

# Abschätzung und Reduktion der Nitratauswaschung im Gemüsebau

Oliver Zemek<sup>1</sup>, Reto Neuweiler<sup>2</sup>, Walter Richner<sup>1</sup>, Frank Liebisch<sup>1</sup> und Ernst Spiess<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, 8046 Zürich-Reckenholz, Schweiz

<sup>2</sup>Agroscope, 8820 Wädenswil, Schweiz

Auskünfte: Ernst Spiess, E-Mail: ernst.spiess@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-76g> Publikationsdatum: 11. Mai 2020



Messung der Nitratauswaschung unter Gemüsekulturen mit Lysimetern. (Foto: Ernst Spiess, Agroscope)

## Zusammenfassung

Obwohl im Feldgemüsebau mehr Stickstoff (N) ausgewaschen wird als unter Acker- oder Grasland, ist unbekannt, welche Gemüsekulturen besonders stark zur Nitratauswaschung beitragen. Aus diesem Grund wurde versucht, das Auswaschungspotenzial von 40 Gemüsearten anhand von Literaturwerten zum N-Düngebedarf, zu den N-Mengen in den Ernterückständen und zur Wurzeltiefe zu klassifizieren. Während Kohlarten ein hohes Potenzial aufweisen, wurde das Auswaschungsrisiko bei den meisten Blattgemüsearten als niedrig eingeschätzt. Die Aus-

waschung könnte insbesondere durch die Steuerung der Bewässerung, einer genaueren Ermittlung des N-Düngebedarfs, eine vermehrte Integration von Zwischenkulturen in die Fruchtfolge sowie ein optimiertes Ernterückstandsmanagement reduziert werden. Bei den Bewirtschaftungsmassnahmen besteht vor allem bei der Düngung und der Bodenbearbeitung erheblicher Forschungsbedarf.

**Key words:** crop residues, fertilisation, nitrate leaching, rooting depth, vegetables.

## Einleitung

### Ausgangslage

Die Nitratauswaschung ins Grundwasser beeinträchtigt die Trinkwasserqualität (Di und Cameron 2002). In etlichen Quelfassungen und Grundwasserpumpwerken in der Schweiz werden Nitrat( $\text{NO}_3^-$ )-Konzentrationen gemessen (BAFU 2019), die über der numerischen Anforderung von  $25 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist (Gewässerschutzverordnung 1998), liegen oder sogar über der chemischen Anforderung an Trinkwasser von  $40 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  (TBDV 2016), bei deren Überschreitung das Wasser für die menschliche Ernährung als ungeeignet gilt. Ausgewaschenes Nitrat kann aber auch über das Grundwasser und Fließgewässer in den Rhein und damit in die Nordsee gelangen, wo es zur Eutrophierung der Küstengewässer beiträgt, weil Stickstoff (N) dort oftmals der limitierende Nährstoff für das Algenwachstum ist (Kivi *et al.* 1993).

