

Erhebung und Bereitstellung von Frühjahrs-Nmin-Werten für die Düngebedarfsermittlung in Deutschland – Gemeinsamkeiten und Unterschiede im föderalen System

**Philipp Löw, Elke Brandes, Max Eysholdt, Tobias Reuter, Maximilian
Zinnbauer, Renke Oltmanns, Karen Peters, Philipp Schad, Holger Fechner,
Stephan Jung, Matthias Langen, Horst Gömann, Sarah Kalmbach, Konrad
Offenberger, Christian Sperger**

Thünen Working Paper 283

Dr. Philipp Löw, Dr. Elke Brandes, Max Eysholdt, Tobias Reuter, Maximilian Zinnbauer

Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen

Bundesallee 64, 38116 Braunschweig

Tel.: 0531 2570-1934

Fax: 0531 596-5599

E-Mail: philipp.loew@thuenen.de

Renke Oltmanns, Karen Peters

Düngbehörde

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Mars-la-Tour-Straße 1–13, 26121 Oldenburg

Philipp Schad, Holger Fechner, Dr. Stephan Jung, Matthias Langen, Dr. Horst Gömann

Fachbereich 61 – Landbau und Nachwachsende Rohstoffe

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Nevinghoff 40, 48147 Münster

Sarah Kalmbach, Konrad Offenberger, Christian Sperger

Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Lange Point 12, 85354 Freising

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Bundesallee 64

D-38116 Braunschweig

Thünen Working Paper 283

©2026 the authors, Thünen Institute. This is an open access publication distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license

Braunschweig/Deutschland, Februar 2026

Kurzfassung

Der verfügbare Stickstoff im Boden – der sogenannte *Nmin*-Wert – ist eine wichtige Größe zur Ermittlung des Düngedarfs für Stickstoff und ist nach § 4 der Düngverordnung bei der Düngedarfsermittlung auf Ackerflächen verpflichtend zu berücksichtigen. Im Rahmen des Begleitarbeitskreises des Monitorings zur Wirkung der Düngverordnung auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer (Wirkungsmonitoring) wurde, geleitet vom Thünen-Institut und der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, eine Unterarbeitsgruppe „UAG-Nmin“ eingerichtet, die sich mit der Bereitstellung und Vergleichbarkeit von behördlichen Richtwerten für mineralischen, pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden im Frühjahr (im Folgenden auch *Nmin-Richtwerte*) beschäftigte. Dazu wurde zunächst ein Fragebogen an die zuständigen Behörden der Bundesländer verschickt, um Informationen über die jeweils angewandten Verfahren zur Erhebung und Bereitstellung dieser Werte zu sammeln. Anschließend fand im Februar 2025 ein eintägiger Workshop im Rahmen der UAG statt. Ziel war es, die Ergebnisse zum Status quo vorzustellen, Unterschiede zwischen den Bundesländern und Herausforderungen zu diskutieren und mögliche Verbesserungsansätze zu entwickeln.

Die Auswertungen zeigten deutliche Unterschiede in den *Nmin*-Richtwerten sowohl zwischen den Bundesländern als auch über die Jahre hinweg. Diese Schwankungen sind vor allem auf klimatische Bedingungen und Prozesse wie die Mineralisation zurückzuführen. Zusätzlich wurden systematische Abweichungen an Ländergrenzen festgestellt. Diese sind nicht allein durch Standortfaktoren, sondern auch durch unterschiedliche Vorgehensweisen bei Probenahme und Bereitstellung von Richtwerten erklärbar. Die größten Unterschiede zwischen den Vorgehensweisen in den Bundesländern ergeben sich aus der zeitlichen Abstimmung der Beprobung, der Anzahl und Dichte der Proben sowie aus methodischen Details in Analytik und Berechnung, insbesondere bei der dritten Tiefenstufe (60–90 cm). Abgestimmte Beprobungszeiträume könnten die Vergleichbarkeit der Daten verbessern. Auch eine Vereinheitlichung der Beprobungsdichte und der analytischen Verfahren erscheint zielführend, um systematische Diskrepanzen zu verringern.

Für die landwirtschaftliche Praxis ergeben sich daraus verschiedene Implikationen. Die unterschiedlichen Vorgehensweisen zwischen den Bundesländern erschweren die Vergleichbarkeit der (kulturspezifischen) *Nmin*-Richtwerte und folglich auch der Düngedarfsermittlung. Besonders für Betriebe, deren Flächen über Landesgrenzen hinweg verteilt sind, kann dies zu stark abweichenden Ergebnissen bei der Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs unter Berücksichtigung von Richtwerten führen. Letztlich resultieren daraus ungleiche Wettbewerbsbedingungen sowie eine je nach Vorgehensweise potenziell weniger oder stärker restriktive Düngeregulierung und damit unterschiedliche Umweltwirkungen.

Auch im Rahmen des Wirkungsmonitorings spielen *Nmin*-Werte eine wichtige Rolle bei der Modellierung regionaler Stickstoffbilanzen und der Stickstoffeinträge in die Gewässer. Es zeigt sich, dass Nährstoffbilanz-Modellierungen auf Datengrundlage der aktuellen Erhebungs- und Bereitstellungspraxis grundsätzlich möglich sind, allerdings würde eine stärkere Harmonisierung die Effizienz, Transparenz und Praxistauglichkeit deutlich erhöhen. Langfristig ist für das Wirkungsmonitoring vorgesehen, auf den landwirtschaftlichen Betrieben gemessene *Nmin*-Daten einzubeziehen, wofür jedoch rechtliche Anpassungen notwendig sind. Mit der vom Thünen-Institut entwickelten Schablone zur Bereitstellung behördlicher *Nmin*-Werte liegt nun erstmals ein einheitliches Format vor, das von den Ländern positiv bewertet wurde und einen wichtigen Schritt zu einer effizienteren und verlässlicheren Düngedarfsermittlung darstellen kann. Parallel dazu bieten alternative Ansätze wie regressionsbasierte Berechnungen Potenziale, die eine Düngedarfsermittlung vor Vegetationsbeginn ermöglichen und Zeit- sowie Kostenaufwand in der Praxis erheblich reduzieren könnten.

Schlüsselwörter: Stickstoffdüngung, Düngedarfsermittlung, *Nmin*, Richtwerte, Stickstoffbilanz, Nährstoffmanagement, Düngverordnung, Wirkungsmonitoring, Düngepolitik, Nitratrichtlinie

JEL-Codes: Q15, Q18, Q25

Abstract

The mineralized nitrogen amount in the effective root zone in spring (soil mineral nitrogen, SMN) is an important parameter for determining nitrogen fertilizer requirements and must be taken into account when determining fertilizer requirements for arable land according to §4 of the Fertilizer Application Ordinance in Germany. As part of the Bund/Länder (federal-/state-level) working group of the impact monitoring on the effectiveness of the Nitrates Directive Action Program, a sub-working group "UAG-Nmin" was set up to deal with the provision and comparability of official reference values for mineral, plant-available nitrogen in the soil (SMN values), led by the Thünen Institute and the Chamber of Agriculture in Lower Saxony. To this end, a questionnaire was first sent to the competent authorities of the federal states to gather information on the procedures used to collect and provide these values. Subsequently, a one-day workshop was held in February 2025 as part of the UAG. The aim was to present the results on the status quo, discuss differences and challenges between the federal states, and develop possible approaches for improvement.

The evaluations showed considerable differences in SMN values both between the federal states and over the years. These fluctuations are mainly due to climatic conditions and processes such as mineralization. In addition, systematic deviations were found at federal state borders. These can be explained not only by site factors, but also by different approaches to sampling and the provision of reference values. The greatest differences between the approaches in the federal states may result from the timing of sampling, the number and density of samples, and methodological details in analysis and calculation, especially at the third depth level (60 to 90 cm). Coordinated sampling periods could improve the comparability of the data. Standardizing sampling density and analytical procedures also appears to be a useful approach to reducing systematic discrepancies.

This has various implications for agricultural practice. The different approaches between the federal states make it difficult to compare (crop-specific) SMN reference values and, consequently, to determine fertilizer requirements equally. Particularly for farms whose land is spread across state borders, this can lead to widely varying results when determining nitrogen fertilizer requirements based on reference values. Ultimately, this results in unequal competitive conditions and, depending on the approach, potentially less or more restrictive fertilizer regulations.

SMN values also play an important role in the impact monitoring when modeling regional nitrogen balances and nitrogen inputs into water bodies. It has been shown that nutrient balance modeling based on data from current sampling and provision practices is generally possible, but greater harmonization would significantly increase efficiency, transparency, and practicality. In the long term, farm-level SMN data shall be considered, but this will require legal adjustments. The template developed by the Thünen Institute for the provision of official SMN values as one result of the UAG provides a uniform format for the first time, which has been positively evaluated by the federal states and could represent an important step towards more efficient and reliable fertilizer requirement determination. At the same time, alternative approaches such as regression-based calculations offer potential for determining fertilizer requirements before the start of vegetation and could significantly reduce time and costs in practice.

Keywords: Nitrogen fertilization, nutrient management plan, fertilization planning, nutrient demand, soil mineral nitrogen, nitrogen balance, fertilizer application ordinance, impact monitoring, fertilizer policy, Nitrates Directive

JEL-Codes: Q15, Q18, Q25

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	6
2.1 Fragebogen an die Bundesländer	6
2.2 Quantitative Auswertungen	6
2.3 Workshop der UAG-Nmin	7
3 Ergebnisse	8
3.1 Auswertungen der Fragebögen	8
3.1.1 Beprobungsflächen	8
3.1.2 Beprobungszeitraum	8
3.1.3 Ermittlung der dritten Tiefenstufe (Nmin 60–90 cm)	9
3.1.4 Auflösungsfaktoren	11
3.2 Quantitative Auswertungen	12
3.2.1 Bundesebene	12
3.2.2 Ausgewählte Kulturarten im zeitlichen Verlauf	13
4 Modellbasierte Ansätze als Alternative zu flächendeckenden Probenahmen	18
4.1 N-Regressionsmodell der LWK Nordrhein-Westfalen	18
4.2 N-Simulation der LfL	24
5 Diskussion	27
5.1 Rolle im Wirkungsmonitoring	31
5.2 Modellbasierte Verfahren	32
6 Fazit	34
7 Danksagung	36
Literaturverzeichnis	37
Anhang	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anzahl der Nmin-Beprobungsflächen im Frühjahr je Bundesland und Jahr	8
Abbildung 2:	Vergleich der Berechnungsverfahren zur Ermittlung der dritten Tiefenstufe (grau) bei der Ermittlung des Frühjahrs-Nmin-Wertes mit einer fünfjährigen Messreihe zwischen 2018 und 2023 (n = 215)	10
Abbildung 3:	Übersicht länderspezifischer Auflösungsfaktoren der behördlichen Frühjahrs-Nmin-Werte.....	11
Abbildung 4:	Flächengewichtete durchschnittliche Frühjahrs-Nmin-Werte der Jahre 2018–2022 in Deutschland.....	13
Abbildung 5:	Frühjahrs-Nmin-Werte für Winterweizen (links) und Wintergerste (rechts) im Ländervergleich für Einzeljahre zwischen 2018 und 2022	14
Abbildung 6:	Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterraps (links) und Silomais (rechts) im Ländervergleich für Einzeljahre zwischen 2018 und 2022.....	15
Abbildung 7:	Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterweizen (links) und Wintergerste (rechts) im zeitlichen Verlauf in den Bundesländern für die Einzeljahre 2018 bis 2022	16
Abbildung 8:	Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterraps (links) und Silomais (rechts) im zeitlichen Verlauf in den Bundesländern für die Einzeljahre 2018 bis 2022	17
Abbildung 9:	Jahresverlauf von Nmin-Gehalten in Bodenproben aus drei Tiefen in Zuckerrüben auf mittleren Böden in NRW	20
Abbildung 10:	Beispiel für einen durchgeführten Modellvergleich durch jahresweise Kreuzvalidierung für Daten zwischen dem 15.02. und 15.04. der Jahre 2011 bis 2017	21
Abbildung 11:	Ablaufskizze für die Berechnung der jährlichen Nmin-Richtwerte	22
Abbildung 12:	Korrelation der berechneten Mediane aus den jeweiligen Validierungsdaten (median_zeitgleich) mit der Modellprognose (RS_5 TMK_3) der Nmin-Gehalte für 0–90 cm aus den Jahren 2010–2024.....	23
Abbildung 13:	Einfluss der Wetter-, Boden- und Schlagdaten auf die Stickstoffbewegungen im Boden und Zeitraum der Prognose.....	25
Abbildung 14:	Exemplarische Darstellung der Niederschlagssummen, der Bodengüte, der Leitbodenarten und der Frühjahrs-Nmin-Werte in Deutschland.....	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schematische Darstellung der Düngebedarfermittlung für Acker- und Gemüsekulturen gemäß Düngeverordnung	3
Tabelle 2:	Fragebogen zu den behördlichen Nmin-Richtwerten der Bundesländer.....	6
Tabelle 3:	Statistische Kennwerte der auf Gemeindeebene flächengewichteten durchschnittlichen Frühjahrs-Nmin-Werte der Jahre 2018–2022 in Deutschland	12

Tabelle 4:	Eingruppierung der Kulturgruppen in Berechnungszeiträume	19
Tabelle 5:	Schablone für einen einheitlichen Ansatz zur Bereitstellung von Nmin-Richtwerten	32

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AGRUM-DE	Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland
BB	Brandenburg
BMEL	Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
DüV	Düngeverordnung
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
ha	Hektar
HE	Hessen
HH	Hansestadt Hamburg
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LWK	Landwirtschaftskammer
MV	Mecklenburg-Vorpommern
N	Stickstoff
NI	Niedersachsen
NID	Nitratinformationsdienst
Nmin	mineralisierter Stickstoff im Boden
NW/NRW	Nordrhein-Westfalen
RP	Rheinland-Pfalz
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SMN	Soil mineral nitrogen
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
UAG	Unterarbeitsgruppe
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

1 Einleitung

Stickstoff ist ein essenzieller Makronährstoff für Pflanzen, da dieser als Bestandteil zentraler biologischer Moleküle (wie Aminosäuren) grundlegende physiologische Prozesse wie Genexpression, Zellteilung, Photosynthese und den nachgelagerten Stoffwechsel steuert. Im Boden liegt Stickstoff hauptsächlich in organischer Form vor und muss durch mikrobielle Mineralisierung in pflanzenverfügbare Formen wie Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) umgewandelt werden. Die Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium zu Nitrat) und Denitrifikation (Reduktion von Nitrat zu gasförmigem N_2 oder N_2O) beeinflussen sowohl die Stickstoffverfügbarkeit für die Pflanzen als auch den Stickstoffverlust in die Umwelt. Eine ausgewogene Stickstoffversorgung ist entscheidend für das Pflanzenwachstum. Sowohl Mangel als auch Überschuss kann ökologische und agronomische Probleme verursachen (Sutton et al., 2011; Erisman et al., 2015).

