

# **Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie**

## **Digitalisierung und Automatisierung – Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für den Gartenbau?**

**Tagungsband zum 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau am 15. November 2019 in Freising / Weihenstephan**

**Walter Dirksmeyer, Klaus Menrad (eds.)**

**Thünen Report 89**

**Bibliografische Information:**  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

*Bibliographic information:*  
*The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de)*

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter [www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

*Volumes already published in this series are available on the Internet at [www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)*

*Zitationsvorschlag – Suggested source citation:*

**Dirksmeyer W, Menrad K (eds.) (2021)** Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie : Digitalisierung und Automatisierung - Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für den Gartenbau? Tagungsband zum 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau am 15. November 2019 in Freising / Weißenstephan. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 190 p, Thünen Rep 89, DOI:10.3220/REP1634803385000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

*The respective authors are responsible for the content of their publications.*



THÜNEN

## Thünen Report 89

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Germany

[thuenen-report@thuenen.de](mailto:thuenen-report@thuenen.de)  
[www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

ISSN 2196-2324  
ISBN 978-3-86576-234-4  
DOI:10.3220/REP1634803385000  
urn:nbn:de:gbv:253-202110-dn064048-4

# Ökonomische Analyse zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau

SABINE LUDWIG-OHM<sup>1</sup>, HANNA WILDENHUES, HILDEGARD GARMING

## Zusammenfassung

Ein wesentliches Element des Grundwasserschutzes ist die Verringerung der Nitratverluste in der landwirtschaftlichen Produktion. Die Frage nach wirksamen Maßnahmen zur Steigerung der Stickstoffeffizienz und damit zur Minimierung der Nitratreinträge in Grund- und Oberflächenwasser ist daher, unabhängig von derzeitigen Diskussionen um gesetzliche Regelungen, von dauerhafter Relevanz. Für die Erzeugung von qualitativ hochwertigem Gemüse ist eine optimale Nährstoffversorgung eine Grundvoraussetzung. Allerdings lassen einige gemüsebauliche Kulturen relativ hohe Mengen an Stickstoff als erforderlichen Mindestvorrat zum Zeitpunkt der Ernte im Boden zurück (Rest-N<sub>min</sub>). Auch verbleiben relevante Stickstoffmengen in den Ernteresten auf dem Feld und unterliegen dem Risiko der Auswaschung in tiefere Bodenschichten oder in das Grundwasser.

Das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderte Modell- und Demonstrationsvorhaben Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau (MoDeN) hat in enger Zusammenarbeit von Praxis, Beratung und Wissenschaft Maßnahmen zur Optimierung der Düngung bewertet. Auf Projektbetrieben in Nordrhein-Westfalen, im Knoblauchsland und in der Pfalz wurden deshalb verschiedene Maßnahmen auf ihre Praxistauglichkeit untersucht. Die ökonomische Begleitforschung hat dabei die Aufgabe, Kosten und Nutzen der unterschiedlichen Maßnahmen für eine optimierte Stickstoffdüngung zu analysieren und eine objektive Entscheidungsgrundlage zur Verfügung zu stellen. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus Modell- und Beispielrechnungen zu verschiedenen Maßnahmen vorgestellt. Grundlage dafür waren die Erfahrungen aus der Maßnahmenumsetzung auf den Praxisbetrieben.

*Schlüsselwörter:* Gemüse, Stickstoffeffizienz, Düngung, Nährstoffmanagement, Grundwasserschutz

*JEL-Codes:* Q12, Q52

---

<sup>1</sup> Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 63, 38116 Braunschweig  
E-Mail: sabine.ludwig-ohm@thuenen.de, hanna.wildenhues@thuenen.de, hildegard.garming@thuenen.de

## 1 Hintergrund und Problemstellung

Ein wesentliches Element des Grundwasserschutzes ist die Verringerung der Nitratverluste in der landwirtschaftlichen Produktion. Die Frage nach wirksamen Maßnahmen zur Steigerung der Stickstoffeffizienz und damit zur Minimierung der Nitratreinträge in Grund- und Oberflächenwasser ist daher unabhängig von derzeitigen Diskussionen um gesetzliche Regelungen, sondern von dauerhafter Relevanz.

