

N_{min}-Methode für die Düngedarfsermittlung

Autoren: Reto Neuweiler, Olivier Huguenin-Elie, Torsten Schöneberg, Thomas Guillaume, Frank Liebisch

Version: 1 / November 2023

Kurz vor dem Düngungstermin wird der im Boden vorhandene Nitrat- und Ammonium-Stickstoff (N_{min}) in verschiedenen Tiefen gemessen (schlagspezifische Messung). Unter Berücksichtigung dieses im Wurzelraum des Bodens vorhandenen Stickstoffs (N) und eines kulturspezifischen N_{min}-Sollwertes wird der noch zu düngende N-Bedarf berechnet. Auf diese Weise kann man N-Verluste, z. B. durch Auswaschung ins Grundwasser, deutlich reduzieren.

Tabelle 1: Eckdaten der Massnahme

Anwendungsgebiet	vor allem Ackerbau und Gemüsebau, teils auch andere
Umsetzungsebene	Landwirte/-innen, Kanton, Region, Branchen
Wirkungsebene	Feld, Teilschläge
Wirtschaftlichkeit	Die Wirtschaftlichkeit der Massnahme schwankt zwischen wirtschaftlich (d. h., Δ monetäre Erträge > Δ Kosten) und unwirtschaftlich (d. h., Δ monetäre Erträge < Δ Kosten) je nach Betriebsstruktur, Betriebs- und Schlaggrössen und genutzter Stickstoffdüngquellen.
Wirkungsziel	Massnahme steigert die N-Nutzungseffizienz und reduziert oft den Düngerinput.
Unterkategorie Wirkungsziel	Nitrat (NO ₃ ⁻), Ammonium (NH ₄ ⁺), Lachgas (N ₂ O), Ammoniak (NH ₃)
Wirkungszeitraum	Kurz- bis mittelfristig
Wirkung/Reduktionspotenzial	Reduktionspotenzial (Gesamtschweiz): aktuell hoch > 100 t N bei konsequenter Anwendung

Wirkungsprinzip

Die N-Düngegaben vor Kulturbeginn oder während des Kulturverlaufs werden unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren N_{min} (mineralischer N in Nitrat- und Ammoniumform), der zum Zeitpunkt der anstehenden N-Düngungsmassnahme im Wurzelraum der Kultur vorhandenen ist, angepasst (Wehrmann & Scharpf, 1979; Richner et al., 2017). Dabei wird der gemessene N_{min}-Wert vom N_{min}-Soll-Wert für die Kultur oder das jeweilige Kulturstadium der betreffenden Kultur (bei mehreren Düngergaben und N_{min}-Messungen) abgezogen. Die effektive N-Düngung kann im Vergleich zum Normdüngungsverfahren höher oder tiefer sein, da die im Boden verfügbaren N-Mengen, welche beim Normdüngungsverfahren nicht bekannt sind, berücksichtigt werden. Vorkulturen lassen häufig einen Teil des in den verabreichten Düngemitteln enthaltenen N oder aus der Luft in den Leguminosen-Wurzel fixierten N im Boden zurück. Zudem wird durch die Mineralisierung von organischer Substanz im Boden N frei. In Ergänzung zur N_{min}-Methode kommen deshalb teils auch Korrekturfaktoren – ähnlich denjenigen der Schätzmethode zur Düngedarfsermittlung – zur Anwendung, um die N-Nachlieferung (des Bodens) nach der Düngung besser zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung von N_{min} lassen sich je nach Düngungszeitpunkt, Bodeneigenschaften, Witterungsbedingungen und Fruchtfolge in den meisten Fällen beträchtliche Mengen an Düngestickstoff einsparen, was die Düngekosten reduziert. Dabei wird in jedem Fall auch das Risiko von Stickstoffverlusten, insbesondere in Form von Nitrat ins Grundwasser, sowie von Ammoniak und Lachgas in die Atmosphäre, vermindert.



