

Abschlussbericht

MuD

„Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau“

Berichtszeitraum: 15. Februar 2016 – 30. Juni 2021

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)

Förderkennzeichen: 2816MD100

Laufzeit: 01.07.2016 bis zum 30.06.2021

Verbundpartner:

- **AELF** - Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, FKZ 2816MD400
- **DLR** - Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, FKZ 2816MD300
- **IGZ** - Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren, FKZ 2816MDI00
- **LWK NRW** - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, FKZ 2816MD200
- **TI** - Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Betriebswirtschaft, FKZ 2816MD500

Anmerkung:

Erstellt wird ein gemeinsamer Gesamtabschlussbericht seitens IGZ, das Zusammenführen der Berichtsteile der einzelnen Verbundpartner ist Aufgabe des IGZ. Die Verbundpartner lassen die ihrerseits erstellten Berichte dem IGZ fristgerecht bis zum 31. Mai 2021 zukommen.

Der Gesamtabschlussbericht ist anhand des verbindlichen Arbeits-, Zeit- und Finanzierungsplans zu erstellen. Er hat einen Umfang von min. 70 Seiten aufzuweisen (Tabellen können als Anhang aufgeführt werden).

Der Abgabetermin für den Abschlussbericht an die BLE ist: 30. Juni 2021 (Berichtszeitraum: 15. Februar 2016 – 30. Juni 2021)

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung.....	5
1.1 AELF	5
1.2 DLR 6	
1.3 LWK-NRW	7
1.4 TI 8	
1.5 IGZ 9	
2. Aufgabenstellung und Ziel des MuD-Vorhabens.....	9
3. Stand des Wissens	11
3.1 Welche wissenschaftlichen, oder anderweitig neuen, Erkenntnisse gibt es in dem zu untersuchenden Themenfeld? Inwiefern beeinflussen diese den Projektverlauf?	11
3.2 Rahmenbedingungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde und haben sich für das Projekt bedeutende Rahmenbedingungen (z. B. politisch) während der Projektlaufzeit geändert?	12
4. Arbeitsverlauf (gemäß der Vorhabenbeschreibung im Zeitraum 16. Januar 2020 - 30. Juni 2021)	13
4.1 Tabellarische Darstellung der laut Arbeitsplan geplanten Arbeitsschritte während des abgelaufenen Berichtszeitraums und der tatsächlich durchgeführten Arbeitsschritte, Erläuterung von Abweichungen (in Stichworten)	13
4.2 Tabellarische Darstellung der laut dem verbindlichen Finanzierungsplan während des abgelaufenen Berichtszeitraums geplanten Ausgaben und der tatsächlich getätigten Ausgaben sowie die Erläuterung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.	14
4.3 Erläuterung zur Notwendigkeit und Angemessenheit der bisher geleisteten Arbeit.....	14
4.4 Begründung für vorgenommene, notwendige Änderungen.....	15
5. Beschreiben und bewerten Sie die umgesetzten Methoden und Verfahren.	16
6. Ergebnisse und Diskussion (bezogen auf den Zeitraum 16. Januar 2019 - 30. Juni 2021).....	23
6.1 Wesentliche Ergebnisse und Diskussion zu den bisherigen Arbeiten (gemäß der Vorhabenbeschreibung)	23
6.1.1 Düngefenster und Pflanzenernährung / Optimierung der Maßnahmen für Minderungsstrategien und Quantifizierung der Auswirkungen einer reduzierten Düngung.....	23
6.1.2 Ganzheitliche Pflanzenernährung.....	28
6.1.3 Kulturbegleitende Düngung (Splitting)	30
6.1.4 Optimierung der Beregnung	32
6.1.5 Zwischenfruchtanbau und Begrünung der Flächen.....	35
6.1.6 Ansätze zur Einführung der Stoffstrombilanzverordnung.....	38

6.1.7	Bewertung der Maßnahmen.....	40
6.2	Wie und mit welchen Ergebnissen hat der Wissenstransfer der im MuD-Vorhaben gewonnen Erkenntnisse im Berichtszeitraum stattgefunden (Veranstaltungen, Feldtage, Berichte in Medien, Erstellung von Informationsmaterialien)?.....	46
7.	Wesentliche Ergebnisse und Diskussion (anhand von Fachliteratur) des MuDVorhabens, projektübergreifend	48
7.1	Welche zentralen Aussagen über den Erfolg der Reduktion der N-Überschüsse im Freilandgemüseanbau können getroffen werden (u. a. hinsichtlich Methodik, Betriebsablauf, Aufwand, Ertragserwartung)?.....	48
7.1.1	Methoden zur Berechnung des Düngedarfs.....	48
7.1.2	Kulturbegleitende Düngung (Splitting)	49
7.1.3	Zwischenfruchtanbau und Begrünung der Flächen.....	50
7.1.4	Optimierung der Bewässerung	51
7.1.5	Ganzheitliche Pflanzenernährung.....	52
7.1.6	Weitere Einzelmaßnahmen	52
7.2	Welche zentralen Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der angewandten Maßnahmen können getroffen werden (ökonomisch Begleitforschung)?	55
7.2.1	Düngedarfsermittlung (DBE) nach DüV 2017	55
7.2.2	Zwischenfruchtanbau und Winterbegrünung	56
7.2.3	Optimierung der Bewässerung	56
7.2.4	Teilflächendüngung bei partieller Auswaschung.....	56
7.2.5	Kulturbegleitende Düngung (Splitting)	57
7.2.6	Ganzheitliche Pflanzenernährung.....	57
7.2.7	Technikvergleich	57
7.2.8	N-Expert	58
7.3	Bezug zur zukünftigen neuen Düngeverordnung.....	58
7.4	Welche Verbesserungen konnten im Rahmen des MuD-Vorhabens auf den Praxisbetrieben erzielt werden?	61
7.5	Wurden ggf. Grenzen der Einsetzbarkeit der angewandten Methoden identifiziert?	65
7.6	Bewertung der Umsetzbarkeit in anderen Regionen.....	66
7.7	Stellen Sie über das Vorhaben hinaus gewonnene Erkenntnisse eingehend dar.....	67
7.8	Sonstiges.....	68
8.	Abschließende Evaluierung des Vorhabens (gesamter Berichtszeitraum)	68
8.1	Bezüglich des Projektverlaufes (intern).....	68
8.2	Bezüglich des vertikalen Wissenstransfers	69
8.3	Bezüglich des horizontalen Wissenstransfers des MuD-Vorhabens in die landwirtschaftliche Praxis.....	71

9. Fortführung des Vorhabens.....	72
9.1 Darstellung eines möglichen Forschungsbedarfs, der sich aufgrund der Umsetzung des MuD-Vorhabens ergeben hat.	72
10. Weitere Anmerkungen	74
11. Quellen	75
12. Anhang - Liste der Poster, Vorträge und Veröffentlichungen während der gesamten Projektlaufzeit.....	77

1. Kurzfassung

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde mit dem Start im Jahr 2016 die Begleitung der Modell- und Demonstrationsbetriebe zur Etablierung einer anspruchsvollen Düngebedarfsberechnung, der Umsetzung von Strategien zur Stickstoffminderung und Etablierung von Bodenproben begonnen. Gemeinsam mit den Betrieben konnte die Düngung im Projektverlauf immer weiter optimiert werden und es wurden vorhandene Schwachstellen aufgedeckt. Neben verschiedenen Maßnahmen, die im Rahmen dieses Berichtes beschrieben werden, erweist sich insbesondere die kulturbegleitende Düngung mit einer entsprechenden Anzahl an Kopfdüngungsterminen als erfolgreiches Verfahren zur Verminderung des Stickstoffeinsatzes, welches unabhängig von den Betriebstypen oder Vermarktungsstrategien hilfreich ist. Allerdings erfordert dies eine umfangreiche Beratung und Betreuung der Betriebe und kann auch nicht in 100 % der Fälle dazu führen, dass zum Beispiel eine Verminderung des Stickstoffbedarfs um 20 % dazu führt, dass das Produkt erfolgreich vermarktbar ist. Hier sind immer die spezifischen Bedingungen hinsichtlich des Bodens und der aktuellen Witterung zu berücksichtigen.

Detaillierte Empfehlung zur Düngung mit Stickstoff und Phosphor, zur Nutzung von Hilfsmitteln zu Düngebedarfsberechnung, zur Beregnung und zum Zwischenfruchtanbau wurden auf Basis der Projekterfahrungen in einer BZL-Broschüre für interessierte Betriebe zusammengestellt.

Der Wissenstransfer aus dem Projekt erfolgte über diverse Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Veranstaltungen – zuletzt pandemiebedingt nur Onlineveranstaltung – zu Beratung und Anbaupraxis. In einigen Veranstaltungen waren auch VerbraucherInnen oder WissenschaftlerInnen die Zielgruppe. Die Betriebsleiter tauschten sich 2018 und 2021 unter Moderation der ProjektmitarbeiterInnen regionsübergreifend über Ihre Erfahrungen aus. Allgemein ermöglichte die regionsübergreifende Zusammenarbeit, auch zwischen den Projektarbeitenden, einen besonderen Erkenntniszuwachs zur N-Düngung im Freilandgemüsebau.

Im Folgenden wird kurz auf wichtige Aspekte und Ergebnisse der Projektbearbeitung der einzelnen Partner eingegangen.

1.1 AELF

Im Rahmen des BLE-Projekts „Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau - Teilprojekt Knoblauchland“ konnte auf vier Modellbetrieben im Knoblauchland aufgezeigt werden, wie eine nachhaltige und ressourcenschonende Düngung in der Praxis umgesetzt werden kann und welche Faktoren einen Nitrataustrag ins Grundwasser reduzieren können. Über die rechtlichen Vorgaben der DüV hinaus wurden weitere Strategien mit den Betrieben entwickelt und erprobt sowie Probleme zusammengestellt. Dabei leisteten die Betriebe selbst einen wichtigen Beitrag dazu, praxistaugliche Lösungen zu entwickeln. Möglichkeiten einer N-Einsparung zeigten sich beispielsweise durch eine exakte Düngebedarfsermittlung unter Berücksichtigung des gemessenen N_{\min} -Gehaltes, kulturbegleitende Düngung mit regelmäßigen N_{\min} -Beprobungen oder infolge der Förderung eines ausgeglichenen Nährstoffhaushalts des Bodens. Da eine schnelle und einfache Möglichkeit der Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes von großer Relevanz ist, wurde z.B. auch der Nitratschnelltest Nitracheck im Projekt validiert, was zu einer Zulassung des Schnelltests für den Gemüsebau in Bayern führte. Zudem konnte die

Bewässerungstechnik bei Überkopfberegnung verbessert werden, indem die „Bewässerungshardware“ durch die richtige Kombination von Wasserdruck, Aufstellverband und Regnertyp optimal aufeinander abgestimmt wurde. So wurde eine höhere Wasserverteilgenauigkeit auf der Fläche erreicht und damit der Wasserverbrauch gesenkt sowie der Gefahr einer Auswaschung von Stickstoff und weiteren Nährstoffen entgegengewirkt. Weitere Faktoren, die im Zusammenhang mit der Stickstoffversorgung der Gemüsekulturen stehen, wie Humusgehalt und Gründüngungen beispielsweise, wurden aufgedeckt und eingehend untersucht. Im Projekt konnten aber auch Grenzen einer Optimierung definiert werden, die vor allem im Zusammenhang mit Starkregenereignissen und damit verbundener Nitratauswaschung auf den sandigen Böden im Knoblauchsland standen. Durch zahlreiche Veranstaltungen und Beiträge in Fachzeitschriften fand sowohl regional als auch überregional ein intensiver Wissenstransfer statt. Vor allem die landwirtschaftliche Praxis zeigte großes Interesse an Ergebnissen und Erkenntnissen des Projekts und die anhaltende Aktualität der Thematik kam dabei stets zum Ausdruck.

1.2 DLR

In den zwei Modellbetrieben wurden auf einer Vielzahl von Schlägen nicht nur die Düngebedarfsermittlung, die Probennahme von Boden und Pflanzenproben und die Optimierung der Düngung begleitet, sondern auch Strategien zur Optimierung entwickelt. Dies nicht nur für die konventionellen Schläge, sondern auch für Schläge der jeweiligen Bio-Betriebe.

Mit den Abläufen zur Düngeplanung, -terminoptimierung und -dokumentation haben sich die Führungskräfte in beiden Projektbetrieben sehr vertraut gemacht. Die Vorschriften gemäß gültiger DüV wurden nach Einschätzung und Beobachtungen der Projektmitarbeiter durchgängig beachtet. Eine wichtige Rolle spielte die kulturbegleitende Probennahme und Düngung auf Beispielsschlägen.

Die besonders wichtigen Nmin-Bodenanalysen kommen praktisch auf allen Bewirtschaftungseinheiten zum Einsatz. Die Analysenzahl im Gesamtbetrieb, d.h. Projekt-Proben plus betriebs-eigene Analysenaufträge, insbesondere bei der Erstkultur, hat sich deutlich erhöht und erfolgt durch die gute Agrarsoftwareunterstützung auch kontinuierlich.

Das im Rahmen des Projekts eingeführte Kontrollinstrument „Blattanalysen“ wird spontan auf kritischen Schlägen bzw. zur Vermeidung von Fehleinschätzungen herangezogen, um N-, P-, Mg-, S- oder Spurennährstoffmangel zu verhindern. Dieses neue Instrument ist wichtig zur Ertrags- und Qualitätssicherung und gleichzeitiger Vermeidung einer Überdüngung. Insbesondere ist es relevant für die Integration neuer Pachtflächen, für bekannt kritische Standorte oder bei erkennbaren Qualitätsproblemen während Kontrollgängen.

Im Verlauf der Projektbearbeitung wurden zu wesentlichen Fragen von N- Minderungsstrategien verstärkt Parzellenfeldversuche durchgeführt. Diese Versuche erfolgten vor allem mit den laubkritischen Kulturen Radies, Bundzwiebel, Porree, Waschmöhre und Mairübe, um den Effekt der Reduzierung des berechneten N-Düngebedarfs zu prüfen. Im Jahr 2019 waren deutlich zu erkennende Aufhellungen der Blätter und Verfärbung von Radiesknollen sichtbar, welche vom Handel nicht akzeptiert werden. Diese Ergebnisse konnten 2020 nicht bestätigt werden, da hier eine Reduktion um beispielsweise 20 % nicht zur ausgeprägten Qualitätsminderung führte.

Nach anfänglich gutem Start gab es ab April 2020 unerwartete Kommunikationsprobleme zwischen der RIWO-Agrarsoftware und der Agrarmeteorologie RLP beim schlagspezifischen Datenabruf (Standardverdunstung, natürlicher Niederschlag) zur Berechnung des aktuellen Wasserdefizites sämtlicher aktiver Flächen. Geplante Bewässerungsversuche konnten daher nur modifiziert durchgeführt werden. Der Datentransfer der Schnittstelle zwischen Agrarsoftware (RIWO) und dem Bodenlabor (BOLAP) war nicht immer störungsfrei möglich. Die Ursache schien nach wie vor auf Bodenlabor-Seite zu liegen. Dieses Schnittstellenproblem ließ sich erst im Juli 2020 beheben. Fehlerprüfungen von Bodenlabor-Datenauftrag und -rücklauf waren ab diesem Zeitpunkt durchwegs positiv.

1.3 LWK-NRW

Im Teilvorhaben der LWK NRW wurde mit drei mittelgroßen Modellbetrieben (30-150 ha Anbaufläche) mit unterschiedlichen Anbauportfolios zusammengearbeitet. Nachdem das Jahr 2016 durch Recherche, Organisation, Kennenlernen und Sensibilisierung der Betriebe geprägt war, wurde in den Jahren 2017-2020 die Düngung auf den Modellbetrieben intensiv begleitet. Ab 2018 wurde auch die Bewässerungsstrategie der Betriebe untersucht, um deren Einfluss auf Stickstoffverfügbarkeit und Auswaschung festzustellen. Eine Optimierung der Bewässerung war unter den gegebenen Voraussetzungen kaum möglich, da dafür größere strukturelle Änderungen im örtlichen Bewässerungssystem nötig wären, die einen zeitlich flexibleren Zugriff auf Brunnenwasser ermöglichen. Im letzten Projekthalbjahr (Januar bis Juni 2021) bildeten Wissenstransfer, abschließende Projektdokumentation, die Übergabe an die nachfolgende Wasserschutzberatung bzw. die Begleitung der Betriebe in die selbstständige Durchführung der erarbeiteten Strategien die Arbeitsschwerpunkte.

Die Optimierung der N-Düngung erfolgte schwerpunktmäßig durch das KNS-System und das Anlegen von Düngefenstern. Insbesondere zu Beginn des Projektes spielte die Düngebedarfs-ermittlung, die im Laufe des Projektes dann als gesetzlicher Standard etabliert wurde, eine wesentliche Rolle bei der Optimierung der Düngung. Das Kulturbegleitende-Nmin-Sollwert-system (KNS-System) ist insbesondere bei länger stehenden Kulturen (z. B. Kohlarten, Knollensellerie, Porree) in Kombination mit kulturbegleitender Nmin-Beprobung geeignet., Konkretere Empfehlungen bezüglich Terminierung und Dosierung von Düngeeinzelgaben ergänzend zur Düngebedarfsermittlung können so ermittelt werden. Eine erfolgreiche Anwendung ist für Betriebe in der Praxis meist nur mit Unterstützung der Beratung zu leisten und mit Mehrkosten- sowie Mehraufwand verbunden.

Weitere Faktoren der Düngungsoptimierung waren Düngemittelwahl und Ausbringungstechnik. Grundsätzlich hat sich im Projekt bewährt, die Nährstoffe N und P bei der mineralischen Düngung getrennt auszubringen. Hinsichtlich der organischen Düngung wurde empfohlen, eher auf Festmist oder Kompost als auf Gülle zu setzen, um die N-Nachlieferung und den Humusgehalt der Böden langfristig zu verbessern. Im Bereich der Düngetechnik hat sich bei Beetkulturen der Einsatz eines Kastendüngerstreuers gegenüber der breitwürfigen Ausbringung mit dem Schleuderstreuer bewährt. Eine Düngerablage Unterfuß zeigte im Projekt keine zusätzlichen Vorteile im Vergleich zum Kastendüngerstreuer. Eine Blattdüngung, z. B. mit Harnstoff erwies sich bei mehrmaliger Anwendung im Porree und Kopfkohl als sehr effektiv, in Salaten konnten aufgrund der kürzeren Kulturzeit nur geringe N-Mengen mit Blattdüngung verbrennungsfrei ausgebracht werden. Dies ermöglichte teilweise kurzfristige qualitätssichernde Effekte.

Hohe Stickstoffreste zu Kulturende erwiesen sich trotz optimierter Düngestrategien bei vielen Gemüsekulturen nicht immer vermeidbar, insbesondere dann, wenn flache Wurzeln einiger Kulturen den Stickstoff unter 30 cm Bodentiefe nicht mehr aufnehmen können. Bei anderen Kulturen erwies sich die Mineralisierung der verbleibenden Erntereste als entscheidendes Problem. Der Zwischenfruchtanbau hat sich grundsätzlich als guter Lösungsansatz dieses Problems herausgestellt. Um effektiv Stickstoff aufnehmen zu können, müssen Zwischenfrüchte jedoch so früh wie möglich ausgesät werden. Je nach Standort, Wetter und verwendeten Arten zeigten bis Mitte September oder Anfang Oktober ausgesäte Zwischenfrüchte noch eine effektive Stickstoffaufnahme und führten zu einer relevanten Reduktion oder Verhinderung der Stickstoffauswaschung.

1.4 TI

Während in den ersten drei Projektjahren die ökonomische Analyse zum großen Teil auf die regionsspezifischen Besonderheiten ausgerichtet war, wurde danach angestrebt, generellere Aussagen zu treffen, die dann in die Veröffentlichung der Projektergebnisse in einer BZL-Broschüre einfließen. Dazu wurden für wesentliche Maßnahmen Modellrechnungen auf der Grundlage der Parzellengröße sowie des Niveaus des Dünge-Einsparpotenzials durchgeführt. Damit soll eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in die allgemeine gemüsebauliche Praxis erreicht werden.

Als Ergebnis lassen sich zentrale Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen im Zusammenhang mit N Minderungsstrategien ableiten:

- In Bezug auf die Umsetzung der Düngbedarfsermittlung haben größere Betriebe oft strukturelle Vorteile, da sie tendenziell über mehr Fachpersonal und besser an die gesetzlichen Rahmenbedingungen anpassbare digitale Lösungen verfügen.
- Für die Winterbegrünung konnte durch Modellrechnungen gezeigt werden, dass sich der Anbau von Winterzwischenfrüchten lohnen kann, wenn Flächen ansonsten brachliegen würden.
- Im Hinblick auf eine häufigere Aufteilung der Düngemenge in Teilgaben wurden Modellrechnungen durchgeführt, bei denen nicht nur die Zahl der Düngegaben, sondern auch die angewendeten Düngeverfahren variiert wurden. Eine mögliche Strategie ist, dass auf eine Grunddüngung verzichtet wird und zwei Kopfdüngungsgaben nach jeweils aktuell berechnetem Düngbedarf durchgeführt werden. Dies ist nur geringfügig teurer als das Standardverfahren. (187 €/ha vs. 181 €/ha).
- Der Technikvergleich zeigt, dass die Arbeits- und Maschinenkosten bei einer Ausbringung mit dem Kastendüngerstreuer um mehr als das Zehnfache höher liegen als bei einer Ausbringung mit dem Schleuderdüngerstreuer (Daten nach KTBL 2017). Allerdings ergeben sich Düngereinsparungen durch höhere Genauigkeit bei der Ausbringung mit dem Kastenstreuer mit Reihenstreuungsfunktion, und im Unterschied zum Schleuderdüngerstreuer ist eine Kombination mit einem anderen Arbeitsgang möglich, wodurch sich in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge und dem Einsparniveau ein Nettonutzen ergeben kann (In der Modellrechnung im Bereich zwischen 8 €/ha und 25 €/ha).

- Bei der Verwendung der Software N-Expert ergeben sich in einzelnen Fällen Düngeempfehlungen, die in ihrer Höhe etwas unter dem Düngebedarf liegen, der unter gleichen Bedingungen nach den Regeln der Düngeverordnung ermittelt werden würde. In diesen Fällen empfiehlt sich eine Düngung nach der Empfehlung von N-Expert. Die Differenz zwischen der N-Expert-Empfehlung und dem nach der Düngeverordnung ermittelten Düngebedarf kann dann zum Aufbau eines betrieblichen Stickstoffpuffers beitragen.

1.5 IGZ

Neben der Koordination hat das IGZ im Rahmen der Projektbearbeitung einerseits die Datenbasis für die Düngung und N-Expert kontinuierlich aktualisiert, die Software N-Expert an die Gegebenheiten der Düngeverordnung und der Stoffstrombilanzverordnung angepasst und die erforderliche Anzahl an Einstichen für Nmin Bodenproben durch umfangreiche Einzelauswertung von Einstichen verschiedener Schläge bestimmt. Im Ergebnis dieser Auswertung wurden insbesondere für die Nmin Analysen zur zweiten oder dritten Gemüsekultur mindestens 16 Einstiche je Bodenprobe als erforderlich angesehen. Die erwartete höhere Variabilität auf ökologisch bewirtschafteten Flächen konnte nicht bestätigt werden, sodass hier die gleiche Einstichanzahl anzusetzen ist. Der Variationskoeffizient liegt bei 16 Einstichen bei 10 %. Dies bedeutet beispielsweise bei einem ermittelten Nmin Wert von 100 kg N/ha kann der tatsächliche Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 68 % in dem Bereich von 90-110 kg N/ha liegen. Soll die Wahrscheinlichkeit 95 % betragen ist mit einem Wert zwischen 80 und 120 kg N/ha zu rechnen.

Weiterhin wurde die Projekthomepage <https://moden.igzev.de/de/> mit dem Ziel eines schnellen Wissenstransfers regelmäßig aktualisiert.

2. Aufgabenstellung und Ziel des MuD-Vorhabens

Hintergrund des Projektes ist die Problematik von Stickstoffüberschüssen in der gemüsebaulichen Produktion, die das Risiko einer Belastung des Grund- und Oberflächenwassers mit Nitrat erhöhen. Ziel des Projektes ist es, verlustarme Stickstoffdüngestrategien zu entwickeln, in Modell- und Demonstrationsbetrieben zu erproben und den erarbeiteten Wissensstand in die Praxis zu transferieren.

Hierbei sind zwei Etappen der Bearbeitung zu unterscheiden. Zum Projektbeginn galt die Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (DüV 2007). Die Projektziele wurden ursprünglich unter Berücksichtigung dieser Situation formuliert. Gegen Ende der ersten 1,5 Jahre trat die novellierte Düngeverordnung (DüV 2017) mit konkreten Vorschriften für die Düngebedarfsermittlung in Kraft und damit startete die zweite Etappe. Im letzten Projektjahr wurde die Düngeverordnung nochmals novelliert (DüV 2020).

In der **ersten Etappe** bis zum Inkrafttreten der DüV 2017 stand die damalige Situation hinsichtlich der Stickstoffdüngung im Vordergrund:

Gartenbauliche Produktionssysteme sind durch den Anbau von Pflanzen gekennzeichnet, die einen hohen Stickstoff-(N)-bedarf haben und im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Arten kurze Kulturzeiten aufweisen. Daher muss eine große N-Menge in vergleichsweise kurzer

Zeit zur Verfügung stehen, um hohe Erträge und gute Qualität zu gewährleisten. Die Stickstoffdüngung wurde in der Regel nach Erfahrung bemessen. Dabei war es praxisüblich, Unsicherheiten in der Prognose des Düngungsbedarfs durch Sicherheitszuschläge auszugleichen. Dies führte in vielen Fällen zu überhöhten Düngergaben und damit zu Nährstoffverlusten an die Umwelt. Der geschätzte N-Düngebedarf beruht immer auf Vorhersagen von N-Bedarf der Pflanzen und N-Angebot des Bodens und beides wird stark von Witterung und Standorteigenschaften beeinflusst, damit sind Vorhersagefehler prinzipiell nicht auszuschließen, sondern zu erwarten. Eine Überschätzung des Düngebedarfs birgt nur ein geringes betriebswirtschaftliches Risiko, da die Düngerkosten vergleichsweise gering sind. Eine Unterschätzung des Düngebedarfs hingegen birgt für Gemüsebaubetriebe ein erhebliches Risiko, da bei einigen Gemüsekulturen bereits ein geringer Nährstoffmangel dazu führt, dass eine Vermarktung der gesamten Erntemenge des Schlags nicht oder nur teilweise möglich ist und dadurch Erlöse von mehr als 10 000 €/ha verloren gehen können.

Ziele des Vorhabens in der ersten Etappe waren demzufolge:

- Nutzung von Nmin-Analysen und N-Sollwerten für die Ermittlung des Düngebedarfs
- weitere Ansätze, die zur Verminderung von N-Verlusten beitragen, unter Praxisbedingungen demonstrieren (z.B. Berechnungssteuerung, Fruchtfolgeplanung, Berücksichtigung organischer Dünger und Ernterückstände)
- Akzeptanz für N-Minderungs-Maßnahmen bei den Betriebsleitern schaffen
- regionale Unterschiede der Betriebsstrukturen berücksichtigen
- durch die ökonomische Begleitforschung die Diskussion über den Aufwand und Nutzen von N-Minderungs-Maßnahmen objektivieren.

Wesentliche Merkmale dieses Vorhabens mit einer überregionalen und interdisziplinären Struktur sind:

- Einheitliche Nutzung des von Beratung und Wissenschaft erarbeiteten Stand des Wissens
- Modellhafte Umsetzung der DüV in Betrieben mit sehr unterschiedlichen Produktionssystemen und Betriebsorganisationen
- Umfassende, betriebsübergreifende Kosten- Nutzenanalyse
- Netzbildung und Wissenstransfer zwischen wichtigen Gemüsebauregionen in Deutschland.

In der **zweiten Etappe** der Projektbearbeitung, nach Einführung der DüV 2017 und damit dem Inkrafttreten von Stickstoffbedarfswerten und Nmin Analysen haben sich die Ziele stärker fokussiert auf die weitere Ausarbeitung von N Minderungsstrategien, die Erhöhung der Stickstoffeffizienz unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede bedingt durch unterschiedliche Betriebsstrukturen und durch die ökonomische Begleitforschung die Diskussion über den Aufwand und Nutzen von N Minderungsmaßnahmen zu objektivieren.

Ein Hilfsmittel, welches zur Optimierung der Düngung eingesetzt wurde, war das in Großbeeren entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem N-Expert. Dieses wurde in allen Regionen eingesetzt zur Berechnung des Stickstoffbedarfs und der kulturbegleitenden Düngung. Die Datenbank von N-Expert und die Algorithmen sollten und wurden dem Entwickler der RIWO Software in DLR Rheinpfalz zur Integration in das dort von den Betrieben eingesetzte umfangreiche Programmpaket mit Schlagkartei zur Verfügung gestellt.

Zum Erreichen einer breiten Akzeptanz der N-Minderungsmaßnahmen bei den Betriebsleitern und Führungskräften wurde zusätzlich zu der wissenschaftlichen Begleitung und Demonstration im Feld eine ökonomische Betrachtung der einzusetzenden Maßnahmen vorgenommen. Hierbei spielte auch die arbeitswirtschaftliche Optimierung umweltrelevanter Dokumentationsabläufe eine Rolle.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse sollen über verschiedene Wege des Wissenstransfers allen Gemüseanbauern in Deutschland zur Verfügung gestellt werden, um so die Nitrat austräge in das Grundwasser deutschlandweit zu mindern.

3. Stand des Wissens

3.1 Welche wissenschaftlichen, oder anderweitig neuen, Erkenntnisse gibt es in dem zu untersuchenden Themenfeld? Inwiefern beeinflussen diese den Projektverlauf?

Grundsätzlich neue **wissenschaftliche Erkenntnisse** zur N-Dynamik im Boden, zu N-Boden- und -Pflanzenanalysen oder neuen Düngestrategien konnten nicht registriert werden. Im Rahmen der Modellentwicklung und der Arbeiten zu N-Expert gelang es, das Mineralisierungspotenzial organischer Düngemittel und der Ernterückstände auf der Basis einer umfangreichen Literaturschau zu quantifizieren und modellmäßig abzubilden.

Anderweitig neue Erkenntnisse beziehen sich einerseits auf die Verfahren der Berechnungssteuerung nach der „Geisenheimer“ Methode, auf Versuchsergebnisse verschiedener Lehr- und Versuchsanstalten zu Nährstoffgehalten einzelner Gemüsearten, Düngerformen und auf die neue Technik zur Erhöhung der Verteilgenauigkeit von Dünger. Diese Erkenntnisse konnten im Projektverlauf in die Arbeit mit den Betrieben einfließen.

Die Broschüre des Modellvorhabens „Demonstrationsbetriebe zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüsebau“ (Zinkernagel, et al. 2017) unterstützte den im Projekt gewonnenen Eindruck, dass die Geisenheimer Steuerung nicht ohne weiteres in jedem Betrieb eingesetzt werden kann. Auch zeigte die Broschüre, dass die Geisenheimer Steuerung an Ertragsniveau, Vermarktungsart, Kulturdauer und Verfügbarkeit von Wasser angepasst werden muss. Da im Gemüsebau die Stickstoffbedarfsermittlung und die Effizienz des eingesetzten Düngers eng mit der Ertragserwartung bzw. den tatsächlich realisierten Erträgen korreliert, spielt die Berechnung der Bestände eine große Rolle. Einerseits kann bei zu hohen Wassergaben, einer unzureichenden zeitlichen Verteilung (Berechnungssteuerung mangelhaft) und bei unzureichender Verteilgenauigkeit Stickstoff ausgewaschen und andererseits bei zu geringen Wassergaben der Ertrag reduziert und damit die Stickstoffeffizienz verringert werden.

Die zweimalige Novellierung der Düngeverordnung (DüV 2017, DüV 2020) beeinflusste die Projektziele in dem Sinne, dass nochmals deutlich höhere Ansprüche an die N-Minderungsstrategien gestellt werden mussten.

Für die ökonomische Bewertung von Stickstoffminderungsmaßnahmen war die Abschätzung der Risiken für den Betrieb ein entscheidendes Kriterium. **Neu** ist hier eine Veröffentlichung von Komarek et al. (2020) zu den wichtigsten Risikoarten in der Landwirtschaft, die insgesamt 5.294 Studien zu Risiko im landwirtschaftlichen Bereich aus den Jahren 1974-2019 auswertete. Die mit Abstand größte Bedeutung wird dem Produktionsrisiko zugemessen, gefolgt vom

Marktrisiko. Das Marktrisiko schließt auch Preisrisiken von Erzeuger- als auch von Betriebsmittelpreisen ein. Auf dieser Basis wurden die Risiken von Stickstoffminderungsmaßnahmen bewertet.

3.2 Rahmenbedingungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde und haben sich für das Projekt bedeutende Rahmenbedingungen (z. B. politisch) während der Projektlaufzeit geändert?

Der gesetzliche Rahmen war ab dem 02.06.2017 die DüV 2017, bis dahin erfolgte die Düngung nach den Vorgaben zur Düngebedarfsermittlung gemäß DüV nicht in verpflichtender schriftlicher Form. Die Ermittlung des Düngebedarfs erlaubte den Betrieben deutlich mehr Spielraum, beispielsweise bei der Einschätzung der N-Nachlieferung aus Ernteresten und des aktuellen N_{\min} -Gehalts. Ab 2017 wurde auf den Betrieben die DüV 2017 umgesetzt und darüberhinausgehende Maßnahmen erprobt. Erst im Mai 2018 wurden die Vollzugshinweise für die Umsetzung der Düngeverordnung auf Bundesebene beschlossen. Die fehlenden Vollzugshinweise erschwerten bis zum Zeitpunkt des Bekanntwerdens in Einzelfällen die Umsetzung der DüV, beispielsweise die Bewertung von Vermarktungsresten im Betrieb nicht geregelt oder es fehlte die verbindliche Vorgabe für die Analytik bei der N_{\min} Probennahme.

Anfang 2019 wurde bekannt, dass die Bundesregierung aufgrund des Vertragsverletzungsverfahrens der EU gegen Deutschland die Düngeverordnung erneut novellieren wird. Die für den Gemüsebau relevantesten zu diesem Zeitpunkt geplanten Änderungen waren die Reduzierung des errechneten N Düngebedarfs um 20 % und der verpflichtende Anbau von Zwischenfrüchten auf nitratbelasteten Flächen, sowie die Dokumentation jeder Düngemaßnahme innerhalb von 2 Tagen und die Einführung der Stoffstrombilanzpflicht bereits für das Jahr 2021.