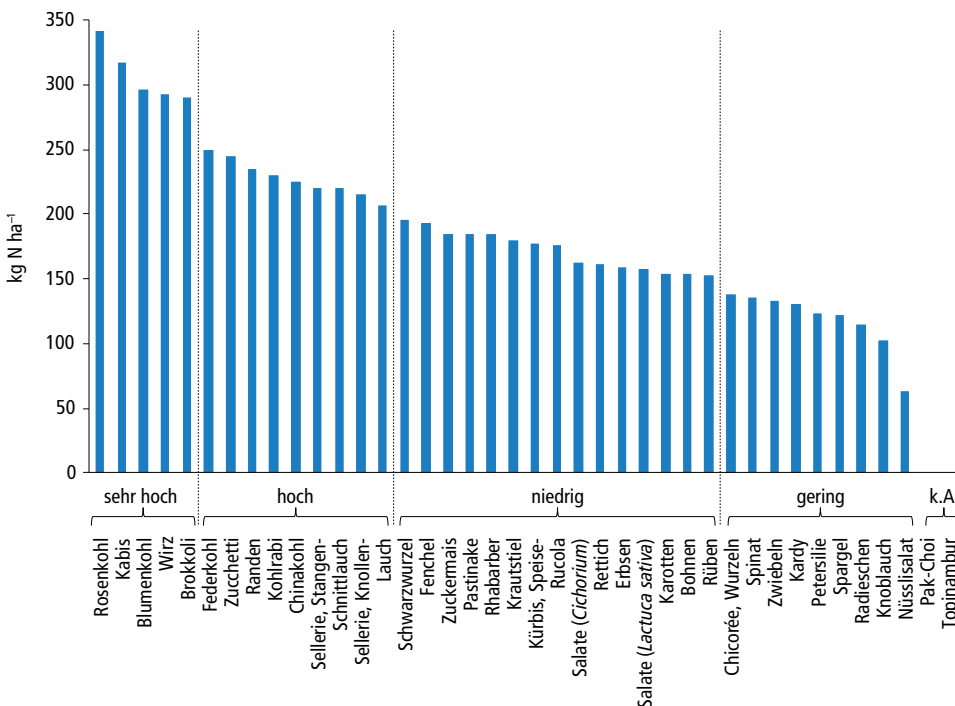
### Zielsetzung

Da im Feldgemüsebau mehr Nitrat ausgewaschen wird als unter Acker- oder Grasland (Di und Cameron 2002), wurde an Hand einer Literaturstudie versucht, die Gemüsearten nach deren Nitratauswaschungspotenzial zu

klassifizieren und Bewirtschaftungsmassnahmen zur Reduktion der Nitratauswaschung zu evaluieren. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit (Zemek *et al.* 2020) zusammengefasst.

## Vorgehen und Methodik

In die Literaturstudie einbezogen wurden alle in der Schweiz im Freiland angebaute Gemüsearten, die im Mittel der Jahre 2012–2016 eine Anbaufläche von mindestens 5 ha aufwiesen. Quantitative Daten zu (i) der ausgewaschenen N-Fracht, (ii) dem N-Düngebedarf, (iii) den N-Mengen in den Ernterückständen und (iv) der Wurzeltiefe wurden zusammengestellt. Mit Hilfe der drei letzten Parameter wurde anschliessend das Nitratauswaschungspotenzial eingeschätzt, indem die Gemüsearten für jeden Parameter in eine von vier Klassen eingeteilt wurden. Jeder Klasse wurde eine Punktzahl von 1 (gering) bis 4 (sehr hoher Beitrag zum Nitratauswaschungspotenzial) zugeordnet. Vier Punkte wurden bei hohem N-Düngebedarf, einer grossen N-Menge in den Ernterückständen bzw. einer geringen Wurzeltiefe vergeben. Aus der Summe der Punkte der drei Parameter, die minimal 3 und maximal 12 beträgt, ergibt sich dann das Nitratauswaschungspotenzial für eine Gemüseart.



**Abb. 1** |  $N_{\min}$ -Sollwerte der Gemüsearten zur Bestimmung des N-Düngebedarfs im Freilandgemüsebau nach der  $N_{\min}$ -Methode (Mittelwert von BMLFUW 2008, Röber und Schacht 2008 und Feller *et al.* 2011; Unterteilung in die vier Klassen: sehr hoch ( $> 250 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), hoch ( $200\text{--}250 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), niedrig ( $150\text{--}200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) und gering ( $< 150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); k.A. = keine Angabe in der Literatur).