Der Gehalt an mineralischem, also pflanzenverfügbarem Stickstoff (N_{min}) im Boden hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben dem direkten Eintrag durch Düngemittel, wie Mineraldünger und Wirtschaftsdünger, und atmosphärischer Deposition spielen die Mineralisierung, also die Nachlieferung aus organischem Material wie Ernterückstände und organischem Dünger und der organischen Bodensubstanz eine wichtige Rolle. Die Mineralisierungsrate wird von Faktoren wie Bodenart, Bodenfeuchte, Temperatur, mikrobieller Zusammensetzung und mineralischem Kohlenstoff im Boden sowie von der Bewirtschaftung des Bodens beeinflusst (Beck, 1983; Lochmann et al., 1989).

Der N_{min} -Wert wird in der Regel in Kilogramm Stickstoff pro Hektar (kg N/ha) für die Bodentiefe 0–90 cm ausgewiesen. Der N_{min} -Wert über 0–90 cm stellt einen Summenparameter dar, da er sich aus den Einzelwerten der drei Bodenschichten 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm zusammensetzt, um die vertikale Verteilung des N_{min} im Bodenprofil zu erfassen. Er dient in der landwirtschaftlichen Praxis als Indikator für die Stickstoffversorgung im Boden und wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten für unterschiedliche Zwecke ermittelt. Dabei unterscheidet man, je nach dem Zeitpunkt der Probenahme, zwischen „Herbst- N_{min} “ und „Frühjahrs- N_{min} “. Nach der Ernte zu Beginn der Sickerwasserperiode (meist Oktober bis November) dient der „Herbst- N_{min} “-Wert als Schätzgröße für die Menge des frei vorliegenden Stickstoffs im Boden und damit der N-Auswaschungsgefahr. Er kann somit eine relevante Größe für den Gewässerschutz und die Kontrolle des Stickstoffaustrags darstellen (Mielenz et al., 2021; Osterburg und Runge, 2007). Zusätzlich kann mit dem „Ernte- N_{min} “-Wert, der unmittelbar nach der Ernte der Hauptkultur gemessen wird, auch eine Aussage zur Effizienz des Düngereinsatzes getätigt werden (Landwirtschaftskammer NI, 2025b).

Der vorliegende Bericht behandelt hingegen den „Frühjahrs- N_{min} “, der vor Vegetationsbeginn der Abschätzung der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge im Boden dient. Die Quantifizierung des N_{min} zu diesem Zeitpunkt stellt die Grundlage für eine bedarfsgerechte Stickstoffdüngung dar.

Daher wird der „Frühjahrs- N_{min} “ (im Folgenden vereinfachend als „ N_{min} “ bezeichnet) als zentrale Kenngröße in der Düngebedarfsermittlung (§ 4) der Düngeverordnung (DüV, Instrument zur Umsetzung der europäischen Nitratrichtlinie (91/676/EWG) in Deutschland) berücksichtigt (Klages, 2017; DüV, 2020). Die Düngebedarfsermittlung dient dabei einerseits landwirtschaftlichen Betrieben als Handreichung zur Ermittlung des Stickstoffdüngebedarfs während der Vegetation und andererseits den Kontrollbehörden bei der Ermittlung und Prüfung der maximal zulässigen Düngemenge auf Betriebsebene gemäß DüV § 10 Absatz 1 in Verbindung mit Anlage 5 (Löw et al., 2021). Da der Wegfall des Nährstoffvergleichs in der DüV als Kontroll- und Plausibilisierungsinstrument durch die Anpassung der DüV in 2020 im Zuge des Klageverfahrens gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie und als Folge des Urteils in 2018 erfolgt war, erhöht dies seither die Relevanz der Düngebedarfsermittlung in der nationalen Düngepolitik (Klages et al., 2020c; Europäischer Gerichtshof, 2018). Entsprechend der Vorgaben der Nitratrichtlinie stellt die Düngeplanung somit seit 2020 den zentralen regulatorischen Ansatz zur Ermittlung der maximal zulässigen

Düngemenge für landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland dar, so wie dies auch in den meisten europäischen Mitgliedstaaten gehandhabt wird (DüV, 2020; Klages et al., 2020b; Nicholson et al., 2018).

In Deutschland folgt die Düngebedarfsermittlung einem definierten Muster. In Tabelle 1 ist diese für Acker- und Gemüsekulturen schematisch gemäß DüV dargestellt. Dabei wird der Nmin-Wert dem kulturspezifischen Stickstoffbedarfswert als Abschlag in Gänze angerechnet (Nummer 6). Somit ist die Düngebedarfsermittlung per Definition sehr sensitiv gegenüber der Höhe der Nmin-Werte. Die Höhe des Nmin-Wertes wirkt sich direkt auf die nach Düngebedarfsermittlung maximal zulässige Stickstoffdüngung aus.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Düngedarfermittlung für Acker- und Gemüsekulturen gemäß Düngeverordnung

Nr.	Faktoren der Düngedarfermittlung für Acker- und Gemüsekulturen	Anzuwendende Tabelle aus Anlage 4 DüV	Erläuterung
1	Kultur	Tabelle 2 oder 4	Definition von Kulturen, für die eine Düngedarfermittlung durchzuführen ist.
2	Stickstoffdüngedarfer in kg N/ha	Tabelle 2 oder 4	Stickstoffdarferwerte für landwirtschaftliche Ackerkulturen, Gemüsekulturen und Erdbeeren. Der Stickstoffdarferwert entspricht dem Nährstoffdarfer an Stickstoff während einer Anbauperiode.
3	Ertragsniveau laut Tabelle mit Stickstoffdarferwerten in dt/ha	Tabelle 2 oder 4	Die Stickstoffdarferwerte in den Tabellen beziehen sich auf das entsprechende Ertragsniveau und beinhalten die zu Vegetationsbeginn zu ermittelnde verfügbare Stickstoffmenge (Nmin).
4	Durchschnittliches Ertragsniveau	Tabelle 3 oder 5	Durchschnittliches Ertragsniveau der Kultur auf dem Betrieb der vergangenen fünf Jahre in dt/ha.
5	Ertragsdifferenz in dt/ha aus	Zeilen 3 und 4	Differenz zwischen dem Ertragsniveau nach Tabelle 2 und dem tatsächlichen Ertragsniveau auf dem Betrieb im Durchschnitt der vergangenen fünf Jahre.
Zu- und Abschläge in kg N/ha für			
6	Im Boden verfügbare Stickstoffmenge (Nmin)	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 3 und Absatz 4	Möglichkeit, Nmin-Gehalte der eigenen Flächen (i. d. R. in 0–90 cm Tiefe) per Bodenuntersuchung zu ermitteln (auch mit selbst gezogenen Proben) oder amtliche Referenzwerte der zuständigen Landesbehörden heranzuziehen. Abschlag vollumfänglich.
7	Ertragsdifferenz	Zeile 5, Tabelle 3 oder Tabelle 5	Entsprechend der Höhe der Differenz und der Kultur sind Zu- bzw. Abschläge vorzunehmen (Zuschläge max. 40 kg N/ha).
8	Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat	Tabelle 6	Mindestabschlag bei Humusgehalt > 4 %.
9	Stickstoffnachlieferung aus der organischen Düngung der Vorjahre	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 5	Abschläge i. H. v. 10 % des Gesamtstickstoffs bezogen auf organisch(-mineralische) Düngemittel zu den Vorkulturen des Vorjahres (bei Kompost 3 % bzw. 4 % für drei Folgejahre).
10	Vorfrucht bzw. Vorkultur (Ackerbau/Gemüse)	Tabelle 7 oder Tabelle 4 Spalte 5	Mindestabschlge je nach definierten Vor- und Zwischenfrüchten (u. a. für Leguminosen), die je nach Bestandsentwicklung, Klima und Standort auch höher ausfallen können, sowie Mindestabschlge für Gemüse aufgrund der Stickstoffnachlieferung aus den Ernteresten für Folgekultur.
11	Zuschlag bei Abdeckung mit Folie oder Vlies zur Ernteverfrühung	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 2	Werden (Gemüse-)Kulturen zur Ernteverfrühung mit Folie oder Vlies abgedeckt, sind Zuschläge zu den Stickstoffdarferwerten von max. 20 kg N/ha zulässig.
12	Anrechnung Herbstdüngung zu Winterraps und Wintergerste	§ 4 Absatz 1 Satz 7	Abschlag für Menge an verfügbarem Stickstoff, die zwischen Ernte der letzten Hauptfrucht und 1. Oktober zu Winterraps oder Wintergerste aufgebracht wurde.

Nr.	Faktoren der Düngedarfs- ermittlung für Acker- und Gemüsekulturen	Anzuwendende Tabelle aus Anlage 4 DüV	Erläuterung
13	Stickstoffdüngedarf während der Vegetation in kg N/ha	Summe der Werte der Zeilen 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	Ergebnis betriebsindividueller Berechnung unter Berücksichtigung von Nummern 1 bis 12.
14	Zuschläge aufgrund nachträglich eintretender Umstände	§ 3 Absatz 3 Satz 3 und Satz 4	Erhöhung des ermittelten kulturspezifischen Stickstoffdüngedarf um max. 10 %, soweit aufgrund nachträglich eintretender Umstände, insbesondere Bestandsentwicklung oder Witterungsereignisse, ein höherer Düngedarf besteht.

Fett markiert: Hervorgehoben wird die in dem vorliegenden Bericht thematisierte „im Boden verfügbare Stickstoffmenge“ (Nr. 6), deren Höhe einen vollumfänglichen Abschlag bei der Ermittlung des „Stickstoffdüngedarfs während der Vegetation“ (Nr. 13) darstellt.

Quelle: DüV (2020), erweitert.

Die nationale DüV kann von den Bundesländern durch entsprechende Landes-Düngeverordnungen sowie durch behördliche Informationsschriften, Merkblätter oder Vollzugshinweise ergänzt werden und somit geringfügig durch Spezifikationen von der DüV abweichen. So können Richtwerte für Nmin auf unterschiedliche Weise von den Bundesländern ermittelt und bereitgestellt werden. Grundsätzlich wird in der DüV festgelegt, dass die Berücksichtigung der Nmin-Werte für die Düngebedarfsermittlung nach § 4 Absatz 4 DüV entweder durch repräsentative Bodenbeprobung durch den Betrieb erfolgen oder auf Empfehlungen der zuständigen Landesstellen zurückgegriffen werden kann. Diese beruhen entweder auf Ergebnissen der Untersuchungen von vergleichbaren Standorten oder auf Berechnungs- und Schätzverfahren, die auf fachspezifischen Erkenntnissen beruhen. Falls zum Zeitpunkt einer Düngemaßnahme noch keine Nmin-Werte vorliegen, kann in der Regel ein betrieblicher Erfahrungs- oder Schätzwert verwendet werden; sobald aktuelle Werte vorliegen, muss der Düngebedarf neu berechnet werden. Für Schläge in mit Nitrat belasteten Gebieten ist eine Nmin-Bodenuntersuchung mindestens einmal jährlich vor dem Aufbringen wesentlicher Stickstoffmengen ($> 50 \text{ kg N/ha/a}$) in vielen Bundesländern wie Niedersachsen oder Thüringen obligatorisch, Ausnahmen sind dabei Grünlandflächen, Dauergrünlandflächen und Flächen mit mehrschnittigem Feldfutterbau (NDüngGewNPVO, 2023; ThürDüV, 2020). Das Methodenbuch der VDLUFA (2002) dient als Leitfaden für die fachgerechte Durchführung sämtlicher Arbeitsschritte von der Probenahme bis zur Analytik.

Im Rahmen des Wirkungsmonitorings der DüV werden räumlich hoch aufgelöste Informationen zu Nmin-Werten verwendet, um regionale Stickstoffsalden abschätzen zu können. Diese sind die Grundlage, um auf räumlicher Ebene die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und die Stickstoffeinträge in die Gewässer mit dem Modellverbund AGRUM-DE ermitteln zu können (Zinnbauer et al., 2023). Die Nmin-Werte werden bei der Modellierung der Stickstoffbilanzen zur Abschätzung des regionalen Stickstoffmineraldüngereinsatzes herangezogen. Bereits bei der im bundesweiten Verbundprojekt AGRUM Deutschland durchgeführten Ex-ante-Wirkungsanalyse zur Düngeverordnung 2020 zeigte sich, dass erhebliche Unterschiede in den Nmin-Richtwerten zwischen den Bundesländern bestehen, die zu systematischen Diskrepanzen an den Landesgrenzen führen. Diese „Brüche“ lassen sich vermutlich nicht ausschließlich durch standortspezifische bodenklimatische Bedingungen erklären. Vielmehr ist davon auszugehen, dass auch Unterschiede in der Erhebung und Bereitstellung von Nmin-Richtwerten zwischen den Ländern eine Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund wurde die Thematik im Rahmen des vorliegenden Berichts vertieft untersucht. Hierzu wurde im Kontext des Wirkungsmonitorings der DüV eine temporäre Unterarbeitsgruppe mit dem Schwerpunkt „Nmin“ eingerichtet.

In diesem Bericht wird erstmalig bundesweit der Status quo der Erhebung und Bereitstellung von Nmin-Richtwerten durch die Bundesländer für die landwirtschaftlichen Betriebe dargestellt. Dafür wurden zum einen die jeweiligen Ansätze bei der Bereitstellung von Frühjahrs-Nmin-Werten der einzelnen Bundesländer gegenübergestellt. Zum anderen wurden die Unterschiede der Ansätze und deren Auswirkung auf die Nmin-Richtwerte im Rahmen der Düngebedarfsermittlung mit Expertinnen und Experten von Bund und Ländern diskutiert. Ein zentrales Ziel bestand darin, die bestehenden Unterschiede bei Erhebung und Bereitstellung von Nmin-Richtwerten sowie mögliche Einschränkungen beispielsweise auf die Vergleichbarkeit von (kulturartbezogenen) Nmin-Richtwerten und damit auch auf die Düngebedarfsermittlung über die Landesgrenzen hinweg im Austausch zwischen Bund und Ländern zu identifizieren, darauf aufbauend mögliche Verbesserungsoptionen aufzuzeigen und den Gesamtprozess in einem Ergebnispapier zu dokumentieren. Im besonderen Fokus stand das mittelfristige Ziel, die bundesweite Vergleichbarkeit und Verlässlichkeit von Nmin-Richtwerten zu erhöhen und somit eine realitätsnahe und gleichzeitig flächendeckende Abschätzung des tatsächlichen Düngeverhaltens aus der Düngebedarfsermittlung für die Stickstoffbilanz-Modellierung im Rahmen des Monitorings zur Wirkung der DüV zu erhalten. In dem Zusammenhang kann der vorliegende Bericht auch dazu beitragen, im föderalen System unter Beteiligung der Bundesländer einen Harmonisierungsprozess zu initiieren.