Die aktuelle Novelle der Düngeverordnung aus dem Jahr 2020, die in den sogenannten „Roten Gebieten“ eine N-Düngung von 20 % unter dem berechneten Düngebedarf vorsieht, hat im kommerziellen Gemüsebau erneut zu einer Debatte über die Folgen einer reduzierten Stickstoffdüngung und den damit verbundenen Risiken geführt.

Die Düngeversuche in den drei Modellregionen wurden deshalb im Jahr 2020 gezielt auf diese Problemstellung abgestimmt. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Versuche wurde im Teilprojekt ökonomische Begleitforschung untersucht,

- welche betriebswirtschaftlichen Risiken sich bei reduzierter Stickstoffdüngung im Gemüsebau ergeben,
- welche Kosten für Maßnahmen zur Risikominderung zu veranschlagen sind und
- wie Risiken und Risikominderungsmaßnahmen vor dem Hintergrund verschiedener Gemüsekulturen und unterschiedlicher betrieblicher Gegebenheiten zu beurteilen sind.

4. Arbeitsverlauf (gemäß der Vorhabenbeschreibung im Zeitraum 16. Januar 2020 - 30. Juni 2021)

4.1 Tabellarische Darstellung der laut Arbeitsplan geplanten Arbeitsschritte während des abgelaufenen Berichtszeitraums und der tatsächlich durchgeführten Arbeitsschritte, Erläuterung von Abweichungen (in Stichworten)

Die Arbeitsschritte sind in den Teilprojekten tabellarisch aufgelistet, weshalb hier auf eine nochmalige detaillierte Darstellung der einzelnen Projektpartner verzichtet wird, sondern nur eine generelle Beschreibung anhand des Verlängerungsantrages des IGZ erfolgt.

AP 1: Optimierung der Maßnahmen für N-Minderungsstrategien auf der Basis bisheriger Erkenntnisse und Erfahrungen in den Regionen

Zur Optimierung der Maßnahmen für Minderungsstrategien auf der Basis bisheriger Erkenntnisse und Erfahrungen wurden in den Modellregionen Düngefenster angelegt bzw. beim DLR Parzellenfeldversuche durchgeführt. Auch alle weiteren, teilweise regionspezifische Maßnahmen wurden verstetigt. Dazu gehörte der Gesamtkomplex der Nmin Probenahme und Analytik, die Auswahl der zu verwendenden Dünger, die Verbesserung der Verteilgenauigkeit im Düngerstreuerbereich und bei der Beregnung, die Beregnungssteuerung, der Zwischenfruchtanbau zur Konservierung von Stickstoff. Aber auch darüber hinausgehende Möglichkeiten, wie beispielsweise die Unterfußdüngung, die Blattdüngung und die Berücksichtigung einer ganzheitlichen Pflanzenernährung, wurden geprüft.

AP 2: Quantifizierung der Auswirkungen einer reduzierten Düngung

Zur Quantifizierung der Auswirkungen einer reduzierten Düngung erfolgten entsprechende Ertragsfeststellungen in allen Modellregion. Neben der Erfassung des Rohertrages lag der Schwerpunkt auf der Quantifizierung des Marktertrages und der Vermarktungsfähigkeit. Diese Daten waren Grundlage für die Bewertung des Risikos von N Minderungsstrategien durch das Thünen Institut.

AP 3: Einführung der Stoffstrombilanzierung in den Modellbetrieben mit Erfassung des zusätzlich bedingten Aufwandes

Die Einführung der Stoffstrombilanzierung in den Modellbetrieben mit Erfassung des zusätzlich bedingten Aufwandes konnte nicht umfassend durchgeführt werden (Erläuterung unter 4.4).

AP 4: Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten für die Nutzung von organisch und organisch mineralischen Düngemitteln im Gemüsebau bei Arten mit hohem Stickstoffbedarf

Zur Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten für die Nutzung von organisch und organisch mineralischen Düngemitteln im Gemüsebau bei Arten mit hohem Stickstoffbedarf wurden im IGZ Modellrechnungen durchgeführt um schlagbezogen den Stickstoffbedarf mit organisch mineralischen Düngern zu decken.

AP 5: Ermittlung von Quoten der Begrünung auf den Flächen der Betriebe

Im Knoblauchsland und in NRW wurden Quoten der Begrünung auf den Flächen der Betriebe ermittelt. Im DLR (Rheinpfalz) wurde eine intensivere Nutzung der Zwischenbegrünung initiiert und mit Nmin Messungen begleitet. Die positiven Effekte

auf die Reduzierung der N Austräge vor Beginn der Ausweisungsperiode konnten den Betriebsleitern gezeigt werden.

AP 6: Einsatz von N-Expert, kulturbegleitende Düngung

Die kulturbegleitende Düngung wurde mittels verschiedener Hilfsmittel (N-Expert, entsprechende Tabellenwerke des KNS-Systems) in den Betrieben auf einzelnen Schlägen umgesetzt. Gekoppelt wurde die kulturbegleitende Düngung mit Nmin Proben während der Kultur, insbesondere vor den Kopfdüngungstermin und zum Kulturabschluss.

AP 7: Dokumentation der Ergebnisse in Form einer Praxisbroschüre

Zur Dokumentation der Ergebnisse in Form einer Praxisbroschüre haben alle Projektpartner intensiv beigetragen. Workshops zum Wissenstransfer konnten aufgrund der Corona-Pandemie nur virtuell stattfinden. Im April 2021 wurden zwei Workshops gemeinsam mit den Kooperationspartnern und den Projektbetrieben organisiert. Durch die gemeinsame Organisation eines Themenschwerpunktes bei der Bundesberaterntagung für Gemüsebau in Grünberg im März 2021 konnte ein Wissenstransfer über die Projektergebnisse in die Beratungspraxis erreicht werden.

4.2 Tabellarische Darstellung der laut dem verbindlichen Finanzierungsplan während des abgelaufenen Berichtszeitraums geplanten Ausgaben und der tatsächlich getätigten Ausgaben sowie die Erläuterung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.

Die geplanten und tatsächlich getätigten Ausgaben sind in den Teilprojekten tabellarisch aufgelistet, weshalb hier auf eine nochmalige Darstellung verzichtet wird.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass größere Abweichungen vor allem in der Kostenposition Dienstreisen (Position 0846) bei allen Projektpartnern auftraten. Aufgrund von Corona konnten geplante Präsenztreffen nicht stattfinden und auch Tagungen zur Vorstellung der Ergebnisse in den Jahren 2020 und 2021 fanden nicht statt.

Im DLR Rheinpfalz und dem Thünen Institut ergab sich ein Minderbedarf bei den Personalkosten (Position 0812 bzw. 0817). Dies war bei beiden Projektpartnern durch Wechsel der Stelleninhaber bedingt.

Ansonsten gab es keine gravierenden Änderungen. Für das Jahr 2021 lag der zahlenmäßige Nachweis bis zum 30. Juni, bzw. dem Abschluss der Berichte noch nicht vor. Lediglich DLR Rheinpfalz konnte die Zahlen darlegen. Von dem Projektpartner NRW wurde eine geschätzte Hochrechnung vorgenommen. Keiner der Projektpartner wird das bereitgestellte Projektbudget überschreiten.

4.3 Erläuterung zur Notwendigkeit und Angemessenheit der bisher geleisteten Arbeit.

Alle durchgeführten Arbeitsschritte können nach dem heutigen Stand des Wissens als notwendig und angemessen beurteilt werden.

4.4 Begründung für vorgenommene, notwendige Änderungen

Die vorzeitige Einführung der Stoffstrombilanzverordnung in die Betriebe und die damit verbundene angestrebte Entwicklung von Erfassungsbögen wurde nicht intensiv vorangetrieben. Grund hierfür ist die neue Düngeverordnung 2020. Mit dem in Kraft treten der neuen Düngeverordnung 2020 und dem Wegfall des Nährstoffvergleiches (ehemals § 8 und § 9 der Düngeverordnung) war klar, dass die Stoffstrombilanzverordnung ebenfalls novelliert werden muss. Damit erschien es nicht sinnvoll diesen Punkt intensiv voranzutreiben.

Corona bedingt konnten geplante Präsenz Vorträge und Veranstaltungen zum Wissenstransfer nicht stattfinden. Diese wurden teilweise durch Onlineveranstaltungen ersetzt.

5. Beschreiben und bewerten Sie die umgesetzten Methoden und Verfahren.

Nmin Bodenanalysen

Die Nmin Bodenanalytik erfolgte in allen drei Regionen und allen Betrieben auf einer Vielzahl von Schlägen zu Kulturbeginn, zum Vegetationsende und zu Kopfdüngungstermin. Neben der Analyse in akkreditierten Laboren wurde teilweise auch das Nitracheck Verfahren eingesetzt. In einem Modellvergleich konnte im Knoblauchsland nachgewiesen werden, dass es eine enge Korrelation zwischen den Ergebnissen der beiden Analyseverfahren gibt. Die Verfahren sind gut beschrieben und die Anzahl an Einstichen für eine Mischprobe wurde auf Basis der Untersuchung des IGZ auf 16 festgelegt.

Sowohl im Projekt als auch allgemein stellt die Nmin-Beprobung mit einer darauf abgestimmten Düngung vermutlich die wichtigste Methode dar, die Düngung zu optimieren, da nur so eine Anpassung der Stickstoffgabe an den zu erwartenden Pflanzenbedarf stattfinden kann. Damit ist dieses Verfahren eine wesentliche Voraussetzung um gezielt Stickstoff einzusparen. Das Erfassen der Nmin Gehalte nach der Ernte, wie es bei zahlreichen Kulturen im Projekt durchgeführt wurde, diente dazu, Erfolge bei der Reduzierung der N Überschüsse zu erfassen und ermöglichte die Kontrolle der Düngestrategie. Für den Anbauer stellt dies ebenso ein praktikables Instrument für die Bewertung seiner Düngung dar.

Zur Optimierung der Probennahme wurde seitens des IGZ untersucht, wie viel Einstiche für eine Mischprobe erforderlich sind und ob es Unterschiede in Abhängigkeit vom Probennahme Zeitpunkt und der Art der Bewirtschaftung gibt. Die Auswirkungen des Beprobungszeitpunktes auf den Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Anzahl der Einstiche wird in Abbildung 1 verdeutlicht. Gleichzeitig wird hier auch das Konfidenzintervall angegeben. Im Mittel aller Schläge werden zum ersten Beprobungszeitpunkt (vor der Düngung) im Frühjahr zum Kulturstart die wenigsten Einstiche zum Erreichen des angestrebten Variationskoeffizienten von 10 % benötigt. Entsprechend der Auswertung sind die meisten Einstiche zum dritten Zeitpunkt (nach der Ernte) erforderlich um den angestrebten Variationskoeffizienten zu erreichen.

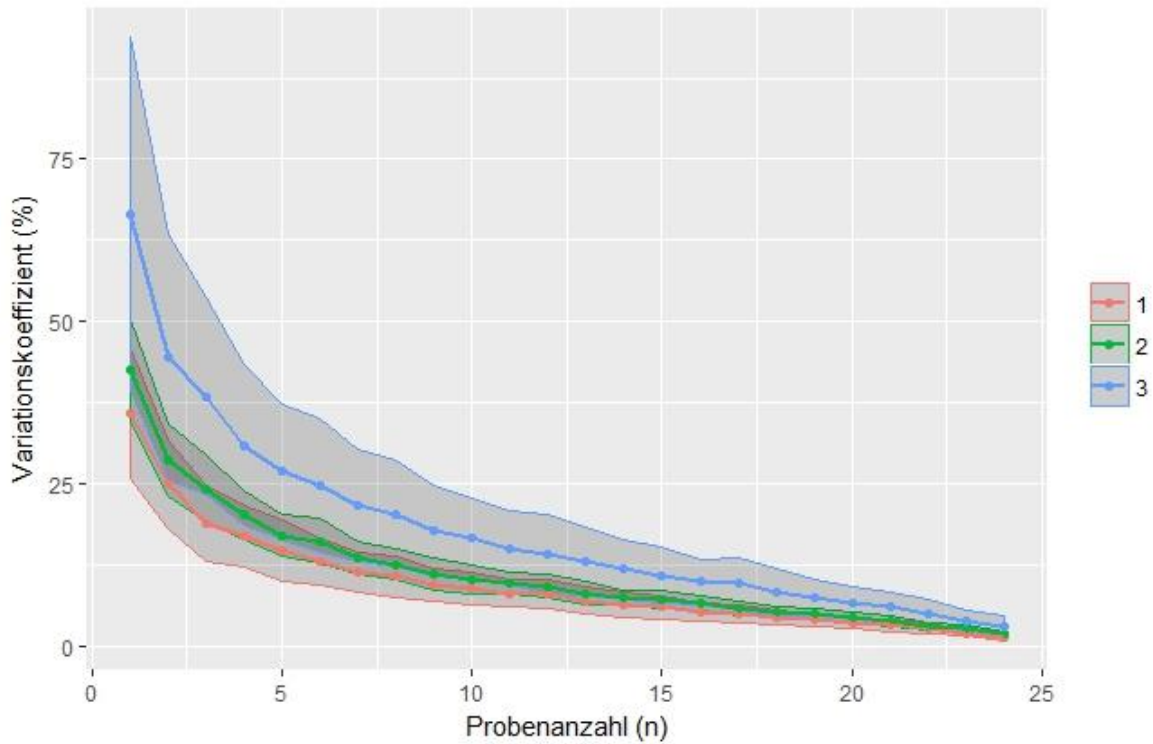


Abb. 1: Variationskoeffizient und Konfidenzintervall in Abhängigkeit von der Zahl der Einstiche an drei Beprobungsterminen (1: vor der Düngung; 2: 4 Wochen nach der Düngung; 3: nach der Ernte)

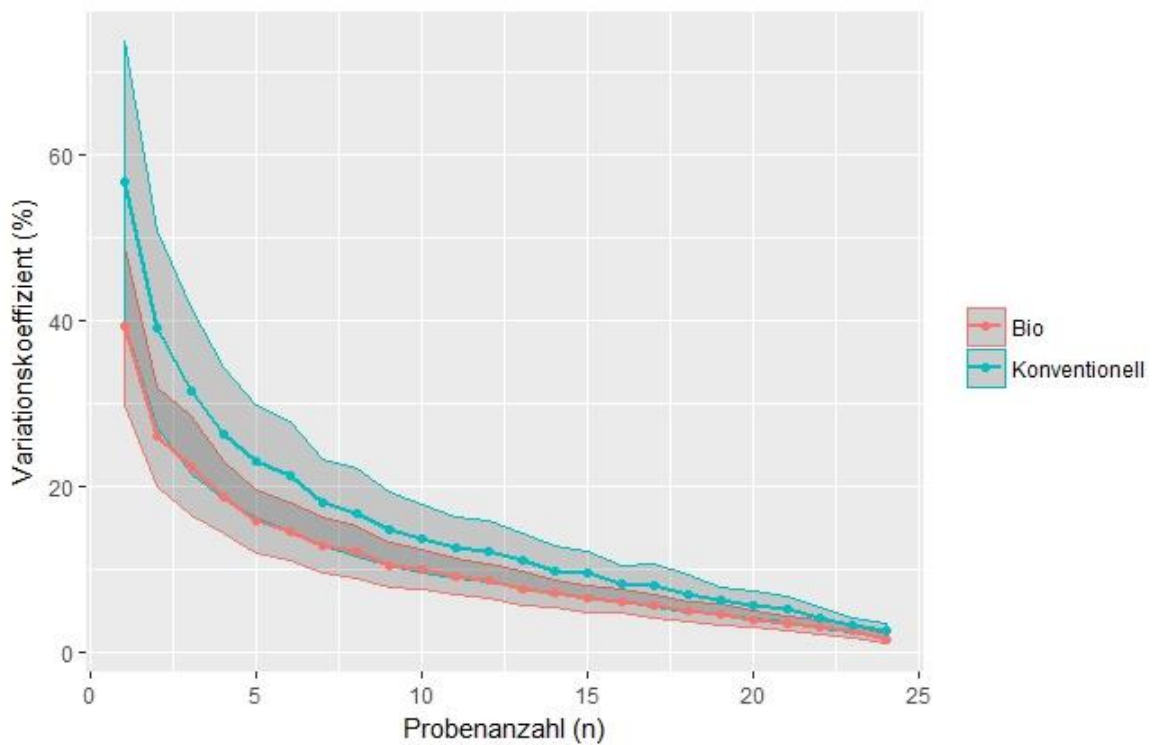


Abb. 2: Variationskoeffizient und Konfidenzintervall in Abhängigkeit von der Zahl der Einstiche bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftungsweise

Die Auswirkungen der Bewirtschaftungsform (konventionell bzw. ökologisch) auf den Variationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Anzahl der Einstiche wird in Abbildung 2 dargestellt. Überraschenderweise liegt bei ökologischer Bewirtschaftung der Variationskoeffizient unter dem der konventionellen Bewirtschaftung. Damit kann die gleiche Anzahl der Einstiche für ökologischen und konventionellen Anbau verwendet werden.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen ist festzustellen, dass vor Kulturbeginn ohne organische oder mineralische Düngung in dem Zeitraum bis zum Kulturbeginn die Anzahl von zehn Einstiche je Mischprobe für die angestrebte Genauigkeit ausreicht. Da jedoch für die Probennehmer und auch in den Betrieben unterschiedliche Einstichzahlen nur schwer vermittelbar sind, wird vorgeschlagen generell 16 Einstiche je Mischprobe zu fordern.

Anlage von Düngefenstern

Das Verfahren der Anlage von Düngefenstern basiert darauf, dass auf einer Fläche abgegrenzte Bereiche, die sogenannten Düngefenster unterschiedlich gedüngt werden. Damit ist eine objektive Beurteilung etwaiger Auswirkungen verschiedener Düngestrategien gut möglich. Auswirkungen auf Erträge oder Qualitäten können somit auf konkrete Ursachen zurückgeführt werden und es ist ein direkter Vergleich zwischen den Varianten möglich. Der Nachteil von Düngefenstern ist das Fehlen von Wiederholungen für statistisch abgesicherte Aussagen. Der Vorteil besteht darin, dass der Betriebsinhaber schnell Effekte unterschiedlicher Maßnahmen sehen kann. Die Anlage von Düngefenstern wurde von den Projektmitarbeitern organisiert und erforderte umfangreiche konkrete Absprachen, da in den Betrieben teilweise verschiedene Personen für die praktische Durchführung der Düngung verantwortlich waren und die Produkte bei Bedarf auch mal vorzeitig geerntet wurden.

Im DLR Rheinpfalz wurden die Düngefenster teilweise durch Parzellenversuche unterstützt.

Es ist später nicht zu erwarten, dass seitens der Betriebe Düngefenster angelegt werden, wenn dies nicht durch eine entsprechende Betreuung unterstützt wird. Düngefenster sind eine gute Möglichkeit die Nachlieferung an Stickstoff abzuschätzen und werden insbesondere in der Landwirtschaft stärker eingesetzt. Im Gemüsebau übersteigt der Einsatz von Düngefenstern bei der Vielzahl an Schlägen und Kulturen die Möglichkeiten der Betreuung durch den Betrieb.

Ganzheitliche Pflanzenernährung (Komplexe Pflanzenanalyse)

Im Projektverlauf wurde deutlich, dass beispielsweise in den Betrieben Aufhellungen im Blattbereich generell als Stickstoffmangel interpretiert wurden. Bei entsprechender Analyse der Bodenwerte und der gegebenen Düngermengen war dies aber nicht zu erwarten. Der Einsatz der komplexen Pflanzenanalyse (Analyse der Blätter auf den Gehalt an verschiedenen Nährstoffen, insbesondere Schwefel, Magnesium und Kalium oder auch Mikronährstoffen) führte zu einer Aufklärung der Ursache für sichtbare Nährstoffmangelsymptome. Die sichere Diagnose des Vorliegens von Schwefelmangel führte in mehr als einem Fall dazu, dass eine unnötige Nachdüngung mit Stickstoff unterbleiben konnte.

Eine Mangelernährung mit beispielsweise Schwefel oder Magnesium oder auch anderen Nährstoffen führt dazu, dass die Stickstoffeffizienz verringert wird. Bei entsprechenden Symptomen oder bekannten Problemen sollte die Ursache über die komplexe Pflanzenanalyse geklärt werden.

Kulturbegleitende Stickstoffdüngung (Splitting)

Die kulturbegleitende Stickstoffdüngung mit dem KNS-System ermöglicht es, den N-Bedarf der Pflanzen in jeder Kulturwoche zu berechnen. Dies kann nicht nur mit Hilfe der Software N-Expert, sondern auch durch händische Kalkulation mit Tabellenwerten angewendet werden. Hohe N-Gaben können auf Teilgaben aufgeteilt werden, dadurch vermindert sich das Risiko einer N-Auswaschung. In Kombination mit Nmin-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-Bedarfswerten für Gemüsekulturen 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). Wird dann zum Kopfdüngungstermin eine weitere Nmin Probe entnommen und analysiert, so kann aufgrund des höheren Mineralisierungspotentials die Düngergabe reduziert werden.

Die selbständige Anwendung auf Basis von Tabellenwerten wird auch von den Modellbetrieben als möglich angesehen. Eine stark vereinfachte EDV-Anwendung zur Berechnung würde dies aber weiter erleichtern.

Anbau von Zwischenfrüchten und Fruchtfolge

Auch bei konsequenter Optimierung aller Düngemaßnahmen ist ein N-Eintrag ins Wasser oder ein positiver N-Saldo zum Kulturende im Boden nicht immer vermeidbar. Bei einigen Gemüsearten ist dieses kulturartbedingt. Bei flachwurzelnenden Kulturen verbleiben selbst ohne Düngung mitunter hohe Reststickstoffmengen in 30-60 cm Bodentiefe, die nicht von den Wurzeln erreicht wurden. Bei tiefer wurzelnden Kulturen wie Blumenkohl verbleiben zunächst bei angepasster Düngung oft nur moderate Stickstoffrestmengen im Boden, jedoch wird nach Ernte und Bodenbearbeitung viel Stickstoff aus dem verbliebenen Umblatt freigesetzt. Diese N-Reste am Kulturende müssen durch Fruchtfolgegestaltung (Wechsel Flach-/Tiefwurzler) und durch den Anbau von Zwischenfrüchten möglichst für das Folgejahr konserviert werden. Ein weiterer Vorteil des Zwischenfruchtanbaus ist die langfristige Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des Zwischenfruchtanbaus haben Zeitpunkt von Aussaat und Umbruch, Fruchtart, in trockenen Jahren ggf. Bewässerung und Einarbeitungsverfahren.

Bis Anfang/Mitte September ausgesäte Zwischenfrüchte haben unter günstigen Wachstumsbedingungen das Potential, bis zu 150 kg N/ha zu binden und die Auswaschung hoher N-Reste der letzten Gemüsekultur nahezu zu verhindern. Das Mulchen oder Umbrechen der Zwischenfrucht sollte so spät wie möglich vor der nachfolgenden Kultur erfolgen. Zwischen Ende September und Mitte Oktober ausgesäte Zwischenfrüchte konnten die N-Auswaschung bei hohen Rest-Nmin-Gehalten oder hoher Mineralisation aus Ernteresten zwar reduzieren (meist um ca. 20-60 kg N/ha), aber nicht mehr vollständig verhindern. Zwischenfrüchte können nicht auf allen Gemüsebauflächen sinnvoll ausgesät werden, da viele Flächen erst nach Oktober geräumt werden, sodass eine Zwischenfrucht sich nicht mehr ausreichend entwickelt.

Optimierung der Bewässerung

Um bei Gemüsekulturen eine marktgerechte Qualität zu erzeugen, reichen insbesondere in trockenen Jahren die natürlichen Niederschläge und im Boden verfügbare Wasserreserven nicht aus. Damit der Stickstoff entsprechend der Ertragsprognose effizient eingesetzt wird, ist eine an Boden, Pflanzenart und Produktionsziel angepasste Bewässerung notwendig. Die Beregnung hat großen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit und – insbesondere bei Nitrat – auf eine eventuelle Auswaschung. Einerseits kann eine übermäßige oder ungleichmäßige Beregnung zu Auswaschungen führen, andererseits können die Pflanzen aus zu trockenem Boden keine Nährstoffe aufnehmen. Punktuelle Auswaschungen aufgrund einer schlechten Wasserverteilung führen dazu, dass Stickstoff auf der gesamten Fläche nachgedüngt wird, was aber auch nur punktuell notwendig wäre.

Zur Optimierung der Bewässerung ist einerseits die Analyse der Verteilgenauigkeit der eingesetzten Regner erforderlich und andererseits eine optimale Beregnungssteuerung. Die Verteilgenauigkeit wurde bei zwei Projektpartnern analysiert und es konnte durch technische Veränderungen eine deutliche Verbesserung in der Verteilgenauigkeit erzielt werden.

Für die Beregnungssteuerung gibt es mit dem Programm des Deutschen Wetterdienstes, der Geisenheimer Methode und einem neuen Programm des ALB Bayern e.V. drei Möglichkeiten. Leider haben alle drei Möglichkeiten Vor- und Nachteile.

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 (Nitrat, Ammonium, stabilisierte Dünger), Verfügbarkeit und Wirkungsgeschwindigkeit des Düngers müssen zu Kulturdauer und Bedarf der Pflanze passen. Einzelnährstoffdünger oder NK-Dünger sind in der Regel besser für eine bedarfsgerechte Versorgung mit N und P geeignet als NPK-Dünger. Auf nassen und auswaschungsgefährdeten Standorten können z. B. stabilisierte N-Dünger insbesondere bei längerer Kulturdauer sinnvoll sein. Bei der Auswahl organischer Düngemittel sind neben N- und P-Gehalten auch der Zeitpunkt der N-Freisetzung und die Humuswirkung zu beachten. Wird organische Düngung vor allem vor dem Hintergrund des Humusaufbaus betrieben, so sind moderate Mengen an Festmist oder Kompost besser geeignet als Gülle oder Gärrest.

Einsatz von N-Expert

Das EDV-Programm N-Expert ermöglicht eine Abschätzung des Düngebedarfs zu jedem Kulturzeitpunkt, da der N-Bedarf von Kulturbeginn bis Kulturende über kulturartspezifische Parameter modelliert und kalkuliert wird. Die Datengrundlage von N-Expert und der DüV sind nahezu identisch. Der Vorteil gegenüber der DBE ist, dass bei N-Expert noch genauer stand-

ortspezifisch 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 geringfügig. Auf vielen Schlägen können dementsprechend keine oder nur geringe Stickstoffmengen eingespart werden. Mit genauer Messung (Nmin-Probe) zum Kopfdüngungstermin kann eine Düngereinsparung erreicht werden, die jedoch in ihrer Höhe nicht vorher berechenbar ist. Auf Einzelschlägen können bei lang stehenden Kulturen Einsparungen bis zu 50 % in trockenen, warmen Jahren bei guter N-Nachlieferung erreicht werden. In Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen kann es aber auch geschehen, dass keine Stickstoffeinsparungen möglich ist.

Das Programm wird von den Entwicklern (IGZ) als einfache Lösung und leicht bedienbar eingeschätzt. Von den Projektbearbeitern in den Regionen wird N Expert für die Betriebsinhaber bzw. für die Düngung verantwortlichen Mitarbeiter als sehr aufwändig eingeschätzt und nun für den Experteneinsatz ausgelegt. Die Modellbetriebe sehen eine selbstständige Nutzung von N-Expert nach Projektende als unrealistisch an. Dies ist insbesondere in kleinstrukturierten Gebieten (Knoblauchsland), aber auch in Betrieben mit einem großen Artenspektrum vor allen dem geschuldet, dass in der Saison die Arbeitszeit oft zu deutlich mehr als 10-12 Stunden ausgefüllt ist und die Vielfalt an Aufgaben und Absprachen mit dem Markt, den Arbeitskräften etc. dies nicht zulässt. Für die Beratung bleibt N-Expert ein gutes Instrument, nicht nur zur Planung der Düngung, sondern auch zur Diskussion der Stickstoffflüsse im Boden in den Betrieben. Von den meisten Bundesländern wird N-Expert als Tool zur Düngebedarfsermittlung anerkannt.

Sonstige Softwarelösungen

In der Region Rheinpfalz wurde zu Projektbeginn in den beiden Betrieben die bereits existierende RIWO Agrarsoftware (inklusive eines Warenwirtschaftssystems) genutzt. Im Idealfall sollten in vorhandene Softwarelösungen zu Warenwirtschaftssystemen und Schlagkartei Programmen gleichzeitig Beratungsmodule zur Düngung und Berechnung integriert werden. Die entsprechenden Basisdaten und Algorithmen wurden für die RIWO Software und das Softwareunternehmen „Agrarware“ zur Verfügung gestellt. In den einzelnen Bundesländern wurden Excel Lösungen zur Durchführung der Düngebedarfsermittlung in den Betrieben entwickelt, die in den Betrieben auch eingesetzt werden. Eine kulturbegleitende Düngung ist hiermit oft nicht möglich.

Modellrechnungen

Modellrechnungen unterstützen die wissenschaftliche Arbeit und wurden insbesondere durch das Thünen Institut genutzt. Für die quantitative Risikoanalyse wurde anhand von Modellrechnungen untersucht, wie sich die Wirtschaftlichkeit des Anbaus verschiedener Gemüsekulturen bei optimierten Düngestrategien und -verfahren verändert. Für die Durchführung der Modellrechnungen wurden vier repräsentative Beispielkulturen des Freiland-Gemüsebaus ausgewählt, die in ihrem Charakter unterschiedlich sind. Als Beispiele dienten Blumenkohl, Porree, Salate (insbesondere Kopf- und Eissalat) sowie Radies.

MuD ,Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau'
Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

Vom IGZ wurden Modellrechnungen für die Quantifizierung der Mineralisation von Stickstoff aus organischen Düngern, Ernterückständen und dem Bodenumus eingesetzt.

Die Modellrechnungen waren ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Risikoanalyse und der Kalkulation der Mineralisation.

Experten Interviews

Zur Bewertung der Stickstoffminderungsmaßnahmen aus betrieblicher Sicht und weiteren Möglichkeiten wurden Experteninterviews mit den Betriebsleitern der Modellbetriebe durchgeführt.

Die Befragung erfolgte in Form eines leitfadengestützten Experteninterviews. Der Interview-Leitfaden wurde im Sommer 2020 vorbereitet und bei persönlichen Gesprächen in Köln, Schifferstadt und Fürth im September 2020 mit den Projektpartnern abgestimmt.

6. Ergebnisse und Diskussion (bezogen auf den Zeitraum 16. Januar 2019 - 30. Juni 2021)

6.1 Wesentliche Ergebnisse und Diskussion zu den bisherigen Arbeiten (gemäß der Vorhabenbeschreibung)

Für die übergreifende Darstellung der Ergebnisse werden nachfolgend Beispiele aus den Projektregionen zu wichtigen Maßnahmen dargestellt und abschließend wird jeweils eine regionsübergreifende Bewertung der Maßnahmen vorgenommen. Maßnahmen die bereits in den vorangegangenen Jahren eingesetzt und für gut befunden wurden werden in Abschnitt 7 beschrieben. Dies betrifft zum Beispiel den Einsatz der Blattdüngung zum Kulturrende oder die Verbesserung der Düngeausbringtechnik.

6.1.1 Düngefenster und Pflanzenernährung / Optimierung der Maßnahmen für Minderungsstrategien und Quantifizierung der Auswirkungen einer reduzierten Düngung

AELF Knoblauchsland - Brokkoli

Es wurden Düngefenster mit einer N Düngung von 300, 250, 165 und 135 kg N/ha angelegt, wobei die Düngung mit 250 kg N/ha der Düngung nach DüV entspricht.

Zunächst war festzustellen, dass die Variante mit einer Gesamtdüngung von 250 kg N/ha die gleiche Aberntequote erzielte wie die Variante mit 300 kg N/ha (Abb. 3), d.h. hier zeigte sich kein Nachteil darin, die Grunddüngung um die Hälfte zu reduzieren. 50 kg N/ha konnten hier somit problemlos eingespart werden. Anders dagegen verhielt es sich mit den weniger gedüngten Varianten, diese hatten eine deutlich geringere Aberntequote. Wobei bereits die Variante mit einer Reduktion des Düngebedarfs um 34 % auf eine Aberntequote unter 60 % fiel. Grund dafür ist, dass hier ein großer Teil nicht geerntet wurde, da gehäuft Stickstoffmangelsymptome (Verfärbung der Blätter, aufklaffende Kopfbildung) auftraten, wodurch die Brokkoli nicht vermarktungsfähig waren und auf dem Feld zurückgelassen wurden.

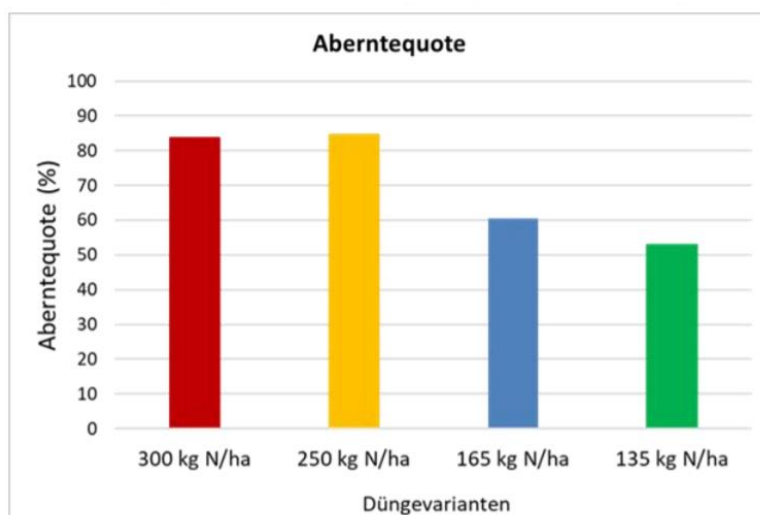


Abb. 3: links: Aberntequote (%) bei Brokkoli unter verschiedenen Stickstoffgaben; rechts: mangelhafte Ausbildung der Brokkoliköpfe

Es ist naheliegend, dass es zu diesen Mangelerscheinungen deshalb kam, weil die hohen Stickstoffmengen zu Kulturbeginn durch den Starkregen im Juni vermutlich zum Großteil ausgewaschen wurden und durch die geringe Düngergabe aufgrund der 20% reduzierten Düngung dieser Stickstoffmangel nicht mehr aufgefangen werden konnte.