## Resultate

### Nitratauswaschungspotenzial

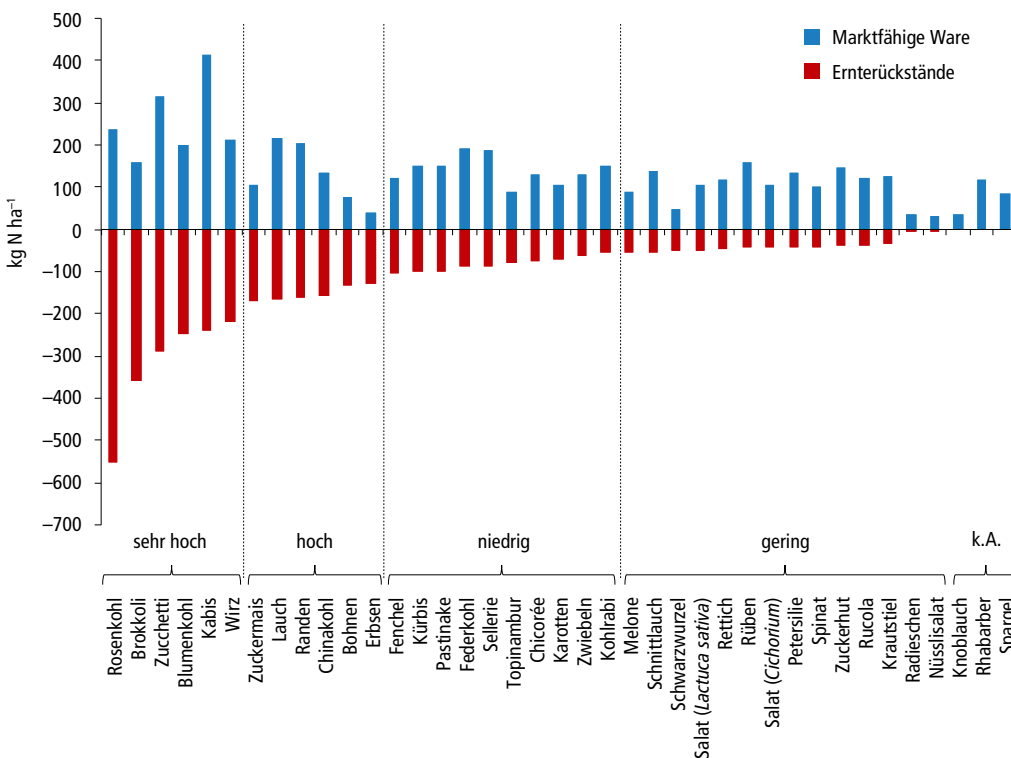
Die Literatur zu den N-Verlusten durch Auswaschung zeigt ungeachtet der Methodik (Lysimeter, Saugkerzen, Anion-Austauschverfahren,  $N_{\min}$ -Bodenproben, Modellierung) ein erhebliches Nitratauswaschungspotenzial unter bzw. nach Gemüsekulturen im Freiland. Die publizierten Ergebnisse eignen sich jedoch nicht oder nur bedingt für eine Differenzierung der Nitratauswaschung nach Gemüsearten, weil sich die Versuchsbedingungen wie Boden und Klima, die Bewirtschaftungsmassnahmen (z.B. N-Düngung) und die Messmethoden stark unterscheiden.

Der **N-Düngebedarf** ergibt sich aus der Differenz zwischen dem  $N_{\min}$ -Sollwert und dem gemessenen  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden vor Kulturbeginn. Der  $N_{\min}$ -Sollwert repräsentiert das  $N_{\min}$ -Angebot, mit dem der Höchstertragsbereich im Mittel vieler Düngungsversuche gerade erreicht wird. Um Höchsterträge zu erzielen und Qualitätseinbussen (z.B. unzureichende Grünfärbung der Blätter) zu vermeiden, sollte bei manchen Kulturen ein

$N_{\min}$ -Mindestvorrat im durchwurzelten Bodenbereich bis zur Ernte vorhanden sein, denn ein grosser Teil der Feldgemüsearten wird schon im vollen vegetativen Wachstum geerntet, wenn der N-Bedarf der Kulturen noch hoch ist (Scharpf und Weier 1993). Kohlgemüse (z.B. Rosenkohl, Kabis) weist im Vergleich zu Blattgemüse (z.B. Nüsslisalat und Spinat) einen hohen  $N_{\min}$ -Sollwert auf (Abb. 1).

Im Zuge der Ernte können im Freilandgemüsebau erhebliche Mengen an **Ernterückständen** mit entsprechend grossen N-Mengen auf dem Feld anfallen. Im Durchschnitt aller Kulturen verbleiben  $118 \text{ kg N ha}^{-1}$  mit den Ernterückständen auf dem Feld, wobei die Spanne von 5 bis  $550 \text{ kg N ha}^{-1}$  reicht (Abb. 2). Die N-Mengen der Ernterückstände sind hoch bei Kohlgemüse wie Rosenkohl oder Brokkoli sowie bei Zucchini und gering bei Blattgemüse wie Radieschen oder Nüsslisalat.