2 Material und Methoden

2.1 Fragebogen an die Bundesländer

Die Vorgehensweise der Länderbehörden zur Bereitstellung amtlicher Nmin-Werte (sog. „Richtwerte“) wurde durch eine schriftliche Befragung erfasst und ausgewertet. Dafür wurde durch das Thünen-Institut in Abstimmung mit der Düngbehörde der LWK Niedersachsen ein Fragebogen (als Excel-Datei, siehe Tabelle 2) erstellt. Der Fragebogen wurde am 07.01.2025 an die Bundesländer, und zwar an die Vertreter und Vertreterinnen des Begleitarbeitskreises des Monitorings zur Wirkung der Düngeverordnung, versandt. Der Rücklauf erfolgte im Zeitraum vom 15.01. bis 31.01.2025. Die Rückmeldungen der Bundesländer wurden aufbereitet und zusammengefasst. Die Befragung bestand aus 19 Elementen und beinhaltete neben der Bitte um die technischen Details zur Ermittlung und Bereitstellung von Nmin-Richtwerten auch die Bitte um Übermittlung von Veröffentlichungen sowie Website-Links zu frei verfügbaren Nmin-Richtwerten und zu den Landesdüngeverordnungen.

Tabelle 2: Fragebogen zu den behördlichen Nmin-Richtwerten der Bundesländer

Nr.	Element
1	Zuständige Stelle für Nmin-Richtwert-Ermittlung und -Veröffentlichung
2	Beprobungszeitraum
3	Anzahl Beprobungsflächen
4	Anzahl Einstiche pro beprobte Fläche
5	Probenahmetiefe(n)
6	Berechnung der Tiefe 60–90 cm (falls ja, wie?)
7	Berechnung Böden mit erhöhtem Steingehalt, Flachgründigkeit etc. (falls ja, wie?)
8	Für welche Kulturarten(-gruppen) wird kein Nmin 0–90 cm angewendet?
9	Methode Laboruntersuchung (z. B. EUF, Nmin)
10	Auswertung durch Mittelwert/Median/andere?
11	Verpflichtende Probenahme in mit Nitrat belasteten Gebieten
12	Berücksichtigte räumliche Auflösung
13	Berücksichtigte Kulturarten(-gruppen)
14	Berücksichtigung Vorfrucht? (ja/nein)
15	Weitere Auflösungsfaktoren?
16	Wenn keine aktuellen Nmin-Werte zur Verfügung stehen, dürfen folgende Richtwerte genutzt werden:
17	Zugang zu Nmin-Richtwerten (Link zu Website, Veröffentlichungen, Kontaktpersonen)
18	Link zu Landesdüngeverordnung
19	Weitere Besonderheiten

Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Quantitative Auswertungen

Für die Analyse der behördlichen Nmin-Werte wurden die von den Bundesländern im Rahmen der Berichtserstellung 2025 an die Europäische Kommission (6. Monitoringbericht zur Wirkung der Düngeverordnung auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer) zur Verfügung gestellten Nmin-Richtwerte der Jahre 2018

bis 2022 berücksichtigt. Ein Vergleich zwischen den Bundesländern wurde auf der Grundlage von flächengewichteten, durchschnittlichen Nmin-Werten und differenziert nach Kulturarten (Wintergerste, Winterweizen, Winterraps, Silomais) durchgeführt. Die räumliche Verortung erfolgte anhand der in RAUMIS hinterlegten Flächennutzung auf Gemeindeebene (Agraratlasgemeinden, vgl. Neuenfeldt et al. (2024)). Die Zuweisung zu den entsprechenden Kulturarten erfolgte – sofern die Zuweisung nicht bereits in den Ursprungsdaten vorliegt – gemäß der RAUMIS-Nutzcodes für Ackerkulturen (Zinnbauer et al., 2023).

Der Kruskal-Wallis-Test wurde angewandt, um zu prüfen, ob sich die aufbereiteten Nmin-Richtwerte der vier Ackerkulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Silomais zwischen den Bundesländern signifikant voneinander unterscheiden (Universität Zürich, 2023; Elliott und Hynan, 2011). Dabei wurde untersucht, ob die Verteilungen der Nmin-Richtwerte über alle Jahre hinweg (2018–2022) aus identischen Grundgesamtheiten kommen oder ob die Verteilungen statistisch bedeutsame Unterschiede aufweisen.

2.3 Workshop der UAG-Nmin

Die „UAG-Nmin“ ist als temporäre inhaltliche Arbeitsgruppe des Begleitarbeitskreises in die Umsetzung des Monitorings zur Wirkung der Düngeverordnung eingebunden.

Temporäre inhaltliche Arbeitsgruppen dienen der umfassenden Klärung neuer inhaltlicher Fragestellungen, die während der Umsetzung des Monitoringsystems auf Basis fachlicher Analysen zeitnah bearbeitet werden sollen (BMEL und BMU, 2021). Hierzu werden themenspezifische Arbeitsgruppen eingerichtet, deren Zusammensetzung entsprechend der inhaltlichen Fragestellung erfolgt. Der zeitliche Bestand dieser Arbeitsgruppen ist beschränkt. Ihre Aufgabe besteht darin, abgegrenzte Konzepte oder Lösungsvorschläge für entsprechende inhaltliche Fragestellungen zu entwickeln und diese der Projektgruppe und dem Begleitarbeitskreis zur Diskussion zu stellen.

Die UAG-Nmin ist die dritte einberufene temporäre inhaltliche Arbeitsgruppe zur Umsetzung des Wirkungsmonitorings, neben zwei bereits abgeschlossenen Arbeitsgruppen im Bereich „Landwirtschaft“ und „Hydrologie“. Die Einladung zur Teilnahme richtete sich an die Mitglieder des Begleitarbeitskreises mit der Bitte, die Einladung auch an die entsprechenden Nmin-Expertinnen und -Experten der Bundesländer weiterzuleiten. Der Workshop, an dem die Auswertung der Fragebögen und die quantitativen Auswertungen vorgestellt und diskutiert wurden, fand am Vormittag des 06.02.2025 statt. Insgesamt nahmen 35 Personen teil. Neben der anschließenden Zirkulation der Arbeitsmaterialien sowie eines Kurzprotokolls wurde die Verschriftlichung der Workshop-Ergebnisse unter Federführung des Thünen-Instituts vereinbart.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertungen der Fragebögen

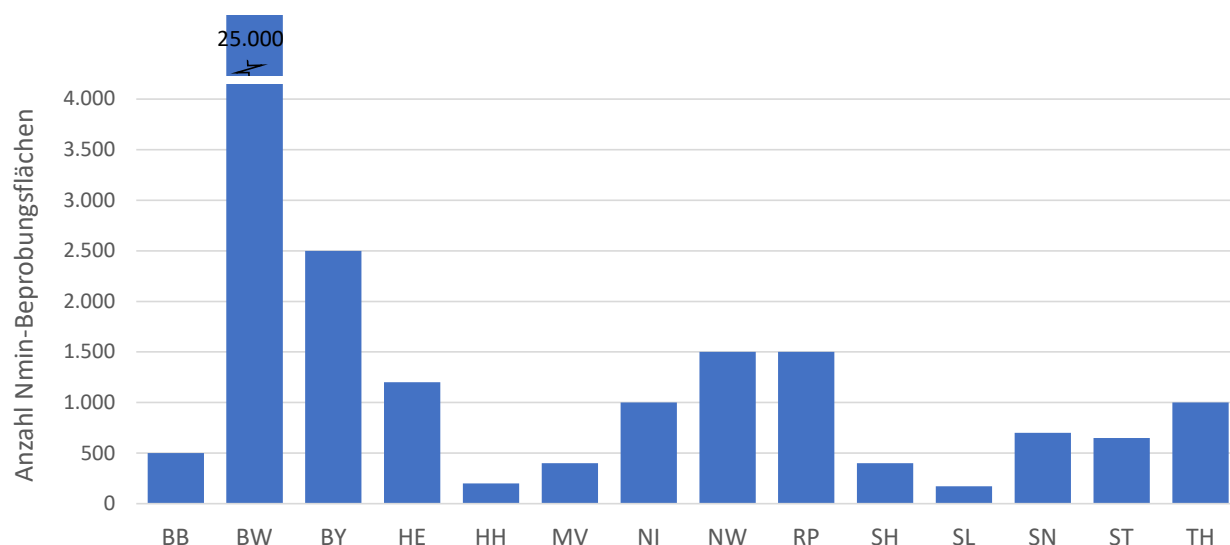
Die Rücklaufquote der ausgefüllten Fragebögen der Bundesländer beträgt 100 %. In einigen Bundesländern liegen keine Informationen bzw. Auswertungen zu einzelnen Teilfragestellungen vor (zum Beispiel zu Beprobungsflächen in Stadtstaaten), daher variiert der Stichprobenumfang in den nachfolgenden Auswertungen stellenweise geringfügig.

3.1.1 Beprobungsflächen

Die mittlere Anzahl der Nmin-Beprobungsflächen, die für die jährliche Beprobung und anschließende Berechnung der Nmin-Richtwerte berücksichtigt werden, variiert stark zwischen den Bundesländern. Die meisten Einzelflächen werden mit Abstand in Baden-Württemberg ($n = 25.000$) und in Bayern ($n = 2.500$) beprobt, die wenigsten im Saarland ($n = 170$) sowie in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern (beide $n = 400$) (siehe Abbildung 1). Bezogen auf die in den Bundesländern in unterschiedlicher Höhe vorkommende landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) wird am kleinräumigsten in Baden-Württemberg (rund 65 Hektar pro Beprobungsfläche), und am weiträumigsten in Mecklenburg-Vorpommern (3.667 ha/Beprobung) und Brandenburg (2.845 ha/Beprobung) beprobt.

Die Anzahl der Einstiche je Probe ist weitestgehend einheitlich und bewegt sich zwischen zehn Einstichen (Minimum) und „20–30“ Einstichen (Maximum) je Probe (Mittelwert: 17, Median: 16).

Abbildung 1: Anzahl der Nmin-Beprobungsflächen im Frühjahr je Bundesland und Jahr



Quelle: Eigene Befragung.

3.1.2 Beprobungszeitraum

Der Beprobungszeitraum der Nmin-Flächen liegt in der Regel zwischen Januar und März. In zwei Bundesländern (Nordrhein-Westfalen und Hessen) wird von Januar bis April beprobt. In Mecklenburg-Vorpommern werden Beprobungen vor allem im Januar und Februar durchgeführt, kulturspezifisch auch bis Mai (bspw. Spargel). In Baden-Württemberg wird ebenfalls kulturspezifisch beprobt und zwar bis Juni (bspw. Mais: 15.03. bis 30.06.),

wobei Nmin-Proben für die meisten Kulturen zwischen Februar und April (Wintergetreide: 01.02 bis 30.04; Sommerungen: 15.02. bis 30.04.) gezogen werden.

3.1.3 Ermittlung der dritten Tiefenstufe (Nmin 60–90 cm)

Die Ermittlung des Nmin-Wertes eines Standorts erfolgt über die Beprobung von drei Tiefenstufen (0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm) und anschließende Addition zu einem Summenwert. Der Nmin-Wert 0–90 cm liefert als Summenparameter Informationen über die verfügbare Stickstoffmenge im Boden in einer Tiefe zwischen 0 und 90 cm (VDLUFA, 2002).

Bestimmungen auf Grundlage von bodenklimatischen Gegebenheiten, die eine Abkehr dieser Vorgehensweise ermöglichen, variieren in den Bundesländern und sind in den Landesdüngeverordnungen und den damit einhergehenden Ausführungsanweisungen dokumentiert. Dazu zählen unter anderem Ausnahmen bei der Ermittlung des Nmin-Wertes bei Flachgründigkeit (z. B. in Niedersachsen) oder in Trockengebieten (z. B. in Sachsen, Thüringen). Kulturspezifische Ausnahmen (insbesondere bei Gemüsekulturen) sind in Anlage 4 DüV geregelt. Weitere Ausführungen hierzu sind in Kapitel 3.1.4 zu finden.