AELF Knoblauchsland - Bundzwiebel

Die Düngefenster beim Bundzwiebelversuch setzten sich zusammen aus den Stickstoffabstufungen 115 (DBE -20%), 140 und 200 kg N/ha (Abb. 4).



Abb. 4: Bundzwiebel-Düngefenster mit erzielten Einzelgewichten des gesamten Aufwuchses, B&S bedeutet eine zusätzliche Düngung mit Bor und Schwefel

Der Stickstoffmangel spiegelte sich letztendlich auch in den Erträgen wider: Die Einzelgewichte des gesamten Aufwuchses betragen bei einer Stickstoffdüngung von 115 kg N/ha (um 20 % reduzierte Düngung) weniger (37 ± 7 g bzw. 42 ± 3 g) als bei einer Gabe von 140 kg N/ha (51 ± 5 g) oder 200 kg N/ha (61 ± 4 g) (Abb. 22). Dabei waren bei reduzierter Düngung die Bundzwiebel kürzer und dünner.

LWK NRW - Salat im Frühanbau und als Zweitkultur

Im Betrieb NRW A wurde bereits 2019 eine um 20 % reduzierte Düngung im Vergleich zur DBE getestet. Dabei stellten sich keine Ertragsunterschiede heraus und die Rest-Nmin-Werte waren in beiden Varianten noch hoch. 2020 wurde daher ein Düngefenster mit einer 50 % reduzierten Düngung angelegt um zu prüfen, ob diese auf den gut nachliefernden Lössböden des Betriebes einen Effekt haben würde. Die 50 % Variante wurde mit 50 kg N/ha anstatt 98 kg N/ha gedüngt. In der Erntephase wurden von den Sorten Romana, Lollo Bionda und Eichblatt

rot jeweils 10 Köpfe von jeder Düngevariante gewogen. Es zeigten sich keine relevanten Gewichtsunterschiede (Abb. 5) und auch optisch keine Qualitätsunterschiede. Der Rest-Nmin-Wert wurde nur in der Standardvariante ermittelt, lag aber mit 72 kg N/ha deutlich unter den extremen Werten der Vorjahre. Das dürfte auch mit dem kühleren Maiwetter 2020 zusammenhängen. Es lässt sich festhalten, dass eine Reduzierung der Düngung unterhalb des ermittelten Bedarf auf den Böden des Betriebs in Verbindung mit relativ lang stehenden Salaten möglich ist.

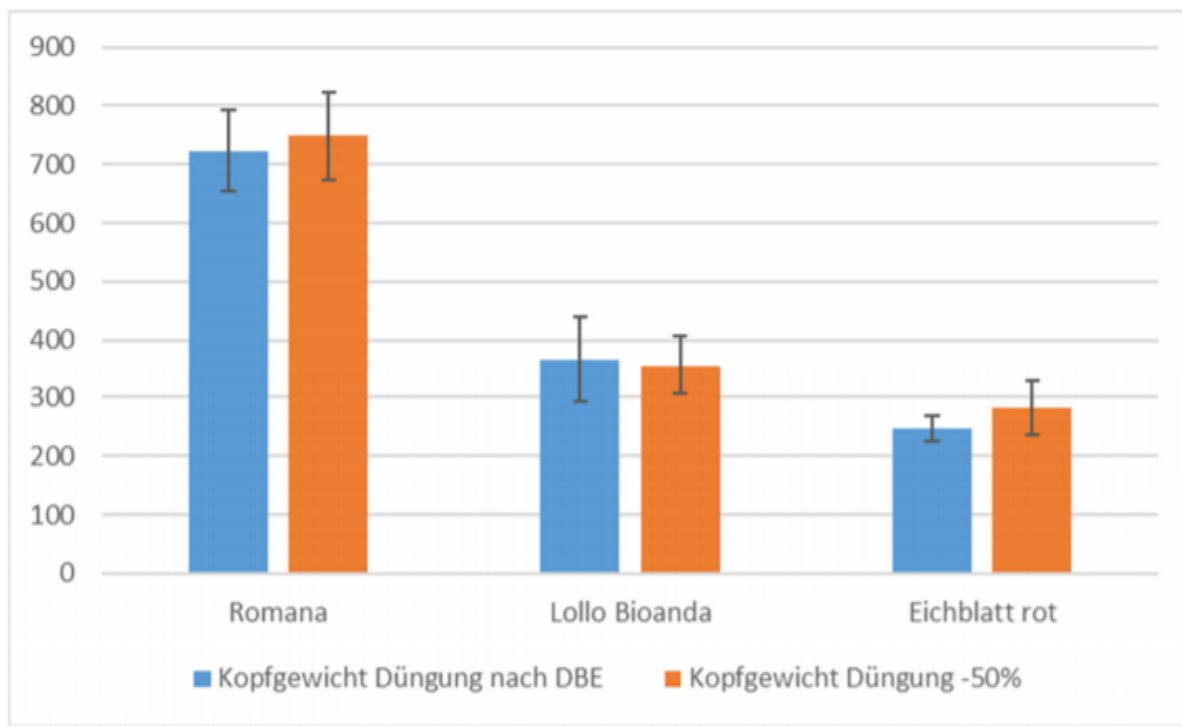


Abb. 5: Gewicht/Salatkopf nach Düngungsvariante bei verschiedenen Salatsorten im Betrieb A, **Frühanbau 2020**. Mittelwerte mit Standardabweichung. 10 Köpfe je Sorte und Düngevariante.

Auf dem Betrieb NRW A erwies sich die Düngung aller Salatsätze gemäß DBE in den vergangenen Jahren als unproblematisch. Wenn Salat in der Zweitbelegung nach Salat steht, waren die anzurechnenden Nmin-Werte 2018 und 2019 so hoch, dass kein Düngebedarf bestand. 2020 waren die Nmin-Werte niedriger, sodass auch bei der Zweitbelegung mit Salat noch ein Düngebedarf von 48 kg N/ha bestand. Versuchsweise wurde in einem Fenster dennoch auf Düngung verzichtet. In den Sorten Romana und Lollo bionda wurden vier mal vier Köpfe je Düngevariante ausgewertet. Es zeigte sich keinerlei Unterschied zwischen gedüngter und nicht gedüngter Variante (Abb. 6). Bei der Salatweitbelegung konnte der Betrieb aufgrund der guten Nachlieferung des Lössbodens und der trocken-warmen Witterung in den Jahren 2018-2020 immer auf eine Düngung verzichten.

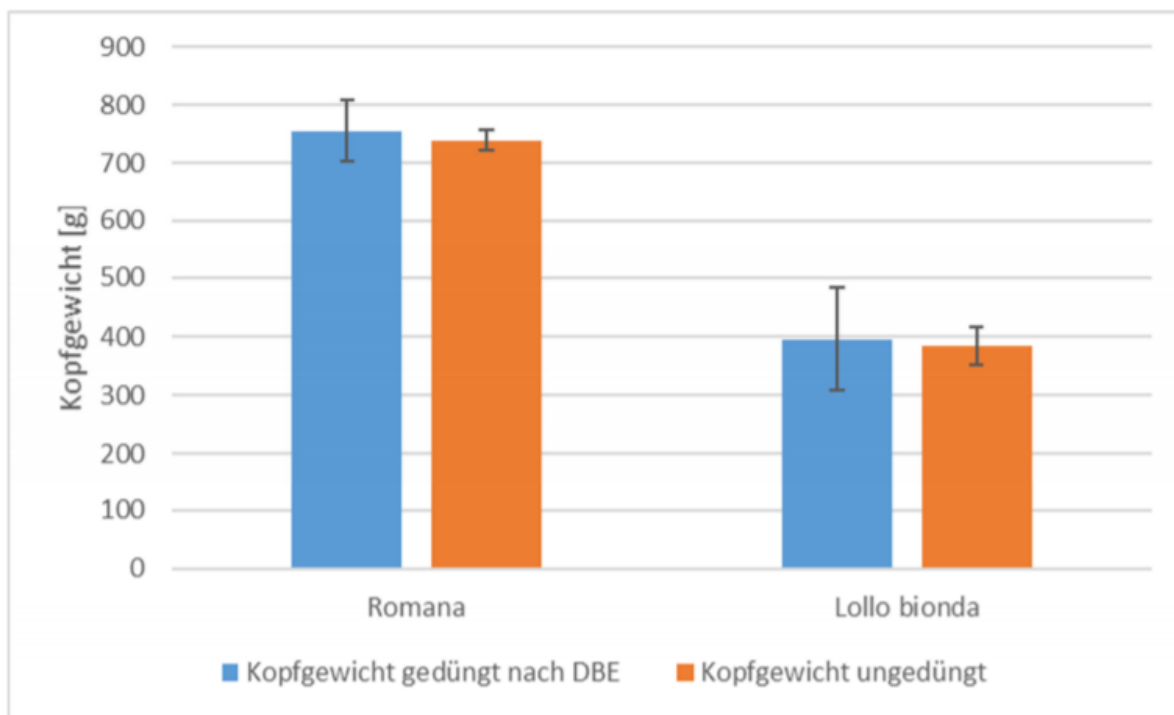


Abb. 6: Gewicht/Salatkopf nach Düngungsvariante bei verschiedenen Salatsorten im Betrieb NRW_A, **Zweitkultur 2020**. Mittelwerte mit Standardabweichung. 4x4 Köpfe je Sorte und Düngevariante.

AEFL - Eissalat (Problem Starkregen)

Ein Düngefenster wurde bei der Kopfdüngung von Eissalat angelegt. Vor der anstehenden Kopfdüngung betrug der Nmin-Gehalt noch 146 kg N/ha (25.08.), sodass es sinnvoll erschien, die Kopfdüngung im Düngefenster komplett auszulassen. Diese verzögerte sich, sodass ein Starkregenereignis von ca. 60 mm dazwischen kam und der Nmin-Gehalt auf 12 kg N/ha (02.09.) sank (Abb. 7). Nimmt man an, dass der Eissalat innerhalb dieser einen Woche etwa 20 kg N/ha aufgenommen hat, kommt man zu dem Ergebnis, dass in der Schicht 0-30 cm etwa 100 kg N/ha ausgewaschen und in tiefere Schichten verlagert wurden. Da der Boden an dem Standort besonders sandig ist, war die Fläche von der Auswaschung betroffen. Eigene Messungen des Erzeugerrings ergaben aber ähnliche Nitratverluste auf weiteren Flächen im Knoblauchsland im Zusammenhang mit diesem Starkregenereignis. Obwohl der Nmin-Vorrat somit nach dem Starkregen sehr gering war, wurde trotzdem im Düngefenster wie geplant auf eine Kopfdüngung verzichtet, sodass die Varianten 100 kg N/ha und 200 kg N/ha Stickstoffdüngung zustande kamen. Die N-Düngung von 100 kg N/ha entspricht dabei in etwa einer Düngung nach DBE – 20 %, sofern man den Nmin-Gehalt von 40 kg N/ha vor Ernte der Frühkartoffel für die Berechnung verwendet.

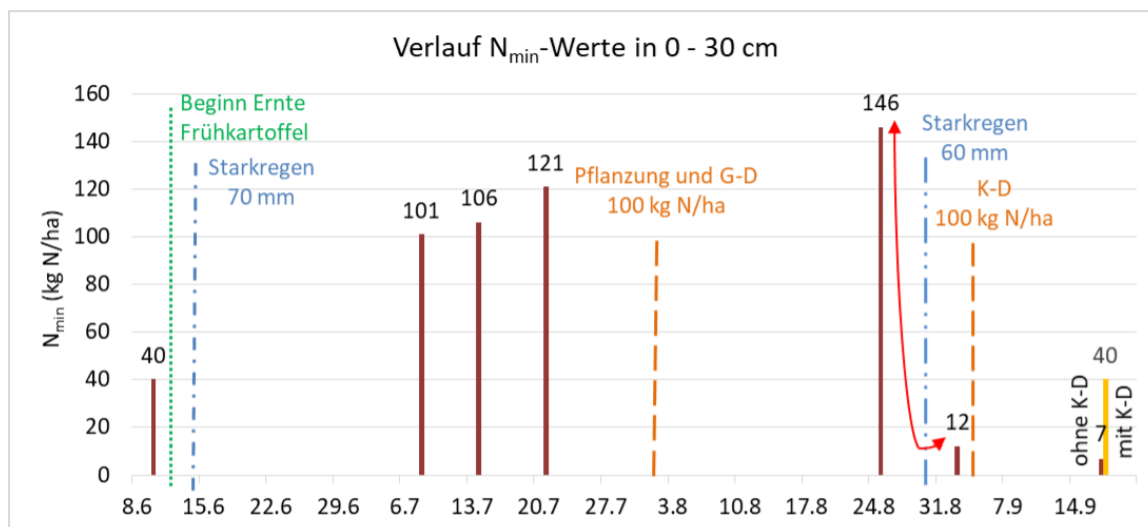


Abb. 7: Verlauf der N_{\min} -Gehalte in 0-30 cm Tiefe

Die Ernte fand von 14.-22.9. statt, wobei die Ertragserfassung am 17.9. durchgeführt wurde. Gewogen wurde der Eissalat ohne Umblatt so wie er vom Feld abgefahren wurde. Zu Beginn der Ernte bzw. zum Zeitpunkt der Ertragserfassung war optisch kein Unterschied zwischen den beiden Varianten zu erkennen. Im Durchschnitt wies die Variante ohne Kopfdüngung etwas geringere Kopfgewichte auf (Abb. 8). Der Nitratgehalt in der Pflanze war bei der Variante ohne Kopfdüngung dabei weitaus geringer (Nitratgehalt 320 mg/kg) im Vergleich zu den Köpfen, die eine Kopfdüngung erhalten hatten (Nitratgehalt 1020 mg/kg). Beide Eissalat-Varianten lagen damit allerdings deutlich unter dem Grenzwert im Freilandanbau von 2000 mg/kg

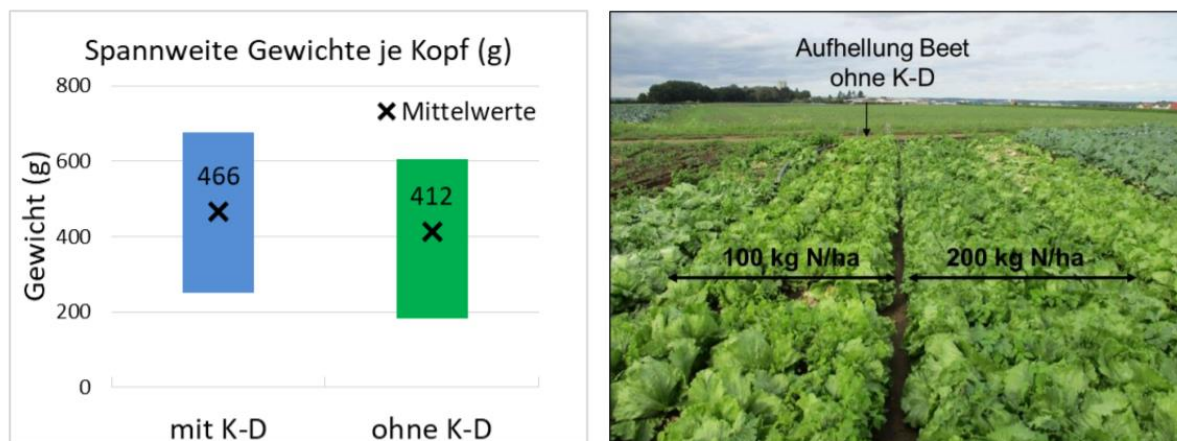


Abb. 8: links: Spannweite der Kopfgewichte mit und ohne Kopfdüngung; rechts: Farbunterschiede der Köpfe eine Woche nach Erntebeginn

Am Ende des Erntefensters, eine Woche nach Erntebeginn, allerdings zeigten die Eissalate im Düngfenster eine leichte Aufhellung gegenüber den Salatköpfen, die noch eine Kopfdüngung erhalten hatten (Abb. 8).

Regionsübergreifend Bewertung

Regionsübergreifend ist festzustellen, dass eine Reduzierung der Stickstoffgabenhöhe möglich ist. Dies wurde auch bei den Parzellenversuchen im DLR Rheinpfalz bestätigt. Die Reduzierung der Gabenhöhe ist jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig. Einerseits von bekannten Faktoren wie der Bodenart und dem Mineralisierungspotenzial des Bodens. Dies wird in der Region LK NRW deutlich wo, sowohl zur Erstkultur als auch zur Zweitkultur eine deutliche Einsparung an Stickstoff möglich ist. Auf leichten Sandböden (Knoblauchland) trifft dies nicht zu. Insbesondere Starkregenereignisse können auf leichten Sandböden zur Verlagerung von Stickstoff in tiefere Bodenschichten und einer sehr deutlichen Ertragsreduzierung mit nur noch eingeschränkter Vermarktung führen. Weitere Faktoren, die bei der Einsparung von Stickstoff über eine Mengenreduzierung eine Rolle spielen, sind die Durchwurzelungstiefe (beispielsweise bei Salaten wird der Stickstoff schneller aus der durchwurzelbaren Schicht nach unten verlagert) und die Witterungsverhältnisse, die die Mineralisierung beeinflussen. Weiterhin spielt die Länge des Erntefensters eine Rolle. Kann das Produkt nicht sofort vermarktet werden, so muss insbesondere bei Salaten und Bundware gewährleistet sein, dass keine Aufhellungen aufgrund von Stickstoff zum Kulturende auftreten.

6.1.2 Ganzheitliche Pflanzenernährung

Unter ganzheitlicher Pflanzenernährung wird die Berücksichtigung der weiteren Makro- und Mikronährstoffe neben Stickstoff verstanden. Die Berücksichtigung kann einerseits aufgrund von Pflanzenanalysen bei auftretenden Symptomen und andererseits aufgrund umfangreicher Bodenanalysen erfolgen.

AELF Knoblauchland – Knollensellerie

Es wurden mehrere Düngefenster angelegt und zusätzliche Schwefel und Bodendüngung eingeplant. Bei der Düngebedarfsermittlung wurde der höhere betriebsindividuelle Ertrag von 800-900 dt/ha berücksichtigt, was zu einem Zuschlag von 40 kg N/ha führte. Ein weiterer Zuschlag ergab sich durch die Abdeckung zur Ernteverfrühung (20 kg N/ha), ein Abschlag in gleicher Höhe aufgrund des Komposts aus dem Vorjahr. Gedüngt wurden 145, 170, 215 und 340 kg N/ha, wobei die drei niedrigeren Endstufen jeweils zusätzlich mit Wigor S+B gedüngt wurden.

Anhand der Ertragserfassung (Abb. 9) zeigte sich, dass bei den Varianten, die zusätzlich Schwefel und Bor erhalten hatten, höhere Erträge erzielt wurden. Durch die zusätzliche Nährstoffversorgung konnte somit eine große Menge an Stickstoff eingespart werden, wenn man nur Ertrag und Qualität der Knollen (ohne Laub) beurteilt.

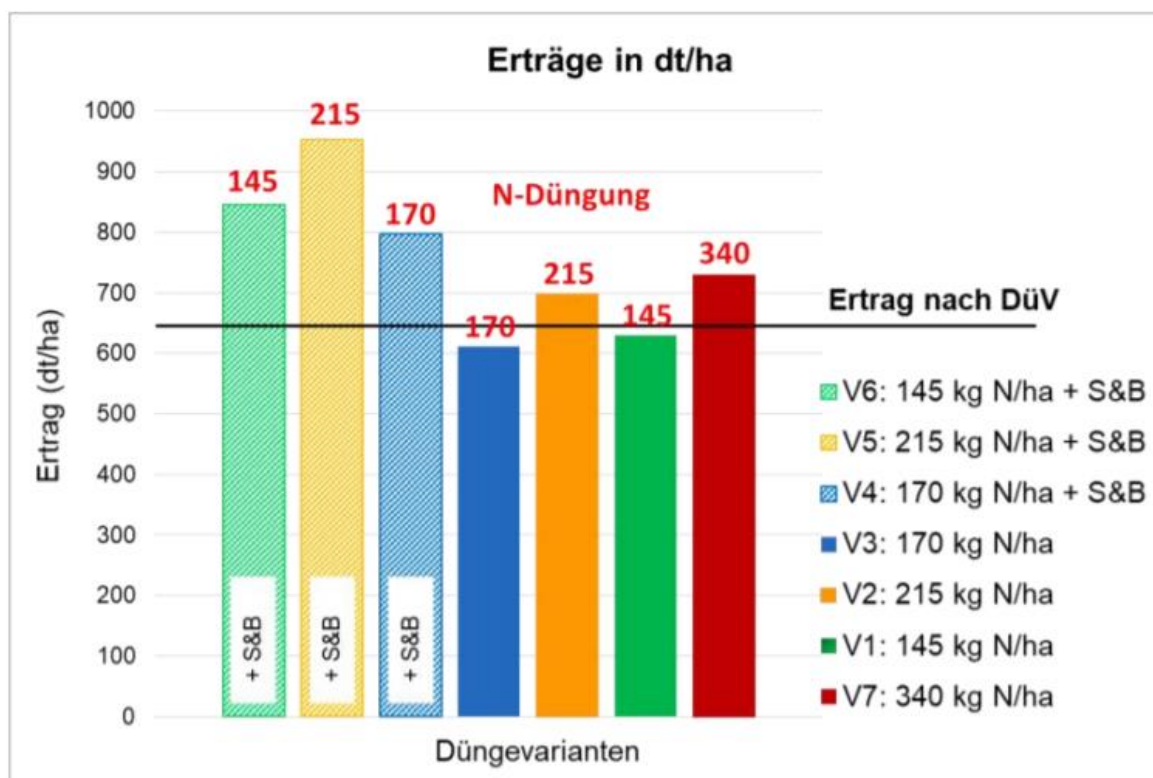


Abb. 9: Erzielte Erträge bei Knollensellerie unter den verschiedenen Düngevarianten im Knoblauchland

Bei der Betrachtung der N_{min}-Überschüsse (Abb. 10) nach Ernte fällt zunächst auf, dass unter den DüngefensterVarianten V1 - V6 insgesamt als positiv zu bewertende geringere Überschüsse in 0-60 cm vorhanden waren als dies der Fall bei der Düngung in V7 war. Vor allem zeigte sich aber an den N_{min}-Gehalten, dass die Beete, die die zusätzliche Düngung von Schwefel und Bor erhalten hatten, etwas geringere Überschüsse hatten.

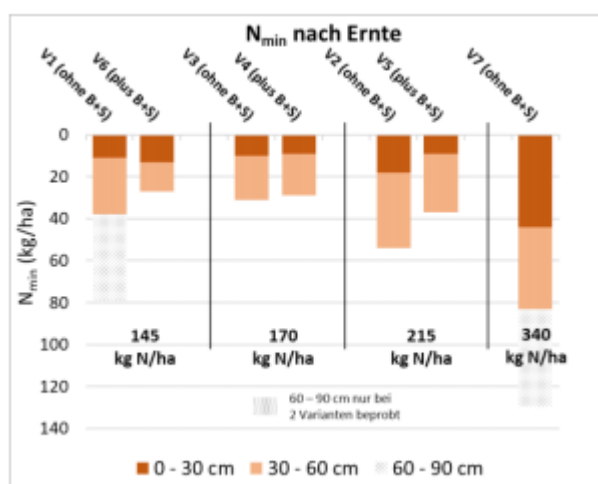


Abb. 10: N_{min}-Gehalte nach Ernte von Knollensellerie unter den verschiedenen Düngevarianten im Knoblauchland

Die Ergebnisse weisen somit darauf hin, dass in diesem Fall eine höhere Effizienz bzw. N-Prozessierung in der Pflanze durch die zusätzliche S- und B-Düngung erreicht werden konnte. Da im erwähnten Knollensellerie-Versuch aus dem Jahr 2019 das gleiche Ergebnis erzielt wurde, entspricht dies einer Bestätigung der Ergebnisse.

Regionsübergreifend Bewertung

Nicht nur bei diesen Düngefenstervarianten 2020 im Knoblauchsland, sondern auch in den Vorjahren in Rheinpfalz konnte gezeigt werden, dass eine ganzheitliche Betrachtung der Düngung, d. h. die Einbeziehung der weiteren Makronährstoffe und der Mikronährstoffe, die für die Pflanzenart von großer Bedeutung sind, die N-Effizienz deutlich erhöht und damit zur Einsparung von Stickstoff beiträgt. Dies erfordert die Kenntnis der Nährstoffgehalte im Boden und das Erkennen von Nährstoffmangelsymptomen an der Pflanze. Oft kann bei Mikronährstoffen auch über eine Blattdüngung dagegen gewirkt werden.

6.1.3 Kulturbegleitende Düngung (Splitting)

LWK NRW Blumenkohl

Blumenkohl wird sowohl auf dem Betrieb NRW A, als auch auf dem Betrieb NRW B angebaut. Der Betrieb NRW A konnte insbesondere beim Sommerblumenkohl der Sorte „Belot“ schon 2019 mit der kulturbegleitenden Nmin-Beprobung bis zu 40 % des anfangs ermittelten Düngedarfs einsparen. Die Düngung wird dabei auf 2 Kopfdüngungstermine (4. und 7./8. Kulturwoche) aufgeteilt, zuvor wird eine Nmin Bodenprobe gezogen. Auf dem Betrieb NRW B ist das Produktionsverfahren für Blumenkohl intensiver. Der Blumenkohl wächst aufgrund der intensiveren Bewässerung schneller, wird mit geringeren Pflanzabständen angebaut und früher geerntet. Die Kopfdüngung erfolgt bereits in der 3. Kulturwoche. Eine Nmin-Probe ist zeitlich schwierig zu realisieren, da Bodenproben, die innerhalb von 2 Wochen nach der ersten Düngung erfolgen, mitunter noch ganze Düngekörner enthalten und nicht aussagekräftig sind. Selbst knapp terminierte Bodenproben Anfang der 3. Kulturwoche zeigten in der Vergangenheit kein Einsparpotential. 2020 setzte der Betrieb im Sommerblumenkohl zunehmend auf eine 2. Kopfdüngung, vor der ggf. auch noch eine Bodenprobe gezogen werden konnte.

Gerade bei Blumenkohl als 2. oder 3. Kultur zeigten sich dadurch erhebliche Einsparpotentiale (Abb. 11). Auch die Blattdüngung hat sich dabei bewährt.



Abb. 11: Kräftiger Herbstblumenkohl nach Salat; DBE =228 N, gedüngt 100 N (Kalkstickstoff) + 15 N (Blattdüngung)

DLR Rheinpfalz - Porree

In einem Versuch mit Porree im Frühbereich wurden neben einer „Betriebsüblichen Variante (BÜ)“ auch Varianten mit 100 % bzw. 80 % der möglichen Stickstoffmenge nach DüV sowie eine Variation der zeitlichen Verteilung und der Art des Dünges mittels geprüft. Das Ergebnis für die Frischmassebildung ist in Abb. 12 dargestellt.

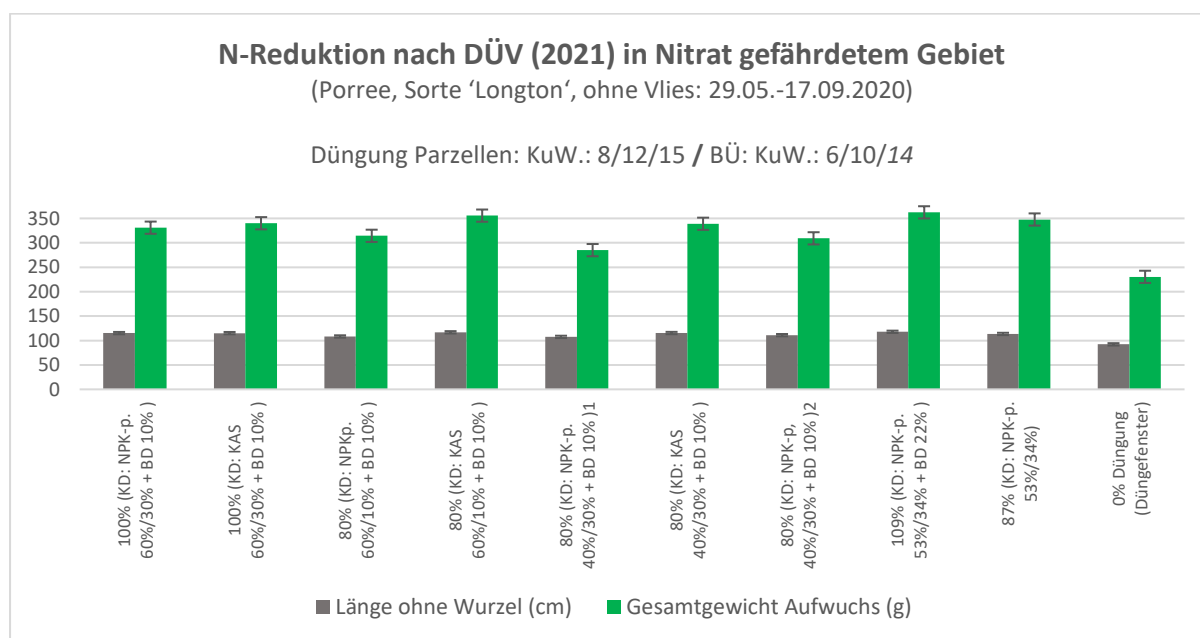


Abb. 12: Porree Versuch im nitratgefährdeten Gebiet in Rheinpfalz

Für die Nährstoffversorgung von Porree ist es zum Kulturstart essentiell, dass ausreichend Stickstoff zur Verfügung steht. In diesem Versuch zeigten die NPK-Varianten mit nur 40% der N-DBE zum ersten Termin, am Kulturrende deutliche Schwächen, die vergleichbaren 40% KAS

Varianten hingegen, unterschieden sich vom Gewicht her nicht signifikant von den Varianten mit 60% N-Düngung zum ersten Termin. So konnte durch zeitliche Anpassung und Wahl des Düngemittels eine Einsparung von 20 % N realisiert werden. Auch die Nmin Werte zum Kulturrende waren geringer als bei der 100 % Variante. Allerdings waren die Nmin Werte zum Kulturrende so gering, dass die Unterschiede zwischen allen Varianten minimal und nicht signifikant sind.

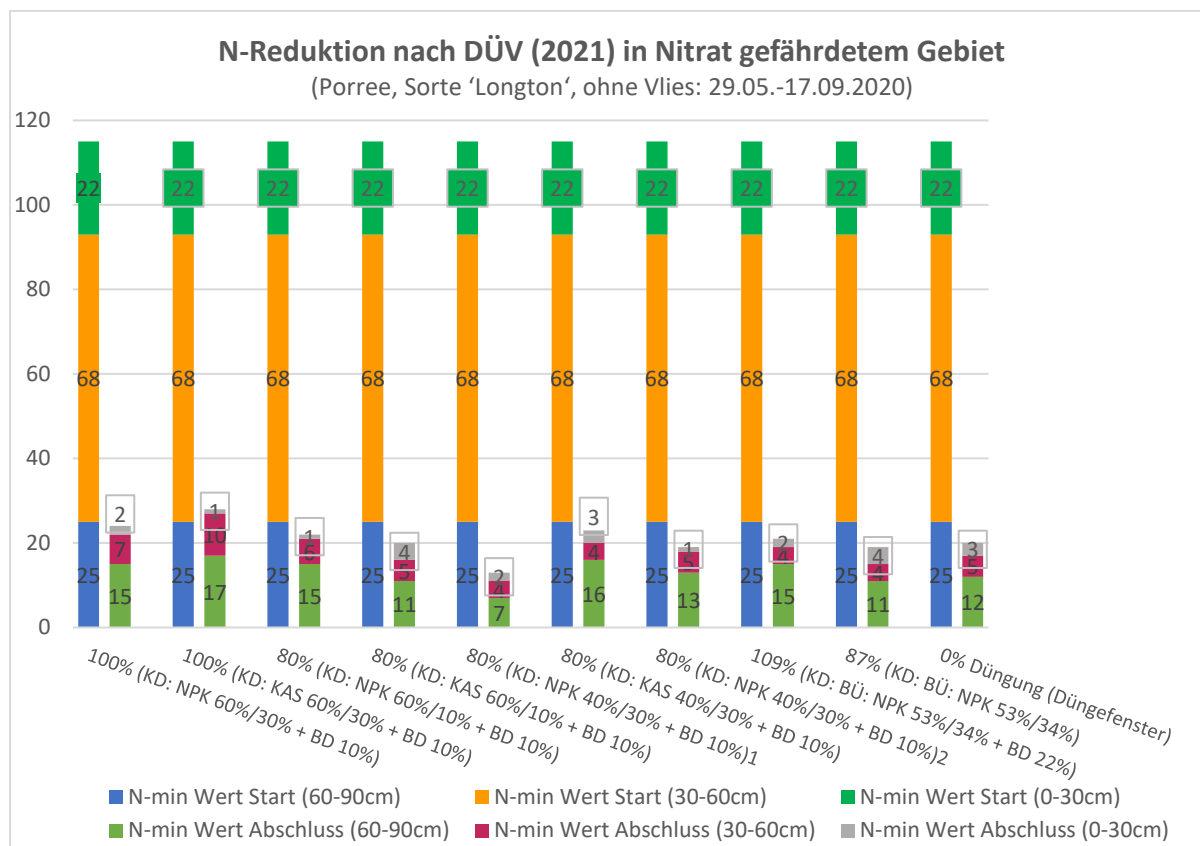


Abb. 13 Nmin Werte (kg N/ha) zu Beginn und zum Ende des Porreeversuchs; Sorte ‚Longton‘

Der Porreeversuch (Sorte ‚Longton‘) als Zweitkultur nach Rucola wies zum Kulturstart einen recht hohen Nmin-Wert auf (Abb.13). Die anzurechnenden Nmin-Mengen im Boden konnten von den Pflanzen erfolgreich genutzt werden. Die Abschlussmessungen zeigten folgerichtig sehr niedrige Nmin-Gehalte zur Ernte.

Regionsübergreifende Bewertung

Bereits in den Vorjahren konnte über eine kulturbegleitende Düngung, oft über die Berechnung der Kopfdüngungsgabe mit N-Expert Stickstoffdünger eingespart werden. Dies insbesondere dann, wenn bei entsprechend warmer Witterung und Feuchte die Mineralisierung aus dem Bodenumus angekurbelt war und dadurch bei zusätzlichen Nmin Bodenanalysen zum Kopfdüngungstermin der Nmin Wert höher war als erwartet. Auch 2020 konnte die kulturbegleitende Düngung mit zusätzlichen Nmin Proben erfolgreich eingesetzt werden.

