, benötigen als Dunkelkeimer für eine ausreichende Keimung ein feinvorbereitetes Saatbett mit einer ausreichenden Bedeckung des Saatguts und anschließender Rückverfestigung des Saatbettes, um einen ausreichenden Bodenkontakt herzustellen. Hier muss bei der Aussaat bis Ende August/Anfang September wie bei einer Hauptfrucht vorgegangen werden. Hinterlässt die Vorfrucht viele Erntereste, diese zuvor abschleppen und flach einpflügen und anschließend grubbern. Sind nur wenig Erntereste vorhanden reicht unter Umständen auch eine Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber aus. Zur Saatbeetbereitung bei mittelschweren bis schweren Böden eine Kreiselegge (Gefahr der Verschlämmung bei schweren Böden beachten) oder Zinkenrotor nutzen, bei leichten Böden ist eine Federzahnegge empfehlenswert. Für die Aussaat möglichst schnell wachsende Gründüngungen (Kohlrübsen, wenn kein Kohl in der Fruchtfolge oder englisches Raigras) wählen. Der späteste Aussattermin ist einzuhalten (bspw. Phacelia 30.08., Buchweizen 05.09., Grünroggen 30.09.).

Die Aussatttiefe liegt für die meisten Zwischenfrüchte und Zwischenfruchtmischungen bei 2-3 cm Tiefe. Lediglich bei grobkörnigem Saatgut wie z. B. Ackerbohne muss tiefer, bis zu 5 cm, gesät werden. Bei sehr später Aussaat (Oktober-November) kann im Einzelfall eine Aussaat ohne vorherige Bodenbearbeitung von Grünroggen breitwürfig (per Düngerstreuer) geprüft werden. Als Geräte eignen sich Drillmaschinen mit möglichst kleiner Drillweite oder Krumennachsäger mit Saatgerätekombination. Um eine gute Keimung zu gewährleisten sollte eine minimale Saattiefe von 2 cm eingehalten werden und breitwürfige Saaten sind anzuwalzen. Bei Bedarf sollte die Aussaat bewässert werden, um ein gleichmäßiges Auflaufen zu ermöglichen. Bei Trockenheit kann auch die Bewässerung älterer Bestände sinnvoll sein. Bei längerer Standzeit sollte die Gründüngung ein- oder mehrmals gemulcht werden. Dies sollte möglichst spät im November oder Dezember erfolgen, alternativ kann angewalzt werden. Das Walzen lässt die Zwischenfrüchte sicher abfrieren, da durch eine Verletzung von Pflanzenzellen beim Walzen die Sensitivität der Pflanze für eine Frosteinwirkung steigt. Besonders im Herbst und zum ausgehenden Winter sind im bodennahen Bereich durch Früh- bzw. Spätfrost (Bodenfröste) die tiefsten Temperaturen in Bodennähe vorherrschend, da kühle Luft sich am Boden sammelt. Somit ist die angewalzte Zwischenfrucht den tiefen Temperaturen eher ausgesetzt und kann abfrieren. Je später im Herbst gemulcht oder angewalzt wird, desto besser wird das aufgenommene N für das nächste Jahr und die nächste Kultur konserviert. Das Mulchen erfolgt möglichst bei trockenem Wetter. Auf keinem Fall sollten „grüne Matten“ erzeugt werden oder das Mulchgut im Schwad abgelegt werden. Grundsätzlich ist anzumerken, dass ein „Umlegen“ der Kultur mit einer stumpfen Walze und ein Anquetschen der Stängel gegenüber scharfkantigen Walzen (Messerwalze) zu bevorzugen ist. Das Walzen kann z. B. mit Cambridge- oder Gitterwalze erfolgen. Wenn kleingehäckselte organische Masse eingearbeitet

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

werden muss, dann nur bei trockenem Wetter. Die grüne Masse sollte vor Einarbeitung etwas anrotten. Bei feuchtem Wetter sollte nur eine sehr flache Einarbeitung z. B. mit einer Kurzscheibenegge erfolgen.

Besser ist es jedoch, wenn das Kleinhäckseln und Einarbeiten der Gründüngung im Herbst in den Boden vermieden werden kann. Frische Gründüngung sollte generell nicht in den Boden eingearbeitet werden; die große Menge des freiwerdenden Pflanzensaftes hat einen negativen Effekt auf die Bodenbiologie, zudem geht im Winter durch Auswaschung wertvoller Stickstoff verloren.

Im Frühjahr sollte die Gründüngung in die obersten 10 cm des Bodens, z. B. mit einer Scheibenegge, eingearbeitet werden.

Viele Gründüngungspflanzen, die im Gemüsebau eingesetzt werden können, frieren sicher ab und bereiten daher im folgenden Frühjahr keine Probleme. Grundsätzlich ist zu sagen, dass blühende Pflanzen frostempfindlicher sind als Pflanzen, die noch nicht geblüht haben. Auch daher ist der Aussaattermin zum Beispiel bei Phacelia so früh zu wählen, dass die Vollblüte vor Einsetzen des Frostes erreicht ist. In den vergangenen Jahren ist es immer wieder vorgekommen, dass die Zwischenfrüchte den Winter bei milden Temperaturen überstanden haben und im Frühjahr dann eine sehr große organische Masse vor der ersten Kultur in den Boden eingebracht werden musste.

Soll eine überwinternde Zwischenfrucht genutzt werden z. B. als Futter (und damit N von der Fläche abgefahren werden), muss diese bis Mai stehen. Für die Nutzung als GPS (GanzpflanzenSilage für Biogas) können auch frühere Erntetermine in Frage kommen. Hierbei kann ein Großteil der gebundenen Nährstoffe abtransportiert/verkauft werden. Bei einer Futternutzung im Herbst ist eine N-Abfuhr von der Fläche auch vor Winter möglich.

Es sollten mindestens drei Wochen zwischen dem Einarbeiten der Zwischenfrucht und der Saat/Pflanzung der Folgekultur vergehen. Dies gewährleistet ein Umsetzen der Frischmasse zu pflanzenverträglichen Abbauprodukten und ermöglicht ein gutes Absetzen des Bodens. Natürlich ist dies auch abhängig von den übrigen Gegebenheiten. Nur bei schwerem, tonhaltigem Boden ist auch das Einarbeiten und Pflügen im Herbst anzuraten, da hier die Frostgare noch entscheidender ist. Etwa eine Woche vor der geplanten Grundbodenbearbeitung (Pflug/Grubber) sollte die Zwischenfrucht gemulcht werden, dann einige Tage gut anwelken lassen und ab dem 3.-4. Tag nach dem Mulchen flach in den Boden einarbeiten (Zinkenrotor, Kreiselegge oder fräsen). Beim Einarbeiten der Zwischenfrucht ist darauf zu achten, dass der Pflanzenaufwuchs nicht anaerob im Boden vergraben wird. Fehlerhaftes Einarbeiten führt zu Problemen bei Folgekultur.

Bei Pflanzung der Folgekultur ab Mai empfiehlt sich der Anbau einer winterharten Zwischenfrucht (ggfs. mit Nutzung). Bei Pflanzung einer Kultur im Frühjahr (März, April) ist eine abfrierende Zwischenfrucht besser zu managen.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 23: Mögliche Fruchtfolgestrategien mit Zwischenfrüchten (ZF) über drei Jahre

Form Zwischenfrucht	Erstkultur Jahr	Form Zwischenfrucht	Bodenbearbeitung und Folgekultur	Erstkultur Jahr
abfrierend ab Herbst	Brokkoli Ernte Mitte Aug.	Phacelia, Wick-Hafer-Gemenge, Aussaat sofort nach Ernte	Pflug ab Mitte Februar Beetfräse vor Salat	Salat, Frühanbau
nicht abfrierend ab Herbst	Salat Ernte bis Sept.	Grünroggen sofort nach Salaternte Aussaat sofort nach Ernte	Mulchen spät im Dez. Einarbeitung ab April	Anbau von z. B. Knollensellerie
nicht abfrierend ab Herbst	Salat Ernte bis Okt.	Keine Bodenbearbeitung/breitwürfige Saat von Grünroggen Aussaat sofort nach Ernte	Pflug ab Mitte Februar Beetfräse vor Salat	Salat, Frühanbau
60 Tage ZF Flächentausch	Blumenkohl Ernte bis Juni	Phacelia 60 Tage Anbau Salat auf Stoppelfeld (Flächentausch)	Aussaat Wintergetreide	
Jahr 1	Jahr 2		Jahr 3	

Bewertung zum Aufwand

Die Kosten für die Aussaat betragen ca. 140-230 €/ha + (1-1,4 Akh/ha). Zu beachten sind die hohen Opportunitätskosten bei möglichem Verzicht des Anbaus von späten Sätzen, bspw. Deckungsbeitrag 1.200-4.500 €/ha (bspw. Blumenkohl).

Bewertung zur Wirksamkeit und des N-Minderungspotenzials:

Nutzen beträgt: 10-100 kg N/ha. Dabei muss differenziert werden zwischen den einzelnen Zwischenfrüchten. Gemäß Düngeverordnung müssen z. B. für eine Zwischenfrucht mit Leguminosen für die nachfolgende Frucht zwischen 10-40 kg angerechnet werden, je nachdem ob der Umbruchtermin im Herbst oder im Frühjahr stattgefunden hat. Tatsächlich kann der Nutzen auch höher liegen.

Nach späten Sätzen realistisch bis max. 20-30 kg N/ha. Um das volle Einsparpotenzial ausschöpfen zu können, ist ein Räumen der Fläche bis Ende August notwendig.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 24: Bewertung des Zwischenfruchtanbaus aus der Literatur (Quelle: Dr. A. Kauka, LWK NRW)

Bezeichnung	Ganzjähriger Bewuchs (System Immergrün) Zwischenfrüchte, Untersaaten, Reihenbegrünung				
Erwartete Wirkung	Wirksamkeit: hoch - sehr hoch Umsetzbarkeit: gut				
Rahmenbedingungen	Kontrollierbarkeit: gut - sehr gut Akzeptanz der Bewirtschafter: hoch				
Erfassungsparameter	Hektar, Expertenbefragung				
	OSTERBURG u. RUNGE (2007)	UBA (2016)	BERG (2016)	HOLSTEN et al. (2012)	NLWKN (2015)
N- Reduzierungspotenzial kg N/ha (Mittel oder Spanne) Zwischenfrucht Untersaaten	20 (0 – 40) 0 - 15	20*	28	35 10	nach Getreide: 30 – 60 nach Kartoffeln: 50 – 80 nach Feldgemüse: > 100
Vorläufige Schätzung N-Minderungspotenzial (kg N/ha)	20				

Akzeptanz: gering-mittel

Eine Begrünung im Winter wird in vielen Gemüsebaubetrieben inzwischen durchgeführt. Die Aussaat erfolgt allerdings meist relativ spät. Zudem gibt es oftmals Bedenken die Zwischenfrüchte über den Winter stehen zu lassen. Wasserknappheit, Abtrocknen der Fläche, Management und Einarbeitung der Masse stehen einem möglichst schnellen Beginn der Neupflanzung im nächsten Jahr entgegen, dieses muss sich aber nicht ausschließen. Auf einen späten Satz kann aus ökonomischen Gründen oftmals nicht verzichtet werden, bei später Räumung macht eine Zwischenfrucht ökonomisch und ökologisch keinen Sinn mehr.

Sommerzwischenbegrünung

Statt einer Brachezeit von 8-10 Wochen während der Vegetationszeit ist es sinnvoll eine Sommerzwischenbegrünung zu säen.

In einem Versuch von 2010 mit mehreren Zwischenfrüchten und ZF-Gemischen hatten die Zwischenfrüchte viel Stickstoff aus dem Boden aufgenommen, sodass nur noch N-Gehalte unter 20 kg N/ha bis 90 cm verblieben waren. Die Brache hingegen wies N_{\min} -Werte von über 65 kg N/ha bis 90 cm auf (Lengerich und Rather 2014).

Tab. 25: Fruchtfolge mit Sommerzwischenfrucht

März	April	Mai	Juni	Juli	Augst.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
frühe Gemüsekultur			Sommerzwischen- frucht			späte Gemüsekultur			

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Die Sommerzwischenbegrünung hält Stickstoff in der oberen Bodenregion fest und hat positive Effekte auf die Bodenstruktur. Stickstoffverlagerungen in tiefere Bodenschichten durch Starkniederschläge werden vermieden. Für die nachfolgende Kultur muss dann unabhängig von den Verpflichtungen die sich aus der DüV ergeben, die aus den Ernteresten der ZF freigesetzte N-Menge berücksichtigt werden. Die Kosten (Saatgut und Arbeitsaufwand) für diese Maßnahme sind mit ca. 140-230 €/ha allerdings sehr hoch.

7.2. Zwischenreihenbegrünung

Bei einigen Gemüsekulturen, die in Reihen angebaut werden, lässt sich der „ungenutzte“ Bodenanteil eventuell begrünen. Problem dabei ist immer die **Konkurrenz um die Wachstumsfaktoren Nährstoffe, Licht und Wasser**. Durch ein verändertes Mikroklima könnten sich auch die Bedingungen für Krankheitsbefall ändern.

Bei einer Reihenkultur wie der Stangenbohne kann durch eine Begrünung der Zwischenreihe die Nitratauswaschung verringert werden. Darüber hinaus ist die Begrünung positiv für den Erosionsschutz. Sie fördert das Bodenleben und erhöht die Befahrbarkeit der Fläche und sorgt für saubere Erntekisten. Der Arbeitsaufwand und die Kosten müssen allerdings berücksichtigt werden.

Bereits mit Erfolg durchgeführt werden Zwischenreihenbegrünungen im Spargel. Bei dieser länger stehenden Reihenkultur müssen viele Faktoren genau betrachtet werden:

- Die Herbizidmaßnahme muss sich mit der Begrünung vertragen
- Die Begrünung muss den Boden ausreichend bedecken, um Unkraut zu unterdrücken
- Die Pflanzen dürfen nicht zu hochwachsen, da dadurch eine schlechtere Durchlüftung und Abtrocknung des Bestandes verursacht werden kann (Pilzbefall).

Auch hier ergibt sich ein Mehraufwand von ca. 200 €/ha. Außerdem ist für die Aussaat eine bestimmte Technik nötig, die nicht auf jedem Betrieb vorhanden ist. Vorteilhaft ist eine 60-80 cm breite selbstgebaute Egge mit an einen Schmalspurtraktor angebautem Säkasten.

7.3. Beregnung

Die Sicherstellung einer guten, vermarktbareren Qualität erfordert für die meisten Gemüsekulturen eine bedarfsgerechte Zusatzberegnung. Die Beregnungsgaben sind der Pflanzenart, dem jeweiligen Wachstumsstadium, der Bodenart und dem Klima anzupassen. Auf eine gleichmäßige Wasserverteilung und max. 20 mm pro Einzelgabe ist zu achten. Der Bodenwassergehalt sollte nicht über 80 % FK aufgefüllt werden, um das Risiko der Auswaschung zu reduzieren (Verwendung von Programmen zur Steuerung der Beregnung). Eine zu geringe Bewässerung kann wiederum zu einem reduzierten Ertrag führen. Versuche in der Pfalz zeigen, dass eine Reduzierung der Bewässerung auf 75 % der nach Geisenheimer Steuerung empfohlenen Werte, sowohl die N-Aufnahme der Kultur als auch den Ertrag reduzieren. Zusätzlich sollte das im Beregnungswasser befindliche NO_3^- bei der Düngung angerechnet werden. Eine Analyse des Beregnungswassers ist sinnvoll, um die N-Gabe, die durch Beregnung bis zum möglichen Kopfdüngungstermin ausgebracht wurde, in einer exakten Düngebedarfsermittlung zu berücksichtigen. Dies macht Sinn, sofern zweistellige N-Werte errechnet werden.