Vorteile/Synergien

- Verbesserung der N-Effizienz: Bei genügendem N_{min}-Vorrat im Boden kann N-Dünger gespart werden (siehe Beispiel Grossrieder et al., 2022), dadurch können teilweise einzelne Düngetermine komplett entfallen und somit neben Düngereinsatz auch Maschinenkosten reduziert werden.
- Die N_{min}-Methode weist insbesondere im Gemüsebau ein beachtliches Einsparpotenzial bei der N-Düngung auf. Sie eignet sich für den Nachweis von Reststickstoff, den Vorkulturen im Boden hinterlassen bzw. der bei der Umsetzung von eingearbeiteten Ernterückständen frei wird. Sie erlaubt bei Anbau von mehreren Sätzen pro Jahr vor allem in Sommer- und Herbstkulturen deutliche Einsparungen bei der N-Düngung. Oftmals liegen bereits vor der N-Düngung im Wurzelraum der Gemüsekulturen N_{min}-Mengen von 100–200 kg N/ha vor (Neuweiler & Keller, 2019).
- Verminderung des Risikos von physiologischen Störungen infolge N-Übersorgung bei verschiedenen Gemüsekulturen und damit verbundenen Qualitäts- und Ertragseinbussen (Neuweiler & Keller, 2019).
- Durch die Reduktion von Düngeüberschüssen lassen sich direkt auch N-Verluste vermindern.

Nachteile/Limitierungen/Zielkonflikte

- Zusätzlicher Planungs- und Arbeitsaufwand. Die N_{min}-Methode wird heute von vielen Produzenten als sehr aufwändig betrachtet. In anderen Ländern ist sie jedoch je nach Region, Label oder Kultur bereits Teil der vom Markt oder Gesetzgebung vorgeschriebenen Qualitätssicherung.
- N_{min}-Probenahme und -Transport, Analytik und Anrechnung erfordern Absprachen, geeignetes Material und/oder Zusatzarbeit und/oder Wartezeit. Diese müssen so weit wie möglich beschränkt werden, um Betriebsabläufe effizient und entstehende Zusatzkosten in Grenzen zu halten.
- Die N_{min}-Methode liefert nur eine Momentanaufnahme des pflanzenverfügbaren N, Nachlieferung aus organischer Substanz oder Hofdüngern ist aktuell kaum berücksichtigt (Methoden für die Schweiz in Untersuchung).
- Auf intensiv oder mittelintensiv bewirtschaftetem Grasland ist die Festlegung eines sinnvollen Termins für die Probenahme schwierig, weil diese Flächen mehrmals pro Jahr genutzt und dementsprechend gedüngt werden. Die Kosten für wiederholte Analysen im Laufe des Jahres wären prohibitiv hoch.
- Es ist aktuell keine Qualitätskontrolle (Ringanalysen) für Schweizer N_{min}-Labore vorgeschrieben.

Interaktionen

Die N_{min}-Methode kann auch im Umweltmonitoring angewendet werden. Sie wird dabei als Indikator für eine sachgerechte Düngung bzw. die Reduktion von Düngungsüberschüssen und teils sogar als Zielindikator verwendet. Da dies oftmals im Herbst geschieht, spricht man auch von Herbst-N_{min}.

Für eine starke Verlustreduktion sollte die Düngebedarfsermittlung mit einer möglichst lückenlosen Bodenbedeckung, Zwischenkulturen und Winterbegrünung kombiniert werden.

Umsetzung: Aufwand/Ablauf/Anwendung/Durchführbarkeit

Die N_{min}-Methode ist seit langem bekannt, wird jedoch heute in der Schweiz aufgrund des Kosten- und des Arbeitsaufwandes nur in relativ geringem Umfang angewendet. Ausser bei der Düngung selbst sind keine Änderungen in der Bewirtschaftung erforderlich. Ein überbetrieblicher Erfahrungsaustausch kann die Umsetzung der N-Düngung nach N_{min} wesentlich erleichtern.

Für den einzelnen Betrieb ist zu prüfen, ob die Übertragung der Koordination und Durchführung der N_{min}-Beprobung an eine Lohnunternehmung eine Option ist, um die Betriebsabläufe durch die Nutzung dieser Methode nicht zu verkomplizieren und um den richtigen Umgang mit den Bodenproben zu vereinfachen.

In diesem Fall meldet der Landwirt/die Landwirtin seine/ihre Flächen zur N_{min}-Beprobung an (je nach Organisation in der Regel beim Labor oder Lohnunternehmen). Die Probenahme und Laboreinlieferung erfolgen durch das Lohnunternehmen. Die Analyse wird von einem anerkannten Bodенlabor durchgeführt, die Ausarbeitung der Düngeempfehlung erfolgt oft in Zusammenarbeit mit der Beratung.