6.1.4 Optimierung der Beregnung

Mit dem Bewässerungs-Programm der ALB Bayern e.V. wurde analysiert, dass auf zwei von drei NRW-Betrieben durchgehend stark defizitär bewässert wurde. Eine Optimierung der Situation ist bei knappen Wasserkontingenten nicht möglich. Allgemein ist eine exakte Bewässerung ohne Ringleitung und stationäres System schwer zu organisieren. Bezüglich der Verteilgenauigkeit waren die gemessenen Unterschiede in der Wassermenge im Bereich einer Regnerüberfahrt größer als von den Betriebsleitern vermutet. Die teilweise Umstellung von Bewässerungskanone auf Düsenwagen auf einem Betrieb änderte daran wenig.

Auf dem Betrieb A wurde 2020 eine Sektorsteuerung für die Bewässerungskanonen angeschafft. Diese soll nicht nur eine präzisere Beregnung neben Straßen und Bebauung, sondern auch allgemein eine bessere Verteilgenauigkeit bewirken. Im Mai 2021 wurde daher eine neue Messung der Verteilgenauigkeit durchgeführt. Es wurde mit einer Zielmenge von 20 mm bewässert. Auf 13 von 15 Beeten wurde die angepeilte Menge mit einer Ungenauigkeit von maximal 3 mm ausgebracht wurde. Damit kann der Betrieb die geplanten Bewässerungsmengen inzwischen kontrollierter ausbringen als 2019: Damals ging der Betrieb davon aus, 10 mm auszubringen, brachte aber an den meisten Messpunkten zwischen 15 und 25 mm aus. Positiv war auch, dass sich der Regner nach Erreichen der Trommel zügig abstellte und eine starke Verschlämmung des vorderen Bereichs vermieden wurde. Ein Problem bleibt die Wasserversorgung der beiden äußeren Beete. Auf den beiden äußersten Beeten (größte Entfernung vom Regner) wurde nur die Hälfte der Zielmenge ausgebracht.

AELF

Für die Versuche 2020 wurden die Erkenntnisse aus den Versuchen zur Wasserverteilgenauigkeit im Jahr 2018 genutzt und weitergeführt. In den vorangegangenen Versuchen zeigten ein kleiner Aufstellverband sowie die Verwendung von Naan-Regnern statt Messingregnern eine höhere Wasserverteilgenauigkeit. Der Versuch 2020 fand auf einer Fläche der Kultur Staudensellerie im Juli statt. Dabei wurde die betriebsübliche Bewässerungstechnik mit einer optimierten Bewässerung verglichen. Bei dieser optimierten Bewässerung wurden die beeinflussbaren Parameter der „Bewässerungs-Hardware“ so gewählt, wie sie sich bisher jeweils am besten bewährt hatten, und jetzt in ihrer Gesamtkonstellation getestet. Somit unterschied sich die „Bewässerungs-Hardware“ der beiden Varianten hinsichtlich der Abstände der Rohrleitungen, dem Aufstellverband, der Aufstellhöhe der Regner, dem Regnertyp und Wasserdruck. Anstatt der Naan-Regner wurde dieses Mal der Regnertyp „Windfighter“ getestet. Der Aufstellverband des optimierten Systems bestand aus einem Dreieckverband mit einem Abstand zwischen den Rohrleitungen von 12 m und einem Druck von 3,5 bar, der durch aufgesetzte Druckregulierer auf den Regnern gemindert wurde. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im Abschlussbericht des AELF.

In der Abbildung 14 ist die an verschiedenen Stellen gemessene Bewässerungsmengen in Millimeter nach 1 Stunde dargestellt. Das Ziel war 6 mm/h auszubringen. In der betriebsüblichen Variante schwankte dieser Wert zwischen 2 und 10 mm/h und in der optimierten Variante nur zwischen 4 und 7 mm/h.

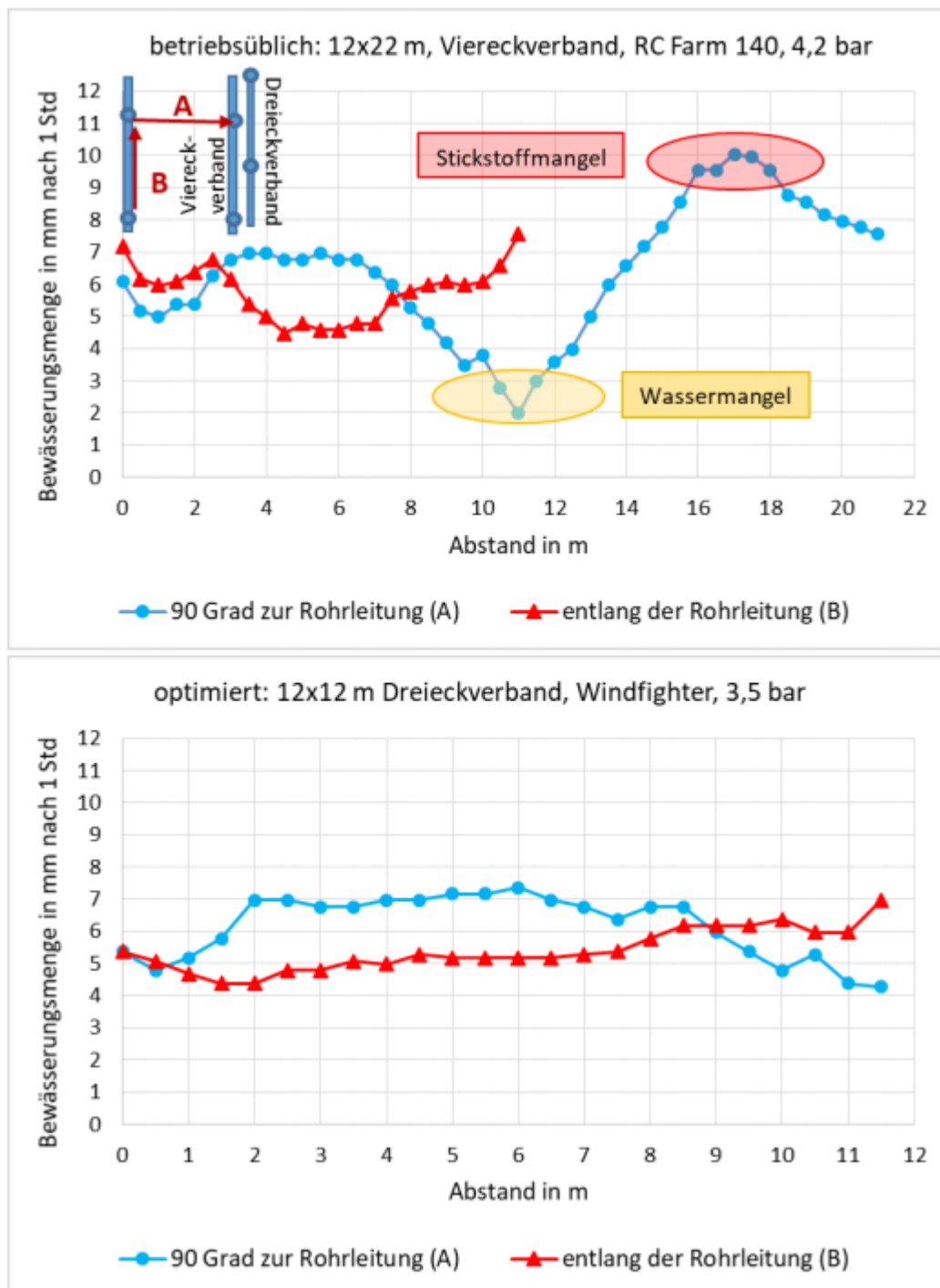


Abb. 14: Wasserverteilungsprofil unter betriebsüblicher und optimierter Bewässerung

Da sich aber in den Versuchen 2018 herausgestellt hatte, dass z.B. ein Dreieckverband nicht zwingend eine bessere Verteilgenauigkeit aufweist, ist zu erwähnen, dass die Abstimmung des Bewässerungsequipments auf den Aufbau insgesamt das Wichtigste ist (Abstände der Rohrleitungen, Wasserdruck, Regnertyp, Bewässerungszeit etc.) und es sehr hilfreich ist, angelegte Wasserdrücke nicht nur zu kennen, sondern bei Bedarf zu regulieren.

DLR Rheinpfalz

Im DLR lag der Fokus auf der Bewässerungssteuerung. Genutzt wird dafür RADOLAN, die ra-
dargestützte Analyse stündlicher Niederschlagshöhen im Echtzeitbetrieb für Deutschland des
DWD. Während sowohl das AELF als auch die LWK NRW auf die bayerische Bewässerungs-
APP bei der Beregnungssteuerung zurückgreifen, war und ist es Ziel des DLR die Bewässe-
rungssteuerung in die RIWO Software (RIWO Bewässerungsmanager) einzubauen, was 2020
abgeschlossen werden konnte. Die Validierung wurde auf zwei Schlägen durchgeführt. Für
sehr große Betriebe wie in Rheinpfalz sollte die Strategie sein, alle wichtigen schlagbezogenen
Daten und Beratungsempfehlungen in einem Programm (Warenwirtschaftssystem) zu verein-
heitlichen.

Regionsübergreifende Bewertung

Die Optimierung der Bewässerung beinhaltet die beiden Aspekte Wasserverteilgenauigkeit
und Bewässerungssteuerung. Die Wasserverteilgenauigkeit konnte durch technische Verän-
derungen bzw. durch Optimierung der Hardware bei Rohrbewässerungsanlagen deutlich ver-
bessert werden. Abbildung 14 zeigt die Effekte einer unzureichenden Wasserverteilung, wel-
che entweder zu Stickstoffverlagerung und damit Stickstoffmangel oder zu Wassermangel
führen und so zu einer deutlichen Reduzierung der N-Effizienz.

Nach Beschreibung der Bearbeiter in den Projektregionen ist die Bewässerungssteuerung
noch nicht in allen Fällen optimal gelöst.

6.1.5 Zwischenfruchtanbau und Begrünung der Flächen

AELF - Knoblauchsland

Nach Ernte der letzten Hauptkultur werden Flächen, auf denen keine Winterzwischenfrucht
(W-ZwF) gesät wird, bereits im Herbst gepflügt. Dies betrifft meist die Flächen, auf denen die
letzte Kultur noch bis Oktober, November oder sogar Anfang Dezember steht und damit eine
gute Bestandesentwicklung einer W-ZwF nicht mehr gewährleistet ist. Getreide wird in einem
Betrieb bis spätestens Anfang November gesät und erreicht noch eine gute Entwicklung da-
mit. In der Regel werden die Zwischenfrüchte gesät sobald die Fläche leer ist, allerdings kann
dies vereinzelt auch 4 Wochen nach Ernte erst passieren, da gesät wird, wenn Zeit ist und der
Boden ausreichend Feuchte enthält. Lediglich auf Flächen, die sehr spät frei werden oder wie-
der sehr früh im Frühjahr genutzt werden sollen, stellt der Anbau einer Zwischenfrucht ein
Problem dar. Im Frühjahr wird es in der Regel bei allen Betrieben so gehandhabt, dass die W-
ZwF solange stehen bleibt, bis die Fläche für die erste Hauptkultur benötigt wird. Alle Betriebe
versuchen, die W-ZwF möglichst lang stehen zu lassen (z.T. auch bis Mai), wobei ein Betrieb
die W-ZwF vor dem Blühen häckselt, damit sie sich nicht als Unkraut in der Kultur wiederfin-
det, während ein anderer Betrieb sie wenn möglich noch blühen lässt. Im Allgemeinen findet
die Einarbeitung eher spontan statt, wenn die Fläche für die Kultur benötigt wird und die Wit-
terung für die erste Pflanzung / Aussaat passt. In einem Betrieb wird die W-ZwF abgemulcht
oder mit der Scheibenegge eingearbeitet, wenn absehbar ist, dass die Fläche benötigt wird,
um dann kurz vor dem Pflanzen oder Säen den Boden nochmals zu bearbeiten. Durch den
satzweisen Anbau kommt es auch dazu, dass eine Teilfläche nach der W-ZwF bis zur ersten
Hauptkultur z.B. drei Wochen brach liegt, bis alle Sätze die Fläche bedecken. Um in tiefere
Schichten verlagerten Stickstoff wieder in höhere Bodenschichten zu befördern und damit

flachwurzelnenden Kulturen wieder zur Verfügung zu stellen, kann der Anbau von tiefwurzelnenden Zwischenfrüchten förderlich sein. Um diesen Effekt zu erreichen, muss sich die Kultur allerdings gut entwickeln, damit die tieferen Bereiche auch tatsächlich durchwurzelt werden. Zum Teil bauen die Betriebe bereits Tiefwurzler wie Wicke oder Ackerbohne an bzw. werden Mischungen angebaut, die diese Arten enthalten. Auch die Sonnenblume zählt zu den Tiefwurzlern; ein Betrieb säte bereits im Spätsommer auf freigewordenen Teilflächen eine Blümmischung mit Sonnenblume aus. Kreuzblütler wie gelber Senf oder Ölrettich Wurzeln ebenfalls tief, sind aber in Kohl Fruchtfolgen aus pflanzenhygienischen Gründen zu vermeiden.

LWK NRW

Auf den Bracheflächen stiegen die Nmin-Gehalte bis Mitte Dezember an, auf einzelnen Fläche noch bis Mitte Januar. Durch die Mineralisierung der Ernterückstände wurde beim Blumenkohl, bei dem kurz nach Ernte nur 50 kg N/ha in 0-90 cm gemessen wurden, im weiteren Verlauf noch Nmin-Werte über 100 kg N/ha erreicht. Die ab Mitte Januar einsetzenden höheren Niederschläge führten zur Auswaschung relevanter N-Mengen. Auf eine kurze Frostperiode Anfang Februar, zu der keine Nmin-Proben genommen werden konnten, folgten zügig frühlingshafte Temperaturen, sodass es auch im Februar auf den Bracheflächen weiter zur Auswaschung großer N-Mengen kam (Abb. 15).

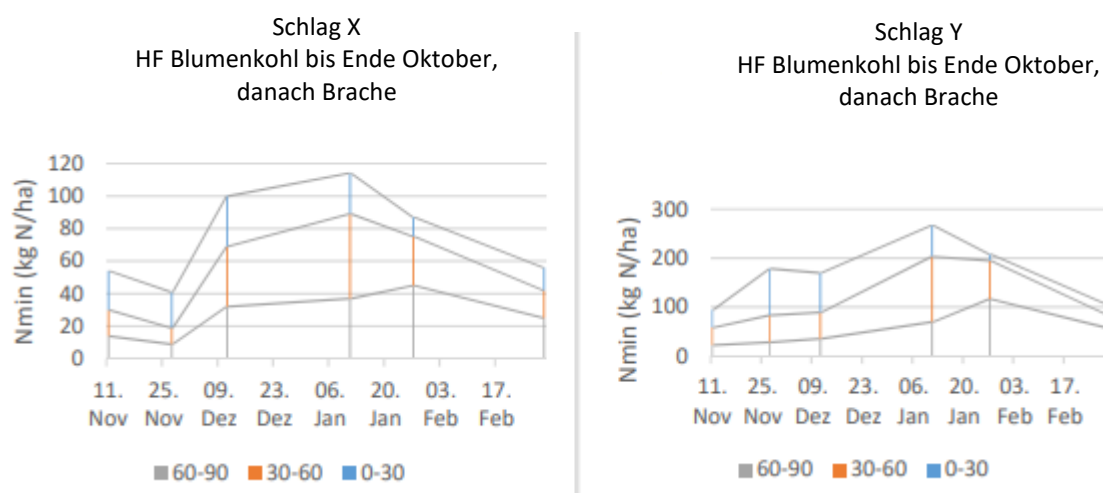


Abb. 15: Verlauf der Nmin-Werte von November 2020 bis Februar bzw. März 2021 in den Bodentiefen 0-30 cm; 30-60 cm und 60-90 cm auf **schwerem** Boden

In Abbildung 16 ist der Verlauf der Nmin Werte bei Einsatz von Zwischenfrüchten nach einer Kultur von Romana Herz in dem Zeitraum dargestellt. Im ersten Beispiel erfolgte Anfang Dezember ein Umbruch der Zwischenfrucht und es ist deutlich zu sehen dass zwar ein gewisser Anteil an mineralischem Stickstoff aufgenommen wurde, aber nach dem Umbruch dann wieder freigesetzt werden konnte. In der Schicht von 60-90 cm erhöhte sich der Gehalt an mineralischem Stickstoff und wurde dann wahrscheinlich ausgewaschen. Im zweiten Beispiel wurde offensichtlich ein großer Anteil des im Boden vorhandenen Nmin durch die Pflanzen aufgenommen.

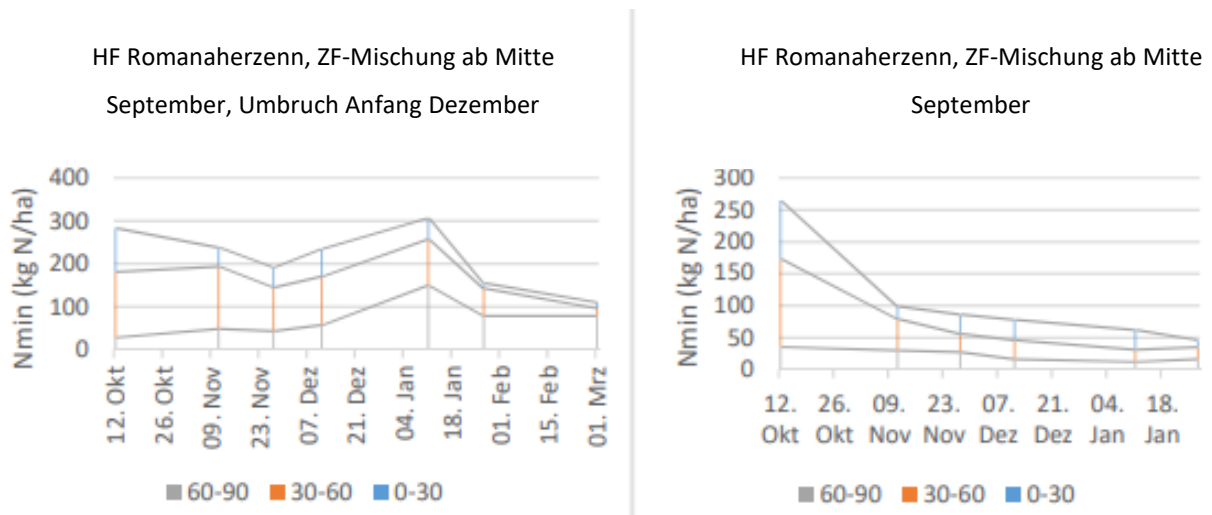


Abb. 16: Verlauf der Nmin-Werte von November 2020 bis Februar bzw. März 2021 in den Bodentiefen 0-30 cm; 30-60 cm und 60-90 cm auf **schwerem** Boden

Im Durchschnitt waren die Flächen in den betreuten Betrieben an 9,5 Monaten begrünt.

DLR Rheinpfalz

Der Effekt des Einsatzes von Zwischenfrüchten lässt sich in dem vom DLR betreuten Betrieben an den Nmin-Abschlussmessungen zum Jahresende erkennen.

Abbildung 17 zeigt die Nmin Abschlusswerte zum Jahresende. Während die Schläge 2 oder 4 annehmbare Abschlusswerte aufweisen, sind diese z.B. bei den Schlägen 1 und 3 deutlich erhöht. Gründe hierfür sind zum einen eine schlechte Aberntequote aufgrund einer gesättigten Marktsituation (unvermeidlich) bei Porree und zum anderen der Anbau einer Leguminosen-**Sommerzwischenfrucht** mit besonders hohen N-Gehalten. In beiden Fällen wurde zusätzlich die jeweils letzte Kultur bereits mehrere Wochen vor der Abschlussmessung umgebrochen. Die hohen N-Gehalte der nicht geernteten Nutzpflanzen führen in der Kombination mit dem intensiven Zerkleinern (Mulchen) und Einarbeiten des Aufwuchses mittels Pflügen oder Grubbern zu besonders stark ansteigenden Nmin-Werten. Sommerzwischenfrüchte mit frühem Umbruch und tiefer Bodenbearbeitung bei warmen Boden sind für gemüsebauliche Kulturfolgen nur dann geeignet, wenn eine Spätherbst- oder Überwinterungskultur mit hohem N-Bedarf direkt auf den Umbruch folgt.

Bei Schlag 5 handelt es sich dagegen um einen besonders intensiv genutzten Schlag, welcher vom Betrieb gut erreichbar ist. Er wurde bis dato wiederholt mit Kulturen bestellt, welche die zweite Bodenschicht (30-60cm) kaum durchwurzelten. Hier wäre zukünftig eine Optimierung der Kulturfolge mit unterschiedlichen Wurzeltiefen von flach bis tiefer wurzelnd insbesondere durch die letzte Kultur im Jahr sinnvoll.

Die geteilten Schläge 7a und 7b veranschaulichen die deutlich gesteigerte Stickstoffaufnahme einer Zwischenfrucht nach Kulturrende in 7b im Vergleich zu einem üblichen Überwinterungsanbau, z.B. mit Bundzwiebel oder Porree, wie in 7a.

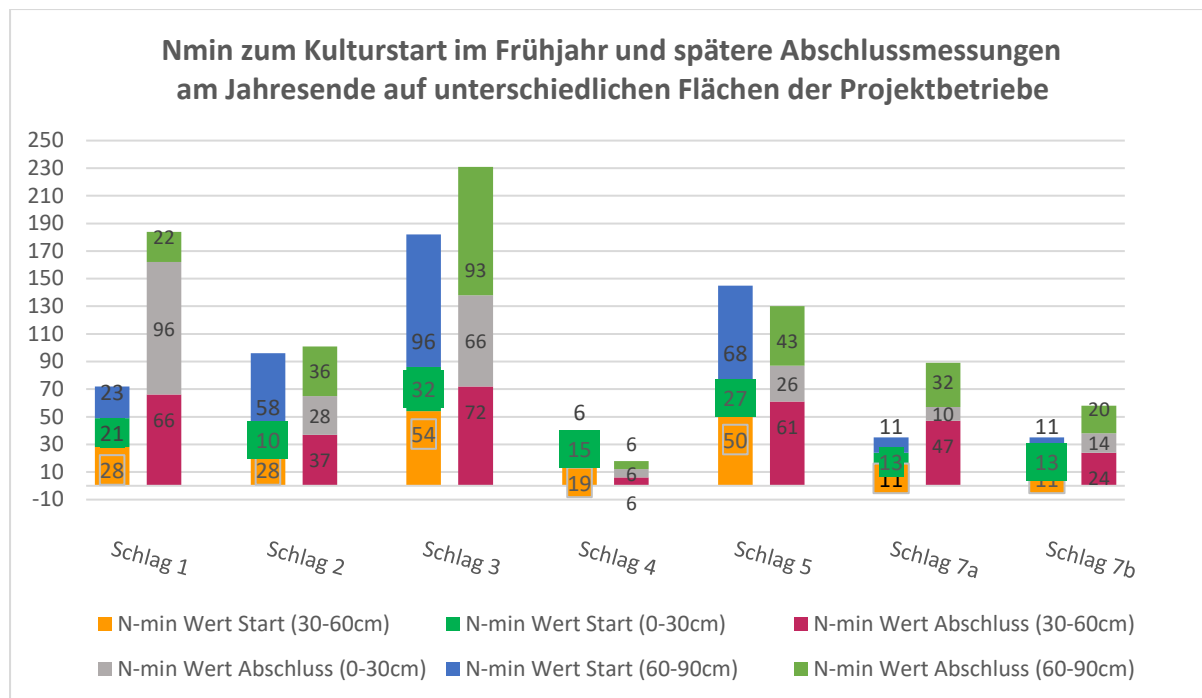


Abb. 17: Nmin Werte zu Beginn und zum Ende des Jahres 2020 auf verschiedenen Betriebsflächen Teil 1

Regionsübergreifende Bewertung

Es zeigt sich in allen drei Regionen deutlich, dass mit Zwischenfrüchten insbesondere Winter Zwischenfrüchten das Auswaschung Risiko überwintert deutlich reduziert werden kann. Allerdings ist dabei zu beachten, dass möglichst kein frühzeitiger Umbruch noch zum Jahresende erfolgt. Dies gilt auch für nicht oder nur sehr wenig beerntete Gemüsekulturen. Die hohen N-Gehalte der nicht geernteten Nutzpflanzen führen in der Kombination mit dem intensiven Zerkleinern (Mulchen) und Einarbeiten des Aufwuchses mittels Pflügen oder Grubbern zu besonders stark ansteigenden Nmin-Werten. Sommerzwischenfrüchte mit frühem Umbruch und tiefer Bodenbearbeitung bei warmen Boden sind für gemüsebauliche Kulturfolgen nur dann geeignet, wenn eine Spätherbst- oder Überwinterungskultur mit hohem N-Bedarf direkt auf den Umbruch folgt.

Der Anbau von Zwischenfrüchten, insbesondere von tiefwurzelnden Zwischenfrüchten nach flachwurzelnden Gemüsearten sollte in den Betrieben Standard werden. Auf Flächen, die sehr spät frei werden oder wieder sehr früh im Frühjahr genutzt werden sollen, stellt der Anbau einer Zwischenfrucht ein Problem dar und ist nicht möglich.

6.1.6 Ansätze zur Einführung der Stoffstrombilanzverordnung

AELF

Probleme, die im Knoblauchsland bei ersten Tests zur Einführung der Stoffstrombilanzverordnung für Gemüse auftraten sind:

- In Abhängigkeit von der Nachfrage am Markt werden viele Gemüsearten, die als Stück vermarktet werden mit unterschiedlichen Gewichten oder bei Vermarktung als Bund

mit einer unterschiedlichen Anzahl Pflanzen vermarktet (zum Beispiel bei frühen Bundzwiebeln 10-12 Stück je Bund, im Sommer dagegen nur noch 3-5 Stück je Bund). Das bedeutet, dass im Frühjahr mehr Fläche geerntet werden muss, um einen Bund vom Gewicht X zu erhalten, als dies im Sommer der Fall ist. Somit steckt im frühen Bund mehr „gedüngte Fläche“ als im späteren Bund. Erntet der Betrieb aufgrund von Anfragen die Bundzwiebel schon früh, so wird weniger Stickstoff abgefahren, was sich wieder negativ auf die Bilanz auswirkt.

- Es gibt Vermarktungsformen im Gemüsebau, die es erschweren, einen N-Gehalt zu ermitteln. Der Modellbetrieb verkauft beispielsweise Suppengrün als Bund- und Stückware, sodass in diesem Fall die Nährstoffgehalte der Bestandteile davon gemittelt wurden. Die Berechnung gestaltet sich äußerst kompliziert bzw. ist annähernd unmöglich.
- Eine weitere Schwierigkeit ist der Verkauf von Topfkräutern; hier stellt sich die Frage, welches Gewicht und welcher N-Gehalt zu berücksichtigen sind. In der Berechnung für den Modellbetrieb wurde deshalb davon ausgegangen, dass sich die gesamte Nährstoffmenge in der Pflanze befindet, und daraufhin das Gewicht der Pflanze im Topf - ohne Substrat - geschätzt. Da derartige Vermarktungsformen aber kein Einzelfall sind, müsste hierfür eine Lösung gefunden werden.
- Für einige Kulturen ist keine ausreichende Datengrundlage bezüglich der Nährstoffgehalte vorhanden.
- Da die Ernte vieler Gemüsekulturen von der Nachfrage abhängig ist und in der Regel hohe Qualitätsansprüche bei oft kurzen Erntefenstern bestehen, werden normalerweise nicht 100 % der Fläche geerntet. Im Extremfall kann eine Fläche komplett umgebrochen werden.
- Bei einigen Kulturen verbleiben große Mengen an N- und P-reichen Ernterückständen auf dem Feld.
- Für einen sehr vielseitigen Betrieb, der verschiedenste Kulturen auf verschiedenste Weisen vermarktet, bedeutet die Erstellung einer Stoffstrombilanz eine organisatorische Umstrukturierung und einen hohen zeitlichen Aufwand, einhergehend mit einer geringen Aussagekraft des Ergebnisses. Den zeitlichen Aufwand anbelangend ist zu erwähnen, dass im Falle des Modellbetriebs lediglich für die Zusammenstellung der abgeführten pflanzlichen Erzeugnisse bereits 120 Arbeitsstunden benötigt wurden. Weitere 20-30 Stunden etwa nahm die Ermittlung aller Gewichte und N-Gehalte sowie die Zusammenstellung der restlichen Faktoren in Anspruch. Nach eigenen Angaben bräuchte der Modellbetrieb eine weitere Arbeitskraft, um dies zu bewältigen, bzw. um bereits täglich die abgeführten Waren zusammenzustellen. Auch wenn ein Betrieb alle Warenausgänge digital erfasst hat, würde die korrekte Erstellung einer Stoffstrombilanz vermutlich mehrere Tage in Anspruch nehmen. Fest steht somit, dass die Stoffstrombilanz - vor allem für kleinstrukturierte und vielfältige Betriebe - mit einem enormen bürokratischen Mehraufwand verbunden wäre.

LWK NRW

Der in der DüV 2017 verankerte Nährstoffvergleich stellte ein sinnvolles Instrument dar, um Nährstoffüberschüsse von Gemüsebaubetrieben zu bewerten. Die zukünftige Stoffstrombilanz ist für die Beratung weniger sinnvoll, da die aktuell diskutierten neuen Grenzwerte trotz fachgerechter Düngung bei gemüselastigen Fruchtfolgen überschritten werden können. Das

liegt hauptsächlich daran, dass die unvermeidlichen Überschüsse für Gemüsekulturen wegfallen. Bei Blumenkohl z. B. steht einem Stickstoffbedarfswert von 300 kg N / ha eine Feldabfuhr von 98 kg N / ha bei Vollertrag gegenüber. Der Grund dafür ist, dass von dem Gesamtaufwuchs nur etwa ein Drittel zum Verzehr geeignet ist. Die übrige Pflanze verbleibt als Ernterest auf dem Feld und wird dem Nährstoffkreislauf wieder zugeführt. Durch Berücksichtigung der Ernterückstände bei der DBE für die Folgekultur ist der reale N-Überschuss der Kultur kleiner als $(300-98 \text{ kg N / ha}) = 202 \text{ kg N / ha}$, liegt jedoch noch deutlich über den 50 kg N / ha, die dem maximal zulässigen, betriebsindividuellen Bilanzwert entsprechen. Nach späten Ernten kann teilweise keine Folgekultur mehr etabliert werden, um die Verluste zu reduzieren, was den Bilanzwert unweigerlich erhöht.

Ein weiteres Problem ist die Datengrundlage der Stoffstrombilanz. Der Verkauf des Gemüses erfolgt oftmals nicht nach Gewicht, sondern nach Stück, Bund oder Kisten. Lieferscheine weisen dann nur die Verkaufseinheiten aus und nicht das Gewicht. Auch bei nach Gewicht verkaufter Ware werden zum Teil nur beste (für den Abnehmer verwertbare) Qualitäten ausgewiesen (Bsp. Möhre, Knollensellerie). B-Ware (Futtermöhren, Ausschlussware) werden meist nicht in den Lieferscheinen aufgeführt, haben aber dennoch den Betrieb verlassen. Packungen, die nach Gewicht verkauft werden, werden in der Regel mit einem höheren Gewicht als angegeben abgegeben, um Reklamationen zu vermeiden. Auch diese Extramengen werden auf Lieferscheinen nicht aufgeführt. Auch bei nach Gewicht verkauften Produkten z.B. Kisten 300 kg Knollensellerie ist das reale Füllgewicht höher als die 300 kg nach Lieferschein. Auch Lagerverluste (z. B. bei Kohl, Sellerie) sind nicht über Lieferschiene erfassbar. Daraus ergibt sich das Problem, dass die Dokumentation der abgegebenen und aufgenommenen Mengen zum Teil nicht der realen Feldabfuhr bei Ernte entsprechen auf deren Basis die Düngung nach DüV bemessen ist. Um Aussagekraft und Durchführbarkeit der Stoffstrombilanzierung im Gemüsebau zu erhöhen und bürokratischen Aufwand zu reduzieren, wäre eine Verwendung von Standarderträgen von Gemüsekulturen in der Stoffstrombilanz politisch anzustreben.

Regionsübergreifende Bewertung

Die Einführung der Stoffstrombilanzverordnung auf der Basis von Zufuhr und Abfuhr der Nährstoffe (beispielsweise mit Lieferscheinen) wird für Gemüsebaubetriebe, in verstärktem Maße für kleinstrukturierte Gemüsebetriebe als nicht sinnvoll erachtet. Hier sind deutliche Veränderungen erforderlich.

6.1.7 Bewertung der Maßnahmen

Experteninterviews

Im Hinblick auf geeignete Risikominderungsmaßnahmen gaben alle Befragten an, dass sie bereits in einem gewissen Umfang mit Düngegaben-Splittung arbeiten. Alle waren überzeugt, dass diese Maßnahme prinzipiell ein gutes Risikominderungspotential habe, das allerdings durch Mehrarbeit und häufigere Feldüberfahrten erkauft werde. Es wurde in diesem Zusammenhang aber auch darauf hingewiesen, dass Feld-Überfahrten zur Düngerausbringung gerade am Ende der Kultur– dem Zeitraum der für die Ausprägung der äußeren Qualität meist maßgeblich ist – kulturabhängig schwierig sein können.

Innovations- und Forschungsbedarf wurde von den befragten Betriebsleitern sowohl im agrartechnischen als auch im pflanzenbaulichen Bereich gesehen. Einige der Befragten berichteten, dass sie sich in den letzten Jahren verstärkt mit den Möglichkeiten flüssiger Blattdünger

auseinandergesetzt hätten, da diese bei geeigneter Formulierung und einer angemessenen Ausbringungstechnik, z. B. mit einer modernen Pflanzenschutzmittelspritze, auch zu einem relativ späten Kulturzeitpunkt noch eine gute Wirksamkeit entfalten. Im Bereich der Entwicklung geeigneter Blattdünger wird deshalb auch noch ein deutlicher Forschungs- und Innovationsbedarf gesehen. Unter arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten wäre es dabei natürlich ideal, wenn solche Blattdünger in Kombination mit unterschiedlichen Pflanzenschutzmitteln ausgebracht werden könnten.