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 26: N-Eintrag kg/ha durch Beregnung in Abhängigkeit von Nitratkonzentration und Beregnungsmenge

Umrechnung von Beregnung zu N-Eintrag					
Konzentration im Wasser	Beregnungsmenge (mm)				
	10	50	100	150	200
mg Nitrat /L	kg N/ha				
10	0,2	1	2	3	5
20	0,5	2	5	7	9
30	0,7	3	7	10	14
40	0,9	5	9	14	18
50	1,1	6	11	17	23
60	1,4	7	14	20	27
70	1,6	8	16	24	32
80	1,8	9	18	27	36
90	2	10	20	30	41
100	2,3	11	23	34	45
110	2,5	12	25	37	50
120	2,7	14	27	41	54
130	2,9	15	29	44	59
140	3,2	16	32	47	63
150	3,4	17	34	51	68
160	3,6	18	36	54	72
170	3,8	19	38	58	77
180	4,1	20	41	61	81
190	4,3	21	43	64	86
200	4,5	23	45	68	90

7.4. Einarbeitung der Ernterückstände, Herbstbodenbearbeitung

Ein relativ spätes Zerkleinern von Ernterückständen, verbunden mit einer späten Einarbeitung, kann die mikrobielle Freisetzung von Nitrat zwischen Herbst und Frühjahr verringern. Kultur- und fruchtfolgespezifisch ist hier eine Prüfung des Zeitpunktes der Einarbeitung von Ernterückständen nötig, um phytosanitäre Probleme für die Folgekultur auszuschließen. Diese Maßnahme kann bei Flächentausch mit landwirtschaftlichen Betrieben auch in Kombination mit einer Prüfung des Verzichts auf Herbstbodenbearbeitung erfolgen. Die Bodenbearbeitung sollte generell möglichst flach erfolgen.

Versuche am Gemüsebaukompetenzzentrum in Gülzow zeigen zudem, dass eine reduzierte Bodenbearbeitung (Grubber, Strip-Till, Saatkombination und Grubber) auch im Gemüsebau bei einigen Kulturen (Weißkohl) bei gleichbleibenden Erträgen möglich ist. Dies erfordert allerdings eine entsprechende Umstellung des Anbausystems und ein angepasstes Management (Katroschan 2013). Gleiches wurde bei Versuchen in Stuttgart bestätigt (Übelhör et al. 2013)

8. Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen

Alle in dieser Broschüre genannten N-Minderungspotentiale sind Spannbreiten und stellen keine exakten Werte dar. Folglich können sie nicht aufaddiert werden.

Einige Gemüsekulturen hinterlassen auch bei bester Steuerung der N-Düngung und Anwendung aller pflanzenbaulichen Maßnahmen N-Mengen im Boden. Diese können bei sehr später Ernte im Herbst nicht sicher vor N-Auswaschung geschützt werden und stellen in der Herbstproduktion einen unvermeidbaren N-Verlust dar.

Eine einfache pauschale Bewertung als Übersicht ist hier als Beispiel eines Punktesystems in Form von zwei Tabellen (Bewertung Dünge- und Kulturmaßnahmen) dargestellt. Ein Punkt steht für eine Maßnahme, die über die gesetzlichen Anforderungen hinaus N-konserviert, N-Auswaschung reduziert oder eine genauere Dosierung des notwendigen Düngers und eine bessere Effizienz genutzter Düngemittel ermöglicht (pro Punkt etwa 15-50 kg N/ha).

Tab. 27: Punktesystem zur Bewertung von Düngemaßnahmen zur N-Optimierung im Gemüsebau

Maßnahme	Punktebewertung je Bewirtschaftungs- einheit (in ha)	Anmerkung
N_{min}-Probe vor N-Düngung	2 P*	
Berechnung von Grund- und Kopfdüngung mit N-Expert oder KNS-System	1 P	
Aufteilung der Düngung (Kopfdüngung)	1 P*	falls keine Kopfdüngung mehr nötig, da genug im N im Boden: Nachweis zur Absicht der Düngenaufteilung ist eine Startdüngung von max. 2/3 der N-DBE
Reihendüngung	1 P*	d. h. Aussparung von Fahrgassen, auch mit Kastenstreuer
Einsatz stabilisierte Dünger	1 P*	
Organische Düngergaben wenn N-Bedarf ≥ 25 kg N/ha	1 P	

* bei mehrfacher Anwendung innerhalb einer Bewirtschaftungseinheit werden die Punkte jeweils aufsummiert

Allgemeine Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz

Tab. 28: Punktesystem zur Bewertung von Kulturmaßnahmen zur N-Optimierung im Gemüsebau

Maßnahme		Punktebewertung je Bewirtschaftungseinheit (in ha)
Fruchtwechsel Tiefwurzler (90 cm) nach Flachwurzlern		1 P
Getreide/ Mais nach Gemüse		1 P
Zwischenfruchtaussaat	bis 15.09.	2 P
	bis 15.10.	1 P
Zwischenfruchtumbruch erst ab 15.03.		2 P
langsame und lange Kulturentwicklung	6-7 Kulturwochen	0 P
	8-11 Kulturwochen	1 P
	> 12 Kulturwochen	2 P
Wurzeltiefe	60 cm	1 P
	> 90 cm	2 P
Erntereste bis 20 kg N/ha zur letzten Kultur		1 P
Anrechnung des N im Aufwuchs laut DüV für Folgekultur, wenn < 50 % der Normalernte		1 P
50 % mehr N als in DüV vorgegeben aus Pflanzenresten für Folgekultur anrechnen (mindestens 20 kg N/ha)		1 P
niedriger N_{min}-Rest zu Kulturende zur letzten Kultur	51-80 kg N/ha	1 P
	31-50 kg N/ha	2 P
	< 30 kg N/ha	3 P

9. Kulturdatenblätter

Viele der im allgemeinen Teil der Broschüre (Kapitel 3-8) genannten Maßnahmen lassen sich unabhängig von der Kultur immer einsetzen, um die Stickstoffeffizienz bei der Düngung zu verbessern. Im Folgenden sind diese Maßnahmen aufgelistet:

1	Düngebedarfsermittlung
2	Nmin-Bodenprobe
3	Stickstoffschnelltest Boden
4	Analysen Makro- und Mikronährstoffe
5	aktuelle Analysen organischer Düngemittel
6	plazierte Düngung
7	Sortenwahl
8	optimierte Berechnung
9	Herbstzwischenfrucht

Bei einigen Maßnahmen ist der Erfolg abhängig von der Kulturdauer (siehe Tab. 29: Kulturdauer von Gemüsearten (nach Feller et al. 2011)), der N-Aufnahme, der Durchwurzelungstiefe (siehe Tab. 30), dem N-Gehalt der Erntereste und der Fruchtfolge, die in dem jeweiligen Betrieb aufgrund von Liefer- und Absatzstruktur, dem Anbauspektrum und dem Anbau wirtschaftlich sinnvoll ist.

Tab. 29: Kulturdauer von Gemüsearten (nach Feller et al. 2011)

6-7 Kulturwochen	8-11 Kulturwochen	> 12 Kulturwochen
Dill , Standard	Blumenkohl , Standard; Früh	Brokkoli , Früh
Feldsalat , Standard	Brokkoli , Standard	Chicorée ,
Kohlrabi ,	Buschbohne ,	Standard; Frühe Treiberei
Standard; Knollen Ø > 12 cm	Handernte und Industrie	Chinakohl ,
Petersilie ,	Chinakohl ,	gesät , Herbst
Blatt- , gepflanzt, Früh, bis 1.	gepflanzt ,	Grünkohl ,
Schnitt; nach einem Schnitt	Standard; Früh; Herbst	Handernte, Blatt;
Radies , Bund , Früh; Herbst	gesät , Standard	Maschinelle Ernte
Rettich ,	Feldsalat ,	Gurke , Einleger
Bund , Deutsch , Japanisch	Früh; Herbst	Standard; gepflanzt; starker
Standard	Überwinterung	Aufwuchs
Rucola ,	Knollenfenchel ,	Knollenfenchel ,
Feinware	gepflanzt , Standard; Herbst	gepflanzt , Früh
Grobware , April; Mai	Kohlrabi ,	gesät , Standard; Herbst
Salat ,	Früh; Herbst	Kürbis , Standard
Baby Leaf , Früh	Markerbse ,	Markerbse ,
Eissalat , Früh; Herbst	Reifegruppe früh – mittelfrüh	Reifegruppe mittelspät – spät
Endivien , Frisée , Früh	Rettich ,	Möhren ,
Endivien , glattblättrig	Bund , Deutsch , Japanisch	Bund- ; Wasch- ; Industrie
Kopfsalat , Früh	Früh; Herbst	Pastinake , Standard
Radicchio	Rotkohl , schnell wachsend	Petersilie ,
Romana , Früh; Herbst	Rucola ,	Blatt- ,
Zuckerhut		

Kulturdatenblätter

<p>Speiserüben, Mairüben (mit Laub)</p> <p>Spinat, Frischmarkt, Standard</p> <p>Blattspinat, Standard; Herbst</p> <p>Industrie, Hackspinat Standard</p>	<p>Grobware, Früh; Herbst</p> <p>Salat, Baby Leaf, Früh</p> <p>Eissalat, Früh; Herbst</p> <p>Endivien, Frisée, Früh</p> <p>Endivien, glattblättrig</p> <p>Kopfsalat, Früh</p> <p>Radicchio Romana, Früh; Herbst</p> <p>Zuckerhut</p> <p>Sellerie, Bund</p> <p>Speiserüben, Teltower Rübchen</p> <p>Spinat, Blattspinat, Früh</p> <p>Industrie, Hackspinat Früh und Herbst</p> <p>Überwinterung</p> <p>Weißkohl, Frischmarkt, schnell wachsend</p> <p>Wirsing, schnell wachsend</p> <p>Zwiebel, Bund, Standard</p>	<p>Standard, bis 1. Schnitt; Früh, bis 1. Schnitt</p> <p>Überwinterung</p> <p>Wurzel-</p> <p>Porree, gepflanzt, Standard; Früh; Herbst und Winter</p> <p>Überwinterung gesät, Standard</p> <p>Rhabarber</p> <p>Rosenkohl</p> <p>Rote Rüben, Standard; Baby Beet; Bund</p> <p>Rotkohl, mittelschnell und langsam wachsend</p> <p>Schnittlauch, gesät, bis 1. Schnitt</p> <p>gepflanzt, bis 1. Schnitt</p> <p>Anbau für Treiberei</p> <p>Schwarzwurzel, Standard</p> <p>Sellerie, Knollen</p> <p>Sellerie, Stangen</p> <p>Spargel</p> <p>Stangenbohne, Standard</p> <p>Weißkohl, Frischmarkt, mittelschnell bis langsam wachsend</p> <p>Industrie</p> <p>Wirsing, mittelschnell bis langsam wachsend</p> <p>Zucchini</p> <p>Zuckermais</p> <p>Zwiebel, Bund, Früh</p> <p>Überwinterung</p> <p>Trocken</p> <p>Überwinterung</p>
---	---	---

(< 6 Kulturwochen: Radies, Standard (5 KW); Rucola, Sommer (4 KW), Salate, Baby Leaf (5 KW); Salate, Blatt-, grün und rot, Standard (5 KW); Salate, Kopfsalat (5 KW); Salate, Romana Herzen (5 KW); Schnittlauch; nach einem Schnitt (4 KW); Spinat, Frischmarkt, Babyleaf- (5 KW))

Tab. 30: Durchwurzelungstiefen von Gemüsekulturen (nach DüV)

30 cm	60cm	90 cm
Dill	Blumenkohl	Chicoréeerüben
Erdbeeren	Brokkoli	Möhren, Industrie
Feldsalat (15 cm!)	Buschbohnen	Rhabarber,
Gurke, Einleger	Chinakohl	3. Standjahr nach Ernte
Kohlrabi	Gemüseerbse	ab 4. Standjahr
Mairüben (mit Laub)	Grünkohl	Rosenkohl
Radies	Knollenfenchel	Schwarzwurzel
Rettich, Bund-	Kürbis	Spargel, ab 2. Standjahr
Rhabarber,	Möhren, Bund-	Weißkohl, Industrie
1. Standjahr	Möhren, Wasch-	Zuckermais
2. Standjahr Austrieb	Pastinake	
Rucola	Petersilie, Blatt-	
Salate,	Petersilie, Wurzel-	
Baby Leaf Lettuce	Porree	
Blatt-, rot und grün	Rettich, deutsch	
Eissalat	Rettich, japanisch	
Kopfsalat	Rhabarber,	
verschiedene Arten	3. Standjahr Austrieb	
Romana Herzen	2. Standjahr nach Ernte	
Sellerie, Bund-	Rote Rüben	
Sellerie, Stangen-	Rotkohl	
Spinat	Salate,	
Zwiebel, Bund-	Endivien	
	Radicchio	
	Romana	
	Zuckerhut	
	Schnittlauch	
	Sellerie, Knollen-	
	Spargel, 1. Standjahr	
	Stangenbohne	
	Teltower Rübchen	
	Weißkohl, Frischmarkt	
	Wirsing	
	Zucchini	
	Zwiebel, Trocken-	

Der Einsatz von Zwischenfrüchten richtet sich nach der Fruchtfolge, der Bodenart, aber auch nach dem Anbauzeitpunkt (Früh, Sommer, Herbst) oder genauer dem Erntezeitpunkt des Gemüses.

Im Folgenden werden Gemüsekulturen zunächst grob eingeteilt und geeignete Maßnahmen beschrieben, die für verschiedenen Kulturgruppen (z. B. Kohlgemüse, Salate) geeignet sind.

Kulturdatenblätter

Anschließend wird in nachfolgenden Unterkapiteln auf jeweils Steckbriefe einzelner Kulturen unter Berücksichtigung typischer Anbauzeitpunkte und darauf basierenden möglichen Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz bei der Düngung fokussiert.

Für die Auswahl von Maßnahmen mit möglichst hoher Wirkung um N-Verluste zu minimieren dient die folgende Tabelle.

Tab. 31: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für die jeweilige Kultur

	<i>hoch bis zur Ernte</i>	<i>vermindert- kurz vor der Ernte</i>	<i>vermindert im letzten Kul- turdrittel</i>	
N-Aufnahme	++	+	/	
	< 2 Monate	2-4 Monate	> 4 Monate	
Kulturdauer	++	+	/	
	< 15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 90 cm
Wurzeltiefgang	+++	++	+	/
	<50 kg	50-80 kg	80-100 kg	>100 kg
N im Ernte- rest**	/	+	++	+++

**Abernte beachten, N-Reste können auch bei Kulturen mit normalerweise wenig Ernteresten hoch sein, wenn die Abernterate niedrig war.

+++ Sehr hoher Handlungsbedarf Wasserschutzmaßnahmen durchzuführen

++ Hoher Handlungsbedarf Wasserschutzmaßnahmen durchzuführen

+ Handlungsbedarf Wasserschutzmaßnahmen empfohlen

/ Handlungsbedarf Wasserschutzmaßnahmen im Einzelfall prüfen

Für viele schnell wachsende Kohlarten wie Blumenkohl, Brokkoli oder Spitzkohl trifft das unten dargestellte Schema zu.

Tab. 32: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Kopfkohl

	<i>hoch bis zur Ernte</i>	<i>vermindert- kurz vor der Ernte</i>	<i>vermindert im letzten Kul- turdrittel</i>	
N-Aufnahme	++	+	/	
	< 2 Monate	2-4 Monate	> 4 Monate	
Kulturdauer	++	+	/	
	< 15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 90 cm
Wurzeltiefgang	+++	++	+	/
	<50 kg	50-80 kg	80-100 kg	>100 kg
N im Ernterest	/	+	++	+++

Kulturdatenblätter

Die oben genannten Kopfkohle zeigen eine verminderte N-Aufnahme kurz vor der Ernte. Die langsam wachsenden Kulturen benötigen nur 20 kg N/ha Mindestvorrat zum Kulturende. Durch die lange Standzeit ergeben sich Möglichkeiten die Düngung in mehr als eine Grunddüngung und eine Kopfdüngung zu unterteilen.

Folgende zusätzliche Maßnahmen wären hier sinnvoll:

10	Schnelltest Pflanzensaft
11	Geteilte Düngegabe mit Kopfdüngung und weitere N _{min} -Probe
12	Stabilisierte Dünger: Entec, Kalkstickstoff etc.
13	Cultan-Verfahren
14	Düngefenster evtl. in Kombination mit Chlorophyllmessungen
15	Nachbau Sommerzwischenfrucht
16	Nachbau starkzehrendes Gemüse
17	Nacherntemanagement

Bei Chinakohl und Grünkohl liegen die Stickstoffgehalte in den Ernteresten unter 100 kg N/ha, bei maschineller Grünkohlernte nur bei 35 kg N/ha.

Bei Kohlrabi ist die Kulturzeit deutlich kürzer und der Stickstoffgehalt in den Ernteresten liegt deutlich unter 50 kg N/ha. Die Durchwurzelungstiefe liegt bei 30 cm. Hierdurch eignen sich für diese Kultur ähnliche Maßnahmen, wie sie im Salatanbau sinnvoll sind.