Auf regionaler und überregionaler Ebene wird N_{min} auch im Kampagnenmodus durchgeführt, wie zum Beispiel im [Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten](#). Dann liegen die Kosten beim Auftraggeber, z. B. beim Kanton oder Wasserversorger, die Ergebnisse stehen allen Landwirtinnen und Landwirten zur Verfügung und die Beratung wird durch das Projekt angeboten.

Bei grossen Schlägen mit ausgeprägter Bodenheterogenität kann eine Beprobung von Teilschlägen erfolgen und somit können auch hier eine grosse Verlässlichkeit und Düngeeffizienz gewährleistet werden.

Voraussetzungen/Bedingungen

Das Vorhandensein eines anerkannten N_{min}-Labors im Einzugsgebiet des Betriebs oder der direkte Zugang zu einem Bodенlabor über einen erfahrenen Kurierdienst sind wichtige Voraussetzungen für einen reibungslosen Arbeitsablauf und eine erfolgreiche Umsetzung der N_{min}-Methode. Damit die N_{min}-Methode auf dem einzelnen Betrieb erfolgreich durchgeführt werden kann, ist die

Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften bzw. leistungsfähigen oder kostengünstigen Dienstleistungsanbietern eine wichtige Voraussetzung.

Lokal-regionales Interpretationswissen (Soll- oder Basiswerte) ist für eine zuverlässige Umsetzung der Analyseergebnisse für eine bedarfsgerechte N-Düngung grundlegend. Die Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD, Richner et al., 2017) bietet Durchschnittswerte für die N_{min}-basierte Düngebedarfsermittlung. Eine Aktualisierung dieser Empfehlung ist in verschiedenen Projekten in Arbeit. Tools (Websites oder Apps) für eine automatisierte Düngeempfehlung können weitere Effizienzsteigerungen und Arbeitserleichterungen (insbesondere) für Praxis, Beratung und Labors bringen und die Anwendung der N_{min}-Methode attraktiver machen.

Bewertungen

Wirtschaftlichkeit

Die folgende Beurteilung beruht auf grösstenteils qualitativen und teils quantitativen Erfahrungen. Da keine Reduktion des Naturalertrags zu erwarten ist, sind die monetären Erträge gleich. Einbussen bei der Qualität sind im Ackerbau nicht oder nur selten zu erwarten. Im Gemüsebau beeinflusst eine N_{min}-basierte, bedarfsgerechte N-Düngung in vielen Fällen die Produktequalität positiv, was sich dementsprechend auf die monetären Erträge auswirken dürfte.

Vorleistungen treten durch die Probenahme und Analyse auf. Da die eigentlichen Arbeitsabläufe des Betriebs nicht beeinflusst werden, treten mit der Umsetzung dieser Massnahme keine zusätzlichen Investitionskosten auf. Der Zeitaufwand für die Beprobung ist stark abhängig von den einzelbetrieblichen Gegebenheiten (pro Probe 30–60 Minuten). Die Analysekosten liegen zwischen CHF 30.– bis 40.– je Einzelprobe inklusive einer einfachen Düngeberatung. Weitere Fremdkosten fallen an, sofern die Beprobung und Probenlogistik einem externen Dienstleister übertragen werden, wobei dann der eigene Arbeitsaufwand entfällt. Die Dienstleistung dieser Art dürfte mittlerweile der Standard sein. Aktuell findet man in einigen Projektregionen Gesamtlösungen, die für einen Preis von CHF 200–220.– / ha ein Gesamtpaket inklusive Probenahme, Transport, Analyse und Beratung innerhalb von 3–5 Tagen bieten. Somit führt die Anwendung der N_{min}-Methode nur noch selten zu einer zeitlichen Limitierung für Betriebsabläufe. Die Wirtschaftlichkeit ist aber stark abhängig von den gegebenen Betriebsstrukturen und vorhandenen Förderungsmassnahmen.

Dünger-N sowie einzelne Düngetermine und Überfahrten und somit Maschinen-, Treibstoff- und Arbeitskosten können eingespart werden, wenn genug N_{min} im Boden vorhanden ist. Ob die N_{min}-Methode wirtschaftlich ist, hängt u. a. vom aktuellen N-Düngerpreis und dem errechneten Düngebedarf ab. Bei tiefem Stickstoffdüngerpreis ist die N_{min}-Methode aus ökonomischer Sicht weniger interessant.