Mehrere Betriebsleiter, die starkzehrende Kulturen anbauen, planen außerdem, innerhalb des erlaubten Rahmens (vgl. DüV 2020, §13 a), (2), 1.), Stickstoffteilmengen aus der Düngedarfsermittlung von schwach- und mittelzehrenden Gemüsekulturen bzw. betriebseigenen Getreideschlägen auf starkzehrende Gemüsekulturen zu übertragen, um deren Gelingen zu sichern. Von mehreren Befragten wurde zusätzlich geäußert, dass sie erwägen, in Zukunft bestimmte starkzehrende Kulturen, wie z. B. Blumenkohl, aus dem Anbauportfolio zu streichen.

Die Einschätzungen der Betriebsleiter zu den Maßnahmen der Risikominderung wurden detailliert ausgewertet. Es ergaben sich die in Tabelle 1 dokumentierten Bewertungen.

Tab. 1: Betriebsleiter-Bewertungen von unterschiedlichen Maßnahmen zur Risikominderung bei drohender Stickstoff-Unterversorgung

Risikominderungsmaßnahme	Bewertung durch die Betriebsleiter
Erweiterung der Pflanzabstände	0/-
Zusätzliche Düngegabensplittung	++
Häufigere Bodenproben und darauf abgestimmte Düngegaben	+
Veränderte Art der Düngerausbringung (Kastendüngerstreuer, Flüssigdüngung)	++
Auf die Düngung abgestimmte Bewässerungstechnik und -management	+
Anbau von Winterzwischenfrüchten	+
Anbau von Wintergemüse (z. B. Winterblumenkohl, -wirsing oder -zwiebeln)	0/-
Flächentausch mit Landwirten	0/-

++ hohes Risikominderungspotential, + mittleres Risikominderungspotential, 0/- kein Risikominderungspotential bzw. Erhöhung des Risikos

Über die pflanzenbaulichen Maßnahmen hinaus, die üblicherweise auf der Ebene einzelner Kulturen angewendet und beurteilt werden, wurden in den Experteninterviews auch noch eine Reihe von kulturübergreifenden Maßnahmen identifiziert, die zu einer Minderung des Risikos beitragen könnten. Diese kulturübergreifenden Maßnahmen lassen sich unterteilen in Maßnahmen auf der Betriebsebene und grundsätzliche Strategien (vgl. Tab. 2)

Tab. 2: Kulturübergreifende Maßnahmen und grundsätzliche Strategien zur Risikominderung

Maßnahmen auf Betriebsebene
Veränderung des Kulturportfolios
Umverteilung der Düngermenge auf Betriebsebene
Gespräche mit Kunden über alternative Vermarktungskonzepte
Fläche durch Pacht oder Zukauf erweitern
Grundsätzliche Strategien
Umstellung auf Bio-Anbau
Anbau unter Glas

Modellrechnungen und Simulationen zur quantitativen Risikoanalyse

Für vier Beispielskulturen (Porree, Blumenkohl, Salate und Radies) wurde eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt, die sich in zwei Abschnitte gliederte:

- Zunächst erfolgen erste statische Modellrechnungen, bei denen konkrete Einzel-Szenarien für eine reduzierte Düngung im Vergleich zum jeweiligen Ausgangsszenario mit Düngung nach DBE untersucht werden. Diese Einzelszenarien dienen dazu, die Schadenshöhe im Einzelfall zu veranschaulichen.
- Im zweiten Schritt wird das Risiko mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationsrechnungen untersucht, bei denen relevanten Parameter (Aberntequote, Qualitätsminderung durch Farbveränderung und andere) mit ihren jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten in die Simulationen eingehen. Mit dieser Methode können die Effekte risikomindernder Maßnahmen simuliert werden.

In den Abbildungen 18, 19 und 20 sind die Erlöse und Deckungsbeiträge verschiedener Einzelszenarien für die Beispielskulturen dargestellt.

MuD ‚Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau‘
 Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

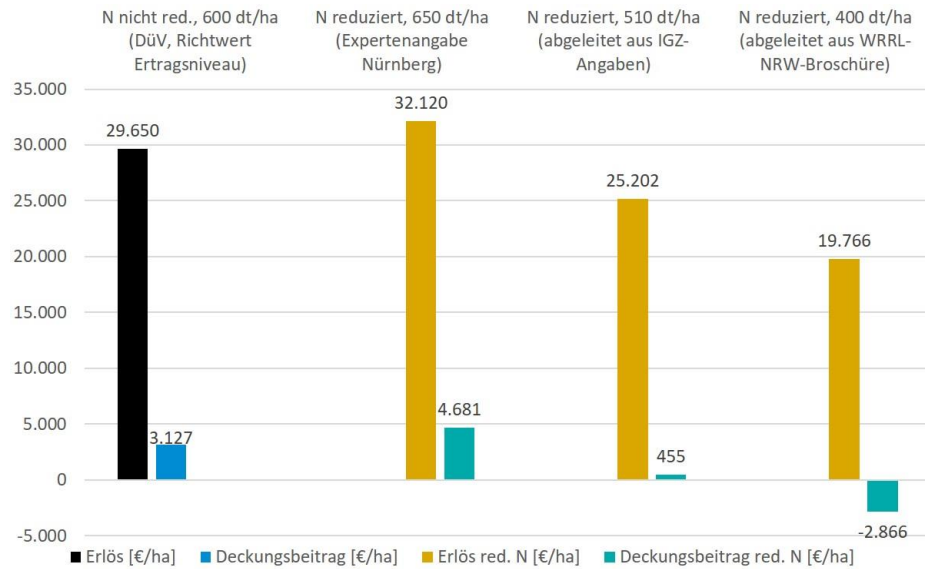


Abb. 18: Erlöse und Deckungsbeiträge verschiedener Einzel-Szenarien für Porree

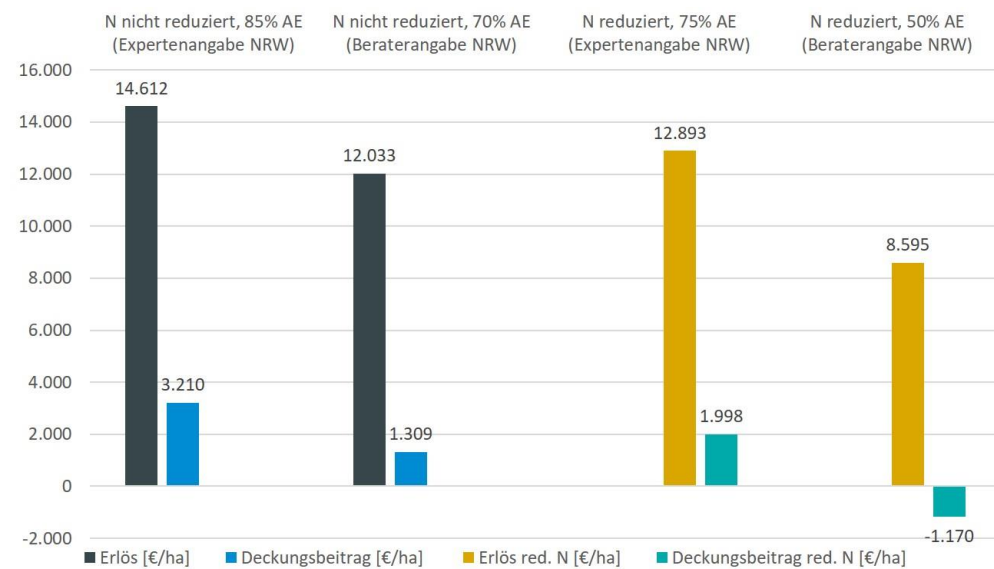


Abb. 19: Erlöse und Deckungsbeiträge verschiedener Einzel-Szenarien für Blumenkohl

MuD ‚Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau‘ Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

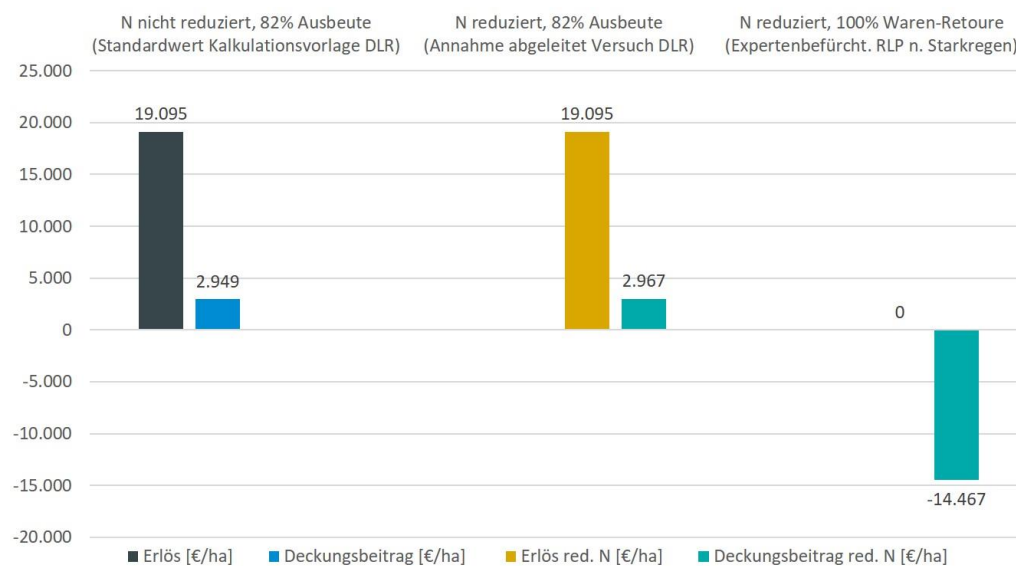


Abb. 20: Erlöse und Deckungsbeiträge verschiedener Einzel-Szenarien für Radies

Für diese Einzel-Szenarien zeigen sich Erlös- und Deckungsbeitragseinbußen, die sich bei reduzierter Stickstoffdüngung im Vergleich mit nicht reduzierter Stickstoffdüngung ergeben können. Eine verlässliche Aussage zum Risiko lässt sich anhand dieser Einzel-Szenarien nicht treffen, da es keine Aussagen zur Eintrittswahrscheinlichkeit der möglichen Einbußen gibt.

Durch den Vergleich der verschiedenen Beispielkulturen ergeben sich erste Anhaltspunkte zur relativen Schadenshöhe bei verschiedenen Kulturen. Es zeigt sich, dass beim Porree bei reduzierter N-Düngung nicht in jedem Falle mit einer Ertragseinbuße und damit verbundenen Erlös- und Deckungsbeitragsreduktionen zu rechnen ist, sondern dass auch Erträge über dem Ertragsrichtwert der DüV, der hier die Ertragserwartung unter Status quo-Bedingungen repräsentiert, erzielt werden können. Dies steht im Gegensatz zum Blumenkohl, bei dem offenbar in jedem Falle mit einer Ertragsreduktion zu rechnen ist, die von den Experten aber unterschiedlich hoch und ausgehend von einem unterschiedlichen Ausgangsniveau angesetzt wird.

Einen Spezialfall bilden die Einzel-Szenarien von Radies. Hier sind bei reduzierter N-Düngung unter ausgeglichenen Witterungsbedingungen überhaupt keine Erlös- und Deckungsbeitragseinbußen zu erwarten, wie aus einem Exaktversuch des DLR Rheinpfalz abgeleitet werden konnte. Vom befragten Betriebsleiter (RLP_2) wird aber dennoch als Extremfall befürchtet, dass bei Starkregenereignissen die äußere Qualität des Ernteguts, d. h. vor allem die Laubfarbe, so stark in Mitleidenschaft gezogen werden könnte, dass sich daraus sehr große Erlös- und Deckungsbeitragsverluste ergeben könnten, wenn bereits geerntete Radies vom Handel wegen vergilbter Blätter beanstandet und zurückgeschickt werden. Der Betriebsleiter geht davon aus, dass bei reduzierter N-Düngung solche folgenschweren Qualitätsmängel in Zukunft öfters auftreten können. Es bleibt allerdings offen, wie oft solche Starkregenereignisse tatsächlich eintreten und ob diese Ereignisse bei nicht reduzierter N-Düngung ähnliche Folgen haben könnten.

Die Kulturdauer von Gemüse kann sich sowohl risikomindernd als auch risikoverstärkend auswirken. Wie aus dem obigen Radies-Beispiel leicht zu ersehen ist, kann eine kurze Kulturdauer in pflanzenbaulicher Hinsicht insofern risikoverstärkend wirken, als einem eventuell auftretenden Stickstoffmangel nicht mehr rechtzeitig vor der Ernte entgegengewirkt werden kann.

Andererseits kann eine kurze Kulturdauer auch risikomindernd wirken, da der Verlust eines Gemüse-Satzes und die damit verbundenen Erlös- und Deckungsbeitragseinbußen gesamtbetrieblich vor dem Hintergrund einer ganzjährigen Flächenbelegung und der insgesamt während eines Jahres auf einer Fläche erzielbaren Erlöse und Deckungsbeiträge zu betrachten sind. Eine misslungene Kultur mit kurzer Kulturdauer kann idealerweise noch durch erfolgreiche Folgekulturen auf der gleichen Fläche kompensiert werden.

Ein klares Gegenstück zum Radies bildet der Porree, bei dem im Falle stärkerer Ertrags- bzw. Erlös- und Deckungsbeitragseinbußen keine Kompensation mehr durch eine Folgekultur auf der gleichen Fläche erreicht werden kann. Andererseits wirkt sich hier die längere Kulturdauer in pflanzenbaulicher Hinsicht positiv aus, da dadurch eine bessere Wurzelentwicklung verbunden mit einer höheren Stickstoffeffizienz ermöglicht wird. Gleichzeitig stehen längere Zeiträume zur Verfügung, um ggf. auftretendem Stickstoffmangel begegnen zu können.

Abbildung 21 zeigt das Ergebnis der Monte Carlo Simulation zu Blumenkohl für die Sommeranbauperiode bzw. einen Herbst/Winter Anbau bei reduzierter Stickstoffdüngung.

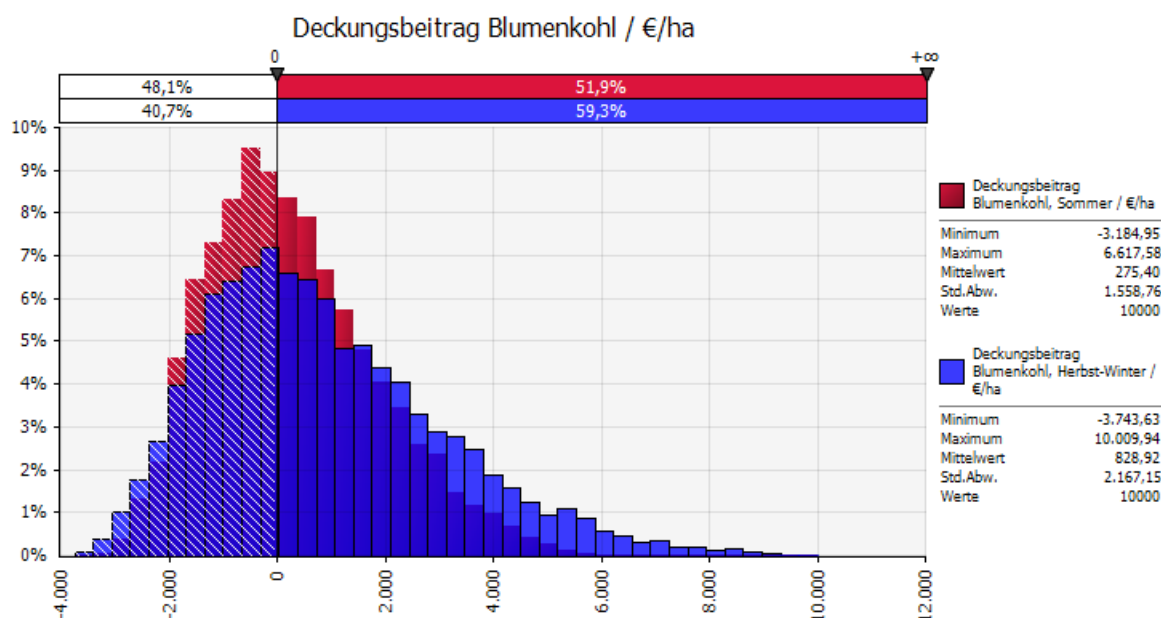


Abb. 21: Histogramm des simulierten Deckungsbeitrages von Blumenkohl bei reduzierter N-Düngung im Herbst/Winter (blau) im Vergleich mit der entsprechenden Simulation für die Sommer-Anbauperiode (rot)

Beide Simulationen zeigen deutlich, dass beim Blumenkohlanbau unter der Annahme reduzierter N-Düngung ohne zusätzliche Risikominderung in fast der Hälfte der Fälle mit einem negativen Deckungsbeitrag zu rechnen ist.

Alle Ergebnisse und zugrundeliegende Annahmen im Detail können in dem Abschlussbericht des Thünen Institutes nachgelesen werden.

6.2 Wie und mit welchen Ergebnissen hat der Wissenstransfer der im MuD-Vorhaben gewonnen Erkenntnisse im Berichtszeitraum stattgefunden (Veranstaltungen, Feldtage, Berichte in Medien, Erstellung von Informationsmaterialien)?

Vorträge:

- Präsentation der Ergebnisse aus den Feldversuchen im Jahr 2020 für die Betriebsleiter der Modellbetriebe (23.11.2020)
- Sitzung des Versuchsbeirates Freilandgemüsebau (07.12.2020)-AELF
- Arbeitsbesprechung Versuchsplanung der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Bamberg (17.12.2020)
- Meisterschule für Gemüsebau AELF Fürth (03.02.2021)
- Projekttreffen MuD-Vorhaben (18.02.2021)
- Arbeitsbesprechung zur Düngeverordnung mit den Erzeugerringen und Gemüsebauern Bayern (19.02.2021)
- Projekttag der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Veitshöchheim (01.03.2021)
- Feasibility and economic analysis of improved nitrogen fertilization measures for vegetables in Germany. 4th International Symposium on Horticulture in Europe, 09.03.21, Stuttgart (online) (Meyer, Wildenhues, Ludwig-Ohm, Garming)
- Reduzierte N-Düngung im Freilandgemüsebau– Risiken und Maßnahmen zur Risikominimierung. 4th International Symposium on Horticulture in Europe, 09.03.21, Stuttgart (online) (Wildenhues, Burger, Bork, Garming)
- N-Expert ein professionelles EDV-Programm zur Düngeaufzeichnung für den Gartenbau. Landwirtschaftskammer Hamburg, Weiterbildung zu: "Die Düngeverordnung im Gemüsebau - Grundlagen und Neuigkeiten (Online. 22.02.2021)
- Abschlussbesprechung mit den Betriebsleitern der Modellbetriebe aller Teilregionen (06.04.2021 und 13.04.2021)

Vorträge - 30. Bundesberatertagung im Gemüsebau Grünberg (10.03.2021)

Spirkaneder, A. Optimierung der Freilanddüngung im Knoblauchsland - Düngefenster - Bewässerung (AELF)

Meyer, S.F. Wie lässt sich N-Düngung gesamtbetrieblich reduzieren? Sarah F. (LWK NRW)

Heid, P. Versuche mit reduzierter N-Düngung (DLR Rheinpfalz)

Arbeitsgruppe Ökonomik des Gartenbaus. Betriebswirtschaftliche Risiken durch reduzierte Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau (Thünen Institut)

Feller, C. Stoffstrombilanz für den Gemüsebau rückt näher - Aktueller Sachstand (IGZ)

Website des Projekts:

„Mustervortrag“ / Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem gesamten Teilprojekt inklusive daraus ableitbaren Tipps für die Praxis für die Website des MuDProjekts

Verweis auf Neuigkeiten bei N-Expert, zum Beispiel am 19.04.2021 - N-Expert 4.5.3 - der Download steht zur Verfügung, jetzt mit Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit

Verweis auf Publikationen im Rahmen von MoDN

MuD ‚Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau‘
Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

Artikel:

Fachzeitschrift „Gemüse“ (Ausgabe 04/2020): Stoffstrombilanz leichter gemacht. Gemüse 56 (4), 23-25

Fachzeitschrift Spargel & Erdbeerprofi (2020): Aktuelles zur Düngeverordnung. Spargel & Erdbeerprofi 22 (2), 13-1

Fachzeitschrift „Gemüse“ (Ausgabe 03/2021): „Mit weniger Stickstoff zum Ernteerfolg –Düngeversuche mit reduzierten N-Gaben in Knollensellerie“

Fachzeitschrift „Gemüse“ (Ausgabe 06/2021): Düngung und Risiko im Gemüsebau – Einschätzungen aus der Praxis: Risikominderung hat ihren Preis

Fachzeitung „TASPO“ (Ausgabe 17/2021): „Was Praktiker bei reduzierter Düngung tun können“

Landwirtschaftliches Wochenblatt: Technische, strategische und pflanzenbauliche Lösungen zur DüV, 08/2021, 42-44

Landwirtschaftliches Wochenblatt: Nachgefragt: Das Projekt MoDe-N : 20 Prozent weniger düngen – klappt das im Gemüsebau?, 14/2021, 41

LZ_Bericht Rheinland 02-2021. Düngung in Gemüsebaubetrieben: aktuelle Änderung.

Zeitschrift LandInForm. 2020. Im Fokus Fundierter Wissenstransfer. 2.20, 3.

Wissenschaftliche Artikel

Meyer, S.F., Ludwig-Ohm, S., Wildenhues, H., Garming, H. 2021. Feasibility and economic analysis of improved nitrogen fertilization measures. Acta Horticulturae. Im Druck.

Sradnick, A., and Feller, C. (2020). A Typological Concept to Predict the Nitrogen Release from Organic Fertilizers in Farming Systems. Agronomy 10.

BZL Broschüre zum Projekt

Die Broschüre wird noch in 2021 gedruckt, die Texte aller Projektbeteiligten konnten im Juni endgültig für die Publikation freigegeben werden. Die Zusammenfassung und Redaktion hat Frau Staeves übernommen.

Sonstige

Veröffentlichungen zum Projekt im „Gartenbauprofi“ (1/21 und 5/21)

Drei Online-Schulungen für die Anbau- und WasserschutzberaterInnen der LWK NRW, bei denen auch Projekterfahrungen vermittelt wurden

Broschüre der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: Maßnahmen zur Steigerung der Ineffizienz im Freilandgemüsebau. <https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/pdf/n-effizienz-freilandgemuese.pdf>

Ludwig-Ohm, S, Wildenhues, H. und Garming, H. (2021): Ökonomische Analyse zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. Thünen Report (in Vorbereitung)

7. Wesentliche Ergebnisse und Diskussion (anhand von Fachliteratur) des MuDVorhabens, projektübergreifend

7.1 Welche zentralen Aussagen über den Erfolg der Reduktion der N-Überschüsse im Freilandgemüseanbau können getroffen werden (u. a. hinsichtlich Methodik, Betriebsablauf, Aufwand, Ertrags Erwartung)?

7.1.1 Methoden zur Berechnung des Düngebedarfs

In der Literatur wird bei Düngeversuchen mit Gemüsekulturen überwiegend der Ansatz verfolgt, optimale pauschale Düngemengen für bestimmte Gemüsekulturen zu ermitteln. Dieses Vorgehen basiert auch darauf, dass Düngeverordnungen anderer Länder, z. B. Niederlande, Belgien oder Dänemark keine komplexe Düngebedarfsermittlung vorsehen, sondern N-Obergrenzen für bestimmte Gemüsekulturen festlegen. Diese N-Obergrenzen variieren teilweise noch leicht je nach Bodenart und zwischen Erst- und Zweitbelegung (D'Haene et al. 2018). Darüber, ob eine solche Art der Düngegesetzgebung zielführender wäre oder nicht, wurde auch im Rahmen der Projekttreffen kontrovers diskutiert. Mit Sicherheit wäre es unbürokratischer und den Betrieben leichter zu vermitteln, andererseits birgt die Berücksichtigung von weniger Faktoren im Einzelfall höhere Kultur- bzw. N-Auswaschungsrisiken. D'Haene et al. (2018) kommen nach ihren Feldversuchen zu dem Schluss, dass die zu dieser Zeit in Flandern (Belgien) aktuellen Bedarfswerte für die untersuchten Kulturen gesenkt werden können. Hinsichtlich der deutschen Düngeverordnung können wir eine solche allgemeine Aussage nicht treffen. Pauschale Einschätzungen zum Einsparpotential können wir aus Projekterfahrung nicht bestätigen. Im Bundesratsentwurf der Düngeverordnung vom 20.2.2020 wird von 5-10 % Ertragsverlust, inklusive möglicher Qualitätsverluste bei Gemüse durch Reduzierung des errechneten Düngebedarfs um 20 % ausgegangen. Die Erfahrungen aus dem Projekt zeigen, dass die Ertragsverluste zwischen 0 und 100 % liegen können. Darauf hat das Wetter mit möglichen Starkregenereignissen einen erheblichen Einfluss. Zudem ist neben direkten Ertrags- und Qualitätsverlusten bei Düngung unter Bedarf auch die beobachtete Verzögerung der Kulturentwicklung zu beachten, die zur Auslistung beim Lebensmitteleinzelhandel führen kann.

In der Vorderpfalz lässt sich der Erfolg direkt am N Düngerverkauf messen. Der Landhandel der Vorderpfalz berichtet von einem Rückgang des N-Düngerverkaufs zwischen 10 und 20% in den letzten 4 Jahren. Dieser Veränderungsprozess ist bei gleichbleibendem Flächenumfang im Pfälzer Gemüsebau zum einen der Betriebsaufgabe kleinerer Betriebe geschuldet, zum anderen der besseren Ausstattung mit Fachpersonal, der Nutzung moderner Düngetechnik in den verbleibenden Wachstumsbetrieben und letztendlich auch der intensiven Beschäftigung in den Betrieben mit der Düngung aufgrund des hohen politischen und öffentlichen Drucks. Die Akzeptanz und Intensität der schlagbezogenen N_{\min} -Bodenanalytik in den Betrieben hat ebenfalls kontinuierlich zugenommen.

In der Vorderpfalz und in NRW wurde bereits vor Einführung der verpflichtenden Düngebedarfsermittlung entsprechend der DüV intensiv mit N_{\min} Sollwerten und N_{\min} Bodenproben gearbeitet. Im Knoblauchsland erwies sich im Laufe des Projektes die Düngung nach Düngebedarfsermittlung inklusive der N_{\min} -Beprobung wie sie auch nach 2017 verpflichtend wurde als entscheidendes Mittel zur Einsparung von Stickstoff. Besonders das nach DüV geforderte Vorgehen, nach der 1. / 2. Kultur im Jahr bzw. vor Grunddüngung der Folgekultur eine N_{\min} -Beprobung durchzuführen, stellte einen Erfolg in der Reduzierung von N-Überschüssen und

N-Verlusten dar. Damit einher geht auch, dass eine kulturartspezifische Düngung statt einer betriebsüblichen Standarddüngung über „alle“ Kulturen im Projekt dazu führte, dass die N-Effizienz erhöht wurde. Empfohlene zusätzliche Düngebedarfsermittlungen und Nmin-Proben erfordern vor allem für kleinstrukturierte Betriebe mit einer hohen Artenvielfalt und parallelem Anbau einen hohen Mehraufwand, neben dem durch die DüV 2017 bereits entstandenen höheren Aufwand.

7.1.2 Kulturbegleitende Düngung (Splitting)

Bei den meisten Kulturen gab es Fälle, in denen ohne Probleme deutlich unter dem ermittelten Bedarf gedüngt werden konnte, in anderen Fällen wiederum nicht. Das zeigte sich besonders deutlich bei der kulturbegleitenden Nmin-Beprobung auf dem Betrieb NRW A in den Jahren 2018-2019. Das Problem der fehlenden Konsistenz bei einer Düngung unter Bedarf findet sich auch in der Untersuchung von D’Haene et al. (2018) wieder: In 11 Versuchen lag die notwendige Düngemenge, um bei Blumenkohl 95% des Optimalertrags zu halten, bei 173 kg N/ha, jedoch mit einer Standardabweichung von 145 kg N/ha. Diese Spannweite deckt sich mit den Erfahrungen aus dem Projekt. Im Projekt erwies sich insbesondere bei langstehenden Kulturen die Kulturbegleitende Nmin-Beprobung als zielführender im Vergleich zu pauschalen Einsparungen. Die kulturbegleitende Nmin-Beprobung wurde auf den drei Modellbetrieben in NRW in den Jahren 2018 und 2019 in den Kulturen Porree, Kopfkohl, Blumenkohl und Knollensellerie intensiv erprobt. Dazu wurde die Düngung je nach Kulturdauer auf 2-3 Düngetermine aufgeteilt und vor jedem Düngetermin eine Nmin-Probe gezogen. Basierend darauf wurde mit dem Programm N-Expert die Düngemenge für den jeweiligen Termin kalkuliert. Die Einsparungseffekte dieser Methode variierten von Feld zu Feld. Da es sich um warme und trockene Jahre handelte, war auf vielen Flächen die Mineralisierung höher als erwartet, sodass Düngemengen von im Einzelfall bis zu 140 kg N/ha gespart werden und teilweise auf ganze Überfahrten verzichtet werden konnte. Es gab jedoch auch einige Flächen, auf denen trotz guter Bodeneigenschaften und Wetterbedingungen die Mineralisierung nur moderat war und somit in der Summe der Einzelgaben der gesamte anfangs nach Düngeverordnung ermittelte Bedarf gegeben werden musste. Hier wurde deutlich, dass nur mit einer aufwendigen Begleitung jeder einzelnen Fläche im Durchschnitt aller Flächen 20 % des Düngebedarfs ohne Ertragseinbußen im Betriebsschnitt gespart werden konnten. Weier und Scharpf (2007) geben in ihrem Beitrag im IGS-Heft 4 an, dass einige Kulturen auch unterhalb des nach KNS-ermittelten Optimums ohne relevante Ertragseinbußen gedüngt werden können. Dabei nennen sie neben Feldsalat, Möhren und Rosenkohl auch Sellerie. Die Ergebnisse im Projekt haben jedoch gezeigt, dass eine Differenzierung zwischen Knollen-, Stangen-, und Staudensellerie hier unbedingt nötig ist. Während Knollensellerie im Projekt mit relativ niedrigen Düngemengen auskommen konnte – allerdings auch vor dem Hintergrund hoher Mineralisierung – zeigte sich Stangesellerie sehr sensibel bezüglich einer Reduktion der Startdüngung. Ergebnisse aus dem Knoblauchland haben gezeigt, dass auch eine Vermarktung von Knollensellerie mit Laub zu einem deutlich höheren Kulturrisiko führt. Hinsichtlich der Durchführbarkeit der KNS-Methode spielt es eine entscheidende Rolle, ob Personal zur Probenahme zur Verfügung steht (große Betriebe) oder ob externe Probenehmer in der Region beauftragt werden können. Betriebe, die über keine der beiden Möglichkeiten verfügen und ggf. mangels naher Laborabgabestelle auch die Analysen noch selbst per Nitratschnelltest machen müssen, sehen die Methode im zukünftigen Betriebsablauf eher nicht. Ein weiterer Pluspunkt ist hingegen eine zusätzliche Begleitung durch die Wasserschutzberatung. Ein weiteres Hindernis für die

unkomplizierte Durchführung des KNS-Systems ist die Abdeckung mit Vlies und Kulturschutznetzen. Dabei ist eine Beprobung am Rand der Abdeckung nur weniger repräsentativ oder im Fall einer vollständigen Abnahme und Wiederauflage mehrere Personen nötig, was entsprechend zeit- und arbeitsaufwendig ist. Auch für die zusätzliche Kopfdüngung wäre wieder eine vollständige Vliesabnahme nötig. Bei Frühkulturen mit Vliesabdeckung ist aus arbeitswirtschaftlichen Gründen daher meist nur eine Kopfdüngung ohne vorherige Probenahme zu empfehlen. Wichtig für eine erfolgreiche Anwendung des KNS-Systems ist auch das Wissen über die sortenspezifische Kulturdauer und die tatsächliche Pflanzenentwicklung. Beide Informationen erfordern zusätzlichen Begleitungsaufwand durch den Betrieb.

Im Sinne des Düngegebensplittings gibt es zunehmend Untersuchungen, die zeigen, dass die Kombination mit Blattdüngern als letzte Düngegabe eine Möglichkeit darstellen können, Stickstoff einzusparen und je nach Pflanzenbedarf bei Stickstoffmangel am Kulturende schnell Stickstoff zuführen zu können (Fischer-Klüver, 2020; Graaff et al., 2021).

7.1.3 Zwischenfruchtanbau und Begrünung der Flächen

Nett et al. (2011) kamen in ihrer Publikation zu dem Schluss, dass Zwischenfruchtanbau keine vielversprechende Maßnahme sei, um N-Überschüsse in Gemüsefruchtfolgen zu reduzieren. Im Schnitt der betrachteten Versuchsflächen hatten Zwischenfrüchte nur 13 kg N/ha im System konservieren können. Auf den Modellbetrieben wurden auf einigen Flächen deutlich positivere Effekte von Zwischenfrüchten (N-Bindung bis zu 150 kg N/ha) beobachtet. Die Ergebnisse auf den Modellbetrieben können nicht direkt mit wissenschaftlichen Exaktversuchen verglichen werden. Selbst wenn, wie auf dem Betrieb NRW A im Winter 2018/19 auf demselben Schlag verschiedene Varianten angelegt wurden, so waren die Ausgangsbedingungen nicht exakt gleich aufgrund der leichten räumlich und zeitlich versetzten Ernte im satzweisen Anbau. Auch auf den Modellbetrieben kam es vor, dass auf einigen Flächen die Zwischenfrucht geringe Effekte zeigte oder N_{min}-Werte nicht erklärbar waren. Im Herbst 2020 wurden auf dem Betrieb NRW B beispielsweise auf verschiedenen Salatflächen mit ähnlichen Bedingungen und N_{min}-Werten die gleichen Zwischenfrüchte eingesät. Während auf einer Fläche bis November eine hohe N-Aufnahme von über 100 kg N gemessen wurde, wurden auf der anderen Fläche im gleichen Zeitraum nur 50 kg N aufgenommen. Auf dem Betrieb NRW A nahmen Zwischenfrüchte im Winter 2021/2020 deutlich weniger N auf als im Winter 2019/2020, basierend auf den Ergebnissen von N_{min}-Werten und Pflanzenanalysen. Die Beispiele zeigen, dass der Erfolg des Zwischenfruchtanbaus je nach Standorteigenschaften und Witterungsverlauf stark variieren kann und auf Basis einzelner Versuchsstandorte und Jahre nur schwer allgemeingültige Aussagen entwickelt werden können. Zwei weitere Unterschiede zu den Experimenten von Nett et al. (2011) sind noch zu erwähnen: Die meisten Zwischenfruchtarten im Projekt wurden auf Flächen erhoben, auf denen zuvor flach wurzelnde Kulturen (Salat, Stangensellerie, Dill) standen, die meist sehr hohe Rest-N_{min}-Gehalte in 30-60 cm Bodentiefe, teilweise auch in 0-30 cm Bodentiefe hinterließen. Nett et al. (2011) säten Zwischenfrüchte nach Blumenkohl aus. Nach Blumenkohl ist die N-Dynamik etwas anders. Da Blumenkohl tiefer wurzelt, wurden im Projekt zu Kulturende meistens nur moderate N-Reste in Höhe des Mindestvorrats nach KNS-System von 40-60 kg N/ha in 0-60 cm gemessen. Hohe Stickstoffmengen wurden bei Blumenkohl dann erst später durch die Mineralisierung der Erntereste freigesetzt. Dadurch sind die Ergebnisse nach flachwurzeln Kulturen nicht unbedingt mit denen von Blumenkohl vergleichbar. Ein weiterer Punkt ist, dass im Paper von Nett et al. (2011) nur einzelne Zwischenfruchtarten ausgesät wurden. In den Modellbetrieben wurden die höchsten N-Aufnahmen bei Zwischenfruchtmischungen beobachtet, was sich auch

mit der verbreiteten Beratungsaussage deckt, dass Mischungen mit unterschiedlich tief wurzelnden Arten vorteilhaft sind, da sie die Bodenstruktur in unterschiedlichen Tiefen verbessern.