Tab. 33: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Kohlrabi

	<i>hoch bis zur Ernte</i>	<i>vermindert kurz vor der Ernte</i>	<i>vermindert im letzten Kul- turdrittel</i>	
N-Aufnahme	++	+	/	
	< 2 Monate	2-4 Monate	> 4 Monate	
Kulturdauer	++	+	/	
	< 15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 90 cm
Wurzeltiefgang	+++	++	+	/
	<50 kg	50-80 kg	80-100 kg	>100 kg
N im Ernterest	/	+	++	+++

Für die meisten Salatarten außer Feldsalat trifft ein ähnliches Schema zu. Nur die N-Aufnahme bleibt bis zur Ernte hin hoch. Dadurch muss der Mindestvorrat zum Kulturende 40 kg N/ha liegen.

Kulturdatenblätter

Tab. 34: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Salate

	<i>hoch bis zur Ernte</i>	<i>vermindert kurz vor der Ernte</i>	<i>vermindert im letzten Kul- turdrittel</i>	
N-Aufnahme	++	+	/	
	< 2 Monate	2-4 Monate	> 4 Monate	
Kulturdauer	++	+	/	
	< 15 cm	15-30 cm	30-60 cm	> 90 cm
Wurzeltiefgang	+++	++	+	/
	<50 kg	50-80 kg	80-100 kg	>100 kg
N im Ernterest	/	+	++	+++

Weitere und leicht abgeänderte zusätzliche Maßnahmen für den Anbau von Kohlrabi und Salatarten sind daher sinnvoll (Ausnahme hier Fertigation: (noch) nicht wirtschaftlich):

10	Schnelltest Pflanzensaft
12	stabilisierter Dünger: Entec, Kalkstickstoff etc (<i>leichter Boden</i>)
14	Düngefenster
18	Anbau nach räumender Kultur
19	Auswahl Düngemittel: schnelle Verfügbarkeit
20	Fertigation

Da die Kultur nur einen Wurzelraum bis 30 cm Bodentiefe erschließt, könnten Stickstoffverluste minimiert werden, wenn eine Vorkultur den Stickstoff in den tieferen Bodenschichten „leerräumt“ und in der Fruchtfolge ein Nachbau von Salat nach Salat möglichst vermieden wird. Geeignete Vorkulturen lassen sich der Tab. 30: Durchwurzelungstiefen von Gemüsekulturen (nach DüV) entnehmen.

9.1. Blumenkohl (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)

Blumenkohl (früh)

I Anbauform:

Pflanztermin: März-April, unter Folie

Erntetermin: Ende Mai-Juni

Zu erwartendes Ertragsniveau: 250-400 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 350 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 300 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Entscheidungshilfe Bestandesdichte:

- bis 40.000 Pfl./ha (50x50 cm Pflanzabstand) bei 8er möglich
- max. 30.000 Pfl./ha bei Produktionsziel 6er Blumenkohl ansonsten hohes N-Angebot erforderlich (Probleme mit dem Decken möglich)

Ermittlung des Düngebedarfs:

- Für einen frühen Satz (erster Gemüsesatz auf der Fläche im Anbaujahr) ist ein Richtwert für den N_{\min} -Wert im Boden ausreichend. Es ist keine verbindliche Bodenprobe erforderlich.

- **Entscheidungshilfe Richtwert oder Analyse**

Mögliche Argumente für eine freiwillige N_{\min} -Analyse

- schwerer Boden
- besonders hohe oder niedrige Temperaturen im Frühjahr
- besonders hohe oder niedrige Niederschläge im vorherigen Winter und im Frühjahr
- Umbruch Zwischenfrucht bis Februar
- langjährige organische Düngung
- organische Düngung Vorjahr
- Humusgehalt über 2,5 %

- **Entscheidungshilfe: 20 kg N/ha Zuschlag zur tatsächlichen Düngung**

Nach DüV ist für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, ein Zuschlag zu den Stickstoffbedarfswerten von 20 kg N/ha möglich und generell im kalten Frühanbau auch sinnvoll.

Unter folgenden Bedingungen kann die tatsächlichen Düngung ohne den Folienzuschlag erfolgen, da unter den genannten Voraussetzungen mit einer höheren N-Nachlieferung des Bodens zu rechnen ist:

- stark humoser Sandboden
 - sehr hohe Temperaturen im Frühjahr (Februar März mehr als 2 °C über langjähriges Mittel) und mehreren sonnigen Tage mit Werten über 10 °C/tagesmaximal ohne Frostunterbrechung

Entscheidungshilfe Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

- Im Frühanbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen, insgesamt ist wenig Erfahrung vorhanden
- Anbau nach im Vorjahr früh gesäter Zwischenfrucht mit hohem Aufwuchs und früher Einarbeitung (Februar bei Märzpflanzung) wird empfohlen.

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge auf Grund der Stickstoffnachlieferung aus den Blumenkohlernteresten nach DüV für die Folgekultur: 80 kg N/ha, die im Verlauf von ca. 10 Wochen freigesetzt werden
- Die tatsächliche N-Freisetzung hängt ab von Witterungsbedingungen, Grad der Zerkleinerung der Erntereste, Bodenart, pH-Wert und Bodenleben. Unter günstigen Bedingungen ist daher auch eine höhere N-Freisetzung möglich.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich um eine Gemüsekultur handelt. Weitere Hinweise dazu in der Entscheidungshilfe Fruchtfolge.

Entscheidungshilfe: Düngebedarfsermittlung für satzweisen Anbau

Es ist möglich, eine DBE für den satzweisen Anbau mit 6 Wochen Gültigkeit zu erstellen. Bei wöchentlicher Pflanzung von März in den April oder von Anfang April bis in den Mai hinein ist bei warmer Witterung von einer erhöhten N-Nachlieferung des Bodens innerhalb dieses Zeitraums auszugehen was bei der tatsächlichen Düngung beachtet werden sollte.

Reduzierung der Düngung einzelner Sätze bei einer deutlichen Erhöhung der Temperatur (Bodentemperatur) zwischen den einzelnen Pflanzterminen.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie: Düngung nach dem KNS-System

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen frühen Anbausatz ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	107*	107 N _{min} -Richtwert	30
5. KW	Kopfdüngung	284 *	284 kg N/ha – N _{min}	60
Gültigkeitsbereich der Richtwerte bis ca. 27 bis 30 Tausend Pflanzen ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt Aufwuchs 800 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 251 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 350 dt ha ⁻¹ *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung ist durch die Vliesabdeckung im Frühanbau teuer (ca. 200 €/ha für Auf- und Abdecken). Dies kann aber besonders im warmen Frühjahr und auf organisch gedüngten Böden oder Böden mit hohem Humusgehalt sinnvoll sein.

Entscheidungshilfe: Bodenprobe vor Kopfdüngungstermin

Eine Bodenprobe bedeutet eine zusätzliche Vliesabnahme einige Tage vor Düngetermin und lohnt sich ökonomisch nur, wenn die Fließabnahme wegen anderen Kulturmaßnahmen ohnehin notwendig ist und die Probenahme zeitlich flexibel je nach Abnahmetermin erfolgen kann (i. d. R. selbstständige Probenahme durch Betrieb, derart kurzfristige Absprache mit Probenehmern nur selten möglich)

Erfolgt die Kopfdüngung schon in der 3. Kulturwoche mit Kalkstickstoff, liefert eine Bodenprobe keinen Mehrwert, zudem können übrige Düngekörner der Grunddüngung das Ergebnis verfälschen.

Einsatz von Kalkstickstoff als Kopfdüngung

Wird Kalkstickstoff eingesetzt, ist zu beachten, dass die Kulturpflanzen (2-3 Wochen nach Pflanzung) gut angewachsen sein müssen. Der Einsatz unter Vlies stellt kein Problem dar. Das Vlies sollte nach Möglichkeit bis zum Morgen des Folgetages aufgedeckt sein. Bei Blumenkohl sind 300 kg/ha Kalkstickstoff bei Kopfdüngung empfohlen = 60 kg N/ha (Näheres unter: www.kalkstickstoff.de). Wichtig hierbei ist der Einsatz eines Exaktstreuers. Auf einem für den Blumenkohl eher ungeeigneten reinen Sandboden ist von Kalkstickstoff abzuraten (Wurzelverbrennungen möglich). Die Grunddüngung (abzüglich der Kalkstickstoffdüngung) kann hier als 50 % stabilisiert/50 % nicht stabilisiert erfolgen.

Einsatz ammoniumhaltiger Düngemittel

Ammonium- und harnstoffhaltige Dünger sollten nach der Ausbringung eingearbeitet oder eingeregnet werden, um Ammoniakverluste zu reduzieren und um im Frühanbau bei Abdeckung (Doppelabdeckung, Vlies und Lochfolie) Blattverbrennungen durch freiwerdendes Ammoniak zu verhindern (Neuweiler 2011).

Einsatz stabilisierter Dünger

In Versuchen in der Schweiz mit einer Frühkultur Blumenkohl lagen sämtliche Verfahren mit einmalig ausgebrachtem polymerumhülltem Harnstoff (Typ Agro-Tardit) auf gleichem bis leicht höherem Ertragsniveau als das Standardverfahren mit drei Kalkammonsalpeter-Gaben (Neuweiler 2007).

Eine Einmaldüngung mit z. B. Entec26 zur Pflanzung ist ohne Ertragseinbußen möglich. Allerdings sollte aufgrund der eher langen Entwicklungsdauer beim Einsatz von ENTEC-Düngern eine Verteilung der N-Düngermenge in zwei Gaben erfolgen (Neuweiler 2007).

Im Folienanbau ist dies gegenüber der Standarddüngung bei nasser Witterung zu empfehlen (Maync 2001). Es wird ein Arbeitsgang der Vliesabdeckung/Kopfdüngung eingespart. Im Frühanbau hat es sich auf schweren Boden zudem bewährt, die Hälfte der N-Düngung in stabilisierter Form (z. B. Entec), die andere Hälfte in schnell verfügbarer Form (z. B. KAS, NK-Dünger) zu düngen.

Wird ein Ammonium-stabilisierter N-Dünger eingesetzt (z. B. Entec26) ist vor einer Folgedüngung neben dem Nitrat- auch der Ammonium-Bodenvorrat zu messen.

Reihendüngung

Ein per Reihendüngung ausgebrachter N-Dünger kann die N-Effizienz erhöhen. Für die Sicherstellung eines guten Anwachsens muss eine hohe N-Menge zur Pflanzung aber direkt verfügbar sein. Es empfiehlt sich einen Teil der N-Grunddüngung breitwürfig auszubringen. Zur Einarbeitung kann eine Kombination aus Reihendüngerstreuer und Kreiselegge genutzt werden. Versuche zu Unterfußdüngung laufen in der Landesinitiative der LWK NRW und auf WRRL-Modellbetrieben. Ein Beratungskonzept wird auf Basis der Erfahrungen aktuell erarbeitet.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{\min} -Probe auch eine Messung des Nitratgehaltes der Pflanze mittels Nitrathek eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei frühem Blumenkohl in der 4. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 9.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 7. Kulturwoche auf 6.000 ppm absinken. Liegen die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert ist eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha zu empfehlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Der Anbau sollte möglichst nach einer vorhergehenden organischen Düngung (z. B. Festmist/Champost im Frühjahr) oder frisch umbrochenen Winterzwischenfrucht erfolgen. Blumenkohle stehen in erster Tracht (Lattauschke und Laber 2002), als Gemüsevorfrucht ist Winterporree möglich.

Als Nachfrucht ist ein stark zehrendes Gemüse (z. B. ein 2. Satz Blumenkohl, Herbstporree) geeignet. Ein Nachbau von Salat ist möglich, aber wegen der hohen N-Menge nicht ohne erhöhtes Fäulnisrisiko (Vogel 1996). Der Nachbau von Spinat, Chicorée oder Möhren sollte möglichst unterbleiben (Lattauschke und Laber 2002). Wenn Anbau und Absatzplanung es zulassen möglichst eine Kultur mit einer Standzeit von ca. 10 Wochen wählen, kurzstehende flachwurzelnde Kulturen mit wenig N-Bedarf möglichst vermeiden.

Entscheidungshilfe: Fruchtfolge

→ Wann sollten N_{\min} -Probe und Bodenbearbeitung für die Folgekultur erfolgen?

- Kulturzeit der Folgekultur weniger als 5 Wochen: möglichst direkte Bodenbearbeitung, Brachzeit von möglichst 4 Wochen, dann nach N_{\min} -Probe Bedarfsermittlung durchführen. Bei Bedarfsermittlung kann Nachlieferung der Vorkultur dann um 2/3 reduziert werden.
- Kulturzeit der Folgekultur mehr als 8 Wochen und direkte Neupflanzung kurz nach Blumenkohlernte: schnelle N_{\min} -Probe vor Ernteende und vor Bodenbearbeitung

→ Wie viel Stickstoff wird für die Folgekultur wahrscheinlich verfügbar?

- Kulturzeit der Folgekultur mehr als 10 Wochen (z. B. Herbstporree): 80-100 kg N/ha aus den Ernteresten verfügbar
- bei schlechter Abernte (50-70 %) ca. 100 kg N/ha aus der N-Nachlieferung der Erntereste für die Folgekultur kalkulieren; bei Totalausfall (< 50 %) mit ca. 120 kg N/ha kalkulieren

Zwischenfrüchte:

Ende Mai bis Juni kommen verschiedene Stoppelsaaten (Voraussetzung > 70-100 Wachstumstage) in Frage, darunter auch Leguminosen (Lupinen, Perserklee). Beim Einsatz von Leguminosen ist allerdings Vorsicht in Bezug auf die Stickstoffbilanz geboten. Nach Blumenkohl ist eine Andüngung der Zwischenfrucht nicht notwendig, da nicht notwendig und nach Düngeverordnung verboten. Weitere Möglichkeiten wären Phacelia, Ramtillkraut oder Grünroggen, besonders Grünroggen hat ein sehr hohes N-Aneignungsvermögen. In trockenen Jahren ist Rauhafer ein sinnvoller Mischungspartner. Auch Weidelgras mit Abfuhr/Futternutzung kann die N-Effizienz der Fruchtfolge deutlich verbessern.

Entscheidungshilfe: Zwischenfrucht

Wenn frühe Ernte und Anbau einer sehr späten Folgekultur (z. B. Winterporree, Winterweizen) kann eine Sommerzwischenfrucht sinnvoll sein. Umbruch und Einarbeitung dann möglichst früh und schnelle Aussaat der ZF, diese sollte zwei Monate stehen.

Blumenkohl (Sommer/ Standard)

I Anbauform:

Pflanztermin:	Mai-Juni
Erntetermin:	Juli-September

Entscheidungshilfe: Bestandesdichte:

- 30.000 Pfl./ha (65x50 cm) bei 8er möglich.
- max. 27.000 Pfl./ha (75x50 cm) bei 6er-Blumenkohl, ansonsten zu hohes N-Angebot erforderlich (Probleme mit dem Decken möglich)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 300-400 dt/ha Frischmasse; 350 dt/ha Mittel Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 350 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 300 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- N_{\min} -Bodenprobe verpflichtend, wenn als Vorkultur Gemüse angebaut wurde
- bei Erstkultur Verwendung eines Richtwerts möglich, aber Bodenprobe empfehlenswert
- die N-Menge aus Ernterückständen der Vorkultur bei DBE berücksichtigen

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Analyse ab Juni immer bevorzugen

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

- Im Sommeranbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen.
- Bodenprobe zur Abschätzung der notwendigen Kopfdüngungsmenge (nach KNS-System) kann auf Einzelschlägen hohes N-Einsparungspotential bringen

Entscheidungshilfe: Düngebedarfsermittlung für satzweisen Anbau

Es ist möglich, eine DBE für den satzweisen Anbau mit 6 Wochen Gültigkeit zu erstellen. Bei wöchentlicher Pflanzung gilt als Faustwert ab Mitte Mai 5 kg N/ha und Woche Versatz einmalig pro Pflanzung für die N-Mineralisierung bei der Düngung abzuziehen.

Nutzung einer angepassten N-Düngestrategie zur N-Reduzierung: Düngung nach dem KNS-System

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen Sommersatz ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollten eine Bodenanalyse vor der Grunddüngung und eine Bodenanalyse vor dem Kopfdüngungstermin erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N /ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	91*	91-N _{min}	30
3. KW	Kopfdüngung	286*	286 kg N/ha -N _{min}	60
Aufwuchs 800 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 251 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 350 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung ist im Sommeranbau unbedingt zu empfehlen.