Für kleine Betriebe mit kleinen Schlägen sind die Kosten, die mit der Umsetzung dieser Massnahme verbunden sind (Beprobung, Transport, Analyse und Beratung), ein erheblicher Faktor, deshalb ist hier nicht in jedem Fall von einer Wirtschaftlichkeit auszugehen (d.h. Δ monetäre Erträge < Δ Kosten) und die breite Anwendung nicht zu erwarten, bzw. massgebliche Unterstützung oder Förderung wäre nötig. In sensiblen Gebieten (Grundwasserschutz) oder bei sensiblen Kulturen (z. B. Braugerste) werden die Kosten teils durch Projekte (z. B. Nitratprojekt) oder Branchenvereinigungen übernommen. Auf Betrieben mit relativ grossen Schlägen, hohem Bodennachlieferungspotenzial und auf Gemüsebaubetrieben kann oftmals ein erheblicher Anteil an mineralischem Dünger eingespart werden. Unter diesen Bedingungen gilt die N_{min}-Methode in der Regel als wirtschaftlich, d. h. Δ monetäre Erträge > Δ Kosten.

Reduktionspotenzial

In Freilandgemüsekulturen ist das Einsparpotenzial stark abhängig vom Anbauzeitraum der einzelnen Kultur. Im Frühjahr hält sich die N-Freisetzung im noch kalten Boden erfahrungsgemäss in Grenzen, so dass die N-Verfügbarkeit in der für Frühkulturen relevanten oberen Bodenschicht von 0–30 cm vorerst auf tiefem Niveau liegt (Neuweiler, 2022). Dagegen sind später im erwärmten Oberboden (ab ca. Mai) beachtliche N_{min}-Mengen verfügbar. Dabei handelt es sich um N, der aus der organischen Substanz freigesetzt wird, und von der Vorkultur hinterlassenen Düngerstickstoff. Gemäss den aktuellen Versuchserfahrungen können in Gemüsebaufolgerfolgen mit mehreren Anbausätzen im Jahresverlauf in Sommer- und Herbstkulturen mit der N-Düngung nach N_{min} 50–100 kg N/ha pro Kultur eingespart werden (Neuweiler & Keller, 2019; Zemek et al., 2020). Im Nitratprojekt wurden im Acker- und Gemüsebau teils noch erheblich grössere Einsparpotenziale durch N_{min} gefunden (Bünemann, 2022; Bischoff et al., 2022). Im Ackerbau sind die Einsparpotenziale in der Regel zwischen 10 und 100 kg/ha je nach Situation und Kultur (Grossrieder et al., 2022; Maltas et al., 2015). Im deutschsprachigen Ausland wurden Einsparpotenziale von 10% bis mehr als 75% der aktuellen Düngung beschrieben (Frick et al., 2022 und 2023; Osterburg, 2007). In verschiedenen Projekten wurden teils sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte beobachtet, was ebenfalls auf ein starkes Reduktionspotenzial sowie hohe Nitratverluste im Winter hinweist.

Erfolgs-/Qualitätskriterien

Die N_{min}-Methode gilt als erfolgreich, wenn Dünger-N-Einsparungen gegenüber der ertragskorrigierten Normdüngung bei gleichem Ertragsniveau und gleicher Produktequalität erzielt werden.

Der Herbst-N_{min} weist eine erfolgreiche Düngestrategie aus, wenn er den regionalen Grenzwert für den Grundwasserschutz nicht überschreitet (Critical-Load-Konzept) und somit keine übermässigen Auswaschungsverluste zu erwarten sind.

Stakeholder-Perspektiven

Die N-Düngung unter Berücksichtigung des im Boden bereits vorhandenen pflanzenverfügbaren Stickstoffs bringt insbesondere im Freilandgemüsebau ein hohes Sparpotenzial mit sich. Wenn auch geringer, trifft dies auch für den Ackerbau zu. Dennoch erfolgt die Einführung der N_{min}-Methode in der breiten Gemüsebaupraxis aufgrund des damit verbundenen (Zeit-)Aufwands nur zögerlich. Digitale, automatisierte Tools und Methoden, mit welchen die N-Verfügbarkeit unmittelbar im Feld erfasst werden kann, eröffnen neue Perspektiven. Ihre Entwicklung und Begleitung bis zur Praxisreife sind grundlegend.

In der Gemüsebaupraxis bestehen nach wie vor Befürchtungen von Ertrags- und Qualitätsverlusten, und oft fehlt es an Vertrauen in diese Methode.