Zudem wird in einigen Bundesländern anerkannt, dass neben den Probenahmen in der ersten Tiefenstufe (0–30 cm) und in der zweiten Tiefenstufe (30–60 cm) eine Berechnung der dritten Tiefenstufe (60–90 cm) gemäß nachfolgender Formeln erfolgen darf, sofern keine Messwerte vorliegen:

Baden-Württemberg:

$$Nmin_{60-90} = Nmin_{30-60} \times 0,8 \quad (\text{Formel 1})$$

Bayern:

$$Nmin_{60-90} = (Nmin_{0-30} + Nmin_{30-60}) \times 0,35 \quad (\text{Formel 2})$$

Brandenburg:

$$Nmin_{60-90} = Ackerzahl \times 0,15 - \left(\frac{Nmin_{0-30}}{Nmin_{30-60}} \right) + Nmin_{30-60} \times 0,7 - \text{Feinanteil} \times 0,3 + 8 \quad (\text{Formel 3})$$

Hessen:

$$Nmin_{60-90} = Ackerzahl \times 0,1245 - \left(\frac{Nmin_{0-30}}{Nmin_{30-60}} \right) \times 0,9736 + Nmin_{30-60} \times 0,6832 - \text{Bodenartzahl} \times 0,3186 + 6,96 \quad (\text{Formel 4})$$

Sachsen:

$$Nmin_{60-90} = Ackerzahl \times 0,15 - \left(\frac{Nmin_{0-30}}{Nmin_{30-60}} \right) + Nmin_{30-60} \times 0,7 - \text{Feinanteil} \times 0,3 + 8 \quad (\text{Formel 5})$$

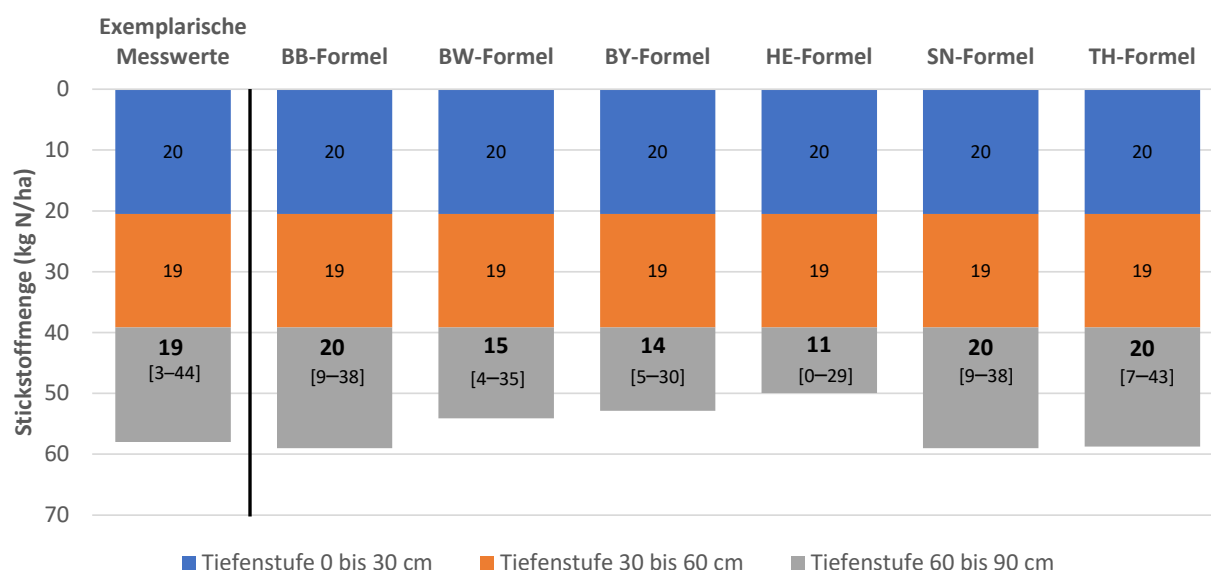
Thüringen:

$$Nmin_{60-90} = (Nmin_{0-30} + Nmin_{30-60}) \times 0,5 \quad (\text{Formel 6})$$

Der Vergleich der Berechnungsformeln der sechs Bundesländer, die ein Berechnungsverfahren für die dritte Tiefenstufe zur Verfügung stellen, zeigt systematische Unterschiede. In drei Bundesländern wurde ausschließlich Bezug auf die Stickstoffmenge der ersten Tiefenstufe (Baden-Württemberg) bzw. der ersten beiden Tiefenstufen (Bayern, Thüringen) genommen. In den drei weiteren Bundesländern wird zusätzlich die Ackerzahl sowie der Feinanteil des Bodens (Brandenburg, Sachsen) oder die Bodenartzahl (Hessen) berücksichtigt.

In einem Rechenbeispiel werden die unterschiedlichen Berechnungsverfahren anhand einer fünfjährigen Messreihe zwischen 2018 und 2022 mit drei Tiefenstufen und mit einem Stichprobenumfang in Höhe von $n = 215$ angewandt und die ermittelte pflanzenverfügbare Stickstoffmenge in der dritten Tiefenstufe quantifiziert (siehe Abbildung 2). Für zusätzlich relevante Informationen, die nicht im Datensatz enthalten sind, werden vereinfachende Annahmen getroffen, die gleichermaßen für alle Berechnungsverfahren gelten, sofern relevant (Ackerzahl = 40, Bodenartzahl = 40, Feinanteil = 20 %).

Abbildung 2: Vergleich der Berechnungsverfahren zur Ermittlung der dritten Tiefenstufe (grau) bei der Ermittlung des Frühjahrs-Nmin-Wertes mit einer fünfjährigen Messreihe zwischen 2018 und 2023 ($n = 215$)



Bei den Werten der ersten Tiefenstufe (blau) und der zweiten Tiefenstufe (orange) handelt es sich um reale Messdaten, die für alle Bundesländer exemplarisch angenommen werden. Eckige Klammern beinhalten Minimum- und Maximumwerte der berechneten dritten Tiefenstufe (grau) aller Standorte.

Anmerkung: Der Vergleich ist für Bayern nur bedingt übertragbar, da die dort verwendete Messmethode für Nmin-Werte der ersten und zweiten Tiefenstufe abweicht und somit bereits im Mittel der Standorte und der Jahre höhere Nmin-Werte in der ersten und zweiten Tiefenstufe ermittelt werden (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 4).

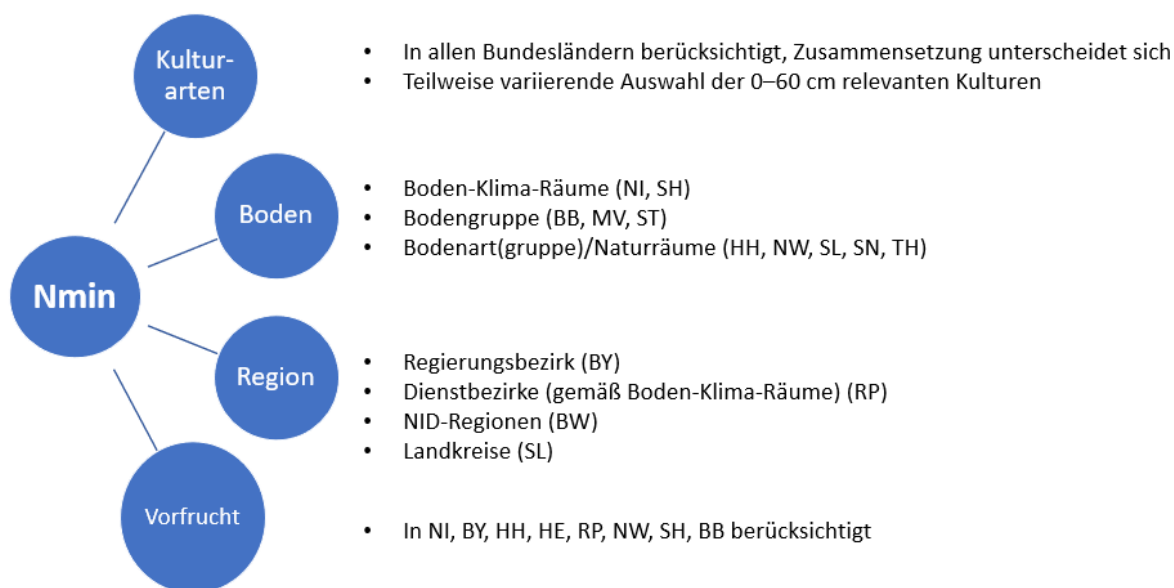
Quelle: Eigene Berechnungen.

Die Ergebnisse zeigen die Größenordnung der berechneten dritten Tiefenstufe anhand unterschiedlicher Berechnungsverfahren im Vergleich untereinander und zu einer fünfjährigen Messreihe. Insgesamt liegen die resultierenden Mittelwerte nah am Mittelwert der gemessenen Werte, dies gilt insbesondere für Brandenburg, Thüringen und Sachsen. Die größte Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Mittelwert liegt in Hessen. Aufgrund unterschiedlicher bodenklimatischer Bedingungen in den Bundesländern und vereinfachender Annahmen bei der Berechnung in der vorliegenden Auswertung sollen die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse insbesondere als Hilfestellung zur Illustration der in den Formeln 1 bis 6 aufgezeigten mathematischen Unterschiede dienen.

3.1.4 Auflösungsfaktoren

Die Nmin-Richtwerte werden nach unterschiedlichen Kategorien differenziert und ausgewiesen („Auflösungsfaktoren“). Auf Grundlage der beantworteten Fragebögen können diese Auflösungsfaktoren in vier Unterkategorien zusammengefasst werden. Diese Einteilung erfolgt 1) nach Kulturarten bzw. Kulturartengruppe (*Kulturarten*), 2) nach Vorherrschenden bodenklimatischer Merkmale (*Boden*), 3) nach regionaler Einteilung (*Region*), sowie 4) nach zu berücksichtigender Vorfrucht (*Vorfrucht*). Eine Zusammenfassung der Unterkategorien und bundeslandspezifischer Auflösungsfaktoren ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Übersicht länderspezifischer Auflösungsfaktoren der behördlichen Frühjahrs-Nmin-Werte



Quelle: Eigene Darstellung.

Insgesamt zeigt sich bei der Gegenüberstellung der bundeslandspezifischen Auflösungsfaktoren ein heterogenes Gesamtbild.

Die Ausweisung der behördlichen Nmin-Richtwerte im Frühjahr erfolgt in allen Bundesländern kulturartenspezifisch bzw. differenziert nach Kulturartengruppen (z. B. Wintergetreide, Sommerung). Unterschiede zeigen sich dabei insbesondere in der Aggregation der Gruppen („Detailgrad“) und in der Zusammensetzung der entsprechenden Kulturarten. Darüber hinaus variiert länderspezifisch die Auswahl jener Kulturen, bei denen ausschließlich die Bodenschicht von 0–60 cm zur Berücksichtigung der Nmin-Richtwerte herangezogen wird. Die Hälfte aller Bundesländer hat darauf hingewiesen, dass die Kultivierung einer Vorfrucht bei Bereitstellung von Nmin-Richtwerten als weiterer zu differenzierender Auflösungsfaktor berücksichtigt wird.

Bodenklimatische Merkmale werden von der Mehrheit der Bundesländer bei der Ausweisung behördlicher Nmin-Werte herangezogen. Dabei werden unterschiedliche Bezugsgrößen herangezogen, wie die Boden-Klima-Räume, Bodengruppen oder Bodenart(-gruppen) und Naturräume. In einigen Bundesländern gelten darüber hinaus ergänzende Regelungen, die bodenklimatische Merkmale berücksichtigen und bei der Anwendung des Nmin-Wertes im Rahmen der Düngebedarfsermittlung im Frühjahr angerechnet werden können. Dazu zählen u. a. die Flachgründigkeit (z. B. Niedersachsen), der Steinanteil (z. B. Thüringen, Sachsen) oder trockene Gebiete gemäß Boden-Klima-Raum (z. B. Thüringen, Sachsen).

Eine regionale Abgrenzung erfolgt oftmals entsprechend verwaltungsrechtlicher Grenzen (Landkreise, Dienstbezirke, Regierungsbezirke) sowie integrierter Verfahren auf Basis administrativer und naturräumlicher

Kriterien (bspw. Regionen des Nitratinformationsdienstes in Baden-Württemberg). In Niedersachsen werden mit Boden-Klima-Räumen und Landkreisen sowohl bodenklimatische als auch regional-administrative Kriterien berücksichtigt.

3.2 Quantitative Auswertungen

3.2.1 Bundesebene

In Tabelle 3 sind statistische Kennwerte der flächengewichteten Nmin-Richtwerte auf Gemeindeebene als Mittelwert der Jahre 2018 bis 2022 dargestellt, sodass eine differenzierte Interpretation der Daten unter Berücksichtigung von Lageparametern (Mittelwert und Median), Extremwerten und Standardabweichung ermöglicht wird. Die Medianwerte liegen in einem Wertebereich von 23,3 kg N/ha (Standardabweichung 1,8 kg N/ha) in Mecklenburg-Vorpommern und 57,5 kg N/ha (4,8 kg N/ha) in Bayern. Die höchsten Spannweiten können in Sachsen-Anhalt (19,7–75,3 kg N/ha) und Thüringen (18,4–72,9) beobachtet werden, die geringsten Spannweiten im Saarland (23,9–34,5 kg N/ha) und in Nordrhein-Westfalen (24,1–42,6).

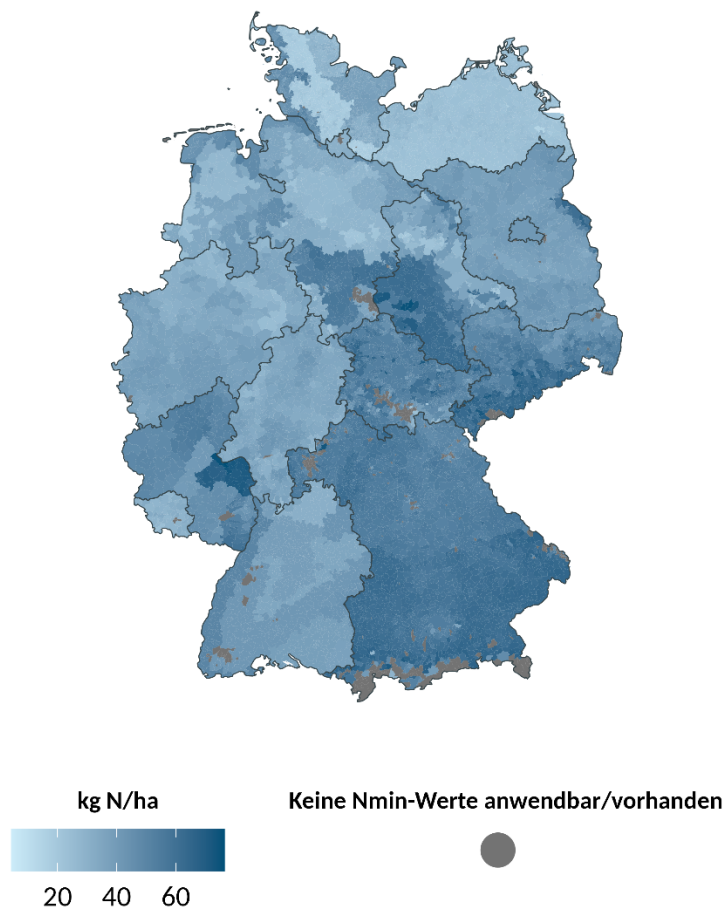
Tabelle 3: Statistische Kennwerte der auf Gemeindeebene flächengewichteten durchschnittlichen Frühjahr-Nmin-Werte der Jahre 2018–2022 in Deutschland

Bundesland	Mittelwert (kg N/ha)	Median (kg N/ha)	Min– Max (kg N/ha)	Standardabweichung (kg N/ha)
Schleswig-Holstein	29,8	29,6	13,1–67,1	10,2
Niedersachsen	38,4	34,6	20,6–62,4	10,7
Nordrhein-Westfalen	35,6	36,4	24,1–42,6	3,9
Hessen	35,9	35,7	21,8–44,6	3,5
Rheinland-Pfalz	52,3	50,0	39,9–76,4	8,7
Baden-Württemberg	40,6	39,0	31–50,2	4,9
Bayern	57,6	57,5	28,3–73,5	4,8
Saarland	30,0	29,9	23,9–34,5	2,0
Brandenburg	40,8	39,8	32,5–66,5	5,1
Mecklenburg-Vorpommern	23,5	23,3	4,5–30,9	1,8
Sachsen	54,9	54,5	36,2–72,9	7,7
Sachsen-Anhalt	49,9	56,6	19,7–75,3	14,7
Thüringen	53,4	53,3	18,4–72,9	6,7
Deutschland	43,5	42,0	4,5 – 76,4	13,6

Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 4 stellt diese aufbereiteten, flächengewichteten Nmin-Richtwerte kartografisch dar. Für Gemeinden, in denen keine zu beprobenden Ackerflächen vorhanden sind (z. B. Futterbau, Grünlandregionen), sind keine Werte ausgewiesen. Innerhalb der Bundesländer spiegelt die Heterogenität der Nmin-Werte die räumliche Auflösung der bereitgestellten Nmin-Richtwerte wider (z. B. Boden-Klima-Räume in Schleswig-Holstein und Landkreisebene in Rheinland-Pfalz). Die systematischen Unterschiede in der Höhe der Nmin-Werte zwischen den Bundesländern, die zu Brüchen an den Ländergrenzen führen, werden zusätzlich sichtbar. Besonders deutlich heben sich hier die Grenzen zwischen Baden-Württemberg und Bayern, Hessen und Bayern sowie zwischen Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern hervor.