Entscheidungshilfe: Bodenprobe vor Kopfdüngungstermin

- Eine N_{min}-Probe zur Kopfdüngung zur Bemessung der 2. N-Gabe kann die N-Effizienz deutlich erhöhen.
- Bodenprobe jedoch nur sinnvoll, wenn der Dünger der Startdüngung bereits umgesetzt ist (in der Regel 2-3 Wochen nach Startdüngung)

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

- Sinnvoll, kann in Kombination mit N_{min}-Proben hohe Einsparung gegenüber DBE bringen, ohne N_{min}-Probe Einsparungen von 5 % (0-max. 10 %) gegenüber DBE möglich. Genaue Kenntnis der N-Nachlieferung der Fläche erhöht Nutzen von N-Expert.
- Bei Blumenkohl ist neben dem Pflanztermin die Information zur erwarteter Kulturdauer und Abschätzung der Pflanzenentwicklung z. B. bei Trockenheit oder Hitze (Verzögerung der Veronalisation) wichtig für eine genaue Prognose.

Schwefel-und Bordüngung

Besonders auf ausreichende Schwefel- und Borversorgung achten.

Zur Sicherstellung der Schwefelversorgung kommt unter anderem eine Kaliumgabe als Kaliumsulfid, S-haltige N-Dünger (SSA, ASS) oder flüssige Dünger (z. B. ASL, ATS) in Frage.

Einsatz von Kalkstickstoff

Kalkstickstoff kann ein bis zwei Wochen vor Pflanzung eingesetzt werden und sollte ca. 5 cm tief eingearbeitet werden. Es werden 400 kg/ha empfohlen, was einer Düngung von 80 kg N/ha entspricht. Die Kopfdüngung (Abzüglich der Kalkstickstoffdüngung) kann als Einmaldüngung (nicht stabilisiert) erfolgen.

Einsatz stabilisierter Dünger

Stabilisierte Dünger nur bei Sicherstellung einer ausreichend hohen Bodenfeuchte (Beregnung) einsetzen. Im Sommeranbau nur in nasseren Jahren sinnvoll.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{\min} -Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei Sommerblumenkohl in der 2. und 3. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 9.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 6. Kulturwoche auf 6.000 ppm absinken. In der 7. Kulturwoche sind 4.000 ppm optimal und in der 8. Kulturwoche liegt der Wert bei 3.000 ppm. Liegen die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so sollten 60 kg N/ha gedüngt werden (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Gute Vorfrüchte von (Sommer-)Blumenkohl sind Leguminosen, Frühkartoffeln (Ernte Anfang Juni), Sommerporree (Ernte im Juni), frühe Salatsätze unter Folie/Vlies (Ernte ab Mai) und frühe Möhren (Ernte im Juni).

Im Nachbau Gemüse nur dann, wenn durch die hohe Stickstoffnachlieferung keine Beeinträchtigungen (Nitratanreicherung, Überdüngung) zu erwarten sind. Ein Nachbau von Salat ist möglich (Vogel 1996). Ein Nachbau von Spinat, Chicorée oder Möhren sollte möglichst unterbleiben (Lattauschke und Laber 2002). Als Nachfrucht kommt Wintergetreide in Frage. Der Anbau einer möglichst frühen Zwischenfrucht ggf. mit Nutzung ist positiv für die N-Konservierung.

Entscheidungshilfe: Fruchtfolge

→ Wann sollten N_{\min} -Probe und Bodenbearbeitung für die Folgekultur erfolgen?

- Kulturzeit der Folgekultur mehr als acht Wochen und direkte Neupflanzung kurz nach Blumenkohlernte: schnelle N_{\min} -Probe vor Ernteende und vor Bodenbearbeitung
- Kulturzeit der Folgekultur weniger als fünf Wochen: möglichst direkte Bodenbearbeitung, Brachzeit von möglichst vier Wochen, dann nach N_{\min} -Probe Bedarfsermittlung durchführen. Bei Bedarfsermittlung kann Nachlieferung der Vorkultur dann um 2/3 reduziert werden.

→ Wie viel Stickstoff wird für die Folgekultur wahrscheinlich verfügbar?

- Kulturzeit der Folgekultur mehr als 10 Wochen (z. B. Herbstporree): Düngung der Folgekultur um mindestens 10 kg N reduzieren, aufgrund erhöhter N-Nachlieferung aus Ernteresten
- bei schlechter Abernte (50-70 %) ca. 100 kg N/ha aus der N-Nachlieferung der Erntereste für die Folgekultur kalkulieren; bei Totalausfall (< 50 %) mit ca. 120 kg N/ha kalkulieren

Zwischenfrüchte:

Eine Einsaat einer kreuzblütler- und leguminosenfreien Zwischenfrucht bis Anfang September, je nach Witterung im betreffenden Jahr auch später (ausreichende Pflanzenentwicklung vor Winter notwendig), ist vielversprechend hinsichtlich der Reduzierung der N-Auswaschungsgefahr. Als Kultur kommt besonders Grünroggen in Frage. Auf eine Andüngung der Zwischenfrucht sollte nach Blumenkohl verzichtet werden, da nicht notwendig und nach Düngeverordnung verboten. Phacelia oder Buchweizen können bei Säten mit Ernteterminen vor September eingesät werden.

Entscheidungshilfe Zwischenfruchtanbau

Winterhart (z. B. Grünroggen)

- bei später Ernte (bis Ende September)
- bei später Bepflanzung (ab April im Folgejahr)

Winterhart mit Nutzung (z. B. Ackergras)

- bei nicht zu spätem Erntezeitpunkt (bis Anfang September)
- bei ausreichend Wasservorrat
- bei Abnehmer der ZF-Masse (Biogasanlage oder Viehbetrieb, Pferdeheue nur bei sehr später Ernte der ZF im Mai möglich)
- sehr später Bepflanzung (ab Mai im Folgejahr)
- Mais als Folgekultur in landwirtschaftlicher Fruchtfolge möglich
- geringe Belastung mit Drahtwurm zu erwarten

Abfrierend (z. B. Phacelia, Rauhafer)

- bei früher Nutzung im Folgejahr ab März
- bei früher Ernte ideal im August
- bei Wasserknappheit

Blumenkohl (Herbst)

I Anbauform:

Pflanztermin: Juni-Juli
Erntetermin: August-Oktober

Entscheidungshilfe: Bestandesdichte:

- 30.000 Pfl./ha (65x50 cm) bei 8er möglich
- max. 27.000 Pfl./ha (75x50 cm) bei 6er-Blumenkohl ansonsten zu hohes N-Angebot erforderlich (Probleme mit dem Decken möglich)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 300-450 dt/ha Frischmasse; 400 dt/ha Mittel Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 350 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 300 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- N_{min} -Bodenprobe verpflichtend, wenn als Vorkultur Gemüse angebaut wurde
Bei erster Gemüsekultur im Jahr Verwendung eines Richtwerts möglich

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

- für Herbstblumenkohl nach Gemüse/Kartoffeln immer die N_{min} -Probe einem Richtwert vorziehen
- für früh freiwerdende Gerstenflächen ist die Nutzung eines Richtwerts ausreichend

Entscheidungshilfe: Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

- Im Herbstanbau nur mit Erfahrung und langjähriger organischer Düngung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen
- gute Erfahrungen auf mittleren bis schweren Böden mit KNS und N-Expert, Bodenprobe zur Absicherung wird empfohlen

Entscheidungshilfe: Düngebedarfsermittlung für satzweisen Anbau

- es ist möglich, eine DBE für den satzweisen Anbau mit sechs Wochen Gültigkeit zu erstellen
- bei wöchentlicher Pflanzung auf guten Löss-Standorten als Faustwert ab Mitte Juni 10-15 kg N/ha und Woche Versatz einmalig pro Pflanzung für die Mineralisierung bei der Düngung abzuziehen

Nutzung einer angepassten Düngestrategie: Düngung nach dem KNS-System

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen Herbstblumenkohl ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollten eine Bodenanalyse vor Grunddüngung und eine Bodenanalyse vor dem Kopfdüngungstermin erfolgen. Besonders bei Herbstblumenkohl ist durch die hohen Temperaturen, sortenabhängig mit einer Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase zu rechnen (Verzögerung der Vernalisation). In der Folge wächst die Pflanze länger vegetativ und bildet mehr Blattmasse (starker Aufwuchs möglich).

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	92*	91-N _{min}	30
3. KW	Kopfdüngung	335*	335 -N _{min}	60
Aufwuchs 1.000 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 292 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 400 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt <i>*Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs</i>				

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund und Kopfdüngung ist im Herbstanbau ist unbedingt zu empfehlen. Wegen frühen Reihenschluss ist die Aufteilung in drei Gaben nicht zu empfehlen.

Entscheidungshilfe: Bodenprobe vor Kopfdüngungstermin

Eine N_{min}-Probe zur Kopfdüngung zur Bemessung der 2. N-Gabe kann die N-Effizienz deutlich erhöhen.

Wird ein ammoniumstabilisierter N-Dünger eingesetzt (z. B. Entec26) ist vor einer Folgedüngung neben dem Nitrat- auch der Ammonium-Bodenvorrat zu messen.

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

Sinnvoll, kann in Kombination mit N_{min}-Proben hohe Einsparung gegenüber DBE bringen, ohne N_{min}-Probe Einsparungen von 5 % (0-max. 10 %) gegenüber DBE möglich. Genaue Kenntnis der N-Nachlieferung der Fläche erhöht nutzen von N-Expert.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{min}-Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei Herbstblumenkohl in der 3. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 10.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 7. Kulturwoche auf 6.000 ppm absinken. Liegen die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert ist eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Gute Vorfrüchte sind Leguminosen, Frühkartoffeln (Ernte Anfang Juni), Sommerporree (Ernte im Juni), Salat und frühe Möhren (Ernte im Juni). Spätere Sätze Herbstblumenkohl stehen nach Wintergerste, Frühkartoffeln oder frühem Gemüse (außer Frühkohl) (Lattauschke und Laber 2002).

Als Nachfrucht ist bei frühen Sätzen Herbstblumenkohl bis Abernte Mitte August und Winterporree möglich. Ideal sind Wintergerste oder Winterroggen (Abernte bis Ende September).

Zwischenfrüchte:

Eine Einsaat einer kreuzblütler- und leguminosenfreien Zwischenfrucht bis Anfang September, je nach Witterung im betreffenden Jahr auch später (ausreichende Pflanzenentwicklung vor Winter notwendig), ist vielversprechend hinsichtlich der Reduzierung der N-Auswaschungsgefahr. Als Kultur kommt besonders Grünroggen in Frage. Auf eine Andüngung der Zwischenfrucht sollte nach Blumenkohl verzichtet werden, da ausreichend N vorhanden ist und sie nach Düngeverordnung verboten ist.

Entscheidungshilfe: Zwischenfruchtanbau

Winterharte Zwischenfrucht (z. B. Grünroggen)

- bei später Ernte (bis Ende September)
- bei später Bepflanzung (ab April im Folgejahr)

Keine Zwischenfrucht und kein Einarbeiten der Erntereste oder nur Ausbringung der ZF mit Schleuderstreuer

- bei Ernte nach dem 01.10.
- bei Ackerkultur im Folgejahr
- außerhalb von Wohngebieten wegen Geruchsbelästigung

Management von Ernterückständen und reduzierte Herbstbodenbearbeitung

Ein relativ spätes Zerkleinern von Ernterückständen verbunden mit einer späten Einarbeitung kann die mikrobielle Freisetzung von Nitrat zwischen Herbst und Frühjahr verringern. Fruchtfolgespezifisch ist hier eine Prüfung des Zeitpunktes der Einarbeitung von Ernterückständen nötig, um phytosanitäre Probleme für die Folgekultur auszuschließen. Diese Maßnahme kann bei Flächentausch mit landwirtschaftlichen Betrieben auch in Kombination mit Prüfung des Verzichts auf Herbstbodenbearbeitung erfolgen.

9.2. Brokkoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.)

Brokkoli (früh)

I Anbauform:

Pflanztermin: März-April, unter Folie, Vlies 17 g

Erntetermin: Ende Mai-Anf. Juni

Bestandesdichte: bis 50.000 Pfl./ha (50x35-40 cm Pflanzabstand)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 130-180 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 150 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 310 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngedarfs:

- Für einen frühen Satz (erster Gemüsesatz auf der Fläche im Anbaujahr) ist ein Richtwert anstelle eines N_{\min} -Wertes ausreichend. Es ist keine verbindliche Bodenprobe erforderlich.
- Auf einem schweren Boden, nach organischer Düngung oder wenn eine Zwischenfrucht umgebrochen wurde, empfiehlt sich zu Beginn der Kultur eine N_{\min} -Bodenprobe.

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Analyse bevorzugen, wenn mindestens zwei Kriterien erfüllt sind:

- schwerer Boden
 - besonders hohe oder niedrige Temperaturen im Frühjahr
 - besonders hohe oder niedrige Niederschläge im vorherigen Winter und im Frühjahr
 - Umbruch Zwischenfrucht bis Februar
 - langjährige organische Düngung
 - organische Düngung Vorjahr
 - Humusgehalt über 2,5%
 - geringe Winterniederschläge von Oktober-März
-
- Nach DüV sind für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, Zuschläge zu den Stickstoffbedarfswerten von höchstens 20 kg N/ha zulässig.

Entscheidungshilfe: 20 kg N-Zuschlag zur Düngung

Düngung um 20 kg N/ha verringern, wenn mindestens 1-2 Kriterien erfüllt sind

- stark humoser Sandboden
- sehr hohe Temperaturen im Frühjahr (Februar, März: mehr als 2 °C über langjährigen Mittel) und mehreren sonnigen Tagen mit Werten über 10 °C/tagesmaximal ohne Frostunterbrechung

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

Nicht sinnvoll, bringt im Frühanbau bis Ende März, keinen Vorteil gegenüber DBE mit Richtwert nach DüV.

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

Im Frühanbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen, insgesamt wenig Erfahrung. Anbau nach im Vorjahr früh gesäeter Zwischenfrucht mit hohem Aufwuchs und früher Einarbeitung (Februar bei Märzpflanzung) wird empfohlen.

Entscheidungshilfe: Düngung von Einzelsätzen

DBE für den Satzanbau für 6 Wochen möglich, bei wöchentlicher Pflanzung als Faustwert ab Mitte März 2,5 kg N/ha pro Woche für die Mineralisierung bei der Düngung wöchentlich gepflanzter Sätze abrechnen (letzter Satz 6 Wochen nach DBE um 10 kg N/ha reduzieren).

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge auf Grund der Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten nach DüV für die Folgekultur 100 kg N/ha.
- Die Ernterückstände bei Brokkoli (550-700 dt/ha) hinterlassen ca. 135-150 kg an anrechenbarem N/ha, das im Verlauf von 10 Wochen freigesetzt wird.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich um eine Gemüsekultur handelt.

Wenn Anbau und Absatzplanung es zulassen möglichst eine Folgekultur mit einer Standzeit von ca. 10 Wochen wählen, kurzstehende flachwurzelnde Folgekulturen mit wenig N-Bedarf möglichst vermeiden.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen frühen Anbausatz ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	107*	107 kg N/ha – N _{min} -Richtwert	30
5. KW	Kopfdüngung	279*	279 kg N/ha – N _{min}	60
Aufwuchs 700 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 260 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 150 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt Gültigkeitsbereich circa 38.000 bis 45.000 Pflanzen ha ⁻¹ *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{\min} -Probe, eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollten bei frühem Brokkoli unter Vlies in der 2.-4. Kulturwoche laut Tabellenwert von Neuweiler (2011) bei etwa 10.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 8. Kulturwoche auf 6.000 ppm absinken. Liegen die Werte darüber ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert ist eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha zu empfehlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Bei Brokkoli wurde die sensorbasierte N-Steuerung an der Universität Hohenheim erprobt. Mit der sensorermittelten N-Düngermenge zum Kopfdüngungstermin, verbunden mit dem sofortigen Einsatz eines schnell wirkenden N-Düngers, Kalkammonsalpeter (KAS), konnten je nach geprüfter Sorte 50-100 kg N/ha bei gleichen Erträgen eingespart werden (Agrarheute 2012; Pfenning et al. 2013). Allerdings erfolgte hier eine nasschemische Kalibrierung der Sensorwerte. Da für Gemüse keine Kalibrierungen seitens der Hersteller verfügbar sind, ist der praxisnahe Einsatz in Gemüse bisher zu aufwendig.

Fruchtfolge:

Der Anbau sollte möglichst nach einer vorhergehenden organischen Düngung (z. B. Festmist/Champost im Frühjahr) und/oder frisch umbrochener Winterzwischenfrucht erfolgen. Blumenkohle stehen in erster Tracht (Lattauschke und Laber 2002), als Gemüsevorfrucht kommt Winterporree in Betracht.

Als Nachfrucht ist ein stark zehrendes Gemüse (z. B. ein 2. Satz Blumenkohl, Herbstporree) geeignet. Ein Nachbau von Salat ist möglich, aber wegen der hohen N-Menge nicht ohne erhöhtes Fäulnisrisiko (Vogel 1996). Der Nachbau von Spinat, Chicorée oder Möhren sollte möglichst unterbleiben (Lattauschke und Laber 2002).