Fazit

Die standortangepasste Düngebedarfsermittlung nach der N_{min}-Methode hat ein erhebliches Potenzial, grossflächig die Verwendung von Düngestickstoff auf ein effizientes Mass zu reduzieren und somit auch Verluste in die Umwelt bei gleichbleibendem Ertragsniveau zu vermindern. Um dieses Potenzial in der Landwirtschaftspraxis zu nutzen und lokale Umweltziele zu erreichen, kann es notwendig sein, die Anwendung (und Wirtschaftlichkeit) regional (wirtschaftlich) zu fördern. Dies kann in finanzieller Form, aber auch durch Beratung und den Aufbau von Beprobungs- und Analyseinfrastruktur erfolgen.

Literatur

Enthalten in...

- Frick H., Bischoff W.-A., Liebisch F. (2023). Massnahmen zur Reduktion der Nitratwaschung ins Grundwasser: Regionalisierter Massnahmenkatalog für das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten (SO & BE). *Agroscope Science* 147, 1–134. <https://doi.org/10.34776/as147g>
- Frick H., Bischoff W.-A., Schleicher S., Liebisch F. (2022). Das Nitratprojekt Niederbipp-Gäu-Olten im Vergleich: Gebietsübersicht und Massnahmen. Kap. II.2: Vergleichsgebiete in Deutschland: SchALVO am Beispiel der WSG Grünbachgruppe. S. 58–67. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/53855>
- Osterburg B., Rühling I., Runge T. et al. (2007). Kosteneffiziente Massnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dk038383.pdf

Literatur

- Grossrieder J., Ringger C., Argento F., Grandgirard R., Anken T., Liebisch F. (2022). Standortangepasste Stickstoffdüngung: aktuelle Methoden und Erfahrungen. *Agrarforschung Schweiz*, (13), 2022, 103–113. <https://doi.org/10.34776/afs13-103g>
- Bischoff W.-A., Spiess E., Liebisch F. (2022). Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser (NitroGäu). Synthesebericht zu TP 2: Gemüsebau im Projekt NitroGäu. https://so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/32_Wasser/1_GW/Nitratprojekt/NitroGaeu_3.2_Synthese_Gemuese.pdf
- Bünemann-König E. (2022). N-Effizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser (Projekt NitroGäu) Abschlussbericht Ackerbau: Kurzfassung. https://so.ch/fileadmin/internet/bjd/bjd-afu/32_Wasser/1_GW/Nitratprojekt/NitroGaeu_3.1_Synthese_Ackerbau_kurz.pdf
- Neuweiler, R. (2022). Bereits vorhandenen Stickstoff nutzen. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* 2, S. 17.
- Neuweiler, R., Keller, M. (2019). Sommerkulturen – Massvolle Stickstoffdüngung vermindert Qualitätsverluste. *Gemüsebau Info* 20/2019, 1–2. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/41851>
- Maltas A., Charles R., Pellet D., Dupuis B., Levy Häner L., Baux A., Jeangros B., Sinaj S. (2015). Evaluation zweier Methoden für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau. *Agrarforschung Schweiz*, 6, (3), 2015, 84–93. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/35020>
- Richner W., Sinaj S. (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 276 S. www.grud.ch
- Keller M., Neuweiler R. (2020). N_{min}-Analyse lohnt sich. *Der Gemüsebau /Le Maraîcher* 2, 2020, S. 24.
- Wehrmann J., Scharpf H. C. (1979). Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{min}-Methode). *Plant and Soil* 52, 109–126. <https://doi.org/10.1007/BF02197737>
- Zemek O., Neuweiler R., Richner W., Liebisch F., Spiess E. (2020). Abschätzung und Reduktion der Nitratwaschung im Gemüsebau. *Agrarforschung Schweiz*, 11, 2020, 76–81. <https://doi.org/10.34776/afs11-76g>

Impressum

Herausgeber	Agroscope Müller-Thurgau-Strasse 29 8820 Wädenswil www.agroscope.ch
Series Editor	Frank Liebisch
Download	www.agroscope.ch/naehrstoffverluste
Copyright	© Agroscope 2023

Haftungsausschluss

Agroscope schliesst jede Haftung im Zusammenhang mit der Umsetzung der hier aufgeführten Informationen aus. Die aktuelle Schweizer Rechtsprechung ist anwendbar.