Im Gemüsebau ist die optimale und gleichzeitig verlustarme Nährstoffversorgung eine besondere Herausforderung, da viele Gemüsekulturen einen insgesamt hohen Stickstoffbedarf haben und dabei auch einen  $N_{\min}$ -Mindestvorrat<sup>2</sup> bis zum Erntezeitpunkt im Boden benötigen, damit eine hohe Qualität der Ernteprodukte erzielt werden kann. Das bedeutet aber auch, dass diese Mindestvorräte als Rest- $N_{\min}$  zum Erntezeitpunkt im Boden verbleiben (Feller et al., 2011). Außerdem bleiben in den Ernteresten relevante Stickstoffmengen auf dem Feld, die insbesondere bei einer späten Herbsternte potenziell auswaschungsgefährdet sind (Thompson et al., 2018).

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die Düngerkosten im Vergleich zu Arbeitskosten, beispielsweise für Pflanzung und Ernte, und insbesondere im Vergleich zum potenziellen Erlösrisko – wenn durch Nährstoffmangel geringere Erträge und schlechtere oder nicht vermarktbarere Qualitäten erzielt werden – sehr gering. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung von N-Verlusten ist im Freilandgemüsebau daher weniger ökonomisch als vielmehr aus Wasserschutzgründen sowie durch gesetzliche Vorgaben motiviert.

Die wesentlichen den Gemüsebau betreffenden Regelungen in der Düngeverordnung 2017 (DüV, 2017) sind:

- die Dokumentation der Düngebedarfsermittlung ist verpflichtend,
- der ermittelte Düngebedarf stellt die maximal erlaubte Düngemenge für die jeweilige Kultur dar und
- die verpflichtende Anrechnung von Stickstoff aus Ernteresten der Vorkultur sowie eine obligatorische  $N_{\min}$ -Probe, wenn Gemüse als Zweitkultur nach Gemüse angebaut werden soll.

Im Verbundprojekt MoDeN (Modell und Demonstrationsvorhaben N-Düngung im Freilandgemüsebau), das 2016 startete und bis 2021 läuft, kooperieren Forschungs- und Beratungseinrichtungen in Bayern (AELF Fürth<sup>3</sup>), Nordrhein-Westfalen (LWK NRW<sup>4</sup>) und Rheinland-Pfalz (DLR Rheinpfalz<sup>5</sup>) sowie das IGZ Großbeeren<sup>6</sup> und das Thünen-Institut. In den Projektregionen werden – begleitet

---

<sup>2</sup>  $N_{\min}$  = Gehalt eines Bodens an pflanzenverfügbarem mineralisiertem Stickstoff

<sup>3</sup> Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Fürth

<sup>4</sup> Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Köln-Auweiler

<sup>5</sup> Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Neustadt a. d. Weinstraße

<sup>6</sup> Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau e. V., Großbeeren

durch intensive Beratung – auf insgesamt neun Gemüsebaubetrieben verschiedene Maßnahmen zur Minimierung von N-Verlusten bzw. zur Steigerung der N-Effizienz im Freilandgemüsebau erprobt und umgesetzt. Für die Praxis sind sowohl die Durchführbarkeit und Effektivität als auch die ökonomische Analyse dieser Maßnahmen wesentliche Kriterien bei der Entscheidung über die dauerhafte Übernahme solcher Maßnahmen im Betrieb.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse der ökonomischen Begleitforschung zu wichtigen Maßnahmen der Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau vorgestellt. Während der Projektlaufzeit haben sich gesetzliche Anforderungen verändert: Die Pflicht zur Dokumentation der Düngebedarfsermittlung ist eingeführt worden und die Methodik der Düngebedarfsermittlung wurde in der Düngeverordnung von 2017 konkretisiert (DüV, 2017). Es ist zum aktuellen Zeitpunkt bereits absehbar, dass weitere gesetzliche Anforderungen bzw. Einschränkungen im Nährstoffmanagement auf die Betriebe zukommen werden. In diesem Kontext können die hier vorgestellten Ergebnisse auch als Hinweis auf die Größenordnung von Anpassungskosten an zukünftige Rahmenbedingungen interpretiert werden.