Zwischenfrüchte:

Ende Mai bis Juni kommen verschiedene Stoppelsaaten (Voraussetzung > 70-100 Wachstumstage) in Frage, darunter auch Leguminosen (Lupinen, Perserklee). Beim Einsatz von Leguminosen ist allerdings Vorsicht in Bezug auf die Stickstoffbilanz geboten. Nach Blumenkohl ist eine Andüngung der Zwischenfrucht nicht notwendig und nach Düngeverordnung verboten. Weitere mögliche Zwischenfrüchte wären Phacelia, Ramtillkraut oder Grünroggen, besonders Grünroggen hat ein sehr hohes N-Aneignungsvermögen. In trockenen Jahren ist Rauhafer ein sinnvoller Mischungspartner. Auch Weidelgras mit Abfuhr zur Futternutzung kann die N-Effizienz der Fruchtfolge deutlich verbessern.

Entscheidungshilfe: Zwischenfrucht und Fruchtfolge

→ Wann sollten N_{\min} -Probe und Bodenbearbeitung für die Folgekultur erfolgen?

- Kulturzeit der Folgekultur mehr als 10 Wochen: z. B. Herbstporree: Düngung kann um mindestens 10 kg N reduziert werden, da erhöhte N-Nachlieferung aus Ernteresten
- Kulturzeit der Folgekultur mehr als 8 Wochen: direkte Neupflanzung mit schneller N_{\min} -Probe vor Bodenbearbeitung

Kulturdatenblätter

- Kulturzeit weniger als 5 Wochen: möglichst direkte Bodenbearbeitung, Brachzeit von möglichst 4 Wochen, dann nach N_{\min} -Probe, Bedarfsermittlung durchführen. N_{\min} -Probe nahe vor Pflanzung ziehen.
- **Wie viel Stickstoff wird für die Folgekultur wahrscheinlich verfügbar?**
- bei schlechter Abernte: mindestens 120 kg N/ha aus der N-Nachlieferung der Erntereste für die Folgekultur kalkulieren
- **Wann ist eine Sommerzwischenfrucht sinnvoll?**
- Wenn frühe Ernte und Anbau einer sehr späten Folgekultur (z. B. Winterporree, Winterweizen) kann eine Sommerzwischenfrucht sinnvoll sein. Umbruch und Einarbeitung dann möglichst früh und schnelle Aussaat der ZF, diese sollte 2 Monate stehen.

Brokkoli (Sommer)

I Anbauform:

Pflanztermin: Mitte Mai-Mitte Juli
Erntetermin: Mitte Juli-Mitte September

Bestandesdichte: bis 40.000 Pfl./ha (50x50 cm Pflanzabstand)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 140-180 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 150 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 310 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- Eine Bodenprobe zu Kulturbeginn und vor dem Kopfdüngungstermin ist empfehlenswert
- Vorfrucht und organische Düngung berücksichtigen

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge auf Grund der Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten nach DüV für die Folgekultur 100 kg N/ha
- Die Ernterückstände bei Brokkoli (550-700 dt/ha) hinterlassen ca. 135-150 kg an anrechenbarem N/ha, der im Verlaufe von 10 Wochen freigesetzt wird.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

Besonders auf ausreichende Schwefel- und Borversorgung achten. Zur Sicherstellung der Schwefelversorgung kommt unter anderem eine Kaligabe als Kaliumsulfid, S-haltige N-Dünger (SSA, ASS) oder Flüssigdünger (z. B. ASL, ATS) in Frage.

Im nassen Sommern kann Entec als Einmaldüngung eingesetzt werden. Bei Splittung der Entec-Gabe sollte die Grunddüngung höher sein als eine entsprechende KAS-Düngung und die Kopfdüngung mindestens eine Woche früher erfolgen (Kell 2001).

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung im Sommeranbau ist unbedingt zu empfehlen. Eine N_{\min} -Probe zur Kopfdüngung zur Bemessung der 2. N-Gabe, kann die N-Effizienz deutlich erhöhen.

Eine weitere Steigerung der N-Effizienz kann durch Hacken und Anhäufeln in Kombination mit der Düngung in der 3-4 Kulturwoche erzielt werden. Hier kann die Düngung um 10 kg N/ha reduzieren.

Kulturdatenblätter

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen Sommeranbausatz ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	92*	107 kg N/ha – N _{min}	30
3. KW	Kopfdüngung	295*	295 kg N/ha – N _{min}	60
Aufwuchs 700 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 260 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 150 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt Gültigkeitsbereich circa 38.000 bis 45.000 Pflanzen ha ⁻¹ <i>*Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs</i>				

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

Sinnvoll, kann in Kombination mit N_{min}-Proben hohe Einsparung gegenüber DBE bringen, ohne N_{min}-Probe Einsparungen von 5 % (0-max. 10 %) gegenüber DBE möglich. Genaue Kenntnis der N-Nachlieferung der Fläche erhöht Nutzen von N-Expert.

Bei Brokkoli ist neben dem Pflanztermin die Information zu Sorte, erwartete Kulturdauer und Abschätzung der Pflanzenentwicklung z. B. bei Trockenheit oder Hitze (Verzögerung der Vernalisation) wichtig für eine genaue Prognose.

Sinnvoll wenn DBE im Satzbau für 6 Wochen genutzt wird. N-Expert ergibt ein Einsparpotenzial für die späteren Sätze, da nach Mineralisierung im Pflanzzeitraum vom Programm ausreichend sicher geschätzt wird, wenn es kein ungewöhnlich nasses Jahr ist.

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

Im Sommeranbau nur auf Flächen mit langjähriger organischer Düngung und gut N-nachliefernden Böden in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen, bisher wenig Erfahrungen.

Entscheidungshilfe: Düngung von Einzelsätzen

Es ist möglich, eine DBE für den satzweisen Anbau mit 6 Wochen Gültigkeit zu erstellen. Bei wöchentlicher Pflanzung gilt als Faustwert ab Mitte Mai 5 kg N/ha und Woche Versatz einmalig pro Pflanzung für die N-Mineralisierung bei der Düngung abzuziehen

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{min}-Probe, eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei Sommerbrokkoli in der 3. bis 4. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 10.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 2.000 ppm weniger) bis zur 7. Kulturwoche auf 4.000 ppm absinken. Liegen die Werte darüber ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert ist eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha zu empfehlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Für den Anbau von Brokkoli im Spätsommer liegen die „Soll“-Werte in der 2. bis 4. Kulturwoche, genau wie beim Sommerbrokkoli, bei 10.000 ppm und sinken dann auf 8.000 ppm in der 5. KW, 7.000 ppm in der 6. KW, 5.000 ppm in der 7. Kulturwoche und 4.000 ppm in der 8. Kulturwoche.

Fruchtfolge

Gute Vorfrüchte sind Leguminosen, Frühkartoffeln (Ernte Anfang Juni), Sommerporree (Ernte im Juni), frühe Salatsätze unter Folie/Vlies (Ernte ab Mai) und frühe Möhren (Ernte im Juni).

Im Nachbau ist Gemüse nur dann sinnvoll, wenn durch die hohe N-Nachlieferung keine Beeinträchtigungen (Nitratanreicherung, Überdüngung) zu erwarten sind. Ein Nachbau von Salat ist möglich (Vogel 1996). Ein Nachbau von Spinat, Chicorée oder Möhren sollte möglichst unterbleiben (Lattauschke und Laber 2002). Als Nachfrucht kommt Wintergetreide in Frage. Der Anbau einer möglichst frühen Zwischenfrucht ggf. mit Nutzung ist positiv für die N-Konservierung.

Zwischenfrüchte:

Eine Einsaat einer kreuzblütler- oder leguminosenfreien Zwischenfrucht bis zum 05.09. (ausreichende Pflanzenentwicklung vor Winter notwendig) ist vielversprechend hinsichtlich der Reduzierung der N-Auswaschungsgefahr. Als Kultur kommt besonders Grünroggen in Frage. Auf eine Andüngung der Zwischenfrucht sollte nach Brokkoli verzichtet werden, da ausreichend N vorhanden ist und sie nach Düngerverordnung verboten. Phacelia oder Buchweizen können bei Sätzen mit Ernteterminen vor September eingesät werden.

Entscheidungshilfe: Zwischenfruchtanbau

Winterhart (z. B. Grünroggen)

- bei später Ernte (bis Ende September)
- bei später Bepflanzung (ab April im Folgejahr)

Winterhart mit Nutzung (z. B. Weidegras)

- bei nicht zu spätem Erntezeitpunkt (bis Anfang September)
- bei ausreichend Wasservorrat
- wenn es für die ZF Abnehmer gibt (Biogasanlage oder Viehbetrieb, Heu nur bei sehr später Ernte der ZF im Mai möglich)
- sehr später Pflanzung (ab Mai im Folgejahr)
- Mais als landwirtschaftliche Fruchtfolge möglich

Abfrierend (z. B. Phacelia, Rauhafer)

- bei früher Nutzung im Folgejahr ab März
- bei früher Ernte ideal im August
- bei Wasserknappheit

9.3. Kopf- und Eissalat (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.)

Kopf- und Eissalate (Frühanbau und Folie/Vlies)

I Anbauform:

Pflanztermin: Anfang März-Anfang April

Erntetermin: ab Anfang Mai

Kopfsalat

Bestandesdichte: 90.000 120.000 Pfl./ha (30-35 x 30-35 cm Pflanzabstand)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 500 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 500 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 150 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

Eissalat

Bestandesdichte: ca. 70.000 Pfl./ha (50 x 35 cm Pflanzabstand)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 600 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 600 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 175 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

Blattsalat

Bestandesdichte: ca. 80.000-100.000 Pfl./ha (35 x 35 cm Pflanzabstand)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 350 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 350 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 130 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- für einen frühen Satz (erster Gemüsesatz auf der Fläche im Anbaujahr) ist ein Richtwert anstelle eines N_{\min} -Wertes einer Bodenprobe ausreichend, eine verbindliche Bodenprobe ist nicht erforderlich
- im satzweisen Anbau muss mindestens alle 6 Wochen und maximal 3 Mal je Schlag eine Düngebedarfsermittlung durchgeführt werden

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Analyse bevorzugen, wenn mindestens zwei Kriterien erfüllt sind:

- schwerer Boden
 - besonders hohe oder niedrige Temperaturen im Frühjahr
 - Umbruch Zwischenfrucht bis Februar
 - langjährige organische Düngung
 - organische Düngung Vorjahr
 - Humusgehalt über 2,5%
 - geringe Winterniederschläge von Oktober-März
-
- Nach DüV sind für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, Zuschläge zu den Stickstoffbedarfswerten von 20 kg N/ha zulässig.

Entscheidungshilfe: 20 kg N-Zuschlag zur Düngung

Nach DüV ist für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, ein Zuschlag zu den Stickstoffbedarfswerten von 20 kg N/ha möglich und generell im kalten Frühanbau auch sinnvoll.

Unter folgenden Bedingungen kann die tatsächlichen Düngung ohne den Folienzuschlag erfolgen, da unter den genannten Voraussetzungen mit einer höheren N-Nachlieferung des Bodens zu rechnen ist:

- stark humoser Sandboden
- sehr hohe Temperaturen im Frühjahr (Februar März mehr als 2 °C über langjähriges Mittel) und mehreren sonnigen Tage mit Werten über 10 °C/tagesmaximal ohne Frostunterbrechung
- Pflanzungen ab Mitte März in einem normal warmen Frühjahr

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 %

- für frühen Eissalat (ab Mitte März) auf mittlerem Boden bei 9er-Sortierung möglich, bei 7er-Sortierung nicht empfehlenswert
- zum Zeitpunkt der beginnenden Kopfbildung muss ausreichend N im Boden vorhanden sein
- Qualitätsmängel bei Unterversorgung besonders zu Kulturbeginn möglich
→ bei unter 80 % vorhandenem N-Bedarf zur Kopffüllung große Kaliber nicht sicher produzierbar
- bei Kopfsalat je nach N_{\min} -Probe und betrieblicher Vorerfahrung möglich (langjährige betriebsübliche Faustzahldüngung liegt meistens bei 100-130 kg N. Die DBE ergibt im März je nach N_{\min} -Probe und Vorkultur meist einen Bedarf zwischen 110-165 kg N/ha.

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge aufgrund der Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten nach DüV für die Folgekultur: 10 kg N/ha (Eissalat)- 15 kg N/ha (Kopfsalat)
- Das tatsächliche N-Nachlieferungspotenzial kann sehr viel höher sein, da z. T. doch größere Mengen an Ernterückständen (nicht vermarktungsfähige Köpfe, abgeschnittene Umblätter und Strünke) auf den Flächen verbleiben.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich bei der Folgekultur um eine Gemüsekultur handelt.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

- bei N-Übersorgung ist ein erhöhtes Ausfallrisiko durch Fäulen möglich
- Ohne Reihendüngung kann witterungsabhängig der Einsatz stabilerer Dünger in Einmalgabe (z. B. Entec26) erfolgen. Zu beachten ist, dass der N-Mindestvorrat 50 kg N/ha betragen sollte.
- bei Reihendüngung und technischer Möglichkeit macht besonders bei Eissalat (längere Kulturdauer) eine Kopfdüngung Sinn
- Für die Düngestrategie nach dem KNS-System sollte für einen frühen Anbausatz vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

- sinnvoll bei Eissalat auch im Frühbau, bringt bei Eissalat auch ohne Bodenprobe um die 20 % Einsparung auf mittlerem Boden je nach Produktionsziel (Kaliber), bis Kaliber 9 ist der Einsatz von N-Expert besonders empfehlenswert
- bei Kopfsalat/Blattsalaten ist eine Einsparung von 5-max. 10 % gegenüber DBE mit N_{\min} -Richtwert und Vlies möglich

Blattdüngung

Blattdüngung zur Kopffüllung mit Harnstoff 10 kg N/ha und Woche (4.-6. Kulturwoche) (z. B. Foliarel N) oder Kalksalpeter möglich. Wenig Erfahrung in Bezug auf Innenbrandgefahr, auch bei leerem Boden kann vermarktungsfähige Ware produziert werden. Wichtig: Blattdüngung im Tau und nicht bei direkter Sonneneinstrahlung durchführen. Eine Blattdüngung in 1-2 Gaben kann etwa eine Woche N-Mangel (ca. 10-15 N/ha im Boden) zu Kulturende „überbrücken“.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{\min} -Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte für frühen Kopfsalat unter Vlies in der 4. bis 5. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 3.000 ppm liegen und ab der 5. Kulturwoche bei 2.500 ppm liegen. Für Eissalat sollte der Wert in der 4.-6. Kulturwoche bei 3.000 ppm und in der 7. Kulturwoche bei 2.500 ppm liegen. Sind die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, wird empfohlen 60 kg N/ha zu düngen (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Salate sind relativ gut selbstverträglich. Bei hohen Ernteresten nach Salat sollte ein stark zehrendes Gemüse (Kohl, Blumenkohl, Brokkoli, Porree) angebaut werden.

Zwischenfrüchte:

Nach frühem Salat (Ernte im Mai) kommt anstatt einer Zwischenfrucht vor allem auch eine Zweitbelegung mit Gemüse in der Fruchtfolge in Frage.

Zwischenfrüchte im Mai machen als 90-Tage-Zwischenfrucht Sinn, wenn z. B. eine Überwinterungskultur folgt.

Kopf- und Eissalate (Sommer)

I Anbauform:

Pflanztermin: Mitte April-Ende Juli
Erntetermin: Ende Mai-Mitte Oktober

Eissalat

Bestandesdichte: ca. 70.000 Pfl./ha (50x 35 cm Pflanzabstand)
Zu erwartendes Ertragsniveau: 600 dt/ha Frischmasse
Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 600 dt/ha Frischmasse
N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 175 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

Kopfsalat

Bestandesdichte: 90.000 -120.000 Pfl./ha (30-35 x 30-35 cm Pflanzabstand)
Zu erwartendes Ertragsniveau: 500 dt/ha Frischmasse
Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 500 dt/ha Frischmasse
N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 150 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

Blattsalate

Bestandesdichte: ca. 80.000-100.000 Pfl./ha (35x 35 cm Pflanzabstand)
Zu erwartendes Ertragsniveau: 350 dt/ha Frischmasse
Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 350 dt/ha Frischmasse
N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 130 kg N/ha (Probenahmetiefe: 30 cm)

.....

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- N_{\min} -Bodenprobe verpflichtend, wenn als Vorkultur Gemüse angebaut wurde
- Bei Erstkultur Verwendung eines Schätzwerts möglich, aber Bodenprobe empfehlenswert
- **Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse**
 - Analyse ab Juni immer bevorzugen
- Die N-Menge aus Ernterückständen der Vorkultur berücksichtigen.