Ein höherer Aufwand für den Zwischenfruchtanbau bzw. die Winterbegrünung ergibt sich für kleinstrukturierte Betriebe auch dahingehend, dass die Betriebe viele kleine Flächen bewirtschaften, auf denen zu unterschiedlichen Zeiten die Ernte der letzten Kultur stattfindet und damit für viele kleine Flächen individuell eruiert werden muss, welche Zwischenfrucht mit welchem Aussattermin geeignet ist.

7.1.4 Optimierung der Bewässerung

Zur effizienten Bewässerung im Freilandgemüsebau gab es von 2012 bis 2016 ein Modellvorhaben, das ebenfalls von der BLE gefördert wurde. Die Ergebnisse sind in einer gleichnamigen Broschüre zusammengefasst (Zinkernagel et al. 2017). Auf allen teilnehmenden Betrieben wurde die Bewässerungstechnik modernisiert, bestehende Einzugsregner wurden gegen stationäre Systeme wie Tropfbewässerung, Mikrosprinkler oder – auf sehr großen Schlägen – gegen Kreisregner ersetzt. Stationäre Systeme ermöglichen eine bedarfsgerechtere Bewässerung, da sie immer zur Verfügung stehen, wenn Bewässerungsbedarf besteht. Bei mobilen Einzugsregnern und Düsenwagen besteht oft das Problem, dass auf langfristigen Vorrat oder auf Defizit bewässert werden muss, da an heißen Tagen die Geräte nicht überall gleichzeitig stehen können. Die Etablierung solcher Systeme ist für den Betrieb zunächst mit wesentlichen Kosten und bei kurzstehenden Kulturen mit neuen Arbeitsabläufen verbunden, da die Systeme vor der Ernte abgebaut und bei Neupflanzung wieder aufgebaut werden müssen. Der Aufbau von mobilen wie stationären Bewässerungssystemen sollte stets durch entsprechend geschultes Personal erfolgen, sodass beispielsweise Randdüsen von Düsenwagen und Rohrberegnung nicht unnötig viel Wasser auf angrenzende Wege verschwenden. Die Etablierung eines sinnvollen stationären Systems setzt zudem voraus, dass mehrere Schläge gleichzeitig aus einem Brunnen bewässert werden können. In den zwei Betrieben des DLR Rheinpfalz war die Situation hinsichtlich der Beregnungstechnik und den Möglichkeiten positiv. In den Modellbetrieben der LWK NRW und des Knoblauchslandes gab es da große Probleme.

Die Modellbetriebe in NRW müssen hingegen teilweise noch mit Nachbarbetrieben ausmachen, wer wann welchen Brunnen nutzt. Abhilfe würde der Bau einer Ringleitung mit Gründung eines Bewässerungsverbandes schaffen. Solche Änderungen in die Wege zu leiten würde über das Vorhaben hinausgehen, im Rahmen eines Düngeprojektes nebenbei noch die Bewässerung zu beachten. Gerade angesichts der zunehmenden Trockenheit sollten Gemüsebetriebe solche Projekte in NRW in Erwägung ziehen. In der Broschüre ist des Weiteren von der Optimierung der Bewässerungsmengen nach Geisenheimer Steuerung die Rede. Dabei wurde – genau wie in unserem Modellvorhaben – die Erfahrung gemacht, dass die Empfehlungen der Geisenheimer Steuerung über dem tatsächlichen Bedarf lagen und über die wasserrechtliche Erlaubnis hinausgingen. Das zeigt, wie wichtig bei einem Bewässerungsprogramm die individuellen Anpassungsmöglichkeiten sind. Diese bietet beispielsweise die ALB-Bayern, das Programm Agrowetter des DWD war in dieser Hinsicht ungeeignet.

Eine Optimierung der Bewässerungstechnik im Knoblauchsland erfuhr große Akzeptanz, auch hinsichtlich entsprechender Investitionen, da die Betriebe die Notwendigkeit der damit verbundenen Dünger- und Wassereinsparung sehen. Gerade in den beiden trockenen Projektjahren 2018 und 2019 wurde die Bedeutung einer gut funktionierenden Bewässerung nochmal deutlich. Eine Umstrukturierung der Aufstellverbände beispielsweise ist nur mit einem

einmaligen organisatorischen Mehraufwand verbunden und erfordert kaum eine Änderung im Betriebsablauf. Allerdings bedeuten engere Rohrabstände eine größere Anzahl an benötigten Rohren, was wiederum mit erhöhtem personellem und zeitlichem Aufwand beim Aufbau der Bewässerungssysteme verbunden ist.

7.1.5 Ganzheitliche Pflanzenernährung

Eine Mangelernährung mit beispielsweise Schwefel oder Magnesium oder auch anderen Nährstoffen führt dazu, dass die Stickstoffeffizienz verringert wird. Bei entsprechenden Symptomen oder bekannten Problemen sollte die Ursache über die komplexe Pflanzenanalyse oder entsprechende Bodenanalysen geklärt werden.

Werden Mehrnährstoffdünger verabreicht, so richtet sich die Ausbringmenge immer nach der gewünschten N-Menge. Es hat sich als vielversprechend erwiesen, an die Bodenverhältnisse angepasste Mehrnährstoffdünger zu geben bzw. entsprechend zusätzliche Nährstoffe aufzustoßen. Bei einem Mangel an Schwefel und/oder weiteren Mikronährstoffen sollte eine Aufdüngung dieser Stoffe erfolgen. Auch allgemein rückt die Versorgung mit allen wichtigen Nährstoffen mehr in den Vordergrund, um ein optimales Pflanzenwachstum zu erreichen. Da Bor- und Schwefelmangel insgesamt oft in Böden festgestellt wird, passen Hersteller in letzter Zeit zunehmend ihre Düngeformulierungen an, sodass immer mehr Wert auf ausreichend S und B in den Düngemitteln, insbesondere Blattdünger, gelegt wird (Fischer-Klüver, 2019). Ganz allgemein sollte der Fokus generell auch auf eine ausreichende Versorgung mit anderen Nährstoffen wie z.B. Calcium und Schwefel gelegt werden, die eine wichtige Rolle für Wachstum und Stoffwechsel der Pflanzen spielen; Symptome eines Schwefelmangels bei Bundzwiebel z.B. werden oftmals mit Stickstoffmangel verwechselt (Schmidt 2019). Im Hinblick auf mögliche weitere Trockenjahre nimmt auch die Bedeutung einer optimalen Kaliumversorgung der Pflanze zu, da durch das osmotische Potenzial des Kaliums die Pflanze bei Trockenheit mehr Wasser aufnehmen kann, indem der osmotische Druck in allen Zellen aufrechterhalten wird. Versuchsergebnisse der K+S Kali GmbH gaben Hinweise, dass eine gute Kaliumversorgung das Wasserspeichervermögen bzw. die nutzbare Feldkapazität erhöht und damit bei Trockenheit Wachstum und Entwicklung der Pflanze intakt bleiben (Niederländer, 2019).

7.1.6 Weitere Einzelmaßnahmen

Unterfußdüngung

Bei einem Versuch der LWK Schleswig-Holstein in Weißkohl waren bei Einsatz von KAS die Erträge bei normaler oberirdischer Ablage höher als bei Unterfußdüngung. Flüssige Unterfußdüngung mit N-xt zeigte hingegen bessere Erträge (Bode, 2018). Im Kompetenzzentrum Freilandgemüsebau Gülzow wurde ebenfalls im Jahr 2017 in Brokkoli eine Unterfußdüngung mit stabilisiertem Dünger getestet. Trotz hoher Niederschläge konnte kein deutlicher Vorteil in der N-Effizienz gegenüber der üblichen KAS-Düngung gezeigt werden (Länderrat der Norddeutschen Kooperation im Gartenbau, 2018). In einem belgischen Versuch konnte im Spinat eine dunklere Färbung in Verbindung mit geringeren Nmin-Restmengen durch die Unterfußdüngung mit flüssigen, stabilisierten Düngern erzielt werden (De Rooster & Bes, 2012). Einen Versuch mit Unterfußdüngung im späten Brokkoli präsentierte L. Rebholz vom DLR Rheinpfalz auf dem Hessischen Gemüsebautag 2017. Während die bandförmige Ablage von KAS auf den Boden neben der Pflanzreihe eine bessere Ausbeute erbrachte als die im Brokkoli übliche

breitwürfige Ausbringung, schnitt die Unterfußdüngung mit einem ammoniumbetonten Dünger etwas schlechter ab (Rebholz, 2017). Ein ähnlicher Versuch wurde ebenfalls vom DLR Rheinpfalz im frühen Blumenkohlanbau mit den gleichen Düngemitteln durchgeführt. Dabei zeigten sich weder bandförmige Ablage noch Unterfußdüngung vorteilhaft gegenüber der breitwürfigen Düngung. Bei der Unterfußdüngung mit Ammoniumdünger waren die Kopfgewichte zwar vergleichsweise hoch, der Erntetermin jedoch verzögert und die für Blumenkohl ebenfalls wichtige Blattmassebildung vergleichsweise schlecht (Weinheimer, 2018). Vor dem Hintergrund dieser Versuche ist es wenig überraschend, dass die Unterfußdüngung mit KAS auf dem MuD-Betrieb im Vergleich zum Kastendüngerstreuer keinen Mehrwert zeigte. Auch in den meisten anderen Versuchen der LWK NRW schnitt die Unterfußvariante zwar nicht deutlich schlechter ab, zeigte aber auch keinen großen Vorteil. Die beschriebenen Versuche deuten darauf hin, dass eine flüssige Unterfußdüngung eventuell ein höheres Potential zur Steigerung der N-Effizienz haben könnte.

Optimierte Düngemittelauswahl und Blattdüngung

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. Einzelnährstoffdünger oder NK-Dünger sind in der Regel besser für eine bedarfsgerechte Versorgung mit N und P geeignet als NPK-Dünger. Auf nassen und auswaschungsgefährdeten Standorten können z. B. stabilisierte N-Dünger insbesondere bei längerer Kulturdauer sinnvoll sein. Bei der Auswahl organischer Düngemittel sind neben N- und P-Gehalten auch der Zeitpunkt der N-Freisetzung und die Humuswirkung zu beachten. Wird organische Düngung vor allem vor dem Hintergrund des Humusaufbaus betrieben, so sind moderate Mengen an Festmist oder Kompost besser geeignet als Gülle oder Gärrest. Aufgrund der auswaschungsgefährdeten sandigen Böden im Knoblauchsland und besonders bei den dort länger stehenden Kulturen erwies sich die Verwendung stabilisierter Dünger als sinnvoll. Verlusten durch Auswaschung aufgrund von Starkregenereignissen konnte damit vorgebeugt werden.

Eine Blattdüngung kann zum Beispiel bei Salaten geeignet sein, um zu Kulturende kurzzeitig Erträge und Qualitäten abzusichern, nicht jedoch, um die Kultur nachhaltig mit fehlendem N zu versorgen.

Vermarktung von Wurzel- und Knollengemüse ohne Laub

Ein sattes Grün am Produkt signalisiert Frische, jedoch benötigt dies zusätzlichen Stickstoff, da Mangelerscheinungen oft an den Blättern bzw. dem Laub beginnen. Da das wesentliche am Produkt bei einigen Kulturen die Wurzel / Knolle beispielsweise ist, kann hier Stickstoff eingespart werden, wenn nur das Hauptprodukt vermarktet wird. Der Knollensellerieversuch im Knoblauchsland in 2020 hatte gezeigt, dass bei einer reduzierten Düngung vor allem das Laub Mangelerscheinungen im Zuge des Starkregens zeigte, während die Knollenerträge und -qualitäten nicht beeinträchtigt waren.

Erhöhung der Humusgehalte

Humusreichere Flächen waren im Knoblauchsland weniger anfällig gegenüber den Auswirkungen von Starkregenereignissen. Durch eine Erhöhung der Humusgehalte kann die Stickstoffnachlieferung erhöht werden sowie die Bodenstruktur und Wasserspeicherkapazität verbessert werden. Vor allem auf den sandigen Böden im Knoblauchsland kommt dem Humusaufbau eine wichtige Rolle zu. Dieser ist eine längerfristige Maßnahme und kann über das Ausbringen von Wirtschaftsdüngern wie Kompost oder Mist sowie durch Gründüngung umgesetzt werden. Der Einsatz von Kompost und Mist ist aufgrund der Vorgaben der Düngeverordnung allerdings nur sehr eingeschränkt möglich.

Reduzierung der Düngung in den Sommermonaten

Aufgrund der höheren Mineralisierungsrate bei höheren Bodentemperaturen erwies sich eine reduzierte Düngung vor allem beim Anbau in den Sommermonaten als erfolgreich. Dies betrifft dann die zweite oder dritte Kultur im Jahr genauso wie eine erste späte Kultur auf einer Fläche, weshalb bei einer späten ersten Kultur eine Nmin-Probe vor Kulturbeginn (wenn nicht sowieso verpflichtend) ein hohes Einsparpotential mit sich bringt.

Verlängerung der Standzeit bei langer Kulturdauer

Besonders bei Kulturen wie dem Knollensellerie beispielsweise, bei denen eine längere Standzeit mit einem weiteren Massezuwachs ohne Qualitätseinbußen einhergeht, stellte eine N-einsparende Maßnahme auch die Verlängerung der Standzeit dar. Dadurch wird das Zeitfenster verlängert, in dem Stickstoff aus dem Boden nachgeliefert werden kann und der Kultur zur Verfügung steht. Die Nachlieferung infolge der N-Mineralisierung ist dabei nicht außer Acht zu lassen, wenn man davon ausgeht, dass bei warmen Bodentemperaturen ca. 5 kg N/ha und Woche freigesetzt werden. Bei einer Verlängerung der Standzeit um vier Wochen z.B. wäre das immerhin theoretisch eine Menge von 20 kg N/ha, die der Kultur zur Verfügung steht. Eine Verlängerung der Standzeit ist allerdings im Anbauplan zu berücksichtigen und kann u.U. bei einem engen Anbauplan dazu führen, dass dadurch der Anbau einer Folgekultur nicht mehr möglich ist.

Verteilgenauigkeit der Düngerstreuer und Vermeidung der Düngung unproduktiver Fläche

Im Beetanbau kann durch entsprechende Düngerstreuer eine randgenaue Ausbringung gewährleistet werden. Auch die Verteilgenauigkeit hilft die N-Effizienz der Gesamtfläche zu steigern.

7.2 Welche zentralen Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der angewandten Maßnahmen können getroffen werden (ökonomisch Begleitforschung)?

Tabelle 3 dokumentiert die Maßnahmen, die in den Regionen auf den teilnehmenden Betrieben umgesetzt und im Rahmen des Projekts durch die ökonomische Begleitforschung bewertet wurden.

Tab 3: Ökonomisch eingeordnete Düngemanagementmaßnahmen

Nummer	Maßnahme	Ausführliche Information
1	Umsetzung der Düngedarfsermittlung nach DüV 2017	Zwischenberichte 2018 und 2019
2	Winterbegrünung	Zwischenbericht 2019, <i>Gemüse</i> (10-2019) und BZL-Broschüre
3	Bewässerung	Zwischenbericht 2019 und BZL-Broschüre
4	Teilflächendüngung bei partieller Auswaschung	Zwischenbericht 2019
5	Häufigere Aufteilung der Düngemenge in Teilgaben	Zwischenbericht 2019 und SHE Beitrag 2021
6	Gesamtnährstoffversorgung	Zwischenbericht 2018
7	Technikvergleich	BZL-Broschüre
8	N-Expert	Zwischenbericht 2019

7.2.1 Düngedarfsermittlung (DBE) nach DüV 2017

Obwohl die Berechnung des Düngedarfs nicht als spezielle Maßnahme zu definieren ist, wurde sie im Rahmen dieses Projektes untersucht, da die Methodik der Düngedarfsermittlung durch die Novellierung der DüV 2017 festgelegt wurde.

Die Berechnungen zeigen, dass es unter Berücksichtigung der Möglichkeit des Zusammenlegens von Flächen (Kleinstflächenregelung) auf mittleren Betrieben (angenommene durchschnittlich Schlaggröße von 1 ha) zu den höchsten durchschnittlichen Kosten je ha kommt. Betriebe mit Flächen von 2 ha oder mehr und Betriebe, die sehr kleine Flächen haben und diese für die DBE zusammenlegen können, profitieren stärker von Skaleneffekten durch geringere Kosten (für N_{\min} -Probe, Berechnung, Dokumentation etc.) je Hektar. Werden aber Flächen zusammengelegt, fallen auch die möglichen Düngemittelersparnisse geringer aus. Generell fallen die Düngemittelersparnisse auf den Betrieben unterschiedlich aus, je nachdem wie nah die betriebsübliche Düngung sich an der durch die DüV 2017 vorgegebenen Methodik orientierte.

Im Projekt wurde deutlich, dass

- größere Betriebe oft strukturelle Vorteile haben, da sie tendenziell über mehr Fachpersonal und besser an die gesetzlichen Rahmenbedingungen anzupassende digitale Lösungen verfügen. Kleinere und mittlere Betriebe sind stärker auf eine gute Infrastruktur in der Region (Dienstleistungsunternehmen für die N_{\min} -Probenahme und -analyse, Beratung für die DBE etc.) angewiesen.
- Betriebe, die langjährig in Wasserschutzberatungskonzepte eingebunden sind, geringere positive Effekte haben, da die Düngung schon optimiert ist.



7.2.2 Zwischenfruchtanbau und Winterbegrünung

Durchgeführte Modellrechnungen zur Winterbegrünung zeigen, dass sich der Anbau von Zwischenfrüchten lohnt, wenn Flächen ansonsten brachliegen würden. Selbst wenn die Zwischenfrüchte bewässert werden müssen, ist der Nutzen größer als die Kosten. Allerdings vermindert ein zu früher Umbruch den Nutzen.

Wenn jedoch Opportunitätskosten berücksichtigt werden müssen (Verzicht auf den Anbau einer Kultur oder Anbauverzögerung), entstehen durch Zwischenfrüchte hohe Nettokosten. Der Mehrertrag und die Düngeeinsparungen der Folgekultur können die Opportunitätskosten in der Regel nicht kompensieren.

7.2.3 Optimierung der Bewässerung

Obwohl es unstrittig ist, dass eine gleichmäßige Bewässerungsverteilung und eine an die Pflanze angepasste Bewässerungssteuerung Stickstoffauswaschungen vermindern, sind die Effekte schwer zu quantifizieren. Anders als bei herkömmlichen ökonomischen Beurteilungen der Beregnungssysteme muss für diese Analyse auch die Stickstoffauswaschung berücksichtigt werden.

Es hat sich gezeigt, dass vielfach kleine Fehler an der Bewässerungsinfrastruktur, wie undichte Rohre, kaputte Regner oder fehlerhaft aufgestellte Beregnungsrohre, zu partiellen N-Auswaschungen und infolgedessen zu Aufhellungen des Bestandes führen. Daher können aus ökonomischer Sicht zunächst Maßnahmen, die die Bewässerungsfehler beheben, empfohlen werden, um die betrieblichen Gegebenheiten zu optimieren:

- Partielle Aufhellungen gezielt nachdüngen.
- Fehler an der Bewässerungsinfrastruktur beheben.
- Für eine gleichmäßigere Wasserverteilung den Bewässerungsverband anpassen: Verkürzung der Regnerabstände auf der Rohrleitung von 18 auf 12 m.
- Die Bewässerungsintervalle anpassen.

7.2.4 Teilflächendüngung bei partieller Auswaschung

Aus unterschiedlichen Gründen (heterogene Bodenbeschaffenheiten, ungleich verteilte Erntemengen der Vorkultur oder auch Auswaschungen) kann es zu einer partiellen Aufhellung des Bestandes kommen. Dabei reagieren die Betriebe oft damit, den gesamten Bestand nachzudüngen. Eine partielle Düngung ist hingegen aus Umweltsicht sinnvoller. Zur partiellen Nachdüngung eignen sich zum Beispiel der Kastenstreuer, mit und ohne Reihenstreuvorrichtung oder die Fertigation über die Bewässerung. Die Fertigation über die Bewässerung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Auswaschungen entlang der Bewässerungsleitungen auftreten. Aber auch die Düngung mittels Kastenstreuer ist in dem Fall sinnvoll, wenn nicht jeder Bereich einer Kulturfläche gleich stark betroffen ist.

Die Ergebnisse von Modellrechnungen zeigen, dass eine partielle Düngung häufig zu höheren Kosten führt, insbesondere, wenn zusätzliche N_{\min} -Proben genommen und analysiert werden und die Düngung teilflächenspezifisch erfolgt. Für den betrieblichen Stickstoffsaldo und die

Umwelt ist jedoch die partielle Düngung weitaus sinnvoller und sollte bei gleichen Kosten vorgezogen werden.

7.2.5 Kulturbegleitende Düngung (Splitting)

Statt die gesamte für eine Kultur notwendige Düngemenge als einmalige Grunddüngung auszubringen, kann diese auf mehrere Gaben aufgeteilt werden (Grund- und Kopfdüngung). Dabei kann mit einer zweiten Düngegabe auf aktuelle Witterungsverläufe reagiert und die Düngung genauer an den Pflanzenbedarf angepasst werden. Im Optimalfall können Düngemittel eingespart werden.

Häufigere Düngegaben führen jedoch zu höheren Arbeitserledigungs- und variablen Maschinenkosten. Zudem können zusätzliche Kosten für weitere N_{min} -Proben anfallen. Die durchgeführten Modellrechnungen zeigen, dass diese zwar durch eingesparte Düngerkosten teilweise kompensiert werden, meistens aber Nettokosten anfallen.

Aus kulturtechnischer, aber auch aus ökonomischer Sicht sollte in jedem Fall geprüft werden, ob sich Arbeitsgänge zusammenlegen lassen, beispielsweise die Grunddüngung mit dem Kastenstreuer und der Beetfräse oder der Pflanzmaschine.

In späteren Kulturstadien ist die Auswahl der richtigen Ausbringungstechnik von besonderer Bedeutung. Vor allem in kopfbildenden Gemüsekulturen müssen Verbrennungen durch Düngekörner, die auf den Blättern liegen bleiben, verhindert werden. Dies ist beispielsweise mit einem Kastenstreuer mit Reihenstreuvorrichtung und mit einer Flüssigdüngung über die Pflanzenschutzspritze möglich.

7.2.6 Ganzheitliche Pflanzenernährung

In den Projektregionen Pfalz und Knoblauchsland wurde untersucht, ob es außer Stickstoffmangel noch andere Nährstoffmängel Grund für Qualitätsbeeinträchtigungen, insbesondere Aufhellungen, gab. Dies wurde durch zusätzliche Blatt- und Bodenanalysen sowie den Einsatz unterschiedlicher Düngemittel erprobt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass auch andere Nährstoffe die Mangelerscheinungen auslösen können. Die Betrachtung des gesamten Nährstoffspektrums und eine darauf abgestimmte Düngung können den Einsatz und damit die Auswaschung von Stickstoff vermindern.

Die Maßnahme hat während der Laufzeit des Projektes an Attraktivität gewonnen, einzelne Betriebe haben von sich aus ausführliche Bodenuntersuchungen durchgeführt. Die Umsetzbarkeit ist jedoch fraglich, denn der Arbeitsaufwand, unterschiedliche Flächen mit unterschiedlichen Düngemitteln zu düngen, die auf die jeweiligen Gegebenheiten des Bodens und Bedürfnisse der Pflanze abgestimmt sind, ist sehr groß.

7.2.7 Technikvergleich

Mit einer höheren Verteilgenauigkeit bei der Düngemittelausbringung reichen geringere Mengen an Düngemitteln aus, um die Pflanzen optimal mit Stickstoff zu versorgen. Geringere Mengen an Düngemitteln in Fahrgassen etc. bedeuten auch geringere Mengen Stickstoff, die in die Umwelt gelangen. In den im Rahmen des MoDeN-Projektes untersuchten Regionen konnten für die Düngemittelausbringung mit dem Kastenstreuer je nach Anbausystem Düngereinsparungen zwischen 10 und 15 % ermittelt werden. Demgegenüber stehen höhere Anschaffungsausgaben und höhere Arbeits- und Maschinenzeiten. Die Arbeits- und Maschinenzeiten bei einer Ausbringung mit dem Kastenstreuer liegen um mehr als das Zehnfache höher

als bei einer Ausbringung mit dem Schleuderstreuer (KTBL 2017). Die höheren Kosten lassen sich nicht durch entsprechende Düngemittelleinsparungen auffangen. Wenn die Düngung jedoch gleichzeitig mit einem weiteren Arbeitsgang erfolgt, entfällt eine Überfahrt. In diesen Fällen sind nur die zusätzlichen Kosten für das Befüllen des Kastenstreuers und die Maschinenkosten für den Kastenstreuer zu berücksichtigen. Diese Kosten sind geringer als diejenigen für eine Ausbringung mit dem Schleuderstreuer.

Der beim Einsatz des Kastenstreuers mit seiner besseren Verteilgenauigkeit eingesparte Stickstoff steht zu einem späteren Zeitpunkt noch zur Verfügung. Diese Option, den eingesparten Stickstoff später, zum Beispiel nach einem Starkregenereignis, nutzen zu können, kostet zwischen einem und knapp fünf Euro je Kilogramm. Dies stellt quasi den Preis für eine zusätzliche Flexibilität in der Düngung dar.

7.2.8 N-Expert

Im Rahmen des Projektes wurde deutlich, dass die Empfehlungen von N-Expert im Durchschnitt unter den Empfehlungen durch die DBE der DüV liegen. Vorausgesetzt, dass beide Düngevarianten zu vergleichbaren Erträgen und Qualitäten führen, ist N-Expert somit eine Maßnahme, die Düngerkosten spart, die Umwelt schont und ein Risikominderungspotential hat, da zunächst eingesparte Düngermengen später noch Auswaschungen ausgleichen können.

Es zeigt sich auch hier, dass die Anwendung zeitintensiv ist und somit höhere Arbeitserledigungskosten anfallen. Fallen zusätzliche Düngegaben an, müssen ebenfalls zusätzliche variable Maschinenkosten betrachtet werden.

7.3 Bezug zur zukünftigen neuen Düngeverordnung

Die Düngeverordnung wurde im Laufe des Projektes zweimal novelliert. Die Einhaltung des gemäß DüV 2017 ermittelten Düngebedarfs war in der Projektlaufzeit auf allen Modellbetrieben in der Regel ohne Ertrags- und Qualitätseinbußen möglich. Das rechtzeitige, verordnungskonforme Erstellen von Düngebedarfsermittlungen (DBEs) stellt für Gemüsebaubetriebe grundsätzlich weiter eine organisatorische Herausforderung dar, da es – anders als in reinen Ackerbaukulturen – aufgrund von verpflichtenden N_{min}-Proben und kurzfristigen Belegungsänderungen auch während der Saison erfolgen muss. Eine komplette Vorplanung im Winter ist für Gemüsebaubetriebe nicht möglich. Dennoch hat die Einführung der verpflichtenden schriftlichen Düngebedarfsermittlung in vielen Fällen zur bedarfsgerechteren Düngung beigetragen. Durch die DüV 2017 wurden zahlreiche Länderprogramme für die DBE entwickelt, die Betrieben und Beratern eine Hilfestellung bei der Düngekalkulation geben, die vorher so nicht vorhanden war. Für den Fall eines Starkregens sah die DüV 2017 die Möglichkeit vor, nach Maßgaben der nach Landesrecht zuständigen Stelle eine Nachdüngebedarfsermittlung zu erstellen. Davon wurde im Laufe des Projektes auch auf Basis von N_{min}-Bodenproben Gebrauch gemacht. Ob die Neuerungen der DüV 2020 im Rahmen der guten fachlichen Praxis immer sinnvoll umzusetzen sind, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden. Alle unter Punkt 5 beschriebenen Maßnahmen können dazu beitragen, dass die N-Nachlieferung des Bodens erhöht und besser eingeschätzt sowie eine N-Auswaschung vermindert werden kann. Folglich ermöglichen diese Maßnahmen in Abhängigkeit von nicht beeinflussbaren Mineralisierungsfaktoren (insbesondere Bodenart und Witterung auch eine Düngung unter dem ge-

mäß DüV ermittelten Düngebedarf. Die Anforderung, im Schnitt der nitratbelasteten Betriebsflächen pauschal 20 % des ermittelten Düngebedarfs einzusparen, hat bereits viele Betriebe motiviert, sich mehr als bisher mit solchen Maßnahmen zu beschäftigen.

Allgemein ist mit einem höheren Anbaurisiko durch eine pauschale Reduzierung des ermittelten Düngebedarfs zu rechnen. Die für eine vermarktbar Qualität erforderliche Düngemenge ist abhängig von Boden- und Witterungsfaktoren und kann pauschal nicht im Voraus ermittelt werden. Um sicher lieferfähig zu sein und Teilausfälle kompensieren zu können, müssen Betriebe zur Risikominderung von vorneherein mehr anpflanzen. Kommt es zu keinen Ertragsausfällen, findet die Überproduktion keinen Absatz und muss ebenfalls entsorgt/eingearbeitet werden. Dies mindert die N-Effizienz und widerspricht den Prinzipien der Nachhaltigkeit. Auch kann zum jetzigen Standpunkt noch nicht festgestellt werden, wie sich die reduzierte Düngung auswirkt, wenn sie auf einer Fläche nicht nur 2 Jahre, sondern über einen längeren Zeitpunkt praktiziert wird. Eine langfristig verminderte N-Nachlieferung ist als Effekt nicht auszuschließen.

Die DüV 2020 sieht außerdem einen verpflichtenden Zwischenfruchtanbau auf nitratbelasteten Flächen vor, die vor dem 01.10. abgeerntet werden. Diese Maßnahme wird vor dem Hintergrund der positiven Erfahrungen mit dem Zwischenfruchtanbau als sinnvoll angesehen. Die Ausnahme für Gebiete mit einem langjährigen Jahresniederschlag von unter 550 mm wäre für bewässerte (Gemüse-) Flächen eigentlich nicht notwendig. Wird die Vorkultur intensiv bewässert, so stand der Zwischenfrucht auch in trockenen Sommern in der Regel genügend Wasser zum Auflaufen zur Verfügung. Zudem trägt der Zwischenfruchtanbau langfristig zu einer Verbesserung der Wasserkapazität des Bodens bei.

Eine weitere Neuerung der DüV 2020 ist die verpflichtende Dokumentation jeder Düngemaßnahme innerhalb von 2 Tagen, auch in nicht nitratbelasteten Gebieten. Das ist grundsätzlich positiv zu bewerten, da so eine Kontrolle der fachgerechten Düngung ermöglicht wird und auch die Betriebe selbst eine bessere Übersicht über ihren Düngereinsatz – auch im Bezug zur Düngebedarfsermittlung – haben. Viele Modellbetriebe dokumentierten bereits zuvor freiwillig, wobei eine konsequente Eintragung in die Ackerschlagkartei gerade für eine Düngeberatung eine bessere Übersicht ermöglicht als unregelmäßige handschriftliche Dokumentation. Die Abbildung des richtigen Flächenbezugs bei Satzanbau und Mehrfachbelegung in einer sauberen Düngeokumentation ist jedoch eine programmtechnische Herausforderung, die in vielen Programmen gar nicht und in aktuell noch keinem Programm wirklich ideal, unkompliziert und anwenderfreundlich dargestellt wird. Verkompliziert wird es, wenn in diesem Rahmen noch organische Düngung zum Einsatz kommt, für die unter anderem noch die Obergrenze von maximal 170 kg Norg/ha pro Jahr bzw. 510 kg Norg aus Kompost in drei Jahren angerechnet werden muss, wobei nochmal unterschiedliche Vorschriften für nitratbelastete und nicht-nitratbelastete Flächen vor dem Hintergrund einer sich jährlich ändernden Kulisse gelten.

Alle diese Vorschriften haben einen sinnvollen Hintergrund, jedoch neigen sie auch dazu, im Gemüsebau zu einem „Bürokratieungetüm“ zu werden, so dass nur noch Spezialberatern diese Vorschriften annähernd verstehen. Ein Beispiel hierfür ist die verpflichtende Aufsummierung von Düngebedarf und dokumentierter Düngung nach Anlage 5 der Düngeverordnung. Durch unterschiedliche Bezugszeiträume von überjährigen Kulturen lässt sich aus dieser Aufsummierung nicht immer ableiten, ob der Betrieb überdüngt hat oder nicht, die Erstellung dieser Aufsummierung stellt aber einen großen bürokratischen Aufwand dar.