## 2 Methodische Vorgehensweise

Die ökonomische Bewertung der Maßnahmen zur Optimierung der Stickstoffdüngung basiert auf Modellrechnungen für Fallbeispiele. Da die bisherigen Projektergebnisse keine Rückschlüsse auf eine Veränderung der Erträge und Vermarktungsqualitäten durch die umgesetzten Maßnahmen zulassen, wurde als Bewertungsansatz ein Kostenvergleich gewählt. Es wurden die Kosten für Düngebedarfsermittlung und Bodenproben, die Kosten für Düngemittel und deren Ausbringungskosten – Arbeitszeit, feste und variable Maschinenkosten – und ggf. auch Opportunitätskosten berücksichtigt. Weitere Produktionskosten wie Saat- und Pflanzgut, Pflanzenschutz, Kulturmanagement und -pflege sowie Erntekosten wurden nur dann berücksichtigt, wenn sie unmittelbar mit den umgesetzten Maßnahmen zusammenhängen, z. B. für den Zwischenfruchtanbau als Winterbegrünung.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartner\*innen und auf der Grundlage der Daten aus den Projektbetrieben wurden für die Analyse Gemüsekulturen ausgewählt, bei denen die Optimierungsmaßnahmen relevant waren und die in mehreren der Projektbetriebe angebaut wurden.

Zunächst wurden Annahmen für die Modellrechnungen zu den Kosten des bisherigen betriebsüblichen Dünge-managements getroffen. Dazu wurden Angaben der Projektbetriebe, Ergebnisse aus den im Rahmen des Projektes durchgeführten  $N_{\min}$ -Proben, Einschätzungen der Anbauberatung sowie Kennzahlen aus der Literatur (KTBL 2013, 2017 und 2019a; Schlaghecken und Ziegler 2007-2015; BMEL 2019) herangezogen. Um die Ergebnisse nicht durch regionale oder betriebsindividuelle Besonderheiten zu verzerren, wurden hinsichtlich Preisen und Löhnen verallgemeinernde Annahmen getroffen. Für die Düngemittelkosten wurde der Preis für Kalkammonsalpeter mit 213 Euro pro Tonne (ohne Mehrwertsteuer) zugrunde gelegt. Saisonlöhne wurden mit 13 Euro je

Arbeitskraftstunde, Betriebsleitungsstunden mit 25 Euro pro Stunde kalkuliert. Für die erste Gemüsekultur im Jahr wurde eine im Boden verfügbare Stickstoffmenge von 30 kg/ha angenommen, für weitere Kulturen wurden von der Vorkultur zusätzlich der  $N_{\min}$ -Mindestvorrat und die Erntereste berücksichtigt.

Diese Modellrechnungen dienten als Grundlage für Kostenvergleiche mit Szenarien, die für die Umsetzung von Maßnahmen zur Optimierung des Düngemanagements modelliert wurden. Auch die Kostenannahmen für diese Szenarien wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartner\*innen, der Beratung und den Betriebsleitungen hergeleitet. Die Ergebnisse der Modellrechnungen zu betriebsüblicher Praxis und der Umsetzung der Maßnahmen wurden abschließend mit der Anbauberatung diskutiert und validiert.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Kosten und Einsparpotenziale der Düngedarfsermittlung