Abbildung 4: Flächengewichtete durchschnittliche Frühjahrs-Nmin-Werte der Jahre 2018–2022 in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung.

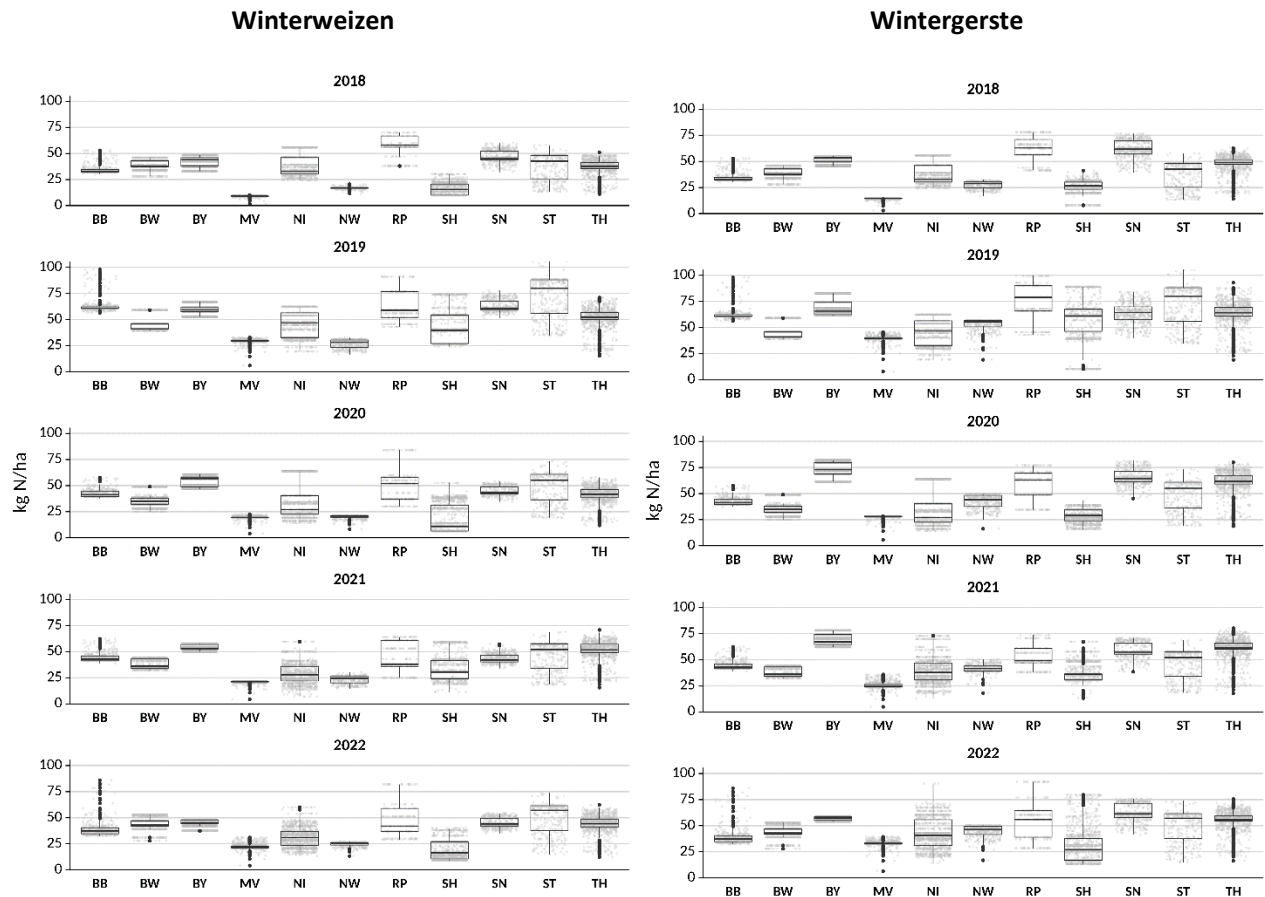
3.2.2 Ausgewählte Kulturarten im zeitlichen Verlauf

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Werteverteilung der aufbereiteten jährlichen Nmin-Richtwerte für Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Silomais in den Bundesländern für die Jahre 2018–2022. Die Nmin-Werte der einzelnen Kulturen zeigen systematische Unterschiede zwischen den Bundesländern. Im Allgemeinen haben Thüringen, Bayern und Rheinland-Pfalz höhere Werte, wohingegen Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen niedrigere Werte aufweisen. Die Interquartilsabstände (unteres Quartil Q1 bis oberes Quartil Q3) variieren stark zwischen den Jahren, Kulturarten und Bundesländern. Tendenziell sind diese Abstände in Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz sowie in Schleswig-Holstein und Niedersachsen größer als in anderen Bundesländern. Die zugrunde liegenden Daten sind zusätzlich als eigenständige Datenpublikation verfügbar (vgl. Löw et al., 2026).

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den aufbereiteten Nmin-Richtwerten der Bundesländer für alle untersuchten Ackerkulturen (je $p < 0.05$), sodass die Nullhypothese gleicher Verteilungen verworfen werden kann. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die aufbereiteten Nmin-Richtwerte statistisch belastbare Unterschiede zwischen den Bundesländern aufweisen. Auch der anschließende paarweise Vergleich zwischen den einzelnen Bundesländern zeigt, dass sich nahezu alle Kombinationen aus untersuchter Ackerkultur (Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silomais) und Bundesland signifikant unterscheiden – wie beispielweise für die jeweilige Ackerkultur sowie zwischen Baden-Württemberg und Bayern, Schleswig-Holstein

und Niedersachsen oder Thüringen und Sachsen (je $p < 0.05$). Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen den einzelnen Bundesländern ist dem Anhang zu entnehmen (siehe Anhang Tabelle A1 bis Tabelle A4).

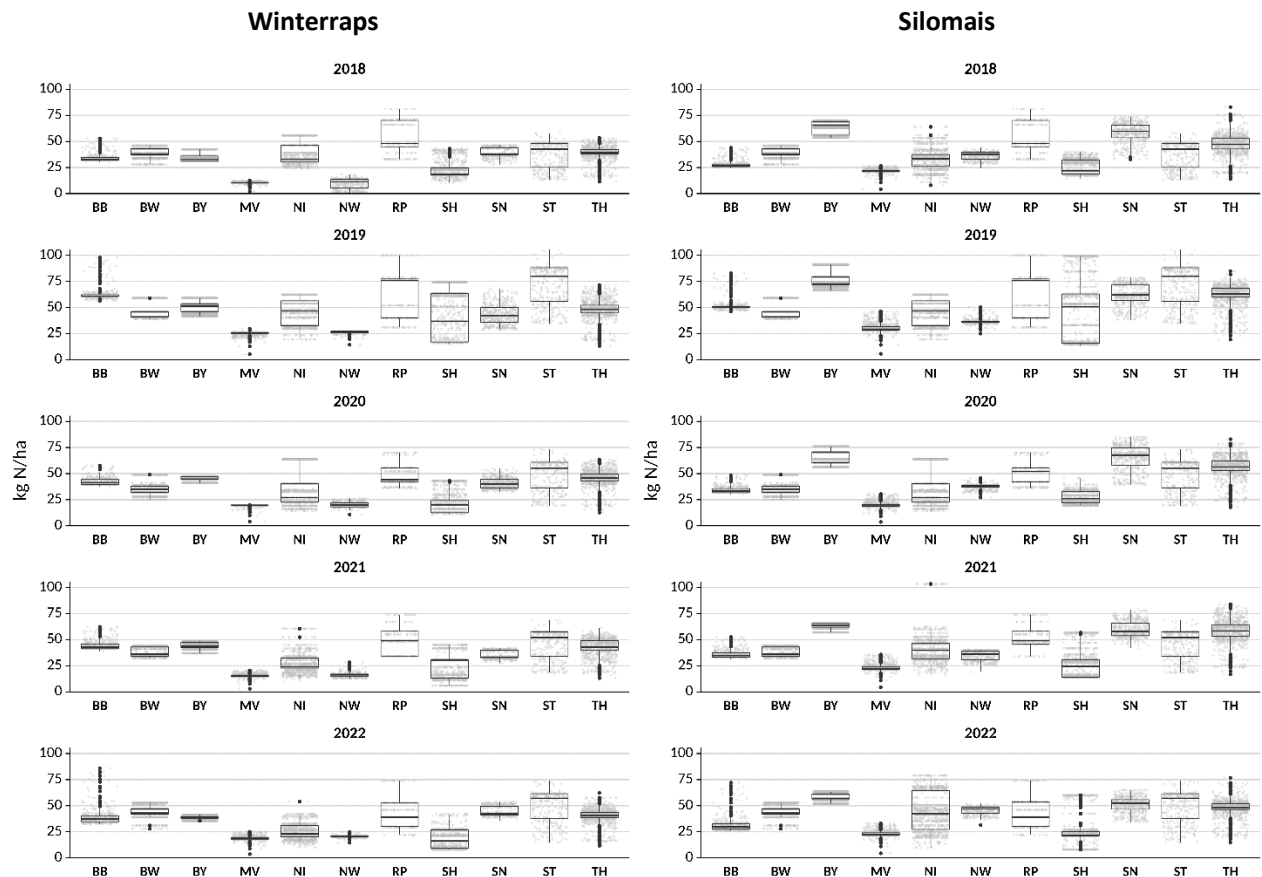
Abbildung 5: Frühjahrs-Nmin-Werte für Winterweizen (links) und Wintergerste (rechts) im Ländervergleich für Einzeljahre zwischen 2018 und 2022



Anmerkung: Für die Stadtstaaten lagen für diese Auswertung keine Nmin-Richtwerte vor. Die Bundesländer HE und SL wurden nicht mit aufgenommen, da hier stellenweise für das gesamte Bundesland und alle Kulturen nur ein einziger Nmin-Richtwert angegeben war.

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6: Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterraps (links) und Silomais (rechts) im Ländervergleich für Einzeljahre zwischen 2018 und 2022

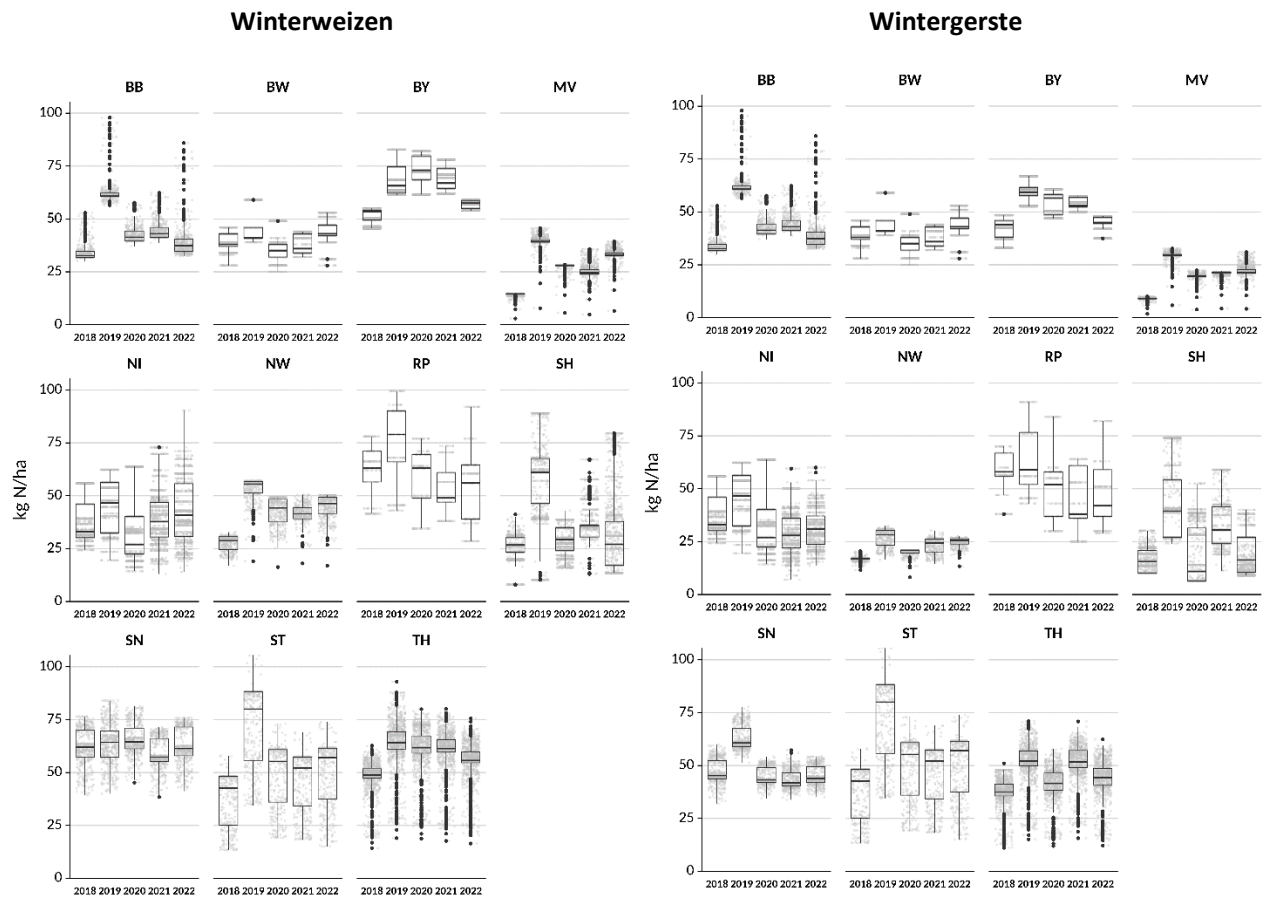


Anmerkung: Für die Stadtstaaten lagen für diese Auswertung keine Nmin-Richtwerte vor. Die Bundesländer HE und SL wurden nicht mit aufgenommen, da hier stellenweise für das gesamte Bundesland und alle Kulturen nur ein einziger Nmin-Richtwert angegeben war.