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge für die DBE der Folgekultur aufgrund der N-Nachlieferung aus den Ernteresten der Vorkultur ist laut DüV 10 kg N/ha bei Eissalat und 15 kg N/ha bei Kopfsalat
- Das tatsächliche N-Nachlieferungspotenzial kann sehr viel höher sein, da z. T. auch größere Mengen von Ernterückständen (nicht vermarktungsfähige Köpfe, abgeschnittene Umblätter und Strünke) auf den Flächen verbleiben.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich bei der Folgekultur um ein Gemüse handelt.

Entscheidungshilfe: Düngebedarfsermittlung für satzweisen Anbau

Es ist möglich, eine DBE für den satzweisen Anbau mit 6 Wochen Gültigkeit zu erstellen. Bei wöchentlicher Pflanzung gilt als Faustwert ab Mitte Mai 5 kg N/ha und Woche Versatz einmalig pro Pflanzung für die N-Mineralisierung bei der Düngung abzuziehen

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

Aufteilung der Düngung für Eissalat: 70-80 % zur Grunddüngung und später N-Restbedarf als Kopfdüngung düngen

Nach stark gedüngten Vorkulturen kann auf eine Kopfdüngung verzichtet werden. Zu viel Stickstoff führt zu Fäulnis, Schießen und zu hohen Nitratwerten in der Pflanze. Die Grunddüngung sollte die Versorgung der Pflanzen (Mindestvorrat 50 kg N/ha) sicherstellen.

Eine Düngestrategie nach KNS (z. B. in Verwendung von N-Expert) in Verbindung mit einer N_{min} -Bodenprobe in der 3. Kulturwoche ist zu empfehlen, wenn zu Kulturbeginn aufgrund ausreichender N-Mengen im Boden nicht gedüngt wurde. Der Salat kann in der 3. Kulturwoche nach erfolgter Bodenprobe mit Reihendüngung versorgt werden, um die N-Nutzungseffizienz weiter zu erhöhen.

Kopfsalat

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	53	53 kg N/ha – N_{min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
3. KW	Kopfdüngung	145	145 kg N/ha – N_{min}	30
Aufwuchs 600 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 108 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 500 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Damit Kopfsalate im Sommer und Herbst genügend Umblatt bilden, müssen zur Pflanzung mindestens 60 kg N/ha vorhanden sein (Feller et al. 2011).

Eissalat

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	50	50 kg N/ha – N _{min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
3. KW	Kopfdüngung	135	135 kg N/ha – N _{min}	30
Aufwuchs 800 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 104 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 600 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Bei 7er-Kaliber 70-80 % des Düngbedarfes vorweg legen, bei Reihendüngung nachlegen in Kombination mit Bodenprobe möglich.

Bei Blattsalaten ist aufgrund der geringen Kulturdauer im Sommer (4 Wochen) keine Aufteilung sinnvoll.

Entscheidungshilfe: Einsatz N-Expert

Sinnvoll im Sommeranbau, bringt bei Eissalat auch ohne Bodenprobe um die 20 % Einsparung auf mittlerem Boden je nach Produktionsziel (Kaliber).

Bei Kopfsalat Einsparung von 5-15 % gegenüber DBE mit N_{min}-Probe möglich.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{min}-Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei Kopfsalat vom Früh- bis zum Spätsommer in der 2.-4. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 10.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 8. Kulturwoche auf 6.000 ppm absinken. Für Eissalat betragen die „Soll“-Werte 3.000 ppm in der 2. Kulturwoche und in der 3.-4. Kulturwoche 2.500 ppm. Liegen die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500 und 1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Als Vorfrucht von Eissalat ist Getreide günstig. Gemüse, besonders Kohl birgt die Gefahr zu hoher N-Mengen und Fäulnis. Nach frühem Salat sollte ein stark zehrendes Gemüse (Kohl, Blumenkohl, Brokkoli, Porree) angebaut werden. Bei einem 2. Satz Kopfsalat kann je nach N-Gehalt des Bodens ggf. auf eine Düngung bzw. Kopfgabe ganz verzichtet werden.

Zwischenfrüchte:

Im Salatanbau treten im Herbst hohe N_{min}-Werte auf. Eine wirksame N-Konservierung durch eine leistungsfähige Begrünung ist nach dritten Salatsätzen in einem Jahr wegen des späten Erntetermins nicht

mehr möglich (NLWKN 2015). Daher sollte nach Möglichkeit eine Zwischenfrucht (z. B. Grünroggen, Gelbsenf) bis zum 15.09. eingesät werden.

Entscheidungshilfe: Zwischenfruchtanbau

Winterhart (z. B. Grünroggen)

- bei später Ernte (bis Ende September)
- bei später Bepflanzung (ab April im Folgejahr)

Winterhart mit Nutzung (z. B. Weidelgras)

- bei nicht zu spätem Erntezeitpunkt (bis Anfang September)
- bei ausreichend Wasservorrat
- bei Abnehmer der ZF-Masse (Biogasanlage oder Viehbetrieb, Pferdeheue nur bei sehr später Ernte der ZF im Mai möglich)
- sehr später Bepflanzung (ab Mai im Folgejahr)
- Mais als landwirtschaftliche Fruchtfolge möglich

Abfrierend (z. B. Phacelia, Rauhafer)

- bei früher Nutzung im Folgejahr ab März
- bei früher Ernte ideal im August
- bei Wasserknappheit

9.4. Porree (*Allium porrum*)

Porree (früh)

I Anbauform:

Aussattermin: Pflanztermin: Mitte März, unter Folie

Erntetermin: Juni

Bestandesdichte: 26.000 Pfl./ha (25 x 15 cm)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 200-500 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 600 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 250 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

→ frühe Porreesätze werden mit Vlies abgedeckt (Doppelbedeckung bis zum 20. April)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngedarfs:

- für einen frühen Satz (erster Gemüsesatz auf der Fläche im Anbaujahr) ist ein Richtwert für den N_{\min} -Wert im Boden ausreichend und keine verbindliche Bodenprobe erforderlich

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Mögliche Argumente für eine freiwillige N_{\min} -Analyse:

- schwerer Boden
 - besonders hohe oder niedrige Temperaturen im Frühjahr
 - besonders hohe oder niedrige Niederschläge im vorherigen Winter und im Frühjahr
 - Umbruch Zwischenfrucht bis Februar
 - langjährige organische Düngung
 - organische Düngung Vorjahr
 - Humusgehalt über 2,5%
- Nach DüV sind für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, Zuschläge zu den Stickstoffbedarfswerten von höchstens 20 kg N/ha zulässig.

Entscheidungshilfe: 20 kg N Zuschlag zur Düngung

Nach DüV ist für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, ein Zuschlag zu den Stickstoffbedarfswerten von 20 kg N/ha möglich und generell im kalten Früh-anbau auch sinnvoll.

Unter folgenden Bedingungen kann die tatsächlichen Düngung ohne den Folienzuschlag erfolgen, da unter den genannten Voraussetzungen mit einer höheren N-Nachlieferung des Bodens zu rechnen ist:

- stark humoser Sandboden
 - sehr hohe Temperaturen im Frühjahr (Februar März mehr als 2 °C über langjähriges Mittel) und mehreren sonnigen Tage mit Werten über 10 °C/tagesmaximal ohne Frostunterbrechung

Entscheidungshilfe: Reduzierung der N-Düngung um 20 % von der DBE

- Im Frühanbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Nicht zu empfehlen, insgesamt ist wenig Erfahrung vorhanden
- In Kombination mit kulturbegleitender N_{min}-Beprobung und KNS-System bei warmer Witterung oft möglich, setzt aber aufwändige Vliesabnahme zu Probenahme und Kopfdüngung voraus
- bei Anbau von Porree nach im Vorjahr früh gesäeter Zwischenfrucht mit hohem Aufwuchs und früher Einarbeitung (Februar bei Märzpflanzung)

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge aufgrund der N-Nachlieferung aus den Ernteresten von Porree nach DüV für die Folgekultur: 55 Kg N/ha, die Freisetzung dauert ca. 8 Wochen.
- Die tatsächliche N-Freisetzung hängt von Witterungsbedingungen, Grad der Zerkleinerung der Erntereste, Bodenart, pH-Wert und Bodenleben ab. Unter günstigen Bedingungen ist daher auch eine höhere N-Freisetzung bis zu 70 kg N/ha möglich.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich bei der Folgekultur um ein Gemüse handelt.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie: KNS-System

In Anlehnung an das KNS-System kann als ein Düngungskonzept eine Grunddüngung von 60 kg N/ha vor Pflanzung erfolgen. Nach 5 Wochen erfolgt eine Bodenprobe (0-60 cm). Es wird entsprechend der Düngebedarfsermittlung auf etwa 230 kg N/ha (5. Kulturwoche) aufgedüngt, bevorzugt mit einem stabilisierten N-Dünger.

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen frühen Satz Porree unter Folie ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	67	67 kg N/ha – N _{min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
5. KW	Kopfdüngung	228	228 kg N/ha – N _{min}	60
<i>Porree gepflanzt früh</i> <i>Aufwuchs 740 dt ha⁻¹, N im Aufwuchs 202 kg N ha⁻¹, Marktertrag 400 dt ha⁻¹</i> Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Bei langjähriger organischer Düngung (z. B. Champost) sollte die Porreekultur durch wiederholte N_{\min} -Proben begleitet werden, um die N-Freisetzung im Blick zu haben. Es sind mindestens zwei Kopfdüngungstermine nötig, um die mineralische Düngung adäquat an die Nachlieferung aus der Organik anpassen zu können. Zu diesen Terminen sollte jeweils eine N_{\min} -Probe gezogen werden. Zur bedarfsgerechten Nachdüngung nach Erhalt der N_{\min} -Analyseergebnisse eignen schnell wirksamen N-Dünger (KAS, ASS, Flüssigdünger).

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung ist durch die Vliesabdeckung im Frühhanbau teuer (ca. 300 €/ha für das Auf- und Abdecken) kann aber besonders im warmen Frühjahr und auf organisch gedüngten Böden oder Böden mit hohem Humusgehalt sinnvoll sein.

Entscheidungshilfe: Bodenprobe vor Kopfdüngungstermin

- kann große Einsparpotentiale aufzeigen, besonders bei organisch gedüngten Flächen
- Jede zusätzliche Bodenprobe bedeutet eine zusätzliche Vliesabnahme einige Tage vor Düngetermin und lohnt sich ökonomisch nur,
 - wenn die Fließabnahme wegen anderen Kulturmaßnahmen ohnehin notwendig ist *oder*
 - die Probenahme zeitlich flexibel je nach Abnahmetermin der Folie erfolgen kann (i. d. R. selbstständige Probenahme durch Betrieb, derart kurzfristige Absprache mit Probenehmern nur selten möglich)

Einsatz von Kalkstickstoff

Eine Düngung mit Kalkstickstoff unter Ausnutzung des Herbizideffekts mit der Wirkung auf Thripse kann bei Porree 2-3 Wochen vor der Saat bzw. dem Pflanzen nach dem Anwachsen bei trockenem Pflanzenbestand erfolgen. Der Dünger wird mit einer Menge von 3-6 dt/ha (60-120 kg N/ha) flach eingearbeitet. Die Düngung muss bei einer Folgedüngung berücksichtigt werden.

Fruchtfolge:

Der Anbau von Porree kommt nach umgebrochener Zwischenfrucht im Frühjahr in Betracht. Nachfrüchte sind vorzugsweise Gemüsearten (Blumenkohl, Brokkoli, Kopfkohl, Rosenkohl, Bohnen, Erbsen, Sellerie) (Lattauschke und Laber 2002b).

Zwischenfrüchte:

Als Zwischenfrüchte kommen Ölrettich, Gelbsenf, Phacelia, Grünroggen, Buchweizen und Welsches Weidelgras in Frage. Besonders nematodenresistente Ölrettichsorten können interessant sein.

Entscheidungshilfe: Zwischenfrucht

- Bei früher Ernte und Anbau einer sehr späten Folgekultur (z. B. Winterporree, Winterweizen) kann eine Sommerzwischenfrucht sinnvoll sein. Umbruch und Einarbeitung dann möglichst früh und schnelle Aussaat der ZF, diese sollte mindestens 2 Monate stehen.

Porree (Standard)

I Anbauform:

Pflanztermin: April-Juni, unter Folie

Erntetermin: ab August; Aussaat auch im April/Mai möglich

Bestandesdichte: 16.000 Pfl./ha (60x10 cm)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 400-700 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 600 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 250 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm Bodentiefe)

.....

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- N_{min}- Bodenprobe verpflichtend, wenn als Vorkultur Gemüse angebaut wurde
- Bei Erstkultur Verwendung eines Richtwerts möglich, aber Bodenprobe empfehlenswert

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Analyse ab Juni immer bevorzugen

- Die N-Menge aus Ernterückständen der Vorkultur berücksichtigen.

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

- im Sommeranbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen
- in Kombination mit kulturbegleitender N_{min}-Beprobung und KNS-System bei warmer Witterung auf einigen Flächen je nach Jahr möglich
- je mehr Bodenproben (bis zu 2-4 Bodenproben kulturbegleitend sinnvoll) und Düngungstermine, desto wahrscheinlicher ist es, Einsparpotentiale – auch über 30 % hinaus – finden und nutzen zu können. Solche Einsparpotentiale werden aber nur auf einem Teil der Betriebsflächen für das jeweilige Jahr gefunden. Probenahmekosten und Nutzen müssen betriebsspezifisch betrachtet werden (ca. 50 € je Bodenprobe mit externem Probenehmer und LUFA-Analyse. Eigene Probenahme und Nitrachek zeitintensiv, führt zu Opportunitätskosten)

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

siehe Frühporree

Kulturdatenblätter

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

In Anlehnung an das KNS-System kann als ein Düngungskonzept eine Grunddüngung von 30 kg N/ha vor Pflanzung erfolgen. Nach 5 Wochen erfolgt eine Bodenprobe (0-60 cm). Es wird auf etwa 240 kg N/ha (5. Kulturwoche) entsprechend der Düngebedarfsermittlung aufgedüngt.

Die Kopfdüngung bei direkt gesäten Porree-Hybriden sollte im Idealfall im 8-Blatt-Stadium durchgeführt werden, um N-Mangel zu vermeiden (im Versuch in der 12. Kulturwoche, KNS: 15. Woche) (Laber 2005).

Bei hoher organischer Düngung (z. B. Champost) sollte die N-Freisetzung durch wiederholte N_{\min} -Proben begleitet werden. Es sind mindestens zwei Kopfdüngungstermine nötig, um die mineralische Düngung adäquat an die Nachlieferung aus der Organik anpassen zu können.

Zur bedarfsgerechten Nachdüngung nach Erhalt des Analyseergebnisses eignen sich schnell wirksame N-Dünger (KAS, ASS, Flüssigdünger).

Insbesondere bei trockenen Bedingungen empfiehlt sich eine Nährstoffversorgung über viele kleine Düngergaben („Löffelchen-Düngung“, z. B. Harnstoffgabe 5 kg N/ha übers Blatt), um temporären N-Mangel zu verhindern. Dies kann in Verbindung mit Pflanzenschutzmaßnahmen ausgebracht werden. Im Spätsommer kann es zudem sinnvoll sein, auf die zweite Kopfdüngung zu verzichten und stattdessen 30 kg N/ha über Blattdüngung mit Einzelgaben von maximal 10 kg N/ha über mehrere Wochen auszubringen, um die Stickstoffreste im Boden nach Ernte gering zu halten.

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen Satz Standardporree ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	36	36 kg N/ha – N_{\min} -Bodenprobe – Abschläge (DüV)	30
5. KW	Kopfdüngung	240	240 kg N/ha – N_{\min}	60
<i>Porree gepflanzt Standard</i> Aufwuchs 840 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 227 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 500 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1.-7. KW nach Aussaat	Düngung	7	7 kg N/ha – N_{\min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
15. KW	Kopfdüngung	224	224 kg N/ha – N_{\min}	60
<i>Porree gesät, Standard</i> Aufwuchs 890 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 240 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 550 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Entscheidungshilfe: Düngung nach dem KNS-System

Die Aufteilung in Grund- und Kopfdüngung ist in jedem Fall sinnvoll. Ergibt die Bodenprobe zur Kopfdüngung einen hohen N-Bedarf über 100 kg, ist es sinnvoll, die Gabe auf zwei Düngertermine aufzuteilen und ggf. vor dem zweiten Termin nochmal eine Bodenprobe zu ziehen.