Die Durchführung und Dokumentation der Düngedarfsermittlung (DBE) ist in der DüV (2017) geregelt und stellt die Grundlage für die Düngplanung dar. Im Vergleich zur früher noch in vielen Fällen üblichen Düngung anhand von Erfahrungs- und Schätzwerten verursacht die Durchführung der DBE häufig Mehrkosten. Diese Kosten setzen sich aus den Kosten der vorbereitenden Probenahme, der  $N_{\min}$ -Analyse und der abschließenden Ermittlung und Dokumentation des Düngedarfs zusammen. Sie sind zudem abhängig von den Vorgaben des Bundeslandes, regionalen Besonderheiten sowie den Betriebsstrukturen und -kosten. Daher variieren sie von Betrieb zu Betrieb. Gleiches gilt für die Kosten eines Bodenlabors oder Dienstleistungsunternehmens. Für die Dokumentation und Ermittlung des Düngedarfs stehen verschiedene Computerprogramme (z. B. N-Expert, IGZ) bzw. excelbasierte Formulare zur Verfügung, sodass der Zeitaufwand für eine DBE ohne  $N_{\min}$ -Probe relativ gering ist. Die Kosten für die DBE werden maßgeblich bestimmt vom Aufwand für die  $N_{\min}$ -Probe. Dabei variiert der Zeitaufwand für die Probenahme mit der Schlaggröße<sup>7</sup> (zwischen 0,5 und 2 ha) und der Hof-Feld-Entfernung (je größer der Schlag, umso länger die Hof-Feld-Entfernung). Die Kosten für eine Analyse unterscheiden sich insbesondere in der Analysemethode. Dazu werden im Folgenden drei Fälle unterschieden, die auf den Projektbetrieben anzutreffen sind:

- (a) Probenahme und Analyse mit N-Schnelltest (Nitrachek 404) durch den Betrieb:
  - Kosten von 20 Euro (0,5 ha-Schlag) bis 29 Euro (2 ha-Schlag)

---

<sup>7</sup> Eine  $N_{\min}$ -Probe wird als Mischprobe aus mindestens 16 Einstichen, die über den gesamten Schlag verteilt sein müssen, vorgenommen. Mit der Schlaggröße steigt daher der Zeitaufwand für die Probenahme.

- (b) Probenahme durch den Betrieb, Analyse im Bodenzentrum  
 → Kosten von 39 Euro (0,5 ha-Schlag) bis 48 Euro (2 ha-Schlag)
- (c) Probenahme und Analyse als externe Dienstleistung  
 → ca. 56 Euro

Düngemittelsparungen ergeben sich vor allem durch die verpflichtende Anrechnung des  $N_{\min}$ -Mindestvorrats im Boden und der N-Vorräte in den Ernteresten der Vorkultur. Im Projekt zeigte sich, dass die ermittelten Bedarfswerte oft deutlich unter den früher ausgebrachten Düngemittelmengen liegen, sodass sich aus der Umsetzung der DüV nicht nur Kosten, sondern auch Nutzen in Form eingesparter Düngerkosten ergeben. Für einen Kosten-Nutzen-Vergleich werden in Tabelle 1 die Salden aus Kosten für eine DBE mit Laboranalyse je Hektar bei verschiedenen Schlaggrößen und verschiedenen Einsparpotenzialen für die Düngemittelmenge dargestellt. Diese Einsparpotenziale ergeben sich aus verschiedenen Vorkulturen, z. B. 60 bis 80 kg N/ha bei verschiedenen Kohllarten, rund 30 kg N/ha bei Waschmöhren oder 15 bis 20 kg N/ha bei Salaten (DüV, 2017, Anlage 4 Tabelle 4). Es zeigt sich, dass erst bei einer Schlaggröße von zwei Hektar und einer mittleren Düngeeinsparung die Kosten für die DBE kompensiert werden. Insbesondere, wenn auf kleinteiligen Anbauflächen mehrere Proben und die DBE je Hektar durchgeführt werden, kommt es zu höheren Kosten. Aus diesem Grund – und weil Betriebe mit vielen unterschiedlichen Kulturen auf kleinen Flächen durch die DüV vor großen Herausforderungen hinsichtlich Probenahme und Dokumentation stehen – sieht die Gesetzgebung die Möglichkeit vor, Flächen, die kleiner als 0,5 Hektar sind, zu Bewirtschaftungseinheiten von bis zu zwei Hektar zusammenzufassen. Auf diesen werden dann beispielsweise  $N_{\min}$ -Proben und DBE für Stark-, Mittel- und Schwachzehrer durchgeführt. In diesen Fällen ergeben sich zwar tendenziell geringere Düngemittelsparungen aber Kosten analog zu den zwei Hektar Schlaggrößen.