Die **Wurzeltiefe** ist von Bedeutung, weil Nitrat in tieferen Bodenschichten nur von tiefwurzelnden Kulturen aufgenommen und damit vor der Auswaschung ins Grundwasser bewahrt werden kann. Die wenigen



**Abb. 2** | Durchschnittliche N-Mengen in den oberirdischen Ernterückständen im Freilandgemüsebau. Die Gemüsearten sind in vier Klassen unterteilt: sehr hoch ( $> 200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), hoch ( $100\text{--}200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), niedrig ( $50\text{--}100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) und gering ( $< 50 \text{ kg N ha}^{-1}$ ); k.A. = keine Angabe in der Literatur. Zum Vergleich werden die Werte für die marktfähige Ware angegeben.

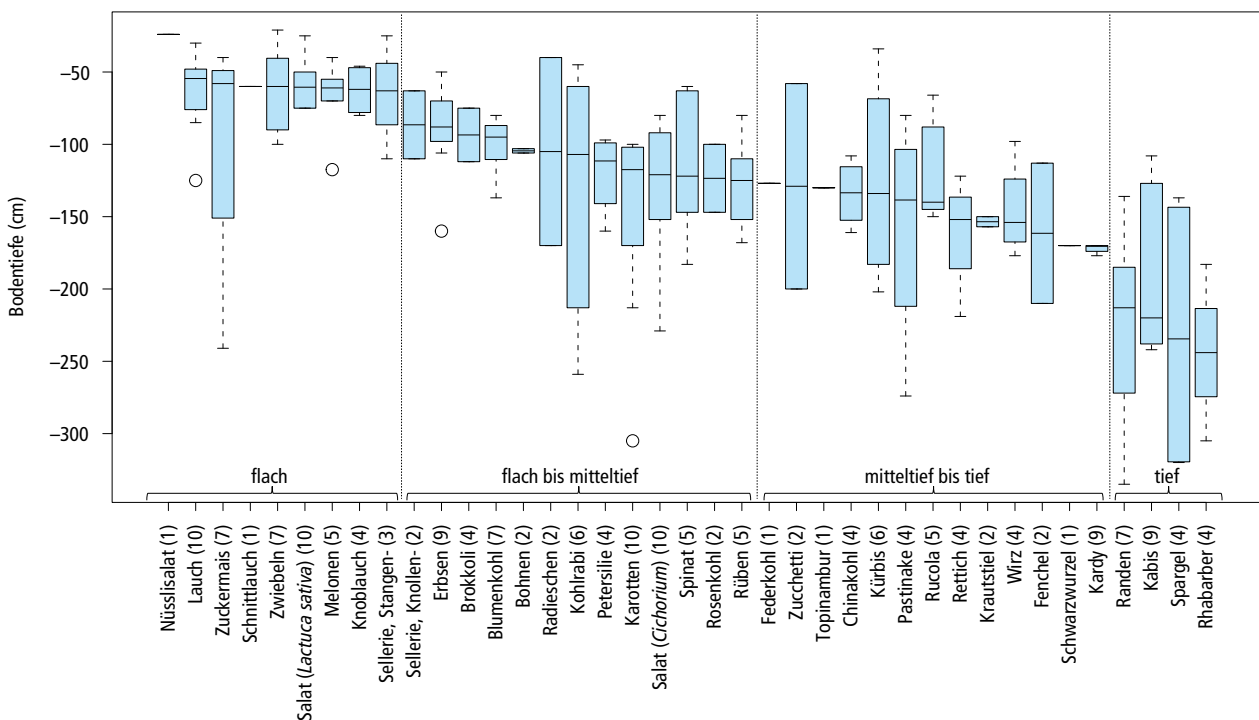
verfügbaren Publikationen lassen auf grosse Unterschiede in der Durchwurzelungstiefe zwischen den Gemüsearten schliessen (Abb. 3). Zu den flachwurzeln Arten gehören die Lactuca-Salate und der Nüsslisalat. Gemüsearten wie Karotten, Cichorium-Salate und Kabis wurzeln vorwiegend mitteltief bis tief. Grössere Tiefen erreichen die seltener angebauten Gemüsearten wie Schwarzwurzel und die mehrjährigen Kulturen Spargel und Rhabarber.