Entscheidungshilfe: Bodenprobe vor Kopfdüngungstermin

- 1-2 Bodenproben vor den jeweiligen Kopfdüngungsterminen auf jeden Fall sinnvoll
- bis zu vier kulturbegleitenden Bodenproben sinnvoll, wenn hohe Einsparungen gegenüber DBE erreicht werden sollen (siehe Entscheidungshilfe 20 % pauschal einsparen), jedoch keine Einspargarantie für alle Flächen in allen Jahren!

Einsatz stabilisierter Dünger

Eine Einmaldüngung mit Entec26 ist witterungsabhängig möglich. Die Kombination mit einem schneller verfügbaren Dünger kann sinnvoll sein.

Pflanzenmessung:

Beim Einsatz einer Nitrachek-Messung sollte der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) bei Standardporree (Blatt) zwischen 3. und 7. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) immer bei 3.000 ppm liegen. Liegen die Werte darüber, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Gute Vorfrüchte von Porree sind Getreide, vor allem Hackfrüchte (Kartoffeln, Rüben, Sellerie, Blumenkohl). Vor Sommer- und Herbstporree kann auch Feldfutter oder Frühgemüse stehen. Nach Sommerporree kann Kohlrabi, Salat, Radies oder Chinakohl folgen (Lattauschke und Laber 2002b). Auch Raps oder Getreide ist gut nach Porree anzubauen.

Entscheidungshilfe: Zwischenfruchtanbau

Als Zwischenfrüchte kommen Ölrettich, Gelbsenf, Phacelia, Grünroggen, Buchweizen und Welsches Weidelgras in Frage. Besonders nematodenresistente Ölrettichsorten können interessant sein.

Winterhart (z. B. Grünroggen)

- bei später Ernte (bis Ende September)
- bei später Bepflanzung (ab April im Folgejahr)

Winterhart mit Nutzung (z. B. Weidelgras)

- bei nicht zu spätem Erntezeitpunkt (bis Anfang September)
- bei ausreichend Wasservorrat
- bei Abnehmer der ZF-Masse (Biogasanlage oder Viehbetrieb, Pferdeheu nur bei sehr später Ernte der ZF im Mai möglich)

Kulturdatenblätter

- sehr später Bepflanzung (ab Mai im Folgejahr)
- Mais als landwirtschaftliche Fruchtfolge möglich

Abfrierend (z. B. Phacelia, Rauhafer)

- bei früher Nutzung im Folgejahr ab März
- bei früher Ernte ideal im August
- bei Wasserknappheit

Porree (Winter)

I Anbauform:

Aussaattermin: April-Mitte Mai

Pflanztermin: Juli-Mitte August

Erntetermin: ab Februar

Bestandesdichte: 16.000 Pfl./ha (60 x 10 cm)

Zu erwartendes Ertragsniveau: 400-600 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 600 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 250 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngedarfs:

siehe Herbstporree

Die Ermittlung des Düngedarfs erfolgt im Pflanzjahr. Eine N_{\min} -Bodenprobe ist in jedem Fall empfehlenswert und wird laut DüV nach vorausgegangenem Gemüsebau auch vorgeschrieben.

Im folgenden Frühjahr darf noch die Differenz aus Düngedarf und im Pflanzjahr gedüngter Menge gegeben werden.

Ermittlung des Düngedarfs für die Folgekultur

Überwinterungsporree gilt insbesondere, wenn er im Frühjahr gedüngt wird, als erste Kultur im Jahr. Für eine nachfolgende Gemüsebaukultur ist das Ziehen einer N_{\min} -Bodenprobe und die Anrechnung von Ernterückständen daher verpflichtend.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

siehe Porree (Standard)

Die Düngung von Winterporree im Pflanzjahr sollte mit Hilfe von N-Sollwert nach KNS und N_{\min} -Bodenprobe so bedarfsgerecht wie möglich erfolgen. Nach Gemüsebaukultur ist möglicherweise keine Düngung vor dem Winter notwendig. Evtl. ist die Gabe von einigen Flüssig-Harnstoffgaben übers Blatt mit jeweils 5 kg N/ha vor der Sperrfrist ausreichend. Im Februar sollte erneut eine N_{\min} -Bodenprobe gezogen und auf einen Sollwert von 138 kg N/ha aufgedüngt werden. Wenn im Pflanzjahr über Bedarf gedüngt wurde und es über Winter zu Auswaschung kam, kann es sein, dass der verbleibende ermittelte Düngedarf dafür nicht mehr ausreicht. Daher ist eine bedarfsgerechte Düngung bei Winterporree von Anfang an besonders wichtig.

Kulturdatenblätter

Düngung nach KNS

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	34	34 kg N/ha – N _{min} -Bodenprobe –Abschläge (DüV)	30
6. KW	Kopfdüngung	65	65 kg N/ha – N _{min}	30
Vegetationsbeginn Folgejahr	Kopfdüngung	138	138 kg N/ha – N _{min}	60
<i>Porree gepflanzt Überwinterung</i> Aufwuchs 740 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 202 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 400 dt ha ⁻¹ Mineralisation Boden berücksichtigt *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Fruchtfolge:

Der Anbau kommt nach frühem Blumenkohl/Brokkoli, Früh-Porree, Frühkartoffeln, Salat in Betracht. Als Nachfrucht kommt Kohlrabi, Salat, Radies oder Chinakohl in Frage (Lattauschke und Laber2002b).

9.5. Weißkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*)

Weißkohl (Frischmarkt, früh)

I Anbauform:

Pflanztermin: März-April
Erntetermin: Mitte Juni-Anfang August

Bestandesdichte: bis 40.000 Pfl./ha (50x40-50 cm Pflanzabstand)
max. 50.000 Pfl./ha

Zu erwartendes Ertragsniveau: 700 dt/ha

Spanne im Ertragsniveau: 500-800 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 700 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 260 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- Für einen frühen Satz (erster Gemüsesatz auf der Fläche im Anbaujahr) ist ein Richtwert für den N_{\min} -Wert im Boden ausreichend und keine verbindliche Bodenprobe erforderlich.

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Mögliche Argumente für eine freiwillige N_{\min} -Analyse:

- schwerer Boden
 - besonders hohe oder niedrige Temperaturen im Frühjahr
 - besonders hohe oder niedrige Niederschläge im vorherigen Winter und im Frühjahr
 - Umbruch Zwischenfrucht bis Februar
 - langjährige organische Düngung
 - organische Düngung Vorjahr
 - Humusgehalt über 2,5%
- Nach DüV sind für Kulturen, die zur Ernteverfrüfung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, Zuschläge zu den Stickstoffbedarfswerten von höchstens 20 kg N/ha zulässig.

Entscheidungshilfe: 20 kg N Zuschlag zur Düngung

Nach DüV ist für Kulturen, die zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt werden, ein Zuschlag zu den Stickstoffbedarfswerten von 20 kg N/ha möglich und generell im kalten Frühanbau auch sinnvoll.

Unter folgenden Bedingungen kann die tatsächliche Düngung ohne den Folienzuschlag erfolgen, da unter den genannten Voraussetzungen mit einer höheren N-Nachlieferung des Bodens zu rechnen ist:

- stark humoser Sandboden
- sehr hohe Temperaturen im Frühjahr (Februar März mehr als 2 °C über langjähriges Mittel) und mehreren sonnigen Tage mit Werten über 10 °C/tagesmaximal ohne Frostunterbrechung

Entscheidungshilfe: N-Reduzierung der Düngung um 20 % von der DBE

- im Frühanbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen, insgesamt ist wenig Erfahrung vorhanden
- in Kombination mit kulturbegleitender N_{min}-Beprobung und KNS-System bei warmer Witterung oft möglich, setzt aber aufwändige Vliesabnahme zu Probenahme und Kopfdüngung voraus
- Anbau nach im Vorjahr früh gesäeter Zwischenfrucht mit hohem Aufwuchs und früher Einarbeitung (Februar bei Märzpflanzung) wird empfohlen.

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

- Abschläge aufgrund der N-Nachlieferung aus den Ernteresten des Weißkohls nach DüV für die Folgekultur: 75 kg N/ha. Diese werden innerhalb von ca. 12 Wochen freigesetzt.
- Die tatsächliche N-Freisetzung hängt von Witterungsbedingungen, Grad der Zerkleinerung der Erntereste, Bodenart, pH-Wert und Bodenleben ab. Unter günstigen Bedingungen ist daher auch eine höhere N-Freisetzung von 80-110 kg N/ha möglich.
- Eine verbindliche Bodenprobe für die Folgekultur ist nach DüV vorgeschrieben, wenn es sich bei der Folgekultur um ein Gemüse handelt.

Nutzung einer angepassten Düngestrategie: KNS-System

Düngestrategie nach dem KNS-System für einen frühen Anbausatz ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor dem Kopfdüngungstermin eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	40	40 kg N/ha – N _{min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
3. KW	Kopfdüngung	143	143 kg N/ha – N _{min}	30
8. KW	Kopfdüngung	170	170 kg N/ha – N _{min}	60
<i>Weißkohl, Frischmarkt, mittelschnell wachsend</i> Mineralisation Boden berücksichtigt Aufwuchs 1100 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 270 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 600 dt ha ⁻¹ *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Schwefeldüngung

Besonders auf ausreichende Schwefel- und Borversorgung achten. Zur Sicherstellung der Schwefelversorgung kommt unter anderen eine Kaliumgabe als Kaliumsulfid, Patentkali oder S-haltige N-Dünger (SSA, ASS) und flüssige Dünger (z. B. ASL, ATS) in Frage.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{\min} -Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei frühem Weißkohl unter Vlies in der 4. Kulturwoche laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 8.000 ppm liegen und als provisorischer „Soll“-Wert gleichmäßig (jede Kulturwoche etwa 1.000 ppm weniger) bis zur 8. Kulturwoche auf 4.000 ppm absinken. Liegen die Werte höher, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Der Anbau von Weißkohl erfolgt in erster Tracht nach einer Zwischenfrucht. Im Nachbau von Weißkohl Gemüse nur dann anbauen, wenn durch die hohe Stickstoffnachlieferung keine Beeinträchtigungen (Nitratanreicherung, Überdüngung) zu erwarten sind. Ein Nachbau von Salat ist möglich (Vogel 1996). Ein Nachbau von Spinat, Chicorée oder Möhren sollte möglichst unterbleiben (Lattauschke und Laber 2002). Als Nachfrucht kommt Wintergetreide in Frage.

Zwischenfrüchte:

Eine Einsaat einer kreuzblütler- oder leguminosenfreien Zwischenfrucht bis zum 05.09. (ausreichende Pflanzenentwicklung vor Winter notwendig, in trocken-warmen Jahren auch Aussaat bis Ende September ggf. sinnvoll) ist vielversprechend hinsichtlich der Reduzierung der N-Auswaschungsgefahr. Als Kultur kommt besonders Grünroggen in Frage. Auf eine Andüngung der Zwischenfrucht sollte nach Weißkohl verzichtet werden, da ausreichend N vorhanden ist und sie nach Düngeverordnung verboten ist. Phacelia oder Buchweizen kommen ebenfalls in Frage.

Weißkohl (Sommer und Herbst)

I Anbauform:

Pflanztermin: April-Juni

Erntetermin: Mitte August-Anfang Oktober

Bestandesdichte: 30.000 Pfl./ha (60x40-50 cm Pflanzabstand)
max. 50.000 Pfl./ha

Zu erwartendes Ertragsniveau: 600-1200 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 1.000 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 320 kg N/ha (Probenahmetiefe: 90 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

- N_{\min} -Bodenprobe verpflichtend, wenn als Vorkultur Gemüse angebaut wurde
- bei Erstkultur Verwendung eines Richtwerts möglich, aber Bodenprobe empfehlenswert

Entscheidungshilfe: Richtwert oder Analyse

Analyse ab Juni immer bevorzugen

- die N-Menge aus Ernterückständen der Vorkultur berücksichtigen.

Entscheidungshilfe: Reduzierung der N-Düngung um 20 % von der DBE

- im Sommeranbau nur mit Erfahrung auf Einzelschlägen in einigen Betrieben möglich. Pauschal nicht zu empfehlen
- in Kombination mit kulturbegleitender N_{\min} -Beprobung und KNS-System bei warmer Witterung auf einigen Flächen je nach Jahr möglich
- je mehr Bodenproben (bis zu 2-4 Bodenproben kulturbegleitend sinnvoll) und Düngungstermine, desto wahrscheinlicher ist es, Einsparpotentiale auch über 30 % hinausfinden und nutzen zu können. Solche Einsparpotentiale werden aber nur auf einem Teil der Betriebsflächen für das jeweilige Jahr gefunden werden. Probenahmekosten und Nutzen müssen betriebsspezifisch betrachtet werden (ca. 50 € je Bodenprobe mit externem Probenehmer und LUFA-Analyse. Eigene Probenahme und Nitrachek zeitintensiv, führt zu Opportunitätskosten)

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

siehe Weißkohl (früh)

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

Düngestrategie nach dem KNS-System ohne vorherigen Einsatz von Kalkstickstoff. Hier sollte vor den Kopfdüngungsterminen eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	40	40 kg N/ha – N _{min} -Richtwert – Abschläge (DüV)	30
3. KW	Kopfdüngung	143	143 kg N/ha – N _{min}	30
8. KW	Kopfdüngung	170	170 kg N/ha – N _{min}	60
<i>Weißkohl, Frischmarkt, mittelschnell wachsend</i> Mineralisation Boden berücksichtigt Aufwuchs 1.100 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 270 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 600 dt ha ⁻¹ *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Bei hoher organischer Düngung (z. B. Champost) sollte die N-Freisetzung durch wiederholte N_{min}-Proben begleitet werden. Es sind mindestens zwei Kopfdüngungstermine nötig, um die mineralische Düngung adäquat an die Nachlieferung aus der Organik anpassen zu können. Im Betriebsalltag hat sich auch ein vierwöchiger Beprobungsrhythmus bewährt

Zur bedarfsgerechten Nachdüngung nach Erhalt des Analyseergebnisses eignen sich schnell wirksame N-Dünger (KAS, ASS, Flüssigdünger). Mit Beratung der LWK NRW wurde die „Löffelchen-Düngung“, bei der die Pflanzen anhand von Bodenanalysen mit mehreren kleineren Mengen schnell verfügbarem N-Dünger direkt nach Bedarf versorgt wurden, mit gutem Erfolg im Weißkohlanbau in Wasserschutzgebieten durchgeführt. Ziel war es optimale Erträge und Qualitäten bei reduzierten N_{min}-Restwerten zu erzielen.

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{min}-Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat pro kg Frischmasse) sollte bei Weißkohl Anfang Mai laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 12.000 ppm liegen und von 11.000 ppm Ende Mai-Mitte Juni auf 10.000 ppm absinken. Anfang Juli sind als Richtwert 8.000 ppm, Ende Juli 6.000 ppm angegeben. Mitte August 5.000 ppm und Anfang September sind 2.000 ppm Nitrat ein Indiz für eine ausreichende N-Ernährung. Liegen die Werte höher, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in der Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Gute Vorfrüchte sind Leguminosen, Frühkartoffeln (Ernte Anfang Juni), Sommerporree (Ernte im Juni), frühe Salatsätze unter Folie/Vlies (Ernte ab Mai) und frühe Möhren (Ernte im Juni) (Lattauschke und Laber 2002). Als Nachfrucht von Weißkohl kommt Wintergetreide in Frage.

Zwischenfrüchte:

Eine Einsaat einer kreuzblütler- oder leguminosenfreien Zwischenfrucht bis zum 05.09. (ausreichende Pflanzenentwicklung vor Winter notwendig in trocken-warmen Jahren auch Aussaat bis Ende September ggf. sinnvoll) ist vielversprechend hinsichtlich der Reduzierung der N-Auswaschungsgefahr. Als Kultur kommt besonders Grünroggen in Frage. Auf eine Andüngung der Zwischenfrucht sollte nach Weißkohl verzichtet werden, da ausreichend N vorhanden ist und sie nach Düngeverordnung verboten ist. Phacelia oder Buchweizen können bei Sätzen mit Ernteterminen vor September eingesät werden.

Management von Ernterückständen und reduzierte Herbstbodenbearbeitung:

Ein relativ spätes Zerkleinern von Ernterückständen, verbunden mit einer späten Einarbeitung, kann die mikrobielle Freisetzung von Nitrat zwischen Herbst und Frühjahr verringern. Fruchtfolgespezifisch ist hier eine Prüfung des Zeitpunktes der Einarbeitung von Ernterückständen nötig, um phytosanitäre Probleme für die Folgekultur auszuschließen. Diese Maßnahme kann bei Flächentausch mit landwirtschaftlichen Betrieben auch in Kombination mit Prüfung des Verzichts auf Herbstbodenbearbeitung erfolgen.