**Tabelle 1:** Nettokosten bzw. -ersparnis durch DBE mit  $N_{\min}$ -Probe (Laboranalyse) für verschiedene Schlaggrößen und unterschiedliche Einsparpotenziale

durchschnittliche N-Einsparungen	Nettokosten/-ersparnis			
	durchschnittliche Schlaggröße			
	0,4 ha	1 ha	2 ha	3 ha
	[Euro/ha]	[Euro/ha]	[Euro/ha]	[Euro/ha]
20 kg N/ha	-82	-28	-8	0
40 kg N/ha	-66	-13	7	15
60 kg N/ha	-50	3	23	31

Quelle: KTBL (2019a), eigene Berechnungen.

### 3.2 Kosten und Nutzen verschiedener Ausbringungstechniken

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. Um diese Effizienzsteigerung durch eine verbesserte Düngetechnik ökonomisch bewerten zu können, werden im Folgenden die Düngemittelausbringung mit Anbauschleuderstreuer und Kastenstreuer mit Reihenstreffunktion miteinander verglichen.

In den im Rahmen des MoDeN untersuchten Regionen konnten für die Düngemittelausbringung mit dem Kastenstreuer – abhängig vom Anbausystem – im Vergleich zum Schleuderstreuer Dünge-mittelleinsparungen zwischen 15 und 25 % ermittelt werden. Diesen Einsparungen stehen höhere Anschaffungsausgaben und längere Arbeits- und Maschinenzeiten für die Ausbringung der Düngemittel gegenüber.

Für eine ökonomische Analyse der alternativen Verfahren Schleuder- oder Kastenstreuer zur Düngerausbringung werden die Arbeitserledigungskosten (Arbeits- und Maschinenkosten) herangezogen. Da es sich um eine Investitionsentscheidung zur Anschaffung der Düngetechnik handelt, werden auch die fixen Maschinenkosten (Absetzung für Abnutzung und Zinsen) berücksichtigt.

Hohe Ausbringungsmengen pro Düngegang erfordern andere Maschinen als geringe Mengen. Daher ist die Entscheidung für eine bestimmte Maschine abhängig vom Kulturspektrum im Betrieb und den betriebsüblichen Düngemittelmengen pro Düngevorgang. In Tabelle 2 sind die Arbeitserledigungskosten für Anbauschleuderstreuer und Kastenstreuer mit Reihenstreffvorrichtung bei unterschiedlich hohen Ausbringungsmengen aufgelistet und die mit den verschiedenen Alternativen verbundenen Arbeitszeiten für die Ausbringung ausgewiesen. Darüber hinaus sind die Kosten für den Kastenstreuer ausgewiesen, wenn er in Kombination mit anderen Arbeitsverfahren, z. B. Bodenbearbeitung mit der Beetfräse, Aussaat oder Pflanzung, eingesetzt wird. In diesen Fällen ist keine zusätzliche Feldüberfahrt für die Düngung erforderlich.

Mit zunehmender Ausbringungsmenge steigen die Arbeitserledigungskosten pro Düngevorgang. 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 gleichzeitig mit der Aussaat bzw. Pflanzung oder Bodenbearbeitung erfolgt, entfällt die Düngeüberfahrt. In diesen Fällen sind nur die zusätzlichen Kosten für das Befüllen des Kastenstreuers und die Maschinenkosten für den Kastenstreuer zu berücksichtigen. Bei einer Einzelfahrt mit dem Kastenstreuer, z. B. für eine Kopfdüngung, ergeben sich immer Mehrkosten im Vergleich zum Schleuderstreuer. Da jedoch der durch die DBE nach der DüV (2017) ermittelte Wert eine absolute Höchstgrenze für die erlaubte Düngermenge darstellt, kann es sinnvoll sein, trotz höherer Kosten die Technik mit der besseren Verteilgenauigkeit zu verwenden und so die Effizienz



des aufgewendeten Stickstoffs zu maximieren. Werden die Mehrkosten auf die eingesparte Stickstoffmenge bezogen, ergeben sich je nach Ausbringungsmenge und Einsparung Werte zwischen 1 und 5 Euro je Kilogramm eingespartem Stickstoff. Diese Mehrkosten können als Preis für eine zusätzliche Flexibilität in der Düngung interpretiert werden.