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die Werteverteilung der aufbereiteten, flächengewichteten Nmin-Richtwerte in den Bundesländern im jährlichen Verlauf für Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Silomais in den Bundesländern für die Jahre 2018 bis 2022. Innerhalb eines Bundeslandes können die Nmin-Werte zwischen den Jahren erheblich variieren. Dabei unterscheiden sich die Bundesländer stark. Die Standardabweichung liegt in Sachsen-Anhalt für Winterweizen bei 12,7 kg N/ha, wohingegen sie in Sachsen nur 2,5 kg N/ha beträgt. Auffällig hoch und mit großen Interquartilsabständen sind die Nmin-Werte in fast allen Bundesländern im Jahr 2019, was zum großen Teil auf das Trockenjahr 2018 zurückzuführen ist. Hier lagen die Erträge und damit die N-Abfuhr deutlich unter dem erwarteten Ertragsniveau und somit auch unter dem langjährigen Durchschnitt, wodurch viel des zugeführten Stickstoffs ungenutzt in den Böden verblieb.

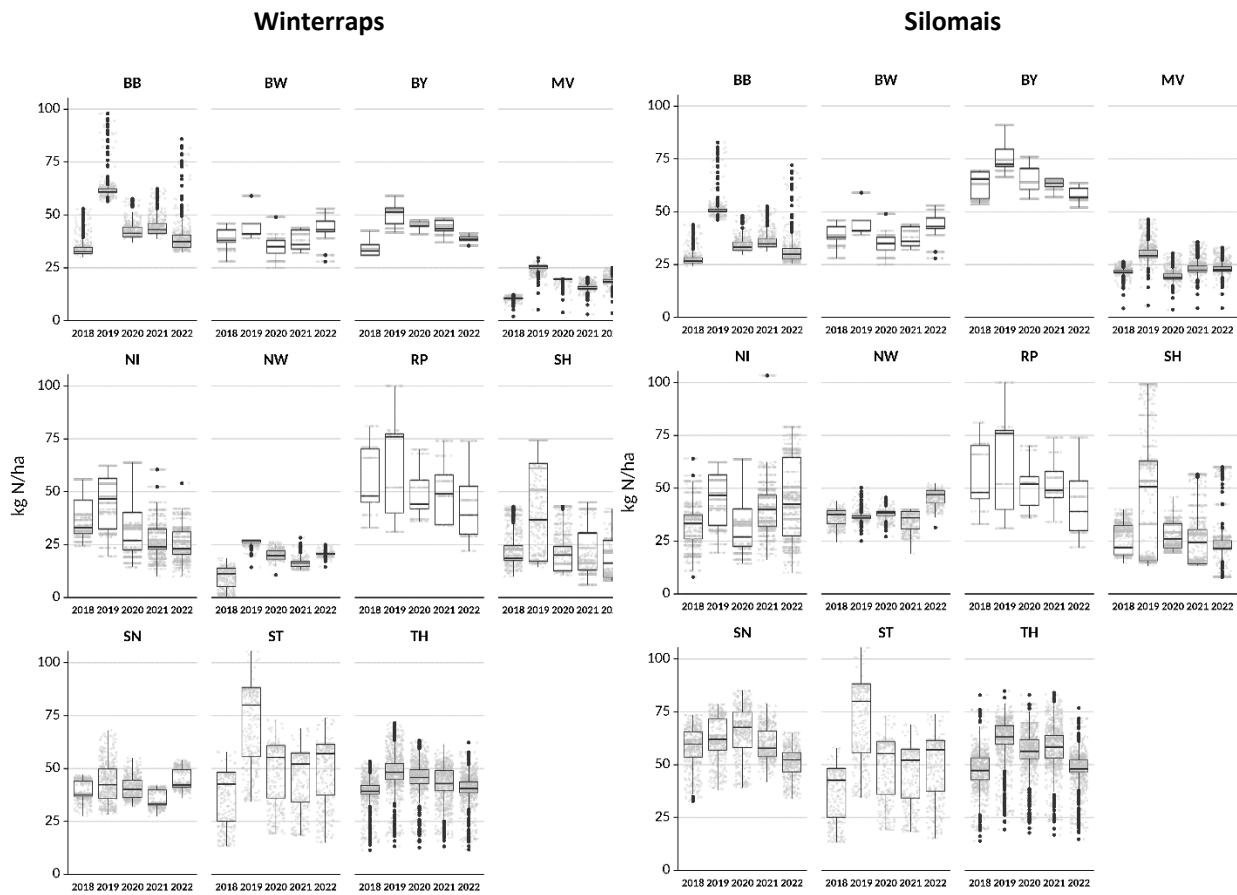
Abbildung 7: Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterweizen (links) und Wintergerste (rechts) im zeitlichen Verlauf in den Bundesländern für die Einzeljahre 2018 bis 2022



Anmerkung: Für die Stadtstaaten lagen für diese Auswertung keine Nmin-Richtwerte vor. Die Bundesländer HE und SL wurden nicht mit aufgenommen, da hier stellenweise für das gesamte Bundesland und alle Kulturen nur ein einziger Nmin-Richtwert angegeben war.

Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 8: Flächengewichtete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte für Winterraps (links) und Silomais (rechts) im zeitlichen Verlauf in den Bundesländern für die Einzeljahre 2018 bis 2022



Anmerkung: Für die Stadtstaaten lagen für diese Auswertung keine Nmin-Richtwerte vor. Die Bundesländer HE und SL wurden nicht mit aufgenommen, da hier stellenweise für das gesamte Bundesland und alle Kulturen nur ein einziger Nmin-Richtwert angegeben war.

Quelle: Eigene Darstellung.

4 Modellbasierte Ansätze als Alternative zu flächendeckenden Probenahmen

Die Auswertung der Fragebögen zeigte auch, dass bereits alternative, modellgestützte Verfahren zur Ermittlung und Bereitstellung von Frühjahrs-Nmin-Werten in einzelnen Bundesländern zur Anwendung kommen. Diese Ansätze verfolgen das Ziel, auf Grundlage von rechnerischen Verfahren unter Berücksichtigung von Standortfaktoren möglichst kleinräumig Frühjahrs-Nmin-Werte zu schätzen und diese frühzeitig (vor Vegetationsbeginn) der praktizierenden Landwirtschaft als Richtwerte zur Verfügung zu stellen. Die verschiedenen Verfahren werden nachfolgend näher erläutert. Weiterführende Publikationen der zuständigen Landesbehörden befinden sich derzeit ebenfalls in Vorbereitung.

4.1 N-Regressionsmodell der LWK Nordrhein-Westfalen

Problemstellung und Zielsetzung

Jedes Frühjahr werden von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Richtwerte für den mineralischen Stickstoffvorrat im Boden (Nmin) zum Kulturstart der wichtigsten Ackerkulturen und in Abhängigkeit weiterer Faktoren veröffentlicht (Landwirtschaftskammer NRW, 2025a).

Als fachlich sinnvolle Aufteilung in Einflussgrößen, die gleichzeitig tabellarisch darstellbar sind, haben sich drei Faktoren etabliert:

- Hauptfrucht
 - Winterweizen, Wintertriticale, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps (Winterungen)
 - Rüben, Sommergetreide (frühe Sommerungen)
 - Mais, Kartoffeln (späte Sommerungen)
- Vorfrucht
 - Abfrierende Zwischenfrüchte, winterharte Zwischenfrüchte, Halmfrüchte, Blattfrüchte
- Bodentyp
 - Leichter Boden (S, IS, sU), mittlerer Boden (ssl, IU, sL, uL, L), schwerer Boden (utL, tL, T)

Die Richtwerte sollen möglichst repräsentativ eine Frühjahrs-Nmin-Beprobung zum Vegetationsstart der jeweiligen Kultur abbilden, bei der mehrere Kombinationen relevanter Einflussgrößen berücksichtigt werden. Eine Bodenprobe sollte nach guter fachlicher Praxis frühestens vier Wochen vor Vegetationsstart erfolgen, folglich sollte auch ein Nmin-Richtwert diesen Zeitraum abdecken. In der Vergangenheit wurden Richtwerte auf Basis von aktuellen Probeneingängen berechnet, das führte jedoch zu einem Zielkonflikt: Für einen guten Richtwert wird eine ausreichend große Stichprobenzahl benötigt – gleichzeitig sollten die Richtwerte für die ackerbaulichen Betriebe möglichst rechtzeitig für anstehende Düngeplanungen und Düngungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Ein Abwarten bis zum Ende des Frühjahrs, um die erforderliche Probenzahl zu erreichen, ist somit oftmals nicht möglich, da zu diesem Zeitpunkt bereits Düngungsmaßnahmen erforderlich waren. Dadurch musste bisher bei weniger verbreiteten Kulturarten häufig auf eine Differenzierung nach weiteren Faktoren verzichtet werden oder auf Richtwerte ähnlicher Kulturen ausgewichen werden.

Weiter ist die zeitliche Verzögerung der Richtwerte-Proben zur praxisüblichen Nmin-Beprobung ein Problem. Mit Blick auf Flächen, die gegen Ende des Haupt-Probenahme-Zeitraums Ende Mai beprobt werden, würde ein Richtwert auf Basis von Messungen von Februar und März die bis Ende Mai geschehene Mineralisierung unterschätzen.

Zusammengefasst sollte ein guter Richtwert folgende Kriterien erfüllen:

- I. Hohe Repräsentativität für reale, praxisübliche Bodenproben im Hauptzeitraum der Frühjahrsbeprobung
- II. Berücksichtigung von kultur- und standortspezifischen Einflussgrößen
- III. Frühzeitige Verfügbarkeit für die landwirtschaftlichen Betriebe

Zur Auflösung des beschriebenen Zielkonflikts bei der Herausgabe von Richtwerten wird im Folgenden die Schätzung mit einem Regressionsansatz beschrieben. Dabei werden durch die Auswertung von zurückliegenden Nmin-Messwerten sowie von Witterungsdaten Zusammenhänge und Trends in einem linearen Modell zusammengefasst. Anschließend dient das Modell als Schätzfunktion, um anhand der Wetterereignisse der zurückliegenden Monate eine Prognose für das zu erwartende Nmin-Niveau zu erstellen.

Datengrundlage

Anonymisierte und jährlich aktualisierte Nmin-Messwerte ab 2010 der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen (LUFA NRW) bilden die Datengrundlage – und damit dieselbe Datengrundlage wie für die Webanwendung „NminNRW“ (Landwirtschaftskammer NRW, 2025b).

Die Webanwendung „NminNRW“ liefert eine weitere Möglichkeit, um in Nordrhein-Westfalen offizielle Nmin-Richtwerte zu erhalten. Hier werden Mittelwerte über die anfangs beschriebenen Einflussfaktoren und darüber hinaus auf regionaler Ebene automatisiert aus der Datenbank gebildet. Es wird eine Mindestanzahl an Stichproben in der Datenbank benötigt, damit ein Wert ausgegeben werden kann.

Der Datensatz wird auf die Proben mit vollständigen Angaben zu den oben genannten drei Auflösungsfaktoren bereinigt. Proben, die in einer Tiefenstufe einen Analysewert über 300 kg Nmin-N/ha aufwiesen, wurden als Ausreißer entfernt. Zusätzlich wurden Proben mit mehr als 50 kg Ammonium-N/ha entfernt, da hier ein unmittelbarer Einfluss einer aktuellen Düngemaßnahme angenommen werden kann. Darüber hinaus wird der Median als robuster Lageparameter gegenüber Ausreißern genutzt (siehe Abbildung 9).

In Nordrhein-Westfalen wurden alle Ackerbaukulturen in die drei Gruppen „Winterungen“, „Frühe Sommerungen“ und „Späte Sommerungen“ aufgeteilt. Für jede dieser Gruppen wurde jeweils ein Zeitfenster von zwei Monaten im Jahr mit Expertinnen und Experten abgestimmt, in dem üblicherweise Nmin-Bodenproben gezogen werden. Diese in Tabelle 4 angegebenen *Berechnungszeiträume* unterscheiden sich von den empfohlenen *Probenahmezeiträumen* für die praktizierende Landwirtschaft dadurch, dass sich letztere meist über einen weiteren Zeitraum erstrecken. Beispielsweise schließen diese die Methode der späten Nmin-Beprobung im Mais mit ein (Landwirtschaftskammer NRW, 2025b; LUFA NRW, 2023). Für die jährliche Berechnung bzw. Modellierung von Nmin-Richtwerten mittels Regressionsansatz, welcher die temperaturgetriebene Entwicklung der Nmin-Gehalte im Jahresverlauf unberücksichtigt lässt, wurden somit die nachstehenden, engeren Zeiträume zugrunde gelegt.