Der in der DüV 2017 verankerte Nährstoffvergleich war ein sinnvolles Instrument, um Nährstoffüberschüsse von Gemüsebaubetrieben zu bewerten. Die zukünftige Stoffstrombilanz ist für die Beratung weniger sinnvoll, da die aktuell diskutierten neuen Grenzwerte trotz fachgerechter Düngung bei gemüselastigen Fruchtfolgen überschritten werden können. Das liegt hauptsächlich daran, dass die unvermeidlichen Überschüsse für Gemüsekulturen wegfallen. Bei Blumenkohl z. B. steht einem Stickstoffbedarfswert von 300 kg N / ha eine Feldabfuhr von 98 kg N / ha bei Vollertrag gegenüber. Der Grund dafür ist, dass von dem Gesamtaufwuchs nur etwa ein Drittel zum Verzehr geeignet ist. Die übrige Pflanze verbleibt als Ernterest auf dem Feld und wird dem Nährstoffkreislauf wieder zugeführt. Durch Berücksichtigung der Ernterückstände bei der DBE für die Folgekultur ist der reale N-Überschuss der Kultur kleiner als $(300-98 \text{ kg N / ha}) = 202 \text{ kg N / ha}$ liegt jedoch noch deutlich über den 50 kg N / ha, die dem maximal zulässigen, betriebsindividuellen Bilanzwert entsprechen. Nach späten Ernten kann teilweise keine Folgekultur mehr etabliert werden, um die Verluste zu reduzieren, was den Bilanzwert unweigerlich erhöht. Ein weiteres Problem ist die Datengrundlage der Stoffstrombilanz. Der Verkauf des Gemüses erfolgt oftmals nicht nach Gewicht, sondern nach Stück, Bund oder Kisten. Lieferscheine weisen dann nur die Verkaufseinheiten aus und nicht das Gewicht. Auch bei nach Gewicht verkaufter Ware werden zum Teil nur beste (für den Abnehmer verwertbare) Qualitäten ausgewiesen (Bsp. Möhre, Knollensellerie). B-Ware (Futtermöhren, Ausschlussware) werden meist nicht in den Lieferscheinen aufgeführt, haben aber dennoch den Betrieb verlassen. Packungen, die nach Gewicht verkauft werden, werden in der Regel mit einem höheren Gewicht als angegeben abgegeben, um Reklamationen zu vermeiden. Diese Extramengen werden auf Lieferscheinen nicht aufgeführt. Auch bei nach Gewicht verkauften Produkten z.B. Kisten 300 kg Knollensellerie ist das reale Füllgewicht höher als die 300 kg nach Lieferschein. Auch Lagerverluste (z. B. bei Kohl, Sellerie) sind nicht über Lieferscheine erfassbar. Daraus ergibt sich das Problem, dass die Dokumentation der abgegebenen und aufgenommenen Mengen zum Teil nicht der realen Feldabfuhr bei Ernte entsprechen auf deren Basis die Düngung nach DüV bemessen ist. Um die Aussagekraft und Durchführbarkeit der Stoffstrombilanzierung im Gemüsebau zu erhöhen und bürokratischen Aufwand zu reduzieren, wäre eine Verwendung von Standarderträgen von Gemüsekulturen in der Stoffstrombilanz politisch anzustreben.

Viele Maßnahmen, die im Projekt umgesetzt wurden, sind nicht verpflichtend vorgeschrieben, tragen aber dazu bei, das Risiko von Ertrags- und Qualitätseinbußen durch reduzierte Düngung zu senken. Mögliche ökonomische Konsequenzen durch die Düngeverordnung 2020 und die kommende Stoffstrombilanzverordnung sind noch nicht abschließend quantifizierbar. Es gibt aber Hinweise darauf, dass Betriebe unter Umständen wirtschaftlich betroffen sein können. Dies ist abhängig von den angebauten Kulturen, der Vermarktungsform, von der Betriebsstruktur und dem Einsatz von Warenwirtschaftssystemen im Betrieb. Ein Betrieb mit einem geringen Kulturartenspektrum, einer Vermarktung an Großabnehmer zur Weiterverarbeitung (Abgabe über Wägung) und einem durchgängigen Warenwirtschaftssystem wird kaum Probleme bei der Erfassung der Datendokumentation haben. Dies betrifft beispielsweise die industrielle Produktion zum Beispiel von Kopfkohl und Einlegegurken. Ein völlig anderes Bild ergibt sich bei kleinstrukturierten Betrieben mit unterschiedlichsten Vermarktungsformen (von der Direktvermarktung bis hin zum Großmarkt oder Lebensmitteleinzelhandel) und unterschiedlichsten Verpackungseinheiten. Für diese Betriebe ist die Umsetzung der Stoffstrombilanzverordnung schon von der Datenerfassung her ein Kraftakt, der nur sehr schwer zu bewältigen sein wird. Es ist zu befürchten, dass für einen Teil dieser Betriebe die

Existenz auf dem Spiel steht. Dies widerspricht der vielfach geäußerten Forderung, auch kleinbäuerliche Strukturen zu erhalten.

Für Gemüsebaubetriebe mit einem Kulturartenspektrum, welches einen geringen N Bedarf und eine hohe Aberntequote hat (Wurzelgemüse, Industriegemüse) wird es einfacher sein, den zu erwartenden Kontrollwert für Stickstoff und gegebenenfalls Phosphor einzuhalten. Betriebe mit einem Kulturartenspektrum, welches sich durch einen hohen N Bedarf, einen hohen Anteil an Ernterückständen und einer deutlich geringeren Aberntequote auszeichnen werden nicht in der Lage sein einen allgemeingültigen Kontrollwert von beispielsweise 50 kg N/ha einzuhalten. Soll die Existenz dieser Betriebe gewährleistet werden, sind spezielle Regelungen für die betreffenden Kulturarten (ähnlich der Regelungen des Nährstoffvergleichs für Gemüse) auch für die Stoffstrombilanzverordnung erforderlich.

7.4 Welche Verbesserungen konnten im Rahmen des MuD-Vorhabens auf den Praxisbetrieben erzielt werden?

Einige Strategien und Maßnahmen, die als Werkzeug der Düngeoptimierung im Gemüsebau identifiziert und umgesetzt wurden, haben sich in den Modellbetrieben etabliert. Beispiele seien hier genannt:

N_{min}-Beprobung

Auch wenn die personellen Kapazitäten für zusätzliche, d.h. von Seiten der DüV nicht vorgeschriebene N_{min}-Beprobungen knapp sind in den Betrieben, so hat es sich dennoch z.T. etabliert, bei Anzeichen von N-Mangelsymptomen oder nach Starkregenereignissen zunächst eine N_{min}-Beprobung durchzuführen, anstatt auf Verdacht zu düngen. Auch werden unabhängig vom MuD-Projekt und unabhängig der Anforderungen der DüV vermehrt N_{min}-Proben vor der 1. Kultur gezogen. So wurde beispielsweise aufgrund der hohen N_{min}-Gehalte im warmen Frühjahr 2018 auf Grunddüngungen verzichtet. Ein Betrieb nahm zudem N_{min}-Proben im Herbst, um seine Düngung zu kontrollieren.

In Rheinland-Pfalz nutzten die Betriebe zum Projektbeginn das Warenwirtschaftssystem RIWO. RIWO war bereits zum damaligen Zeitpunkt mit einem im Aufbau befindlichen Düngemodul ausgestattet, was sich im Laufe des Projekts als äußerst zielführend bezüglich der Flächenplanung und dem Management der obligatorischen N_{min}-Proben, der Grundnährstoff-Vollanalysen, der Düngebedarfsermittlung, den Rückstandsanalysen und der Bewässerungssteuerung erwiesen hat. Im Vorfeld der erneuten Novellierung der Düngeverordnung im April 2020 gestaltete sich somit die Umsetzung vermehrter Bodenanalysen, wie auch eine termingerechterer Kulturplanung um ein vielfaches einfacher mit einer an die neuen Aufgaben einigermaßen adaptierten Software. Der Übergang zu permanent kulturbegleitenden N_{min}-Analysen war fließend und wurde von den Betrieben als zentrales Instrument in der Kulturführung relativ schnell akzeptiert.

Düngebedarfsberechnung

Die Düngebedarfsermittlung hat sich als Werkzeug zur Bestimmung der kulturart- und schlag spezifischen Düngermenge etabliert. Dadurch ergaben sich bei einigen Kulturen Einsparpotentiale gegenüber der betriebsüblichen Düngung (z. B. fast durchgängig bei Stangenbohne, Petersilie, Dill und bei einigen anderen Kulturen in Zweitbelegung). In manchen Fällen liegt die vom Betrieb geplante Düngemenge aber weiterhin unterhalb des mit der DBE errechneten

Düngebedarfs (z. B. Salate im Frühhanbau mit niedrigen Nmin-Werten und Folienabdeckung), dann wird weiterhin die betriebsübliche Düngemenge gegeben. Diese Konstellation ist ab 2021 auf nitratbelasteten Flächen für die Betriebe sehr nützlich.

Kulturbegleitende Düngung (Splitting)

Die Höhe der Stickstoffdüngung wurde insgesamt deutlich reduziert, wobei die eingesparten N-Mengen kulturabhängig streuen. Die N-Düngung wurde zunehmend nach dem „Kultur begleitendem Stickstoff(N)-System (KNS)“ ausgerichtet, d.h. gezielt in zwei oder drei Einzelgaben gesplittet. Dies verhindert Luxuskonsum, vermeidet physiologische Probleme wie z.B. einen induzierten Ca-Mangel, z.B. bei Stangen- und Knollensellerie, und erhöht in besonderem Maß das Stickstoff-Einsparpotential. Einzelne, insbesondere späte N-Gaben werden dabei häufiger in flüssiger Form appliziert. Dies geschieht wahlweise per Einspeisung über die Rohrberegnung (Bundzwiebel, Porree) oder über eine Fertigation per Tropfbewässerung (Kürbis, Spargel).

Die kulturbegleitende Düngung ist gekoppelt an eine kulturbegleitende Nmin-Beprobung. Auf dem Betrieb NRW C wurde dies schon durch die Wasserschutzkooperation betrieben und wird auch nach dem Projekt weiter Bestand haben. Der Betrieb konnte durch die begleitende Düngegabenberechnung mit N-Expert dafür sensibilisiert werden, insbesondere die N-Startdüngung weiter zu reduzieren, die N-Düngegaben noch mehr zu splitten, und auch den Nmin-Gehalt in 30-60 cm mehr in seine Düngeplanung mit einzubeziehen. Alle drei Modellbetriebe aus NRW setzen zunehmend auch darauf, neben der Kopfdüngung eine Anregung der Mineralisation durch Hacken oder Schuffeln der Kultur zu erreichen. Der Betrieb NRW A hatte zuvor noch nicht mit kulturbegleitender Nmin-Beprobung gearbeitet. In den Kulturen Blumenkohl, Knollensellerie, Wirsing und Rote Bete wurden Bodenproben zu zwei Kopfdüngungsterminen als feste Strategie etabliert, die auch mit Begleitung des Beraters der Wasserrahmenrichtlinie nach dem Projekt fortgesetzt werden soll. Durch diese Strategie konnte insbesondere im Sellerie die eingesetzte Düngemenge in warmen Jahren ohne Ertragseinbußen stark reduziert werden. Leider verliert Knollensellerie momentan aufgrund rückläufiger Nachfrage an Bedeutung und Anbauumfang und wird teilweise durch neue Kulturen wie Mangold ersetzt, für die ab 2021 erst noch passende Düngestrategien gefunden werden müssen. Der Betrieb NRW C hat ca. ein Drittel seiner Flächen im nitratbelasteten Gebiet, daher plant er dort ab 2021 nochmals eine deutliche Reduzierung der N-Düngemenge. Einzelne Versuche in den Vorjahren zeigten, dass bei günstigen Wetterbedingungen eine Einsparung von 20 % des N-Düngebedarfs ohne größere Ertragseinbußen funktionieren könnte. Ein Betrieb setzt dabei bei Sommer Blumenkohl auf eine N-effiziente Sorte und auf zwei Kopfdüngungstermine.

Ganzheitliche Pflanzenernährung

Im Laufe der Projektzeit wuchs die Wertschätzung einer ganzheitlichen Pflanzenernährung. Bereits im Zuge vermehrter Standardbodenanalysen wurde Wert auf eine zusätzliche Düngung von Kalium gelegt. Bezüglich der Versorgung mit den Mangelnährstoffen Schwefel und Bor ist festzustellen, dass ein Betrieb im Knoblauchsland bereits in 2020 die Borschwefeldüngung eigenständig auf seinen Flächen einführte. Weitere Modellbetriebe etablierten ebenso die Borschwefeldüngung auf bestimmten Flächen bzw. bei bestimmten Kulturen für die Saison 2021 und wollen weitere Versuche hierzu durchführen. Zu nennen ist auch eine vermehrte Blattdüngung von Bor und Schwefel.

Die Betriebe in Rheinlandpfalz nutzen in der Zwischenzeit eigenständig in kritischen Situationen Blatt- bzw. Ganzpflanzenprobenahmen, die an Speziallabore versandt werden, obwohl der damit verbundene zeitliche und finanzielle Aufwand im Vergleich zur N_{\min} -Analytik um ein Vielfaches höher ist. Bei kritischen Standort- und Ernährungssituationen wird mittlerweile, nach den positiven Projekterfahrungen, gern auf dieses Verfahren zurückgegriffen, auch wenn es noch nicht Standard ist.

Bewässerung

Ein Betrieb im Knoblauchsland stellte nach den Versuchen zur Wasserverteilgenauigkeit bei Überkopfberegnung aus dem Projektjahr 2018 seinen Aufstellverband von 18x24 m auf 12x18 m um, d.h. er verkleinerte den Abstand zwischen zwei Regnern auf 12 m und den zwischen zwei Rohrleitungen auf 18 m. Dieser Verband wies eine bessere Wasserverteilgenauigkeit auf als ein Verband mit weiteren Abständen.

Hinsichtlich der Bewässerungstechnik investierte der Betrieb NRW A in die Sektorsteuerung von Raindancer und der Betrieb NRW B in einen Düsenwagen. Beide Technologien tragen – wenn sie den örtlichen Gegebenheiten entsprechend eingestellt werden - zu einer präziseren Ausbringung bei. Der Betrieb NRW C möchte im Rhabarber Tropfbewässerung installieren.

Zwischenfruchtanbau

Ein Betrieb in NRW baute zu Beginn des Projektes keine Zwischenfrüchte an. Ab Herbst 2018 wurden erstmals Zwischenfrüchte zur Verbesserung der Bodenstruktur und zur Verminderung der Erosion angebaut. Der Umbruch erfolgte zunächst noch vor Winter, da Frostgare und Befahrbarkeit der Felder im Frühjahr Priorität für den Betrieb hatten. Bezüglich der N-Auswaschung ist dieses Vorgehen jedoch problematisch, wie die N_{\min} -Proben zeigten. In den folgenden Wintern wurden die Zwischenfrüchte auf zunehmend mehr Flächen bis Januar oder Februar stehen gelassen, sofern die Flächen erst ab April bepflanzt werden. Die N-Auswaschung über Winter konnte dadurch reduziert werden.

Ein weiterer Betrieb in NRW nutzte vor Projektbeginn bereits Grünroggen als Zwischenfrucht. Dieser wurde auf spät räumenden Flächen teilweise erst Ende November ausgesät und üblicherweise auf allen Flächen schon im Februar umgebrochen. Hinsichtlich der Vermeidung von Auswaschungsverlusten war der Zeitpunkt des Umbruchs nicht optimal. Der Betriebsleiter hatte Bedenken, hinsichtlich der technischen Realisierbarkeit eines guten Umbruchs und der Möglichkeit des Einarbeitens der Pflanzenmasse. 2018 wurde versuchsweise eine Fläche, bei der es der Kulturplan ermöglichte, erst Mitte April umgebrochen. Der Umbruch und das Einarbeiten war erfolgreich und die Struktur des Bodens kein Problem für die folgende Knollensellerie Pflanzung. Damit konnte der Betriebsleiter überzeugt werden. In den Folgejahren wurde die Strategie beibehalten, auf Flächen, die erst spät bepflanzt werden, auch die Zwischenfrucht erst spät umzubereiten. Die Stickstoffauswaschung durch Frühjahrsniederschläge wurde dadurch messbar reduziert. Der dritte Betrieb in NRW testete 2017 erstmals den Anbau von Sommerzwischenfrüchten auf einer Fläche. Wegen wenigen geeigneten Flächen konnte der Anbau von Sommerzwischenfrüchten nicht fortgesetzt werden. Ab 2021 sollen wieder Sommerzwischenfrüchte angebaut werden, da nun auf allen Flächen von Sähporree auf Pflanzporree umgestellt wurde und durch den späten Pflanzzeitpunkt diese Flächen länger brachliegen würden.

Düngetechnik und Düngemittelwahl

Auf allen Betrieben kamen an Stelle von NPK-Düngern im Laufe des Projekts vermehrt NK-Dünger oder Einzelnährstoffdünger zum Einsatz, sodass eine bedarfsgerechtere, individuellere Versorgung mit Stickstoff und Phosphor erfolgen konnte. Ein Betrieb in NRW reduzierte seinen Gülleeinsatz und setzt in der organischen Düngung vor allem auf Festmist, was zu einer langsameren Freisetzung des Stickstoffs und einer Verbesserung der allgemeinen Bodenfruchtbarkeit führt. Die anfangs güllebetonte Düngung erschwerte die Einschätzung der Mineralisierung und führte im Nährstoffvergleich regelmäßig zu einem überhöhten P-Saldo.

Ein anderer Betrieb in NRW stellte ab 2017 bei der Düngung von Beetkulturen (Salate und Kräuter) vom Schleuderstreuer auf einen Kastendüngerstreuer um. Dadurch wird ca. 15 % der Fläche im Vergleich zu breitwürfigem Streuen ausgespart, somit steigert sich die Effizienz eingesetzter Stickstoffdünger um 15 %. Dies reflektierte sich auch in niedrigeren Herbst-Nmin-Werten im Vergleich zu 2016. Ein weiterer Betrieb hat im Herbst 2020 einen Reihendüngerstreuer angeschafft, der eine Reihendüngung mit direkter Einarbeitung auch im stehenden Porreebestand ermöglicht.

Fruchtfolge

Zwei Betriebe erweiterten ihre reine Gemüsefruchtfolge durch den Anbau von Ackerbaukulturen wie Mais und Wintergerste, sodass auf diesen Flächen auch Stickstoff aus bis zu 90 cm Bodentiefe wieder aufgenommen werden kann.

Herbst-Nmin

Ziel war es, durch Messung der Herbst Nmin Werte festzustellen, ob das Auswaschungspotenzial durch die Maßnahmen zur Stickstoffminderung reduziert wurde.

LWK NRW

Es ist schwer zu sagen, inwiefern sich durch optimierte Düngung die Rest-Nmin-Werte geändert haben. Im Herbst 2016 standen noch keine Bodenproben zur Verfügung, im Herbst 2017 erfolgte durch die mehrmaligen Mitarbeiterwechsel die Herbst-Nmin-Beprobung erst relativ spät im November/Dezember. Aufgrund hoher Herbstniederschläge und dem teils langen zeitlichen Abstand zur Ernte der Kultur ist hier schon mit zahlreichen Mineralisierungs- und Auswaschungsvorgängen zu rechnen, die keinen Aufschluss über den Einfluss der Kulturführung geben. 2018 führten extrem hohe Temperaturen und geringe Niederschläge von April bis Oktober fast überall mineralisierungsbedingt zu hohen Nmin-Werten, die nicht mit anderen Jahren vergleichbar sind. In 2019 und 2020 waren die Wetterbedingungen etwas weniger extrem. Auf vielen Schlägen wurden zu Kulturende Nmin-Werte in Höhe des Mindestvorrats der entsprechenden Durchwurzelungstiefe gemessen, wobei es auch hier weiterhin Einzelfälle gab, in denen der Rest-Nmin-Wert trotz moderater Düngung auch in den oberen Schichten hoch war. Weiterhin ein Problem waren hohe Nmin-Werte in 30-60 cm bei flachwurzelnenden Kulturen. In diesen Fällen kann der nun auf allen Betrieben etablierte Zwischenfruchtanbau einen wertvollen Beitrag zur Vermeidung von Auswaschung leisten.

AELF

Auch im Knoblauchsland konnten insbesondere 2020 bei entsprechend reduzierter Düngung Nmin-Werte nach der Ernte festgestellt werden, die im Bereich des Mindestvorrates lagen. In den ersten Jahren der Projektdurchführung wurden im Mittel der betrieblich üblichen Düngung noch deutlich höhere Werte gemessen.

DLR Rheinpfalz

Ähnliche Ergebnisse konnten auch in Rheinpfalz festgestellt werden. Die N_{\min} -Werte bei den Abschlussmengen ließen sich in der Regel aus der Art der Nutzung und Bewirtschaftung erklären. Einerseits gab es eine Reihe Standorte mit Abschlusswerten, die in einem akzeptablen Bereich lagen, auch durch den Anbau von Zwischenfrüchten. Bei zwei negativ auffälligen Standorten sind zum einen eine schlechte Aberntequote und zum anderen der Anbau einer Leguminosen-Sommerzwischenfrucht mit besonders hohen N-Gehalten für die hohen Werte verantwortlich. Auffällig war bei einem Schlag, der wiederholt mit flachwurzelnden Gemüsearten bestellt wurde, dass in der zweiten Bodenschicht von 30-60 cm eine Stickstoffanreicherung erfolgte.

Sonstiges

Grundsätzlich hat sich bei allen Betrieben die Einstellung positiv hin zu mehr Flexibilität bei der Düngeplanung geändert. Während zu Beginn des Projektes noch Zweifel herrschten, ob man wirklich nach Düngebedarfsermittlung düngen kann, sehen im Frühjahr 2021 alle Betriebe trotz weiter verschärfter Vorschriften tendenziell optimistisch in die Zukunft, auch wenn das Gelingen einer 20 % reduzierten N-Düngung stark vom Wetter abhängen wird.

Vom Thünen Institut wurde aufgrund der durchgeführten Interviews festgestellt, dass fast alle teilnehmenden Betriebe ihre Düngung kontinuierlich verbessert haben. Während der Projektlaufzeit wurden beispielsweise

- teilweise neue, noch exaktere Maschinen zur Düngerausbringung angeschafft oder die Anschaffung geplant,
- es wurde in optimierte Schlagkarteisysteme investiert um die Datenübertragung zu Probenahmediensten zu optimieren,
- das Thema Bewässerung, welches eng mit der Düngung zusammenhängt, angegangen,
- Personal angelernt oder neu beschäftigt, um kontinuierlich N_{\min} -Proben zu nehmen bzw. Dienstleister beauftragt,
- es erfolgte eine Umstellung von Volldüngern (N-P-K) auf Düngemittel ohne Phosphat,
- Arbeitsgänge umgestellt, teilweise mehr mechanische Bodenbearbeitung durchgeführt, um Nitrat zu mobilisieren,
- Winterzwischenfrüchte gegebenenfalls länger stehen gelassen als üblich,
- freiwillige Bodenuntersuchungen durchgeführt, die auch Mikronährstoffe und die Kationenaustauschkapazität berücksichtigen.

Diese Liste ist erweiterbar, aber nicht alle Aspekte wurden so von allen Betrieben umgesetzt. Zudem kann keine Aussage darüber gemacht werden, welche Veränderungen dauerhaft sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass die hohe Anzahl der durchgeführten Bodenproben von den Betrieben nicht beibehalten wird, wenn die N_{\min} -Proben selbst bezahlt und vor allem selbst organisiert werden müssen.

7.5 Wurden ggf. Grenzen der Einsetzbarkeit der angewandten Methoden identifiziert?

Der Abschied von standardisierten N-Versorgungsstrategien in flächenstarken Großbetrieben auf hunderten, gleichzeitig zu betreuenden Einzelflächen bedarf einer direkten und akribi-

schen Dokumentation, guter Organisation und Kontrolle. Mittlere und kleinere Betriebsgrößen stoßen hier schnell an personelle und individuelle Leistungsgrenzen in der Hauptsaison. Dringend nötiges Fachpersonal ist seit Jahren zunehmend schwerer zu bekommen und insbesondere in diesen Betriebsstrukturen durch das stringente Preisdiktat des Lebensmitteleinzelhandels kaum zu bezahlen.

An ihre Grenzen stoßen die Betriebe dann, wenn z.B. extremer Starkregen mit längeren Regenphasen und Bodennässe auf noch junge Entwicklungsstadien mit geringen Wurzeltiefen treffen. Besonders schwierig ist eine „Rettung der Marktqualität und Feldabfuhr“ kurz vor dem Erntetermin. Der Grund ist die Begrenzung der N-Nachdüngung nach DüV auf maximal 10% des vorher berechneten N-Bedarfswertes. Hier empfiehlt es sich bei risikoreichen Kulturen (Porree, Feldsalat) einen Teil (ca. 10%) des N-Düngebedarfs so lang wie möglich zurückzuhalten.

Da der Freilandgemüsebau eine sehr heterogene Branche mit vielen Kulturen, Vermarktungsstrukturen und Betriebstypen ist, kann jede Maßnahme (Methode) im Einzelfall sehr gut oder gar nicht funktionieren. Es gibt keine „one fits all“-Methode.

Das Programm N-Expert wird in den Praxisbetrieben kaum eingesetzt. Zum einen wird es von Vielen als sehr komplex wahrgenommen. Zum anderen werden die speziellen Kalkulationsprogramme der einzelnen Bundesländer verwendet, um sicherzustellen, dass die jeweiligen DüV-Anforderungen eingehalten werden. Für die Beratung hat N-Expert eine wichtige Funktion.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass in der Saison, wenn viele Arbeitsgänge parallel stattfinden, Maßnahmen zur Optimierung der Düngung generell in den Hintergrund geraten können. Maßnahmen mit einem hohen Investitionsvolumen können aufgrund von Skaleneffekten von kleinen Betrieben schlechter umgesetzt werden als von großen Betrieben.

7.6 Bewertung der Umsetzbarkeit in anderen Regionen

Die Maßnahmen sind nicht regionsspezifisch, sondern eher von Betriebsgröße und -struktur sowie den Klima- und Bodenverhältnissen abhängig. Es kann jedoch in Bezug zur Einhaltung der DüV regionale Unterschiede geben, da die Bundesländer die DüV unterschiedlich in Landesrecht überführen.

Die etablierten Methoden, wie bspw. Dünge­splitting, Flüssigdüngung, Blattdüngung, eine dem Entwicklungsstadium und der Wurzeltiefe gerechte Zusatzbewässerung oder individuell auf die Kulturen abgestimmte Dünger sind weitestgehend nicht nur in allen am Projekt beteiligten Regionen umsetzbar, sondern bundesweit. Je nach Betriebsgröße und personeller Struktur fehlt in manchen Betrieben lediglich die Zeit für eine Neuorientierung. Auch die regionale Infrastruktur wie Zusatzbewässerung oder umfassende Beratung können limitierende Faktoren sein. Das Fachwissen ist vorhanden und muss über entsprechende Formen des Wissenstransfers in die Betriebe gebracht und dann im Bedarfsfall dort umgesetzt werden in.

Bei den abschließenden Betriebsleitertreffen im April 2021 zeigten sich deutliche Unterschiede in der Umsetzbarkeit der kulturbegleitenden Nmin-Beprobung zwischen den Betrieben. Die Betriebsleiter aus NRW wollten die Methode über das Projekt hinaus auf jeden Fall weiterpraktizieren, da sie von der Wasserschutzberatung bei der Berechnung und Organisa-

tion unterstützt werden und die Probenahme an externe Anbieter vergeben können. Teilweise werden sogar die Kosten der Probenahme von Wasserrahmenrichtlinie oder Wasserkoooperation übernommen. Die Betriebsleiter aus der Pfalz sahen die Methode ebenfalls als machbar an, da in den großen Betrieben genügend Personal für die Probenahme zur Verfügung steht und zudem ein Analyselabor (BOLAP GmbH) und ggf. auch Probenehmer in der Nähe ansässig ist. Die Betriebsleiter aus dem Knoblauchsland standen der Umsetzbarkeit über das Projekt hinaus eher kritisch gegenüber. Externe Probenahmedienstleister sind in der Region nicht verfügbar und Arbeitskraft ist in den kleinen Betrieben knapp.

Die Bewässerungsoptimierung müsste technisch gesehen in der Pfalz und im Knoblauchsland einfacher möglich sein als in NRW, da mit den dortigen fest verlegten Rohrberegnungssystemen bedarfsorientierter und flexibler bewässert werden kann als mit den transportablen Einzugsregnern der NRW-Betriebe.

Die Umsetzung des Zwischenfruchtanbaus ist in NRW am ehesten gegeben. Vielerorts ist Zwischenfruchtanbau durch Wasserschutzkooperationen schon länger etabliert. Zudem ist der Zwischenfruchtanbau in nitratbelasteten Gebieten ab 2021 vorgeschrieben, wenn die Kultur bis zum 01.10. geerntet wird. Aufgrund der extrem frühen Pflanzungen und insbesondere Aussaaten im Januar/Februar in Rheinpfalz stellt der Zwischenfruchtanbau mit Umbruch Anfang des Jahres teilweise ein Problem dar. Diese frühen Aussaaten und Pflanzungen sind aufgrund der klimatischen Gegebenheiten bundesweit eher selten, sodass der Anbau von Winter Zwischenfrüchten in vielen Regionen problemlos umgesetzt werden kann.

In der Umsetzung der Düngedokumentation haben Betriebe, die wie die Pfälzer Projektbetriebe mit umfangreicher Ackerschlagsoftware arbeiten gute Bedingungen. Für kleinere Betriebe lohnen sich derart komplexe Programme nicht immer. Von Vorteil ist, wenn Ackerschlagprogramme konkrete Anweisungen zur flächenspezifischen Düngung für alle Angestellten deutlich und am besten zum Mitnehmen auf dem Schlepper ausgeben, dies reduziert Überdüngung aufgrund von Kommunikationsproblemen zwischen Betriebsleiter und Mitarbeiter.

7.7 Stellen Sie über das Vorhaben hinaus gewonnene Erkenntnisse eingehend dar.

Für die Betriebe ist deutlich geworden, dass es diesmal gelingen muss, die Nitratproblematik im Gemüsebau substanziell und dauerhaft zu verbessern.

Neben Konzepten zur Optimierung der Düngung wurden Kenntnisse über das möglichst präzise Anlegen von Düngefeldversuchen unter den einschränkenden Bedingungen real produzierender Praxisbetriebe gewonnen, die nun in der Endphase des Projekts an Beratung und Betriebe weitergegeben werden, damit auch zukünftig weitere Erkenntnisse zur Optimierung der Düngung im Freilandgemüsebau gewonnen werden können.

Hinsichtlich der Bewässerung stellte sich ein größerer technischer Optimierungsbedarf heraus als gedacht (z. B. Gründung von Bewässerungsverbänden), der über die Möglichkeiten des Projektes hinausgeht. Durch das Testen der ALB-Bewässerungsapp in den Modellbetrieben konnte dem App-Anbieter Rückmeldung zur Umsetzbarkeit der App in Gemüsekulturen gegeben werden. Einige unkomplizierte Verbesserungen wurden an der App daraufhin zeitnah vorgenommen, beispielsweise die Erweiterung des auswählbaren Pflanzzeitraums bei Blumenkohl oder die Verlängerung des möglichen Bewässerungszeitraums aller Kulturen bis Ende September.

7.8 Sonstiges

Sowohl eine Nmin-Messung, als auch die Düngebedarfswerte sind konkrete Werte. Die Nmin-Messung ist eine Momentaufnahme auf dem Feld, die mit einer bestimmten unbekanntem Streuung behaftet ist, die im Idealfall bei sorgfältiger Probenahme nicht über 10 % liegen sollte. Die Düngebedarfswerte beruhen unter anderem auf durchschnittlichen Aufwüchsen und dem Stickstoffgehalt des Aufwuchses. Hierbei handelt es sich um Mittelwerte, die ebenfalls mit einer Streuung behaftet sind. Dies könnte die Ursache für betriebsinternes Sicherheitsdenken hinsichtlich der Stickstoffdüngung sein.

Insbesondere bei sehr hohen Nmin-Werten und Abweichungen zu einer wiederholten Messung wird das Vertrauen der Betriebsleiter in die Nmin-Messung beeinträchtigt. Das Vertrauen in die Nmin-Messung ist aber besonders wichtig bei Kulturen, bei denen ein Düngegabensplitting nicht oder nur z.T. möglich ist: Blumenkohl und Brokkoli, die ab einer bestimmten Bestandeshöhe nicht mehr gedüngt werden können; Zucchini, die auf Mulchfolie gepflanzt und die gesamte Düngermenge zu Beginn unter der Folie abgelegt wird; Rettich, der nach Aussaat und Düngung ein Kulturschutznetz erhält und damit keine weitere Düngung ohne weiteres möglich ist usw.

Allgemein ist die Skepsis verwendeter Methoden im Projekt vor allem dann noch vorhanden, wenn der Düngebedarf sehr weit von der Menge abweicht, die früher standardmäßig der Kultur gegeben wurde.

8. Abschließende Evaluierung des Vorhabens (gesamter Berichtszeitraum)

8.1 Bezüglich des Projektverlaufes (intern)

Die Ziele, die sich das MuD Projekt gesetzt hat, konnten in vollem Umfang erfüllt werden. Dies ist besonders bemerkenswert, da sich die gesetzlichen Grundlagen während der Projektlaufzeit zweimal geändert haben und es im Laufe des Projektes zu zahlreichen Wechseln der Mitarbeitenden kam.

Die jährlichen, sehr gut organisierten Projekttreffen haben zu einem erfolgreichen Projektverlauf entscheidend beigetragen, denn auf diesen konnten Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden. Zudem konnten persönliche Kontakte geknüpft und damit der Grundstein für erfolgreiche Kooperationen, wie beispielsweise in der Organisation von Veranstaltungen oder gemeinsamen Veröffentlichungen (VDLUFA Kongressband, *Gemüse*, *Acta Horticulturae*), gelegt werden.

Erklärtes Ziel des Projektes war, die Optimierung der Düngung im betrieblichen Ablauf unter Vorbereitung bzw. später Einführung der Düngeverordnung mit dem Schwerpunkt Stickstoffminderungsstrategien für den Betrieb zu entwickeln. Um ein umfangreiches Betriebs- und Kulturartenspektrum abzudecken wurden Regionen mit sehr unterschiedlichen Betriebs- und Vermarktungsstrukturen sowie unterschiedlichen Kulturen ausgewählt, wodurch ein einheitliches Vorgehen über die Regionen hinweg oft nicht möglich war. Aus Sicht der ökonomischen Begleitforschung entstand dadurch die schwierige Situation belastbare Daten zu erhalten, die Vergleiche der Betriebsstrukturen oder Kulturen ermöglichen. Die ökonomische Datengrund-

lage ist damit zum Teil lückenhaft geblieben. Dieser Punkt ist umfangreich im Abschlussbericht vom Thünen Institut dargestellt. Eine stärkere Einbindung der ökonomischen Begleitforschung in die Projektkoordination wäre vorteilhaft gewesen.