**Tabelle 2:** Arbeitserledigungskosten der Düngemittelausbringung mit Anbauschleuderstreuer und Kastenstreuer

Ausbringungsmenge	Schleuderstreuer	Kastenstreuer	
		Einzelfahrt	mit Saat-/Pflanzmaschine
	[Euro/ha]	[Euro/ha]	[Euro/ha]
75 kg N/ha	6,33	69,17	4,17
100 kg N/ha	6,33	73,78	5,49
150 kg N/ha	8,27	78,34	6,82

Quelle: KTBL (2017, 2019b), eigene Berechnungen.

### 3.3 Kosten eines veränderten Düngemanagements

Viele Betriebe stehen vor der Herausforderung, dass die mit der DBE berechnete maximale Düngermenge zum Teil deutlich niedriger liegt, als die bisherige langjährige betriebliche Praxis, sodass Ertrags- oder Qualitätsminderungen befürchtet werden. Ein angepasstes Düngemanagement kann den Kulturerfolg absichern und sogar zu weiteren Düngemittelleinsparungen führen.

Die Aufteilung der Düngermenge in zwei Teilgaben ist für viele Kulturen bereits Standard. Eine Aufteilung in häufigere, kleinere Teilgaben erlaubt eine flexible Anpassung an Wetterbedingungen und die Entwicklung des Pflanzenbestandes. Um das Risiko einer Unterversorgung der Kultur zu verringern, können zusätzliche  $N_{\min}$ -Proben durchgeführt und so der jeweils aktuelle Bedarf genauer ermittelt werden. Dabei entstehen in der Regel Mehrkosten durch zusätzliche Arbeitsgänge und Untersuchungen. Die Projekterfahrungen zeigen jedoch, dass es in den Fällen, in denen die zusätzliche  $N_{\min}$ -Probe einen für die verbleibende Kulturdauer ausreichenden  $N_{\min}$ -Wert feststellt, zu einer Einsparung von Arbeitsgängen kommt. Um Pflanzenschäden, z. B. durch Düngerkörner auf kopfbildendem Blattgemüse, zu vermeiden, ist die Ausbringungstechnik entscheidend. Für eine späte Kopfdüngung kommen daher Kastenstreuer mit Reihenstreuvorrichtung oder eine flüssige Düngung mit der Pflanzenschutzspritze infrage.

Um die Größenordnung von Mehrkosten bei verändertem Düngemanagement zu ermitteln, wurden Modellrechnungen für drei Varianten des Düngemanagements bei Brokkoli als Zweitkultur nach Gemüse (Brokkoli) erstellt und mit dem Standardverfahren aus Grund- und Kopfdüngung verglichen (Tabelle 3). Als Zweitkultur ist in jedem Fall eine DBE mit  $N_{\min}$ -Probe erforderlich. Für die Modellrechnung wird ein Düngebedarf von insgesamt 110 kg N/ha angenommen. Dies entspricht

dem Sollwert bei mittlerem Ertragsniveau (310 kg N/ha nach DüV 2017) abzüglich des im Boden befindlichen  $N_{\min}$ , der anhand von Daten aus dem Projekt auf ca. 100 kg N/ha geschätzt wird, und abzüglich der N-Menge in den Ernteresten der Vorkultur (100 kg N/ha nach DüV 2017). Im Standardverfahren (Variante 0) ergeben sich Kosten für die N-Düngung von 181 Euro/ha. In der Variante 1 wird die Nachdüngung mit einer zusätzlichen freiwilligen  $N_{\min}$ -Probe abgesichert, die keine Laboranalyse sein muss und daher als Schnelltest vom Betrieb selbst durchgeführt wird. Die Kosten für diese zusätzliche Information zur Kultursicherheit liegen bei knapp 25 Euro.