Weißkohl (Lagerung/Industrie)

I Anbauform:

Pflanztermin: Mai-Anfang Juni
Erntetermin: ab Mitte Oktober

Bestandesdichte: 30.000 Pfl./ha (60x40-50 cm Pflanzabstand)
max. 50.000 Pfl./ha

Zu erwartendes Ertragsniveau: 600-800 dt/ha Frischmasse

Ertragsniveau nach Düngeverordnung: 700 dt/ha Frischmasse

N-Bedarfswert nach Düngeverordnung: 260 kg N/ha (Probenahmetiefe: 60 cm)

II Kulturmaßnahmen:

Ermittlung des Düngebedarfs:

siehe Weißkohl (Sommeranbau)

Düngebedarfsermittlung für die Folgekultur:

siehe Weißkohl (Sommeranbau)

Nutzung einer angepassten Düngestrategie:

Vor Pflanzung ist eine Grunddüngung 100 kg N/ha anzustreben. Die Kopfdüngung sollte auf Basis einer N_{\min} -Probe im 6-8 Blattstadium bei 0-60 cm erfolgen (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Niederbayern 2015).

Bei hoher organischer Düngung (z. B. Champost) sollte die N-Freisetzung durch wiederholte N_{\min} -Proben begleitet werden. Es sind mindestens zwei Kopfdüngungstermine nötig, um die mineralische Düngung adäquat an die Nachlieferung aus der Organik anpassen zu können. Im Betriebsalltag hat sich auch ein vierwöchiger Beprobungsrhythmus bewährt

Zur bedarfsgerechten Nachdüngung nach Erhalt des Analyseergebnisses eignen sich schnell wirksame N-Dünger (KAS, ASS, Flüssigdünger). Mit Beratung der LWK NRW wurde die „Löffelchen-Düngung“, bei der die Pflanzen anhand von Bodenanalysen mit mehreren kleineren Mengen schnell verfügbarem N-Dünger direkt nach Bedarf versorgt wurden, mit gutem Erfolg im Weißkohlanbau in Wasserschutzgebieten durchgeführt. Ziel war es optimale Erträge und Qualitäten bei reduzierten N_{\min} -Restwerten zu erzielen.

Düngestrategie nach dem KNS-System, hier sollte vor den Kopfdüngungsterminen eine Bodenanalyse erfolgen.

Kulturdatenblätter

Kulturwoche	Maßnahme	N-Sollwert* ** [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	Tiefe [cm]
1. KW Pflanzung	Grunddüngung	43	43 kg N/ha – N _{min} -Richtwert Abschläge (DüV)	30
3. KW	Kopfdüngung	181	181 kg N/ha – N _{min}	30
9. KW	Kopfdüngung	194	194 kg N/ha – N _{min}	60
Weißkohl, Industrie, mittelschnell wachsend Mineralisation Boden berücksichtigt Aufwuchs 1.500 dt ha ⁻¹ , N im Aufwuchs 350 kg N ha ⁻¹ , Marktertrag 1000 dt ha ⁻¹ *Feller et al. 2011 ** Berücksichtigung des nach DüV ermittelten Düngerbedarfs				

Pflanzenmessung:

Zur Anpassung der Höhe einer Kopfdüngung kann neben einer N_{min}-Probe eine Nitrachek-Messung eingesetzt werden. Der ermittelte Nitratgehalt in ppm (= mg Nitrat/kg Frischmasse) sollte bei Lagerweißkohl Mitte Juni laut Tabellenwerten von Neuweiler (2011) bei etwa 8.000 ppm liegen und von 7.000 ppm Anfang Juli-Mitte Juli auf 5.000 ppm absinken. Mitte August 4.000 ppm und Anfang September sind 3.000 ppm Nitrat ein Indiz für eine ausreichende N-Ernährung. Liegen die Werte höher, ist keine Düngung erforderlich. Bei 500-1.000 ppm unter dem jeweiligen Wert wird eine Kopfdüngung in Höhe von 30 kg N/ha empfohlen. Wird der Sollwert um mehr als 1.000 ppm unterschritten, so werden 60 kg N/ha gedüngt (Neuweiler 2011).

Fruchtfolge:

Gute Vorfrüchte sind Leguminosen, Frühkartoffeln (Ernte Anfang Juni), Sommerporree (Ernte im Juni), frühe Salatsätze unter Folie/Vlies (Ernte ab Mai) und frühe Möhren (Ernte im Juni) (Lattauschke und Laber 2002). Als Nachfrucht kommt Wintergetreide in Frage.

Zwischenfrüchte:

Ab Mitte Oktober kann keine effiziente N-Aufnahme durch eine Zwischenfrucht gewährleistet werden.

Management von Ernterückständen und reduzierte Herbstbodenbearbeitung

Ein relativ spätes Zerkleinern von Ernterückständen, verbunden mit einer späten Einarbeitung, kann die mikrobielle Freisetzung von Nitrat zwischen Herbst und Frühjahr verringern. Fruchtfolgespezifisch ist hier eine Prüfung des Zeitpunktes der Einarbeitung von Ernterückständen nötig, um phytosanitäre Probleme für die Folgekultur auszuschließen. Diese Maßnahme kann bei Flächentausch mit landwirtschaftlichen Betrieben auch in Kombination mit Prüfung des Verzichts auf Herbstbodenbearbeitung erfolgen.

10. Quellenangaben

- Agrarheute (2012): Düngung Brokkoli: Neue Wege bei der N-Düngung gehen. <http://www.agrar-heute.com/landundforst/news/brokkoli-neue-wege-n-duengung-gehen>.
- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Niederbayern (2015): Gemüsebauheft Niederbayern Versuchsergebnisse 2014 Anbauempfehlungen Pflanzenschutzhinweise nach den Richtlinien „Integrierter Pflanzenbau
- BLF (2008): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008)., Richtlinien für die Sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau Stubenring 1, 1010 Wien https://www.ages.at/download/0/0/c5344b8498318b179d7d409bb054bf46fc2d9325/fileadmin/AGES2015/Service/Landwirtschaft/Boden_Datein/Broschueren/Gemuesebaubroschuere_3_Auflage.pdf.
- Fachmagazin Gemüse (2010): Heft 09/2010. <https://www.gemuese-online.de/>.
- Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011): IGZ – Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.
- Gartenbau Profi (2016): Heft 11/2016. Monatsschrift - Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH Rochusstraße 18, 53123 Bonn Deutschland
- Kandeler ANDELER, E. (1993): Bestimmung der N-Mineralisation im anaeroben Brutversuch. In: Schinner, F. et al.(Hrsg.). Bodenbiologische Arbeitsmethoden. SpringerVerlag, Berlin.
- Katroschan, K. U. (2013): Konservierende Bodenbearbeitung (auch) im Gemüsebau? Möglichkeiten und Grenzen des Pflugverzichts im Feldgemüsebau. Versuchsergebnisse 2011-2013. Vortrag Profi-Tag Gemüsebau, Hannover-Ahlem.
- Kivelitz, H. (2017): Die richtige Zwischenfrucht. Auswahl von Zwischenfrüchten unter Berücksichtigung von Fruchtfolge und Saatzeit Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen http://www.riswick.de/versuche/pflanzenbau/zwischenfruechte/veroeffentlichungen/Zwischenfruechte_Fruchtfolgen.pdf.
- Kell, K. (2001): Mit Entec-Einmalgabe zur Pflanzung können im Brokkolianbau im Sommer gute Ergebnisse erzielt werden. Versuche im deutschen Gartenbau 2001. Institut für Gemüsebau an der FH Weihenstephan. <http://www.hortigate.de/bericht?nr=10516>.
- K+S Minerals and Agrikulture GmbH (undatiert): Nährstoff-Interaktion. pdf-Dokument. <http://www.ks-minerals-and-agriculture.com/shared/data/kali-fertiliser-broschures-pdf/broschures-de/de-wissenspeicher-naehrstoff-interaktionen.pdf>.
- Lattauschke, G. und Laber, H. (2002): Hinweise zum umweltgerechten Anbau von Freilandgemüse im Freistaat Sachsen Kohlgemüse, Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Lattauschke, G. und Laber, H. (2002a): Hinweise zum umweltgerechten Anbau von Freilandgemüse im Freistaat Sachsen Möhren, Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 3., überarbeitete Auflage.
- Lattauschke, G. und Laber, H. (2002b): Hinweise zum umweltgerechten Anbau von Freilandgemüse im Freistaat Sachsen Porree, Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 3., überarbeitete Auflage.
- Lattauschke, G. und Laber, H. (2002c): Hinweise zum umweltgerechten Anbau von Freilandgemüse im Freistaat Sachsen Spinat, Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 3., überarbeitete Auflage.

-
- Lengerich, T und Rather, K. (2014): Gemüse grundwasserschonend produzieren Beratungsprojekt der LVG Heidelberg. Landinfo 1 | 2014 https://www.beratung-im-gartenbau.de/WRRL/pdf/Gemuese_grundwasserschonend_Lengerich.pdf
- Lorenz, H.P.; Schlaghecken, J.; Engl, G. (1989): Ordnungsgemäße Stickstoffversorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem " Kulturbegleitenden Nmin- Sollwerte (KNS) - System". Ministerium Landwirtschaft Weinbau Forsten Rheinland-Pfalz, 85.
- LWK Niedersachsen (2007): Die Düngeverordnung und ihre Umsetzung im Gemüsebau. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. www.lwk-niedersachsen.de Redaktion: Fachbereich Nachhaltige Landnutzung, ländlicher Raum © Oldenburg 2007.
- Maync, A. (2001): Die alleinige ENTEC-Grunddüngung hat sich im Folienanbau von Blumenkohl gegenüber der Standarddüngung bei nasser Witterung bewährt. Versuche im deutschen Gartenbau, SLFA Neustadt, LVG Schifferstadt.
- NLWKN (2015): Grundwasser 21. Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz. Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. 2. aktualisierte Auflage: Februar 2015.
- Neuweiler, R. (2007): Stickstoffdüngung: Schweizer Versuchsergebnisse mit Langzeitdüngern in Rosenkohl und Blumenkohl (Auszug aus Gemüsebau-Info Nr. 7/2007, 24.04.2007) Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW Schloss, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz. www.agroscope.ch.
- Neuweiler, R. (2011): Düngung im Gemüsebau | März 2011. Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW Schloss, Postfach, 8820 Wädenswil, Schweiz. www.agroscope.ch.
- Osterburg, B. und Runge, T., (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie.
- Pfenning, J.; Graeff-Hönninger, S.; W. Claupein, W. (2013): Sensorgestützte Stickstoffdüngung bei Brokkoli. – Kohl. Aktuelle Versuchsergebnisse und Informationen aus Baden-Württemberg. LVG Heidelberg, 49-54.
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden, 4. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
- Sommer K. (2005).2 CULTAN – fertilization. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 218. (In German)
- Schweder, P.; Kape, H.-E.; Boelcke, B. (2004): Düngebroschüre Düngung Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern unter Mitarbeit der LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern.
- Übelhör, A.; Billen, N.; Hermann, W.; Morhard, J.; Pfenning, J.; Köller, K; und Claupein W. (2013): Strip-Till im Weißkohlanbau – Wirksamer Erosionsschutz im Gemüsebau. Kohl. Aktuelle Versuchsergebnisse und Informationen aus Baden-Württemberg. LVG Heidelberg, 55-60
- Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (2017): https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/DüV.pdf
- Vogel, G. (1996): Handbuch des speziellen Gemüsebaues, 1996, Verlag Ulmer, Stuttgart Hohenheim.
- Wendland, M. und Lichti, F. (2012): Biogasgärreste Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz Nr. I – 3/2012.

11. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema zur optimalen N-Ausnutzung im Gemüsebau	5
Abb. 2: Ablauf der (Gewässerschutz-)Beratung	6
Abb. 3: Fruchtfolgeplaner der LWK NRW als Beratungsinstrument zur Erstellung eines Anbauplans im Gemüsebaubetrieb mit ersten Beratungsempfehlungen.....	7
Abb. 4: Übersicht der benötigten Informationen zur Düngevorplanung.....	7
Abb. 5: Zeitlicher Ablauf der Düngplanung	8
Abb. 6: Optimierung und Vorplanung der Düngung im Düngportal NRW (Stand 10.02.2021)	11
Abb. 7: Stickstoffquellen für die Ernährung der Pflanzen.....	14
Abb. 8: Anlegen von Kulturen und Berücksichtigung vom Satzanbau im Düngportal NRW.....	25
Abb. 9: N-Düngebedarfsermittlung im Düngportal am Beispiel Brokkoli nach Brokkoli	26
Abb. 10: Wirkungsgeschwindigkeit verschiedener Stickstoffdünger	37
Abb. 11: Umwandlungsprozess von Harnstoff zu Nitrat.....	38
Abb. 12: Wirkungsgeschwindigkeit verschiedener mineralischer Stickstoffdünger und -formen die in den Mineraldüngern vorliegen	39
Abb. 13: Reihendüngerstreuer der Firma Lauwers	41
Abb. 14: Überprüfen der Verteilgenauigkeit (Streubild).....	44
Abb. 15: Wirkungsgefüge der Nährstoffe (K+S Minerals and Agrikulture GmbH undatiert)	45

12. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beispiel einer Flächenhistorie	8
Tab. 2: Messverfahren zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes von Boden und/oder Pflanze.....	15
Tab. 3: Schätzverfahren zur Bestimmung des N_{\min} -Gehalts des Bodens	15
Tab. 4: Faktoren, die bei der Dosierung von Düngemitteln berücksichtigt werden	15
Tab. 5: Übersicht der Maßnahmen, die die N-Auswaschung in das Grundwasser reduzieren	16
Tab. 6: Wertetabelle für Bodenfeuchte (in %) und die zugehörigen Verrechnungsfaktoren	19
Tab. 7: Nitrat-Sollwerte bei der Pflanzensaftanalyse im Freilandanbau bezogen auf das Kultur- stadium (ppm NO_3^-)	20
Tab. 8: Nitrat-Sollwerte bei der Pflanzensaftanalyse im Freilandanbau bezogen auf die Jahreszeit	21
Tab. 9: Faktoren für die Düngedarfermittlung für Acker- und Gemüsebau	23
Tab. 10: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-30 cm	29
Tab. 11: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-60 cm	29
Tab. 12: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur in der Bodenschicht 0-90 cm	29
Tab. 13: N_{\min} -Richtwerte für erste Gemüsekultur nach Getreide.....	30
Tab. 14: N_{\min} Gemüse mit Vorkultur Zwischenfrucht	30
Tab. 15: N_{\min} -Richtwert für Kräuter weiterer Schnitt	30
Tab. 16: N_{\min} -Richtwert für 2. Ackerhauptfrucht 0-60 cm nach Gemüse	30
Tab. 17: N_{\min} -Richtwert Gemüse nach Gemüse, Planung § 13a-Flächen	30
Tab. 18: Mindestwerte für die N-Ausnutzung aus organischen oder organisch-mineralischen Dünge- mitteln im Jahr des Aufbringens	36
Tab. 19: Auswahlkriterien für Stickstoffdünger nach Wasserschutzkriterien	39
Tab. 20: Gehaltsklassen und Faktor zur Berechnung der Düngeempfehlung P, K, Mg	46
Tab. 21: Einteilung der Bodenuntersuchungsergebnisse ($\text{CAL mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g Boden}$) in Gehalts- klassen nach Bodenart.....	47
Tab. 22: Faktor für Errechnung des Düngedarfs in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse	48
Tab. 23: Mögliche Fruchtfolgestrategien mit Zwischenfrüchten (ZF) über drei Jahre	55
Tab. 24: Bewertung des Zwischenfruchtanbaus aus der Literatur	56
Tab. 25: Fruchtfolge mit Sommerzwischenfrucht	56
Tab. 26: N-Eintrag kg/ha durch Beregnung in Abhängigkeit von Nitratkonzentration und Beregnungs- menge	58
Tab. 27: Punktesystem zur Bewertung von Düngemaßnahmen zur N-Optimierung im Gemüsebau.	59
Tab. 28: Punktesystem zur Bewertung von Kulturmaßnahmen zur N-Optimierung im Gemüsebau .	60
Tab. 29: Kulturdauer von Gemüsearten	61
Tab. 30: Durchwurzelungstiefen von Gemüsekulturen (nach DüV)	63
Tab. 31: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für die jeweilige Kultur .	64
Tab. 32: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Kopfkohl.....	64
Tab. 33: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Kohlrabi.....	65
Tab. 34: Ableitung des Handlungsbedarfs zur Minimierung der N-Verluste für Salate	66