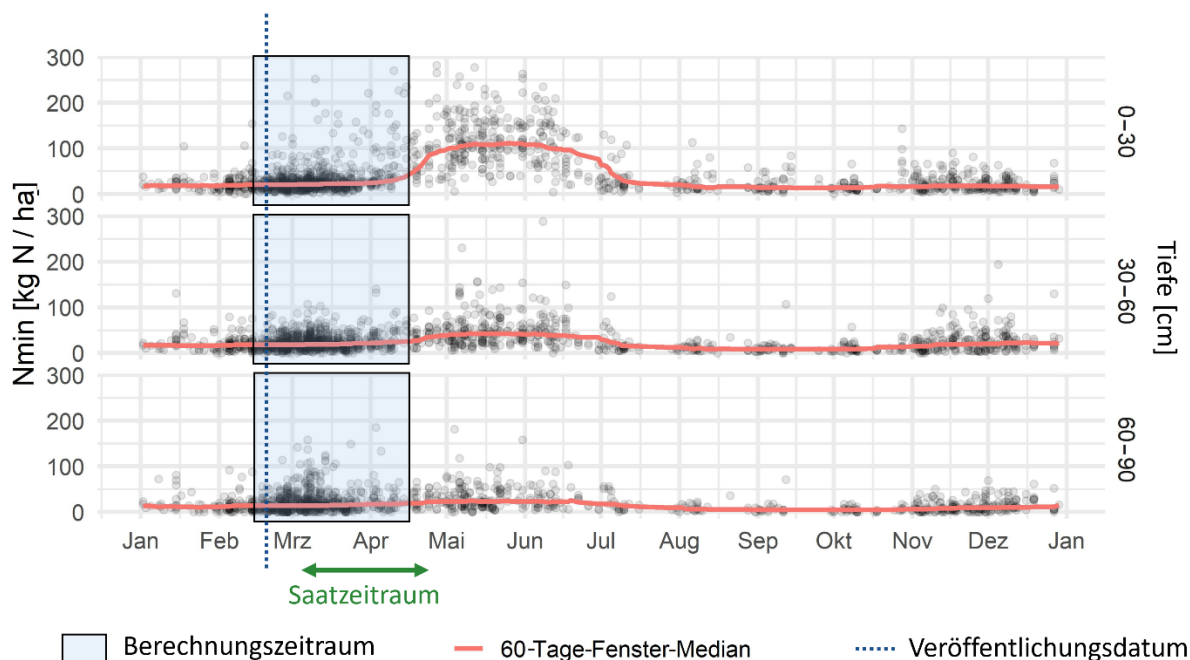
Tabelle 4: Eingruppierung der Kulturgruppen in Berechnungszeiträume

Kulturgruppe	Berechnungszeitraum
Winterungen	15. Januar–15. März
Frühe Sommerungen	15. Februar–15. April
Späte Sommerungen	1. März–1. Mai

Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 9 ist exemplarisch der Jahresverlauf unter Zuckerrüben in mittleren Böden (Bodenart ssl, IU, sL, L) dargestellt, wobei der Zeitraum der Hauptprobenahme deutlich an der dunklen, dichter werdenden Punktwolke zu erkennen ist.

Abbildung 9: Jahresverlauf von Nmin-Gehalten in Bodenproben aus drei Tiefen in Zuckerrüben auf mittleren Böden in NRW



Anmerkung: Daten von 2010 bis 2024 sind hier übereinandergelegt.

Quelle: Eigene Darstellung.

Beschreibung des Regressionsmodells

Das verwendete Regressionsmodell verknüpft Nmin-Messungen (N) als Serie seit 2010 als abhängige Variable mit den Faktoren Hauptfrucht (H), Vorfrucht Gruppe (V), Bodenart Gruppe (B) sowie Tiefe (T) als unabhängige, kategoriale Variablen. Jeder Faktor steht zudem in Interaktion mit der Bodentiefe, sodass für jede Bodenschicht jeder Faktor separat geschätzt wird. Ansonsten werden keine Interaktionen berücksichtigt, sondern jeweils nur Haupteffekte geschätzt. In vereinfachter Modellschreibweise nach Piepho et al. (2003) ergibt sich folgende Gleichung:

$$N = T + T \times H + T \times V + T \times B \quad (\text{Formel 7})$$

Um zwischen den Jahren differenzieren zu können, wurden Wetterdaten aus den Wintermonaten des vorangegangenen Jahres verwendet, da diese zum Zeitpunkt der jährlichen Berechnung bereits vorliegen. Genutzt werden dazu Stationsmesswerte vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und das R-paket `rdwd` (Software R 4.3.2) (Boessenkool, 2025; Deutscher Wetterdienst, 2024). Bei dem Vergleich unterschiedlicher Modelle durch jahresweise Kreuzvalidierung stellten sich die Niederschlagssumme der vergangenen fünf Monate ($RS5$) sowie die Temperatursumme der vergangenen drei Monate ($TMK3$) vor dem Start des Berechnungszeitraumes als beste Variablen hinsichtlich der Bewertung mittels Kreuzvalidierung dar (vgl. Absatz zur Qualitätssicherung). Die Zuordnung der Witterungsdaten zu den Nmin-Messwerten geschah auf Ebene der Postleitzahl, der nach der Anonymisierung der Daten kleinsten verfügbaren Zuordnungsmöglichkeit. Daraus ergibt sich dann das Modell:

$$N = T + T \times H + T \times V + T \times B + RS5 + T \times TMK3 \quad (\text{Formel 8})$$

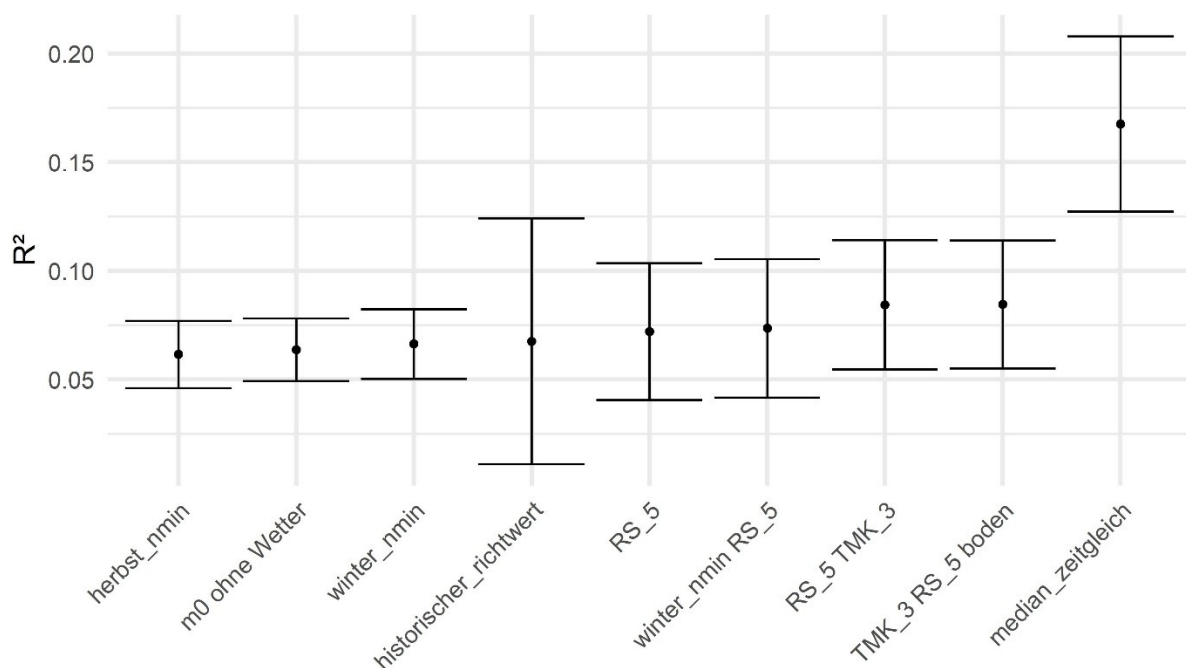
Eine Besonderheit bei Nmin in ackerbaulich genutzten Böden ist, dass die Werte aus einem Zeitraum rechtsschief verteilt sind, wie auch in Abbildung 9 erkennbar ist (van den Broek und Lorenz, 2024). Die Masse an Beobachtungen liegt im Frühjahr zwischen 0 und 50 kg N je Hektar und nur ein kleiner Teil geht darüber hinaus – einige wenige Messwerte liegen auch über 200 kg. Bei einer herkömmlichen Regression über die Methode der kleinsten Quadrate würden so die seltenen hohen Messwerte großen Einfluss auf das Modell ausüben. Als Lösung wurde daher die Quantils-Regression zum 0.5-Quantil verwendet – an die Stelle des arithmetischen Mittels tritt hier der Median, bei dem 50 % der Beobachtungen unterhalb, 50 % oberhalb liegen.

Weiter sind keine negativen Nmin-Werte möglich, auch das sollte ein Modell abbilden können. Durch eine Wurzeltransformation der Daten wird neben einer Varianzstabilisierung auch ein positiver Modelloutput nach der Rücktransformation gewährleistet.

Qualitätssicherung

Die vorab definierten Kriterien für einen guten Richtwert lassen sich auch auf Modelle übertragen. Der Schätzwert eines Modells sollte unverzerrt sein – also zuverlässig in der Mitte der (zukünftigen) Beobachtungen liegen. Gleichzeitig sollte er gut zwischen den Eingabevariablen differenzieren können, also viel der existierenden Varianz erklären können. Um das zu überprüfen, wurden im Vorfeld Modellvergleiche durch jahresweise Kreuzvalidierung vorgenommen (Abbildung 10, Darstellung nach Yates et al., (2023)). Zur Quantifizierung der Modellgüte wurde ein R^2 für Quantil-Regression berechnet (Koenker und Machado, 1999). Wichtig zu erwähnen ist dabei, dass immer unabhängige Daten für den Validierungsschritt verwendet wurden – also Daten, die dem Modell noch unbekannt sind.

Abbildung 10: Beispiel für einen durchgeführten Modellvergleich durch jahresweise Kreuzvalidierung für Daten zwischen dem 15.02. und 15.04. der Jahre 2011 bis 2017



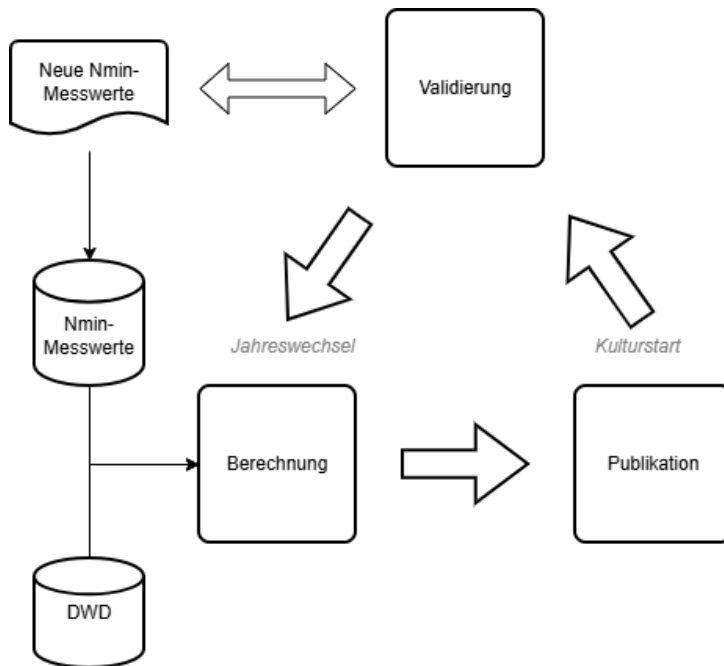
Anmerkung: Auf der X-Achse sind verschiedene Modelle nach ihrer mittleren Modellgüte R^2 geordnet, dazu auch die historischen Richtwerte und der Vergleich zum direkten Median, der nur nach Ende des Berechnungszeitraums möglich wäre.

Quelle: Eigene Darstellung.

Darüber hinaus werden Ende Mai eines jeden Jahres die Nmin-Richtwerte den gemessenen Nmin-Werten gegenübergestellt. Nach der Validierung fließen diese Daten in die Modellanpassung und Berechnung des

nächsten Jahres ein. Die gesamte Prozesskette der Datenaufbereitung, Berechnung, Publikation und Validierung wird mit der Software R (v. 4.3.2) und R-Studio (v. 2023.12.1) durchgeführt und dokumentiert (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: Ablaufskizze für die Berechnung der jährlichen Nmin-Richtwerte



Quelle: Eigene Darstellung.

Diskussion

An den Ergebnissen in Abbildung 10 lässt sich zeigen, dass das Modell „m0 ohne Wetter“, das nicht zwischen den Jahren differenziert, relativ schlecht bewertet wird. Bei der Bewertung der in der Vergangenheit veröffentlichten Richtwerte auf Basis von aktuellen Messwerten („historischer_richtwert“) ist eine hohe Streuung in der Bewertung zu sehen – in manchen Jahren passte der Richtwert besser zu den Validierungsdaten als in anderen. Am Modell „median_zeitgleich“, dem berechneten Median aus den Validierungsdaten, sind die Grenzen der aktuellen Richtwerte-Tabelle für die drei Faktoren Bodenart, Vorfrucht und Hauptkultur zu sehen. Selbst bei einem „perfekten“ Richtwert in dieser Tabelle würde dieser nur ca. 15 % der Varianz zuverlässig in den Validierungsdaten erklären können. Das stellt auch eine Obergrenze für mögliche Modelle dar, die diese Richtwerte-Tabelle berechnen.

Das Einbinden von weiteren Variablen, um mehr Varianz erklären zu können, z. B. mithilfe weiterer Wetterdaten, birgt außerdem die Gefahr, vermehrt zufällige Scheinkausalitäten abzubilden, die sich nicht auf andere Jahre übertragen lassen. Dieser Konflikt, auch als „Bias-Variance-Tradeoff“ bekannt, wird ebenfalls mit der Kreuzvalidierung untersucht (Friedman et al., 2009).