**Tabelle 3:** Variable Kosten unterschiedlicher Düngeverfahren am Beispiel Brokkoli als Zweitkultur nach Brokkoli

Düngeverfahren	Grund- und Kopfdüngung		Zwei Kopfdüngungen	
	eine DBE [Euro/ha]	zwei DBE [Euro/ha]	eine DBE [Euro/ha]	zwei DBE [Euro/ha]
Variante	0	1	2	3
<b>Grunddüngung</b> ( <i>Beetfräse mit Kastenstreuer</i> )	<b>60 kg N/ha</b>	<b>60 kg N/ha</b>		
$N_{\min}$ -Probe/DBE	44	44		
- Düngemittelkosten	47	47		
- Ausbringungskosten	0 <sup>1</sup>	0 <sup>1</sup>		
<b>Kopfdüngung 1</b> ( <i>Kastenstreuer</i> )	<b>50 kg N/ha</b>	<b>50 kg N/ha</b>	<b>80 kg N/ha</b>	<b>80 kg N/ha</b>
$N_{\min}$ -Probe/DBE	–	25 <sup>2</sup>	44	44
- Düngemittelkosten	39	39	63	63
- Ausbringungskosten	50	50	50	50
<b>Kopfdüngung 2</b> ( <i>Pflanzenschutzspritze</i> )			<b>30 kg N/ha</b>	<b>30 kg N/ha</b>
$N_{\min}$ -Probe/DBE			–	25 <sup>2</sup>
- Düngemittelkosten			24	24
- Ausbringungskosten			7	7
<b>variable Kosten der Düngung</b>	<b>181</b>	<b>205</b>	<b>187</b>	<b>212</b>

Anm.: <sup>1</sup> Für das Ausbringen des Düngers entstehen keine Kosten, weil es gleichzeitig mit der Beetvorbereitung erfolgt. Der Vorgang erfordert lediglich geringfügige Arbeitszeit für das Anhängen und Befüllen des Kastenstreuers. <sup>2</sup> Für die freiwillige zweite DBE ist keine Laboranalyse erforderlich. Deshalb werden Kosten für einen betriebsinternen durchgeführten Schnelltest kalkuliert.

Quelle: KTBL (2017), eigene Berechnungen.

Die Ausbringung einer Grunddüngung während der Beetvorbereitung hat arbeitswirtschaftliche Vorteile, da keine zusätzliche Überfahrt benötigt wird. Es fallen lediglich Dünger-, aber keine Ausbringungskosten an. Bei den Varianten 2 und 3 entfällt die Grunddüngung unter der Annahme, dass der  $N_{\min}$ -Vorrat der Vorkultur und die Nachlieferung aus dem Boden für die ersten drei bis vier

Kulturwochen ausreichen. Die DüV schreibt eine DBE mit  $N_{\min}$ -Probe vor der ersten Ausbringung von N-Düngern vor, die hier zur ersten Kopfdüngung durchgeführt wird. Dies hat den Vorteil, dass eine genauere Abschätzung des Pflanzenbedarfs möglich ist. Für die zweite Kopfdüngung wird die Ausbringung mit der Pflanzenschutzspritze veranschlagt. Falls noch Pflanzenschutzüberfahrten notwendig sind, kann die Düngegabe damit kombiniert und ggf. in kleinere Gaben aufgeteilt werden.

Die Kosten für Variante 2 mit zwei Kopfdüngungen liegen mit 187 Euro/ha nur geringfügig höher als die Vergleichsvariante 0. Entsprechend erhöhen sich die Kosten in Variante 3 um 25 Euro, wenn eine zweite  $N_{\min}$ -Probe durchgeführt wird. Allerdings bieten die Varianten mit zusätzlicher kulturbegleitender  $N_{\min}$ -Probe den Vorteil, dass – abhängig von der Entwicklung des Pflanzenbestandes und des Witterungsverlaufes – Dünger- und damit Kosteneinsparungen möglich sind und die Umwelt entlastet wird.