Die Zusammenarbeit mit den Modellbetrieben verlief meist reibungslos. Die Betriebsleiter zeigten sich interessiert und kooperativ, probierten gerne neue Methoden und Strategien aus und setzten gewonnene Erkenntnisse im Betrieb um. Auch die Bereitstellung von Daten war kein Problem. Generell kam es ab und an zu Problemen in der Kommunikation, sowohl zwischen dem Projektbearbeiter und dem Betrieb als auch innerhalb des Betriebes. Vor allem bei den Düngeversuchen war eine enge Absprache nötig, die in den Betriebsablauf integriert werden musste.

Einige Betriebe wünschten sich, mehr an den Ergebnisdiskussionen beteiligt zu werden und sich auch untereinander auszutauschen. Die Exkursionen, die in 2018 stattfanden, haben sehr positiv zum Wissenstransfer unter den teilnehmenden Betrieben beigetragen. Es konnten überregionale Kontakte geknüpft und über das Projekt hinausgehende Erfahrungen ausgetauscht werden.

Im April 2021 wurde kurzfristig ein Online-Betriebsleitertreffen zu Projektende von den Projektmitarbeiter*innen der Regionen organisiert.

Insgesamt wirkte sich die länderübergreifende Zusammenarbeit sehr positiv auf den Gesamterkenntnisgewinn aus.

Ungünstig auf den Projektverlauf wirkte sich die lange Unsicherheit über die Genehmigung der Verlängerung im Jahr 2019 aus.

8.2 Bezüglich des vertikalen Wissenstransfers

Hinsichtlich des vertikalen Wissenstransfers werden im Folgenden die drei Richtungen Wissenschaft (Forschungseinrichtungen und Universitäten), Verbraucher und drittens politische und gesellschaftliche Gremien (Behörden und Ministerien) betrachtet.

Forschungseinrichtungen und Universitäten

Die Ergebnisse hinsichtlich der Umsetzbarkeit der kulturbegleitenden Nmin-Beprobung inklusive ökonomischer Bewertung wurden auf dem Symposium of Horticulture in Europe (SHE) 2021 einem breiten wissenschaftlichen Publikum präsentiert. Das dazugehörige Paper wurde im April 2020 für die Veröffentlichung in der Acta Horticulturae akzeptiert.

Seit Projektbeginn wurden jährlich Beiträge zur Jahrestagung der deutschen gartenbauwissenschaftlichen Gesellschaft vorgestellt. Diese betrafen mögliche Strategien zur Stickstoffminderung, deren ökonomische Bewertung und die Optimierung der Nmin Bodenproben hinsichtlich der Einstichanzahl.

Weiterhin gab es Beiträge zur VDLUFA Tagung, sowie Vorträge im wissenschaftlichen Rahmen bei einer Veranstaltung des Kompetenzzentrums Gartenbau (KOGA) an der Uni Bonn statt.

Die Freisetzung von Stickstoff aus organischen Düngern wurde in einer referierten Publikation beschrieben.

Verbraucher

Zu Beginn wurde das Projekt im Rahmen der Brüggener Höfetour in Zusammenarbeit mit der örtlichen Wasserschutzkooperation und dem Probenahmendienst der breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Schwerpunktthemen hierbei waren das allgemeine Vorgehen bei der Düngebedarfsermittlung (Was ist bedarfsgerechte Düngung?), die Visualisierung einer Porree-Durchwurzelung anhand einer Wurzelbox und die Darstellung von Nährstoffflüssen in drei Projektpostern. Zudem wurden Frühjahrswischnfrüchte nach früh geerntetem Porree präsentiert und Proben der ausgesäten Wischnfrüchte an interessierte GartenbesitzerInnen verteilt. Als Ergebnis kann eine positive Darstellung des Projektes und des Gemüsebaus in der Öffentlichkeit festgehalten werden.

Auf der Homepage des Projektes (<https://moden.igzev.de/de/>) wird das Projekt sowie aktuelle Ergebnisse vorgestellt.

Auf der Internationalen Grünen Woche in Berlin gab es 2018 einen Stand mit Postern, unterschiedlich mit Stickstoff versorgten Pflanzen und Computerdemonstration von N-Expert.

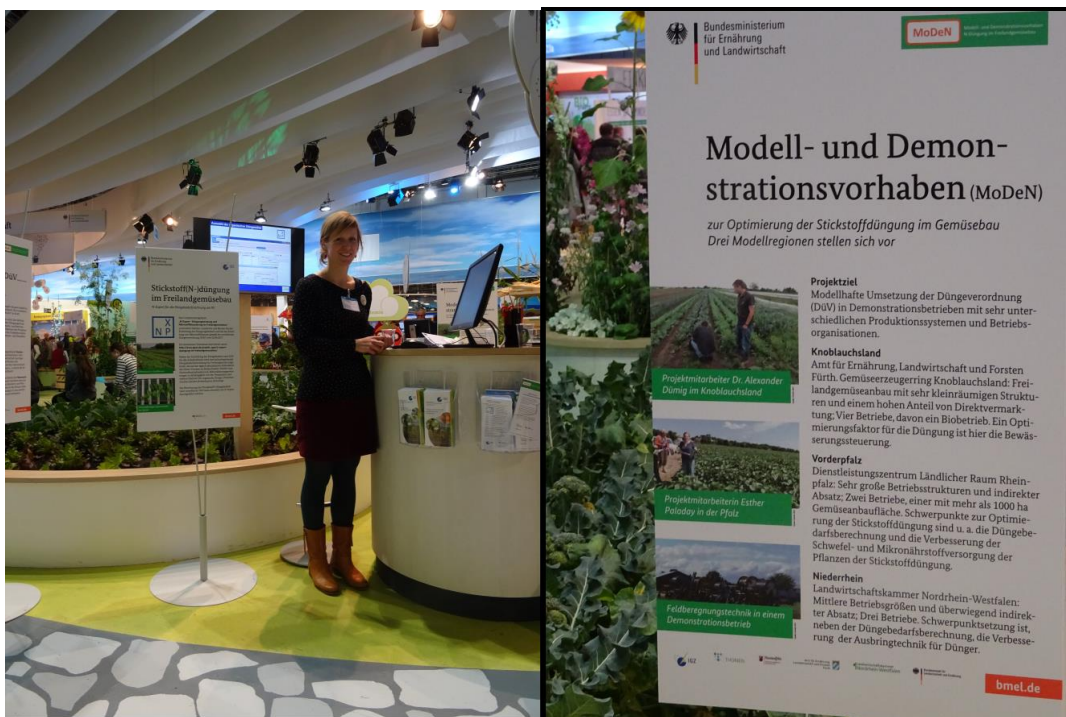


Abb. 22: Vorstellung des Modell- und Demonstrationsvorhabens auf der Internationalen Grünen Woche 2018

Unter dem Titel „Im Fokus Fundierter Wissenstransfer“ gab es 2020 eine Veröffentlichung in der Zeitschrift LandInForm.

Behörden und Ministerien

Der Stand des Modell- und Demonstrationsvorhaben und des Entscheidungshilfesystem „N-Expert“ zur Gemüsedüngung wurde 2017 auf der Länderreferentenbesprechung Gartenbau (Erzeugung) am 12.06.2017 vorgestellt.

MuD ‚Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau‘
Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

Im Rahmen mehrerer Vorträge bei der Regionalen Arbeitsgemeinschaften (RAG) Köln Aachener Bucht, Niederrhein und Ostwestfalen-Lippe wurden die jeweils aktuellen Projektergebnisse MuD, Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau' einem breiten im Wasserschutz engagierten Teilnehmerkreis (unter anderem Wasserversorger) präsentiert.

In **NRW** unterstützte die regelmäßige Teilnahme an Dienstbesprechungen mit der LWK zur Umsetzung der Düngeverordnung in Landbau und Gartenbau den Transfer der Ergebnisse aus dem Projekt. Auch bei der Entwicklung des neuen Düngeportals NRW sind Projekterfahrungen, insbesondere bezüglich der Besonderheiten des satzweisen Anbaus, miteingeflossen.

Im **Knoblauchsland** wurde beispielsweise das Konzept des Projekts sowie erste Ergebnisse im Grundwasserbericht 2017 des Umweltamts Nürnberg vorgestellt und die Bedeutung einer umweltbewussten Düngestrategie für den Grundwasserschutz erläutert (Stadt Nürnberg / Referat für Umwelt und Gesundheit, 2018). Ebenso stand das Wasserwirtschaftsamt im Austausch mit dem Projektbearbeiter und der Projektleitung, sodass wichtige Ergebnisse und Erkenntnisse stets übermittelt wurden.

Auch beim **DLR Rheinlandpfalz** gab es einen intensiven Austausch mit den Landesbehörden und dem Ministerium.

8.3 Bezüglich des horizontalen Wissenstransfers des MuD-Vorhabens in die landwirtschaftliche Praxis

Innerhalb der Regionen

In allen drei Regionen fanden jährlich Gemüsebautage (Feldtage) statt, auf denen über die Projektergebnisse berichtet wurde. Auch fanden Feldbegehungen zu den Ergebnissen in den Regionen statt. Weiterhin waren die Projektmitarbeiter*innen in den Regionen auf unterschiedliche Art und Weise am Wissenstransfer beteiligt:

LWK NRW

Der Wissenstransfer aus dem MuD-Projekt in die landwirtschaftliche Praxis erfolgte in NRW schwerpunktmäßig über die Anbau- und WasserschutzberaterInnen der **LWK NRW**, die auf vielen Gemüsebaubetrieben tätig sind und regelmäßig in Dienstbesprechungen, Schulungen sowie im persönlichen Austausch über die Ergebnisse im Projekt informiert wurden.

AELF Knoblauchsland

Über die während der Projektlaufzeit gewonnener Ergebnisse und Erkenntnisse wurde bei verschiedensten Besprechungen, Tagungen, Fortbildungen und Lehreinrichtungen berichtet, insbesondere in der Meisterschule für Gemüsebau am AELF Fürth sowie der Berufsschule in Nürnberg, bei Arbeitsbesprechungen zur Düngeverordnung mit den Erzeugerringen und Gemüsebauberatern Bayern, zu Projekttage der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Veitshöchheim sowie Sitzungen des Versuchsbeirates im Freilandgemüsebau.

DLR Rheinlandpfalz

Der Wissenstransfer erfolgte zu den Dünge-seminaren, die beispielsweise im Jahr 2020 (online) von 180 Teilnehmer besucht wurden.

Regionsübergreifend (deutschlandweit)

Über die Fachgruppe Gemüse des ZVG werden jährlich mehrtägige Bundesberatertagungen für Fachberater*innen mit meist über 80 Teilnehmern aus dem gesamten Bundesgebiet organisiert. In den Jahren 2018 und 2020 (online) erfolgte nicht nur eine umfangreiche Berichterstattung zu dem Projekt, sondern auch eine umfassende Diskussion und Wertung der Möglichkeiten für die anderen Regionen, die nicht am Projekt beteiligt waren.

Neben den Vortragsveranstaltungen wurden auch in der Fachpresse (Gartenbauprofi, Gemüse, Taspo) Artikel über das Projekt veröffentlicht.

Die BZL-Broschüre zur N-Düngung im Freilandgemüsebau, in der die Erfahrungen aller Projektpartner zu einem kompakten Leitfaden für die Gemüseanbauer zusammengefasst werden steht für einen umfassenden horizontalen Wissenstransfer.

Für zukünftige Projekte wäre es von Vorteil, wenn neben den engmaschigen betreuten Projektbetrieben auch weitere Betriebe in Veranstaltungen mit eingebunden werden würden. Entweder als „Gäste“ in Abschlussworkshops etc. oder in Form von „Farmer-Field-Schools“, wo Betriebe sich gegenseitig ihre Ansätze vorstellen und voneinander lernen.

9. Fortführung des Vorhabens

9.1 Darstellung eines möglichen Forschungsbedarfs, der sich aufgrund der Umsetzung des MuD-Vorhabens ergeben hat.

Die in den Modellbetrieben gewonnenen Erkenntnisse sind nur bedingt geeignet um festzustellen, ob eine reduzierte N-Düngung mit bestimmten Maßnahmen ohne Ertrags- und Qualitätseinbußen möglich sind. Um eindeutige Aussagen zu bekommen, wie sich Düngevarianten in Ertrag und Qualität unterscheiden wären randomisiert angelegte Exaktversuche mit ausreichend vielen Wiederholungen möglich. In diesen Versuchen könnte der Einfluss von Positionseffekten im Feld durch statistische Auswertung besser herausgerechnet werden. Für Praxisbetriebe, die neben den Düngeversuchen weiter normal produzieren müssen, ist eine solche Versuchsanlage selbst mit Unterstützung eines Projektmitarbeiters in der Regel zeitlich nicht machbar. Hinzu kommt der Faktor Wetter, der maßgeblich über das Ergebnis einer Düngestrategie entscheidet. Diesbezüglich fehlen Ergebnisse zu kühlen/feuchten Jahren, da die Düngeversuche mit stark reduzierter Düngung in den warm-trockenen Jahren 2018-2020 stattfanden. Ideal wäre also die Anlage von Exaktversuchen an mehreren Versuchsstandorten mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften über mehrere Jahre mit den häufigsten Gemüsekulturen, um allen Gemüseanbauenden zuverlässige Anhaltspunkte zur wirksamen Strategien bei der Düngeeinsparung liefern zu können. Neben dem Anlegen verschiedener Düngegraden sollte ein Schwerpunkt der Exaktversuche auch die Untersuchung verschiedener Düngemittel sein. Beim Einsatz von stabilisierten Düngern ergaben sich in den Projektregionen sehr unterschiedliche Aussagen, zu welchen Jahreszeiten und Wetterbedingungen diese wirksam sind.

Ein weiteres Versuchsthema sind flüssige Blattdünger. Diese könnten auch in empfindlichen Kulturen wie Salaten möglicherweise für eine zweite Düngegabe genutzt werden und so das Auswaschungsrisiko durch eine einmalige hohe Düngegabe reduzieren. Neben der Wirksamkeit von Blattdüngern ist auch die Verätzungsgefahr ein wichtiges Kriterium. Betriebe sind oft nicht bereit, weiter mit Blattdünger hinsichtlich Ausbringungszeitraum, Aufwandmenge und

Verdünnung zu experimentieren, wenn beim ersten Versuch Schäden an der Kultur oder keinerlei Wirksamkeit beobachtet wurden.

Das DLR Rheinpfalz und die LWK NRW haben im Rahmen ihrer Feldtage bereits selbst Versuche zu Blattdüngung angelegt, diese konnten aufgrund der knappen Versuchsfläche jedoch nur mit wenigen Wiederholungen angelegt werden. Eine wichtige Erkenntnis aus dem Projekt war, dass eine unkomplizierte Durchführung von Nmin-Proben und ein schnelles aussagekräftiges Analyseergebnis eine wichtige Voraussetzung für die Optimierung der Düngung aller Gemüsekulturen ist. Dies ist jedoch nicht immer gegeben: In der Saison fehlt oft die Zeit für eine gründliche Nmin-Beprobung im Betrieb, externe Probenehmer sind teuer und mancherorts gar nicht verfügbar und das nächste Labor bzw. Probeabgabestelle weit entfernt. Dies sind nur einige von vielen Problemen, die in der Organisation von Nmin-Proben auftreten können. Viele Betriebe setzen Ihre Hoffnung daher auf Innovationen wie den Nmin-Sensorspaten, die eine schnelle, unkomplizierte Beprobung und ein unmittelbares Ergebnis ermöglichen könnten. Hier ist noch weitere Forschung notwendig, um abzuschließen, dass solche neuen Messmethoden ähnlich genaue Ergebnisse liefern wie die klassische Nmin-Bodenprobe. Gleichzeitig müssten sich die Kosten weiterhin im Rahmen einer klassischen Beprobung und Analyse belaufen.

Im Freilandgemüsebau ist die Begrünungspflicht im Winter schwer umzusetzen, wenn Gemüsekulturen sehr spät geerntet oder sehr früh gepflanzt bzw. gesät werden. Häufig genannte Hürden der **Winterbegrünung** sind die Befahrbarkeit des Bodens im Frühjahr, das Fehlen der Frostgare, die Höhe der Stickstofffestlegung- bzw. Anreicherung und das C/N Verhältnis der Winterbegrünung. Da davon auszugehen ist, dass eine Winterbegrünung zukünftig stärker verpflichtend sein wird, ist es wichtig, diese Umsetzungshemmnisse näher zu beleuchten und Forschungsergebnisse nicht nur in die Praxis zu transferieren, sondern auch für die Berücksichtigung von Verordnungen aufzubereiten.

Die Standards des LEH können bei reduzierter Düngung oft nicht mehr eingehalten werden. Da die LEH-Standards oftmals über die EU-Vermarktungsnormen hinausgehen, sollten weitere Projekte gefördert werden, die die gesamte **Wertschöpfungskette** vom Gemüsebaubetrieb über den LEH bis zur Vermarktung betrachten, ausgehend von einer reduzierten Düngung. Ein solches Projekt wird zur Zeit für vier Kulturen (Blumenkohl, Kohlrabi, Eissalat und Brokkoli) in Niedersachsen durchgeführt (<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/gartenbau/nav/2464.html>). Es wäre auch für andere Regionen und andere Kulturen (beispielsweise Radies, Bundmöhre, Sellerie, Romanasalat, Bundzwiebeln) interessant. Der Umbruch von nicht vermarktbar Aufwuchs führt zu einem stark erhöhten Auswaschungspotential. Eine Quantifizierung dieser Stickstoffmengen in einer Region sollte durchgeführt werden, um Verbraucher und LEH für dieses Problem zu sensibilisieren.

Unter Berücksichtigung der **klimatischen Veränderungen** ist in Zukunft ein wichtiger Fokus auf Projekte im Themenbereich der Bewässerung und speziell auf dem Zusammenhang zwischen **Bewässerung und Düngung** zu legen. Die Stickstoffbedarfswerte sind für ein gutes Wachstum unter gleichmäßig und angepasster Bewässerung konzipiert.

Ausgehend von den Interviews im Herbst 2020 wurde von den Betrieben Forschungsbedarf für zwei weitere Themen identifiziert:

- **Maschinen für eine genauere Platzierung der Düngung:** die großen Maschinenbauunternehmen haben wenig ökonomischen Anreiz, spezielle Maschinen für die „kleine Branche“ Freilandgemüsebau zu entwickeln. Hier wurde von den Betrieben Forschungsförderung empfohlen.
- In dem Bereich **Bodengesundheit, Bodenleben, Bodenmikrobiom** sehen die Betriebe einen weiteren wichtigen Pfeiler hinsichtlich der effizienten Pflanzenernährung, der besser erforscht werden sollte.

10. Weitere Anmerkungen

Die N-Nettomineralisierung im Boden ist nach N-Expert stark abhängig von der durchschnittlichen Monatsbodentemperatur, welche mittels standortnaher Wetterstationen in Form langjähriger Werte direkt gemessen bzw. simuliert werden kann. Für viele Praktiker, die N-Expert aus verschiedenen Gründen direkt nicht einsetzen können, ist diese „kostenlose“ N-Quelle eine große Unbekannte. Mit dem Klimawandel ist zudem, abgesehen von wenigen Ausnahmen wie z.B. April/Mai 2021, mit weiter steigenden Durchschnittswerten der Bodentemperaturen im Frühjahr und Herbst zu rechnen. Eine tägliche Transparenz der tatsächlich gemessenen oder modellierten Tagesbodentemperatur (Download in Agrarsoftware abrufbar) könnte die Praktiker unterstützen, das N-Einsparungspotentials genauer für die Düngedarfsermittlung zu quantifizieren.

Eine Verbreiterung der Datenbasis bei wenig bearbeiteten Kulturen (Mangold, Kürbis, Pak Choi u.a.) könnte die Verlässlichkeit der Standardwerte verbessern. Für überwinternde Kulturen fehlen noch verlässliche Daten für den Nährstoffbedarf und Strategien für eine bedarfsorientierte Nachdüngung in Abhängigkeit von den Winter- und Frostschäden

11. Quellen

In den Abschlussberichten der Projektpartner sind weitere Quellen aufgeführt.

- De Rooster, L. & Bes, O. (2012): „Betere bladkleur met vloeibare meststoffen“. Proeftuin nieuws, 15/2012, Seite 28. Übersetzt von Sebastian Weinheimer, DLR Rheinpfalz, 28.09.2012. In: Gartenbau-Informationen-System hortigate, Bonn
- D’Haene et al. (2018): Can optimum yield and quality of vegetables be reconciled with low residual soil mineral nitrogen at harvest? *Scientia Horticulturae* 233 (2018) 78–89
- Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011): Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren (verkürzt benannt als „IGZ-Düngebroschüre“).
https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf.
- Fischer-Klüver, G. (2019): Forschung zur Unterflurfertigation an der Leibniz Universität Hannover – Nitratproblem mit geschlossenen Nährstoffkreislauf lösen. *Gemüse* 11/2019, 18-19
- Fischer-Klüver, G (2020): Agravis Möhrenfeldtag in Twistringern – Die dritte Düngergabe bringt die Qualität. *Gemüse* 12/2020, 22
- Graaff, E., Lindemann-Zutz, K., Lessmann, C. (2021): Stickstoffreduktion bei Salaten - Blattdüngung im Salat – was ist möglich?. *Gemüse* 4/2021, 21-23
- Komarek, Adam M.; Pinto, Alessandro de; Smith, Vincent H. (2020): A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. In: *Agricultural Systems* 178, S. 102738. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>.
- Länderrat der Norddeutschen Kooperation im Gartenbau (Hrsg.), 2018: Jahresbericht 2017/18 Norddeutsche Kooperation im Gartenbau, S.23-24, Gülzow, Mai 2018
- Lindemann-Zutz, K.; Block, R.; Banna-Köthemann, C.; Meyer, S.F.; Graaff, E.; Lessmann, Ch.; Kohl, M. (2021): **Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz im Freilandgemüsebau** – Leitfaden für Beratung und Praxis. Zusammengestellt durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 63 – Gartenbau (verkürzt benannt als „Düngebroschüre WRRl-NRW März 2021“). <https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/pdf/n-effizienz-freilandgemuese.pdf>
- Nett, L.; Feller, C.; George, E.; Fink, M. (2011): Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91 (3), 327–337.
- Rebholz, L. (2020): Düngung von Blumenkohl – Wie wirkt sich eine Reduktion der Düngung aus. Vortrag beim Dünge-seminar des DLR Rheinpfalz. https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=925P2947SO&p1=title%3DD%C3%Bcn-

MuD ,Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau'
Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

[geseminar+2020+-++Download+Votr%C3%A4ge%7E%7Eurl%3D%2Finternet%2Fglobal%2Fthemen.nsf%2F0%2FF7CBE5DD7374DFECC1258507002C217F%3Fopen-Document&p3=01B804SI06&p4=6T14Z53D9J](#)

Schlaghecken, J. (1989): Gründüngung im Gemüsebau. In: Neustadter Hefte, Heft 18. DLR Rheinpfalz Neustadt an der Weinstraße.

Weier, Ulrike & Scharpf, Hans-Christoph (2007): Ertragseinbußen bei suboptimaler N-Versorgung. In: Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011) Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren., S.245 ff

Weinheimer, Sebastian (2018): 36. Pfälzer Gemüsebautag: „Möglichkeiten und Grenzen der N-Optimierung im Gemüsebau“. In: Gartenbau-Informationssystem hortigate, Bonn, 12.01.2018

Zinkernagel et al. (2017): Effiziente Bewässerung im Gemüsebau „Modellvorhaben Demonstrationbetriebe zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüsebau“, Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden.

12. Anhang - Liste der Poster, Vorträge und Veröffentlichungen während der gesamten Projektlaufzeit

Ausgewählte Poster:

- Dümig, A.; Homeister, H.; Garming, H.; Schmitt, A. (2018): Anwendung von Kompost im ökologischen Landbau – Regelungen der Düngeverordnung (DüV), Öko-Gemüsebautag in Bamberg, Juli 2018.
- Homeister, H.; Dümig, A.; Paladey, E.; Feller, C.; Garming, H. (2017): Wie beeinflussen die Bestimmungen der novellierten Düngeverordnung über maximal zulässige Phosphatsalden den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger im Gemüsebau? VDLUFA Kongress 129 an der HSWT in Freising.
- Homeister, H.; Dümig, A.; Schmitt, A.; Garming, H. (2018): Auswirkungen der novellierten Düngeverordnung im ökologischen Freilandgemüsebau, Öko-Gemüsebautag in Bamberg, Juli 2018.
- Homeister, H.; Dümig, A.; Paladey, E.; Feller, C.; Garming, H. (2018): Phosphat begrenzt den Einsatz von organischen Wirtschaftsdüngern im Freilandgemüsebau, Öko-Gemüsebautag in Bamberg, Juli 2018.
- Homeister, H.; Dümig, A.; Schmitt, A.; Garming, H. (2017): Phosphat begrenzt den Einsatz von organischen Wirtschaftsdüngern im Freilandgemüsebau. Öko-Gemüsebautag in Bamberg, Juli 2017.
- Homeister, H.; Garming, H. (2017): Optimierte Düngestrategien – welche Kosten entstehen für den Freilandgemüsebau? Poster DGG Tagung 51, HS Osnabrück, März 2017.
- Paladey, E.; Ziegler, J. (2017). MuD. Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. Feldtag Gemüsebau des DLR Rheinpfalz (14.09.2017) und 36. Pfälzer Gemüsebautag (24.11.2017)

Ausgewählte Vorträge:

- Dümig, A.; Offenberger, A.; Schmitt, A. (2018): Aktueller Sachstandsbericht des Projektvorhabens aus der Region Knoblauchsland, 27. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 07.03.2018
- Feller, C. (2017). Umsetzung der neuen Dünge-VO in die Praxis. Vortrag. Arbeitsbesprechung der bayrischen Gemüsebauberater. Erharting, 16. 11.2017
- Feller, C. (2018). Modell- und Demonstrationsvorhaben zur Optimierung der Düngung im Freilandgemüsebau. Vortrag, 27. Bundesberatertagung für Fachberater(-innen) im Gemüsebau, Grünberg, 07.03.2018.
- Feller, C. (2020). Stickstoffdüngedbedarf – Indirekte Einflussfaktoren (nach DüV und kulturbegeleitend). Profi-Tag Gemüsebau 2020, Hannover Ahlem (online) 17.11.2020.
- Heid, P. (2021): Erfahrungen aus Versuchen zur Umsetzung der Düngeverordnung (Projekt MoDeN), Vorträge am Dünge-seminar DLR Rheinpfalz Termin 1 am 11.12.2020 (82 Teilnehmer) + Termin 2 am 22.01.2021 (98 Teilnehmer)
- Heid, P. (2021): Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau, 30. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 10.03.2021
- Homeister, H.; Garming, H. (2018): Optimierung der Düngung im Freilandgemüsebau - Analyse der Kosten und Nutzen, 27. Bundesberatertagung für Fachberater (-innen) im Gemüsebau, Grünberg.

- Homeister, H.; Garming, H. (2018): Die Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Vermeidung von N-Auswaschungen im Freilandgemüsebau. 52. Gartenbauwissenschaftliche Jahrestagung der DGG, Geisenheim.
- Lindemann-Zutz, K.; Meyer, S.; Lessmann, C. (2018): Aktueller Sachstandsbericht des Projektvorhabens aus der Region LWK NRW, 27. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 07.03.2018
- Lindemann-Zutz, K. (2020): Was kommt nach der Umsetzung DüV 2020 – Stoffstrombilanz in gemüsebaubetrieben, 29. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 07.03.2018
- Ludwig-Ohm, S.; Wildenhues, H.; Garming, H. (2019): Ökonomische Analysen zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau, 15.11.2019, Freising.
- Meyer, S. (2020): Wie lässt sich N-Minderung gesamtbetrieblich umsetzen? Ergebnisse aus dem MoDeN-Projekt, 29. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 07.03.2018
- Paladey, E. und Ziegler, J. (2018): Aktueller Sachstandsbericht des Projektvorhabens aus der Region Vorderpfalz, 27. Bundesberatertagung im Gemüsebau am 07.03.2018
- Paladey, E. (2018): Erfahrungen mit der N-Optimierung in großen Freilandbetrieben (Projekt MoDeN), Vortrag am 37. Pfälzer Gemüsebautag am 30. November 2018
- Wildenhues, H.; Garming, H. (2019): Zwischenfruchtanbau im Freilandgemüsebau – Übernahmepotentiale und –barrieren einer grundwasserschonenden Maßnahme, 53. Gartenbauwissenschaftliche Jahrestagung der DGG, Berlin.
- Wildenhues, H.; Burger, H.; Bork, L.K.; Garming, H. (2021): Reduzierte N-Düngung im Freilandgemüsebau - Risiken und Maßnahmen zur Risikominderung. 4th International Symposium on Horticulture in Europe, 8 – 11 March 2021, Stuttgart (online).
- Burger, H.; Bork, L.K.; Wildenhues, H.; Garming, H. (2021): Betriebswirtschaftliche Risiken durch reduzierte Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. 30. Bundesberatertagung Gemüsebau, 09.03.-11.03.2021 (online).
- Meyer, S.F.; Wildenhues, H.; Ludwig-Ohm, S.; Garming, H. (2021): Feasibility and economic analysis of improved nitrogen fertilization measures for vegetables in Germany. 4th International Symposium on Horticulture in Europe, 8 – 11 March 2021, Stuttgart (online).

Ausgewählte Veröffentlichungen:

- Dümig, A.; Mehringer, R. (2017) Blumenkohl: Unzureichende N-Versorgung durch Harnstoffderivate - Hinweise auf Auswaschungsverluste. Versuchsberichte in versuche im deutschen Gartenbau. <https://www.hortigate.de/bericht?nr=75165>
- Feller, C.; Meyer, S.; Garming, H.; Schmitt, A.; Ziegler, J. 2020. Im Fokus Fundierter Wissenstransfer. LandInForm 2.20, 3.
- Feller, C. 2018. Gesundes Gemüse – gesundes Trinkwasser. LandInForm 23 (2), 22-23.
- Feller, C.; Rehbein, K. 2017. N-Expert weiterentwickelt. B&B Agrar, 6, 32-33.
- Feller, C.; Dümig, A.; Garming, H.; Homeister, H.; Lessmann, C.; K. Lindemann-Zutz, K.; Meyer, S.F.; Paladey, E.; Schmitt, A.; Sradnick, A.; Ziegler, J. 2018. Umsetzung von Strategien zur Reduktion der Nitratauswaschung im Freilandgemüsebau – Erfahrungen aus einem Modell- und Demonstrationsvorhaben. In: Prozess- und Produktqualität im Fokus der Pflanzenernährung. Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung e.V., Osnaabrück, 19.
- Heid, P. (2021) Technische, strategische und pflanzenbauliche Lösungen zur DüV, Landwirtschaftliches Wochenblatt 08/2021, 42-44

MuD ‚Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau‘
Abschlussbericht, Berichtszeitraum: 15.02.2016 – 31.06.2021

- Heid, P. (2021) Nachgefragt: Das Projekt MoDe-N : 20 Prozent weniger düngen – klappt das im Gemüsebau?, Landwirtschaftliches Wochenblatt 14/2021, 41
- Heid, P.: „Was Praktiker bei reduzierter Düngung tun können“, TASPO 17/2021, 12
- Heistermann, K., Sradnick, A., Feller, C. 2020. Stoffstrombilanz leichter gemacht. Gemüse. 56,4, 23-25.
- Homeister, H.; Dümig, A.; Paladey, E.; Feller, C.; Garming, H. (2017): Wie beeinflussen die Bestimmungen der novellierten Düngeverordnung über maximal zulässige Phosphatsalden den Einsatz organischer Wirtschaftsdünger im Gemüsebau? VDLUFA Schriftenreihe 129.
- Lindemann-Zutz, K. (2018) Optimierung der N-Düngung im Freilandgemüsebau. Gemüse 1/2018, 19-21
- Paladey, E.: Optimierung der Stickstoff-Düngung im Freilandgemüsebau, DLR Rheinpfalz 2018 im Blick, S. 115-118
- Paladey, E. und J. Ziegler: Stickstoffdüngung optimieren, Gemüse 10/2018, 23-25
- Rocksch, T.; Paladey, E.; Meyer, S.F.; Homeister, H. (2018): Was kann der Gemüsebau leisten und wo sind Grenzen? Gemüse (9), September 2018.
- Rocksch, T.; Sradnick, A.; Feller, C. (2019). Untersuchungen zur notwendigen Einstichzahl bei Bodenproben. 53. DGG & BHGL Jahrestagung, Humboldt-Universität zu Berlin, Germany, 06.03.- 09.03.2019. BHGL Tagungsband 34
- Sradnick, A.; Feller, C. (2018). N-Expert jetzt mit neuen Funktionen zur Kalkulation der Mineralisierung und zur Umsetzung der Düngeverordnung. 52. DGG & BHGL Jahrestagung, Hochschule Geisenheim, Germany, 28.02.- 03.03.2018. BHGL Tagungsband 33, S. 78.
- Wildenhues, H.; Meyer, S.F.; Garming, H. (2019): Wann bringt die Zwischenfrucht am meisten? Grundwasserschutz im Freilandgemüsebau - Projekt in NRW. Gemüse (10) Oktober 2019, S. 21-23.
- Wildenhues, H.; Garming, H. (2019): DüV treibt die Kosten nicht hoch: Modell- und Demonstrationsvorhaben, Teil V: Kosten und Nutzen von Maßnahmen. Gemüse (4), April 2019, S. 22-24.
- Wildenhues, H.; Garming, H. (2021) Risikominderung hat ihren Preis. Gemüse (6), Juni 2021, S. 19-21.
- Wildenhues, H.; Garming, H. (2019): Zwischenfruchtanbau im Freilandgemüsebau – Übernahmepotentiale und –barrieren einer grundwasserschonenden Maßnahme. DGG-Proceedings, Vol 9, 2019, No. 7, p. 1-5. DOI: 10.5288/dgg-pr-hw-2019.

Wissenschaftliche Publikationen

- Sradnick, A., and Feller, C. (2020). A Typological Concept to Predict the Nitrogen Release from Organic Fertilizers in Farming Systems. Agronomy 10.
- Meyer, S.F.; Wildenhues, H.; Ludwig-Ohm, S.; Garming, H. (2021): Feasibility and economic analysis of improved nitrogen fertilization measures for vegetables in Germany. Acta horticulturae. Im Druck.