Ein hohes **Nitratauswaschungspotenzial** (Punktzahl: 10–12) besteht insbesondere bei den Kohlarten (z. B. Blumenkohl, Brokkoli und Rosenkohl) und beruht auf der hohen N-Düngung und den hohen N-Mengen in den Ernterückständen, wobei bei Kabis (9 Punkte) die in der Literatur hervorgehobene grosse Wurzeltiefe zur Verringerung des Potenzials beiträgt. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei den Blattgemüsearten (z. B. Salate, Spinat und Rucola), die zwar meist eine geringe Wurzeltiefe aufweisen, ein geringes (3–6) bis mittleres Potenzial (7–9) aufgrund des niedrigeren N-Düngebedarfs und der kleineren N-Menge, die mit den Ernterückständen auf dem Feld verbleibt.

### Massnahmen zur Reduktion der Nitratverluste

Die Bewertung der Bewirtschaftungsmassnahmen nach ihrem Reduktionspotenzial, dem Wissensstand und der Praxistauglichkeit ergab vier Massnahmen, die sich zur Reduktion der Nitratauswaschung besonders eignen:

**Steuerung der Bewässerung:** Eine sachgerechte Bewässerung reduziert das Auswaschungsrisiko (Vögeli Albisser und Prasuhn 2013) und gewährleistet ein Wasserangebot, das die bestmögliche Nährstoffaufnahme und damit ein optimales Pflanzenwachstum und eine hohe Produktqualität ermöglicht. Um die Bewässerung der Gemüsekulturen mit hoher Wassernutzungseffizienz an das Wachstumsstadium anzupassen, empfiehlt sich deren Steuerung. Hierzu stehen primär vier verschiedene Methoden als Entscheidungshilfe zur Verfügung (Paschold et al. 2009; Marti und Keiser 2019): (i) die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz (z. B. Geisenheimer Steuerung), (ii) mehrschichtige Bodenfeuchte- und Evapotranspirationsmodelle, (iii) Bodenfeuchtesensoren (z. B. Tensiometer, FDR) und (iv) das kontinuierliche sensorgestützte Monitoring des Pflanzenbestandes (z. B. Bestandestemperatur).



**Abb. 3 |** Wurzeltiefen der Gemüsearten im Freilandanbau gemessen am Ende der Kulturzeit. Im Boxplot-Diagramm gibt die Box an, in welchem Bereich 50% der Daten liegen, und der Median ist als durchgehender, fetter Strich in der Box eingezeichnet. Innerhalb der Box und den gestrichelten Antennen liegen 95% aller Werte. Ausreisser sind als offene Kreise dargestellt. Die Gemüsearten sind nach dem Median der Messwerte in vier Klassen unterteilt: flach- (< 50 cm), flach- bis mitteltief- (50–100 cm), mitteltief- bis tief- (100–150 cm) und tiefwurzeln (> 150 cm). Zahlen in Klammern zeigen die Anzahl der Messwerte.

**Verbesserte Ermittlung des N-Düngebedarfs:** Bei der Düngung spielt neben der Wahl der Düngemittel und deren Ausbringung die Ermittlung des Düngebedarfs eine entscheidende Rolle. Hierzu gibt es unterschiedliche Herangehensweisen für die Bemessung. Vielversprechende Methoden sind die  $N_{\min}$ -Methode (Neuweiler und Krauss 2017), welche auf der Messung der  $N_{\min}$ -Menge in der von den Wurzeln nutzbaren Bodenschicht zu Kulturbeginn beruht, sowie zwei für Deutschland entwickelte Hilfsmittel: das Kulturbegleitende- $N_{\min}$ -Sollwert-System KNS (Feller *et al.* 2011) mit mehreren  $N_{\min}$ -Bodenproben während der Kulturperiode und das Computerprogramm N-Expert (Fink und Scharpf 1993), das die N-Verfügbarkeit anhand von Bodeneigenschaften, Klima- und Bewirtschaftungsdaten modelliert.