## 4 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Modellrechnungen geben einen Überblick über die Größenordnung der Kosten, die für Maßnahmen zur Optimierung der N-Düngung im Freilandgemüsebau entstehen. Dabei ist die Variationsbreite je nach betrieblichen Gegebenheiten, beispielsweise bei der technischen Ausstattung, den Schlaggrößen oder den Hof-Feld-Distanzen, groß, wie insbesondere die Beispiele zur Düngebedarfsermittlung mit  $N_{\min}$ -Probe zeigen. Gegenüber früher teilweise noch üblichen Düngemengen, die nach der Sollwertmethode ermittelt wurde, steht den Kosten der Düngebedarfsermittlung aber auch eine teils deutliche Einsparung des Düngeraufwandes gegenüber. Eine Einsparung von beispielsweise 60 kg N/ha bei einer Zweitkultur Gemüse ist durchaus möglich und führt bei mindestens einen Hektar großen Schlägen bereits zu Kostenneutralität und gleichzeitig zu einer deutlichen Entlastung der Nährstoffbilanz. Insbesondere bei Kulturen mit einem hohen Nährstoffbedarf ist es lohnenswert, in die Verteilgenauigkeit bei der Düngerausbringung zu investieren, um bei begrenzter erlaubter Düngermenge den Kulturerfolg zu sichern.

Änderungen im Dünge-Management können dazu beitragen, den Kulturerfolg abzusichern, bedeuten aber einen höheren Kontroll- und Organisationsaufwand in Zeiten mit ohnehin hoher Arbeitsbelastung. Notwendige Veränderungen in den gewohnten Betriebsabläufen werden daher von Betriebsleitungen als besondere Belastungen wahrgenommen. Deshalb gibt es in den Modellregionen verschiedene Ansätze, die Betriebe bei der Düngeplanung und Düngebedarfsermittlung zu unterstützen, z. B. durch die Anbauberatung oder durch externe Dienstleister für  $N_{\min}$ -Probennahmen.

Eine häufig gestellte Frage im MoDeN-Projekt ist, inwieweit die Anforderungen der aktuellen DüV sowie weitere zu erwartende verschärfte Anforderungen sich auf das Ertrags- und Erlörisiko der Gemüsebetriebe auswirken werden. Der nächste Schritt im Projekt ist daher eine Risikoanalyse, die auch weitere Maßnahmen wie eine Begrenzung der erlaubten Düngemenge auf Werte, die unter dem ermittelten Düngebedarf liegen, berücksichtigen soll. Dabei sollen das wirtschaftliche Risiko quantifiziert und Kosten für effektive Risikomanagementstrategien ermittelt werden.

## Literaturverzeichnis

- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019) Testbetriebsnetz Landwirtschaft: Buchführung der Testbetriebe – Ausführungsanweisung zum BMEL-Jahresabschluss. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/BFB-0113004-2019.pdf>.
- DüV (2017) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) DüV vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist.
- Feller C, Fink M, Laber H, Maync A, Paschold P, Scharpf H C, Schlaghecken J, Strohmeyer K, Weier U und Ziegler J (2011) Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink M (Hrsg.) Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2013) Ökologischer Feldgemüsebau, Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen. Darmstadt.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2017) Gemüsebau – Freiland und Gewächshaus. Darmstadt.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2019a) Web-Anwendungen „Feldarbeitsrechner“ und „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“. <https://www.ktbl.de/webanwendungen/>.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2019b) Funk M: Erweiterter Ergebnisauszug der Arbeitsverfahren im Pflanzenbau. Darmstadt.
- Schlaghecken J und Ziegler J (2007-2015) Kalkulation im Freilandgemüsebau. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz, Neustadt an der Weinstraße.
- Thompson R B, Voogt W, Incrocci L, Fink M und de Neve S (2018) Strategies for optimal fertilizer management of vegetable crops in Europe. Acta Horticulturae 1192, S. 129-140.