**Umweltverträglichere Fruchtfolgen durch Anbau von Zwischenkulturen:** Zwischenkulturen nehmen Wasser und N aus dem Boden auf. Dadurch wird die Sickerwasserbildung reduziert, und das anfallende Sickerwasser weist eine geringere Nitratkonzentration auf (Spiess *et al.* 2011). Folglich wird weniger Nitrat aus dem Boden ausgewaschen. Neben einer grossen Auswahl an überwinternden und nicht überwinternden Reinsaaten (z. B. Phacelia, Winterroggen) und Mischungen kann auch der erneute Aufwuchs bei gewissen Herbstkulturen, deren Wurzelwerk durch die Ernte nicht beschädigt wurde (z. B. Spinat), als Winterbegrünung dienen.

**Optimierung des Ernterückstandsmanagement:** Während die Ernterückstände bis anhin vorwiegend auf den Feldern zurückbleiben, sollte in Zukunft deren Abfuhr mit nachfolgender Weiterverwertung in Vergärungs- und Kompostieranlagen in Erwägung gezogen werden, insbesondere beim Anbau von Gemüsearten mit hohen N-Mengen im zurückbleibenden Pflanzenmaterial sowie beim letzten Satz in der Vegetationsperiode. Dabei ist auch der Humusbilanz Beachtung zu schenken.

### Forschungsbedarf

- Der hier vorgestellte Ansatz für eine Differenzierung der Gemüsearten nach dem Nitratauswaschungspotenzial ist mit Hilfe einer Modellierung weiter zu entwickeln. Anstatt einzelner Gemüsearten sollten vielmehr gemüsebauliche Kulturfolgen, die typisch für die Schweiz sind, bewertet werden. Eine Überprüfung der modellierten Daten könnte anhand von Messwerten aus neuen Versuchen erfolgen.
- Die Düngungsnormen sollten – insbesondere im bewässerten Anbau – überprüft werden, wobei die aktuellen Ertrags- und Qualitätserwartungen und die

**Tab 1 | Nitratauswaschungspotenzial der Gemüsearten im Freilandanbau in Abhängigkeit des  $N_{\min}$ -Sollwerts, der N-Menge in den Ernterückständen und der Wurzeltiefe.**

Gemüseart	N-Sollwert	N-Menge in Ernterückständen	Wurzeltiefe	Gesamtpunktzahl	Potenzial	
Blumenkohl	4	4	3	11	hoch	
Brokkoli	4	4	3	11		
Rosenkohl	4	4	3	11		
Lauch	3	3	4	10		
Wirz	4	4	2	10		
Zucchetti	3	4	2	9	mittel	
Zuckermais	2	3	4	9		
Kabis	4	4	1	9		
Sellerie, Stangen-	3	2	4	9		
Bohnen	2	3	3	8		
Chinakohl	3	3	2	8		
Erbsen	2	3	3	8		
Federkohl	4	2	2	8		
Kohlrabi	3	2	3	8		
Schnittlauch	3	1	4	8		
Sellerie, Knollen-	3	2	3	8		
Randen	3	3	1	7		
Zwiebeln	1	2	4	7		
Karotten	2	2	3	7		
Salate ( <i>Lactuca sativa</i> )	2	1	4	7		
Fenchel	2	2	2	6	gering	
Kürbis, Speise-	2	2	2	6		
Pastinake	2	2	2	6		
Nüsslisalat	1	1	4	6		
Rüben	2	1	3	6		
Salate ( <i>Cichorium</i> )	2	1	3	6		
Schwarzwurzel	2	1	2	5		
Spinat	1	1	3	5		
Krautstiel	2	1	2	5		
Petersilie	1	1	3	5		
Radieschen	1	1	3	5		
Rettich	2	1	2	5		
Rucola	2	1	2	5		
Knoblauch	1	k.A.	4	-		n.a.
Chicorée, Wurzeln	2	2	k.A.	-		
Rhabarber	3	k.A.	1	-		
Topinambur	k.A.	2	2	-		
Kardy	1	k.A.	2	-		
Spargel	1	k.A.	1	-		
Pak-Choi	k.A.	k.A.	k.A.	-		

k.A. = keine Angabe; n.a. = nicht anwendbar aufgrund fehlender Angaben in der Literatur

Sortenunterschiede berücksichtigt werden müssen. Im Weiteren sind bei Anbau mehrerer Sätze pro Jahr der Ertrag und der Düngebedarf je nach Jahreszeit unterschiedlich (Fink und Scharpf 1993). Existierende Expertensysteme wie z. B. N-Expert sollten unter schweizerischen Bedingungen getestet werden.

- Die konservierende Bodenbearbeitung ist mit einem niedrigeren Energie- und Arbeitsaufwand verbunden und reduziert die Erosion durch bessere Bodenbedeckung und -struktur. Da aber kaum Ergebnisse vorhanden sind, in welchem Ausmass sie die N-Dynamik im

Boden und die Nitratauswaschung im Freilandgemüsebau beeinflusst, sollten Versuche zu dieser Thematik durchgeführt werden.

- Zur Verbesserung des Umgangs mit den Ernterückständen sollte untersucht werden, wie der N im zurückbleibenden Pflanzenmaterial besser konserviert werden kann.

Durch die konsequente Anwendung der beschriebenen Massnahmen sowie deren Weiterentwicklung erscheint eine Reduktion der Nitratauswaschung im Feldgemüsebau möglich. ■

#### Literatur

- BAFU 2019. Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901, 138 S.
- BMLFUW, 2008. Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Di H. J. & Cameron K. C., 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64, 237–256.
- Feller C., Fink M., Laber H., Maync A., Paschold P., Scharpf H.C., Schlaghecken J., Strohmeier K., Weier U. & Ziegler J., 2011. Düngung im Freilandgemüsebau. *In: Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren, 265 S.
- Fink M. & Scharpf H.C., 1993. N-Expert – A decision support system for vegetable fertilization in the field. *Acta Horticulturae* 339, 67–74.
- GSchV 1998. Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Juni 2018). Systematische Sammlung des Bundesrechts Nr. 814.201.
- Kivi K., Kaitala S., Kuosa H., Kuparinen J., Leskinen E., Lignell R., Marcussen B. & Tamminen T., 1993. Nutrient limitation and grazing control of the Baltic plankton community during annual succession. *Limnology and Oceanography* 38, 893–905.
- Marti A. & Keiser A., 2019. Gezielte Bewässerung mit öffentlich zugänglichen Messdaten. *Kartoffelbau* 70 (4), 14–16.
- Neuweiler R. & Krauss J., 2017. Düngung im Gemüsebau. *In: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD)*. Agrarforschung Schweiz 8 (6), Spezialpublikation, 10/1–10/16.
- Paschold P., Kleber J. & Mayer N., 2009. Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland. *Landbauforschung* 328 (Sonderheft), 43–48.
- Röber R. und Schacht H., 2008. *Pflanzenernährung im Gartenbau*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 444 S.
- Scharpf H.C. & Weier U., 1994. Kalkulatorische Ermittlung des  $N_{min}$ -Sollwertes im Gemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffimmobilisierung bzw. -fixierung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 157, 11–16.
- Spiess E., Prasuhn V. & Stauffer W., 2011. Einfluss der Winterbegrünung auf Wasserhaushalt und Nitratauswaschung. *In: Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung*. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning (A), 149–154.
- TBDV, 2016. Verordnung des Eidgenössischen Departement des Innern über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen vom 16. Dezember 2016 (Stand am 1. Mai 2018). Systematische Sammlung des Bundesrechts Nr. 817.022.11.
- Vögeli Albisser C. & Prasuhn V., 2013. Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadstoffverfrachtung ins Grundwasser. *Forschungsanstalt ART, Zürich*, 106 pp. <http://www.lysimeter.ch> [Oktober 2019].
- Zemek O., Neuweiler R., Spiess E., Stüssi M. & Richner W., 2020. Nitratauswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau – eine Literaturstudie. *Agroscope Science* Nr. 95, 117 S.