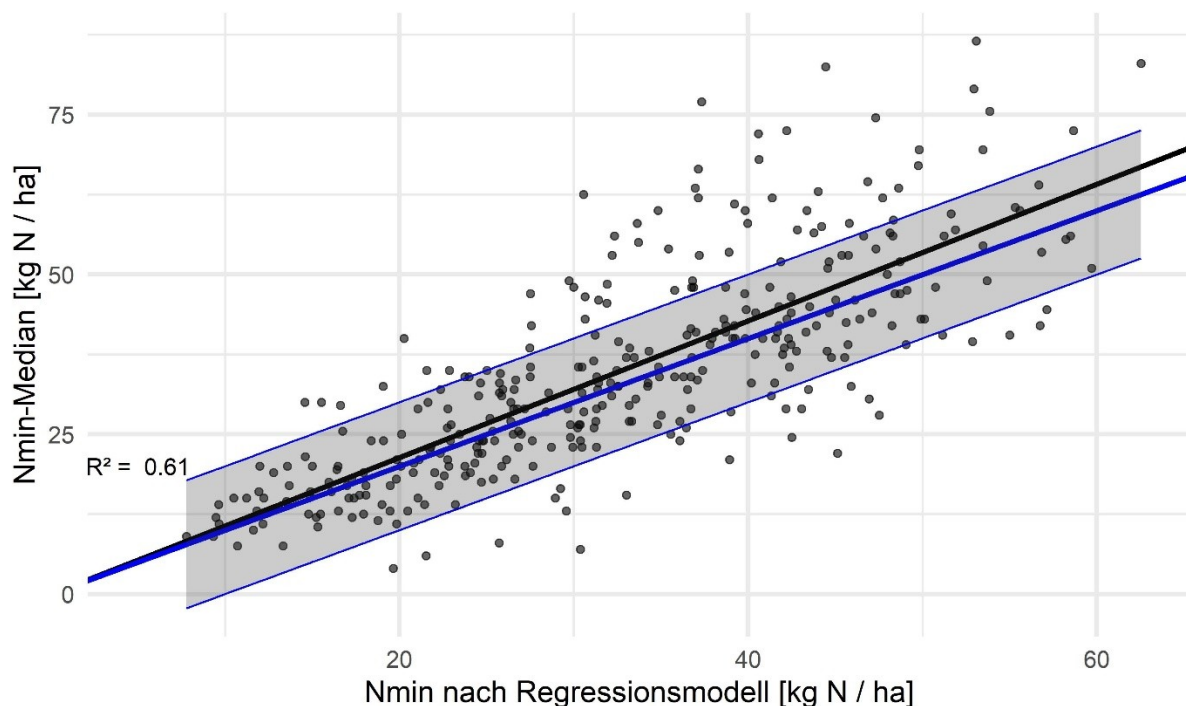
Der vergleichsweise niedrige R^2 -Wert um 0,1 deutet darauf hin, dass ein großer Teil der Varianz in den Residuen bislang unerklärt bleibt. Die Streuungsquellen sind hier besonders vielfältig, da die Daten von beprobten Praxisflächen mit unterschiedlichen Umwelteinflüssen kommen und nicht (nur) aus kontrollierten Versuchsbedingungen. Zum einen können weitere Standorteigenschaften wie z. B. die Bodenart oder die Bewirtschaftungsweise genannt werden, die entweder vereinfacht wurden oder nicht vorliegen. Außerdem können Witterungsbedingungen auf kleinstem Raum sehr variabel sein und zu großen Unterschieden innerhalb einer Region führen (van den Broek und Lorenz, 2024). Ein präziseres Modell ist mit dem bestehenden Datensatz schwer zu realisieren, da entsprechende Begleitinformationen zum Standort fehlen. Ein komplexeres Modell würde vielfältige Erweiterungen erfordern – wie zusätzliche Informationen und Eingaben seitens der

Anwendenden, die Immigration in ein digitales, webbasiertes System sowie die Abkehr einer rein tabellarischen Systematisierung.

Innerhalb eines Schlages gibt es weitere räumliche Variationen, die sich bei der Beprobung mit mehreren Einstichen auf das Gesamtergebnis der Mischprobe auswirken (Giebel et al., 2006). Hier ist die Einhaltung der Probenahme-Richtlinien unerlässlich (LUFA NRW, 2024). Außerdem gilt es auch die Kühlkette sowie Extraktion und Messung im Labor als mögliche Fehlerquelle zu beachten. Zwar werden von allen Bundesländern nur Labore akzeptiert, die bestimmte Voraussetzungen und Eignungskriterien erfüllen und an den entsprechenden Ringversuchen teilnehmen; einige wenige Bundesländer präzisieren jedoch die VDLUFA-Methodenvorschriften, beispielsweise hinsichtlich Einwaagemengen und Extraktionsdauer. Hierdurch können sich kleine Abweichungen in den Extraktkonzentrationen im Laborvergleich ergeben. Weiterhin ergeben sich Abweichungen zwischen Laboren und Bundesländern in der unterschiedlichen Feststellung der Bodendichte pro Schicht bei der Berechnung der N-Menge pro Hektar aus den Extraktkonzentrationen. Für das Ziehen der eigenen Nmin-Probe, die aus fachlicher Sicht gerne empfohlen wird, sind die oben genannten Teilaspekte des Streupotenzials auf Schlagebene besonders wichtig.

Schließlich ist auf stark mineralisierenden Standorten eine starke zeitliche Dynamik des Nmin-Wertes anzunehmen. Auf solchen Standorten kann eine Bodenprobe nur als Momentaufnahme gelten – demgegenüber weist ein Richtwert eine höhere zeitliche Robustheit auf.

Abbildung 12: Korrelation der berechneten Mediane aus den jeweiligen Validierungsdaten (median_zeitgleich) mit der Modellprognose (RS_5 TMK_3) der Nmin-Gehalte für 0–90 cm aus den Jahren 2010–2024



Anmerkung: Mediane aus weniger als 30 Beobachtungen wurden nicht berücksichtigt. Schwarz: Regressionsgerade durch die Punktwolke. Blau: 1:1-Linie. Eingerahmt sind alle Punkte, die weniger als 10 kg Nmin/ha vom Modell Abweichen.

Quelle: Eigene Darstellung.

Dieser Unterschied wird auch in Abbildung 12 verdeutlicht. Hierbei wurden im Validierungsdatensatz Mediane anstelle der einzelnen Proben für jede Faktorkombination berechnet, sofern mehr als 30 Stichproben verfügbar waren. Dadurch hat sich die Varianz deutlich reduziert und ein linearer Zusammenhang kann mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,61 hergestellt werden. Das zeigt, dass die Richtwerte die mittleren Tendenzen in den

Daten gut wiedergeben. Darüber hinaus liegen etwa 73 % dieser gemittelten Beobachtung innerhalb der praxisrelevanten Abweichung von 10 kg N_{min}/ha um die Richtwerte.

Fazit

Bei der Berechnung von N_{min}-Richtwerten mittels Regressionsmodell wird versucht, eine möglichst zuverlässige Hilfestellung für die Düngebedarfsermittlung der landwirtschaftlichen Betriebe anzubieten. Durch den Vergleich mit realen Messwerten der vergangenen 14 Jahre von landwirtschaftlichen Praxisflächen können die grundsätzlichen Vor- und Nachteile von Richtwerten hervorgehoben werden. Zum einen bietet die eigene, korrekt durchgeführte N_{min}-Beprobung eine Möglichkeit, flächenspezifische Effizienzpotenziale bei der Stickstoffdüngung auszunutzen. Andererseits bietet ein Richtwert eine belastbare und frühzeitige Planungsgrundlage gegenüber den Herausforderungen bei der Ermittlung eines N_{min}-Wertes basierend auf eigenen Messwerten. Die Berechnung von Richtwerten auf Basis der Vorjahre mittels Regressionsmodell hat den Vorteil, alle bekannten Messwerte auswerten zu können. Außerdem ist dadurch eine frühe Publikation der Richtwerte möglich, damit die landwirtschaftlichen Betriebe ihre rechtsverbindlichen Düngebedarfe frühzeitig ermitteln können.

4.2 N-Simulation der LfL

Ermittlung der N_{min}-Werte in Bayern

Die Düngeverordnung sieht vor dem Aufbringen wesentlicher Nährstoffmengen eine Ermittlung der im Boden verfügbaren Stickstoff- und Phosphatmengen vor. Für verfügbaren Stickstoff gilt dies im Ackerbau für den Zeitpunkt vor der Düngung. In Bayern gibt es dabei mehrere Methoden zur Bestimmung der N_{min}-Werte im Boden. Eine Möglichkeit besteht darin, eigene repräsentative Bodenproben zu entnehmen und darauf basierend den Düngebedarf zu berechnen. Alternativ können die von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) veröffentlichten N_{min}-Werte für die wichtigsten Ackerkulturen in den verschiedenen Regierungsbezirken herangezogen werden (nur für nicht mit Nitrat belastete Gebiete). Eine weitere aussagekräftige und unbürokratische Option ist die **schlagspezifische** Simulation des N_{min}-Wertes im Frühjahr.

Schlagspezifische Simulation des N_{min}-Wertes im Frühjahr

Die N-Simulation ermittelt je Schlag den Gehalt an pflanzenverfügbarem mineralischem Stickstoff im Boden in Abhängigkeit der Flächendaten und der jahresspezifischen Witterung. Durch die Simulation des N_{min}-Wertes im Frühjahr ist eine aussagekräftige und schnelle schlagspezifische Düngeempfehlung möglich.

Das zugrundeliegende Berechnungsmodell für die schlagspezifische N-Simulation bilanziert täglich die Stickstoffverluste im Boden, die durch verschiedene Prozesse wie beispielsweise Auswaschung, Denitrifikation und den N-Entzug durch Pflanzen entstehen. Gleichzeitig werden die Stickstoffinputs, die durch beispielsweise Mineralisation, Niederschlag und Düngung in den Boden gelangen, erfasst. Wetterdaten wie Tagestemperatur, Niederschlagsmenge und Luftfeuchtigkeit geben Informationen zur Wasser- und Temperaturentwicklung im Boden, wodurch Stickstoffbewegungen im Boden modelliert werden können. Außerdem sind Angaben zum Feldstück und zum Anbau sowie die standortbezogenen Bodendaten notwendig. Die Simulation kann zu jedem Wunschtermin im Frühjahr berechnet werden, der je nach Kultur in Tabelle 10 – Basisdaten auf der Internetseite der LfL zu finden ist (LfL, 2025a).

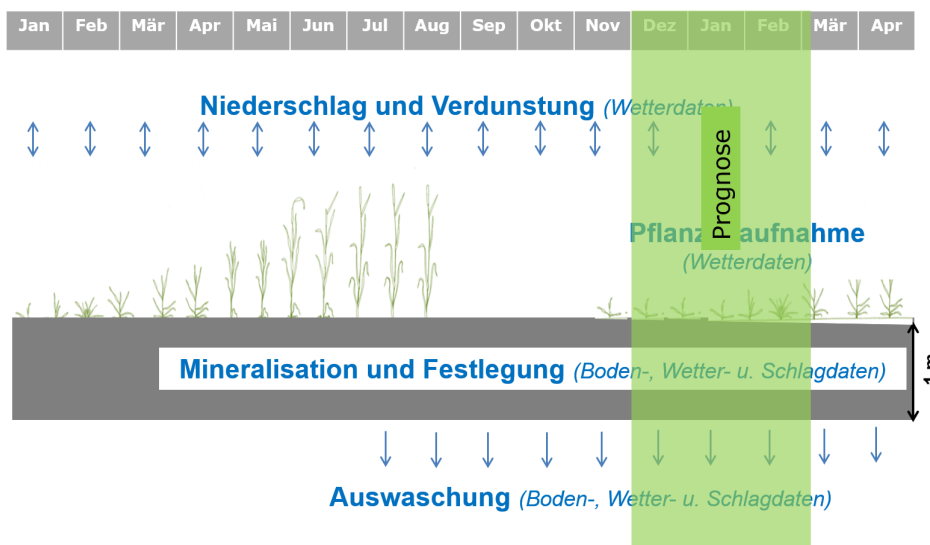
Der N_{min}-Wert eines Schlages kann mit und ohne Grundlage einer gezogenen Bodenprobe simuliert werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass auf Flächen in mit Nitrat belasteten („roten“) Gebieten für jede Hauptfrucht des Betriebes mindestens eine N_{min}- oder EUF-Probe zu ziehen ist. Das Ergebnis ist bei der Düngebedarfsermittlung des beprobten Feldstücks bzw. der beprobten Bewirtschaftungseinheit zu verwenden.

Da bei der N-Simulation tatsächliche Wetterdaten einfließen, hat das zur Folge, dass die Simulation des Nmin-Wertes nur für die Vergangenheit erfolgen kann. Aus diesem Grund gibt es zur Simulation mit tatsächlichen Wetterdaten noch die Möglichkeit der „Prognose des Nmin-Wertes“.

Die Prognose unterscheidet sich ausschließlich darin, dass anstelle tatsächlicher Wetterdaten in der N-Simulation prognostizierte Wetterdaten zur Berechnung verwendet werden. Bei einer Prognose des Nmin-Wertes werden die Wetterdaten der vergangenen Jahre analysiert und eine gezielt ausgewählte Konstellation der Prognose zugrunde gelegt. Diese Berechnung führt in der Regel zu einer leichten Überschätzung des Nmin-Wertes. Dadurch wird sichergestellt, dass bei einer Neuberechnung im Frühjahr mit tatsächlichen Wetterdaten eine Überdüngung mit einer fünfprozentigen Irrtumswahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.

Die Prognose ermöglicht durch Nutzung der Wetterdaten vorangegangener Jahre bereits im Dezember eine Bereitstellung des Nmin-Wertes für Kulturen, die erst im Frühjahr (März/April) gedüngt werden (siehe Abbildung 13). Dadurch kann, soweit auch alle anderen Daten vorhanden sind, die Berechnung der Düngbedarfsermittlung für (fast) alle Ackerkulturen bereits im Dezember abgeschlossen werden. Eine Neuberechnung der Düngbedarfsermittlung ist im Frühjahr mit den tatsächlichen Wetterdaten nicht notwendig. In Jahren mit hohen Winterniederschlägen ist es jedoch ratsam, die Berechnung im Frühjahr mit den tatsächlichen Wetterdaten nochmals durchzuführen, um gegebenenfalls auf die verringerten Nmin-Gehalte infolge von Auswaschung bei der Düngung reagieren zu können.

Abbildung 13: Einfluss der Wetter-, Boden- und Schlagdaten auf die Stickstoffbewegungen im Boden und Zeitraum der Prognose



Quelle: LfL (2025).

Veröffentlichte Nmin-Werte der wichtigsten Ackerkulturen

Für die wichtigsten Ackerkulturen werden auf der Internetseite der LfL und im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt Nmin-Werte je Regierungsbezirk veröffentlicht. Diese veröffentlichten Nmin-Werte können von bayerischen Landwirten zur Berechnung der Düngbedarfsermittlung auf nicht-nitratbelasteten Flächen verwendet werden.

Die veröffentlichten Nmin-Werte unterscheiden sich zwischen den vorläufigen und endgültigen Werten. Die vorläufigen Nmin-Werte werden bereits im Dezember veröffentlicht und basieren auf simulierten Werten für mehrere hundert repräsentative Flächen unter Verwendung prognostizierter Wetterdaten. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine frühzeitige Düngbedarfsermittlung. Die endgültigen Nmin-Werte hingegen setzen sich aus simulierten Werten, die auf tatsächlichen Wetterdaten basieren, sowie aus gemessenen Nmin-

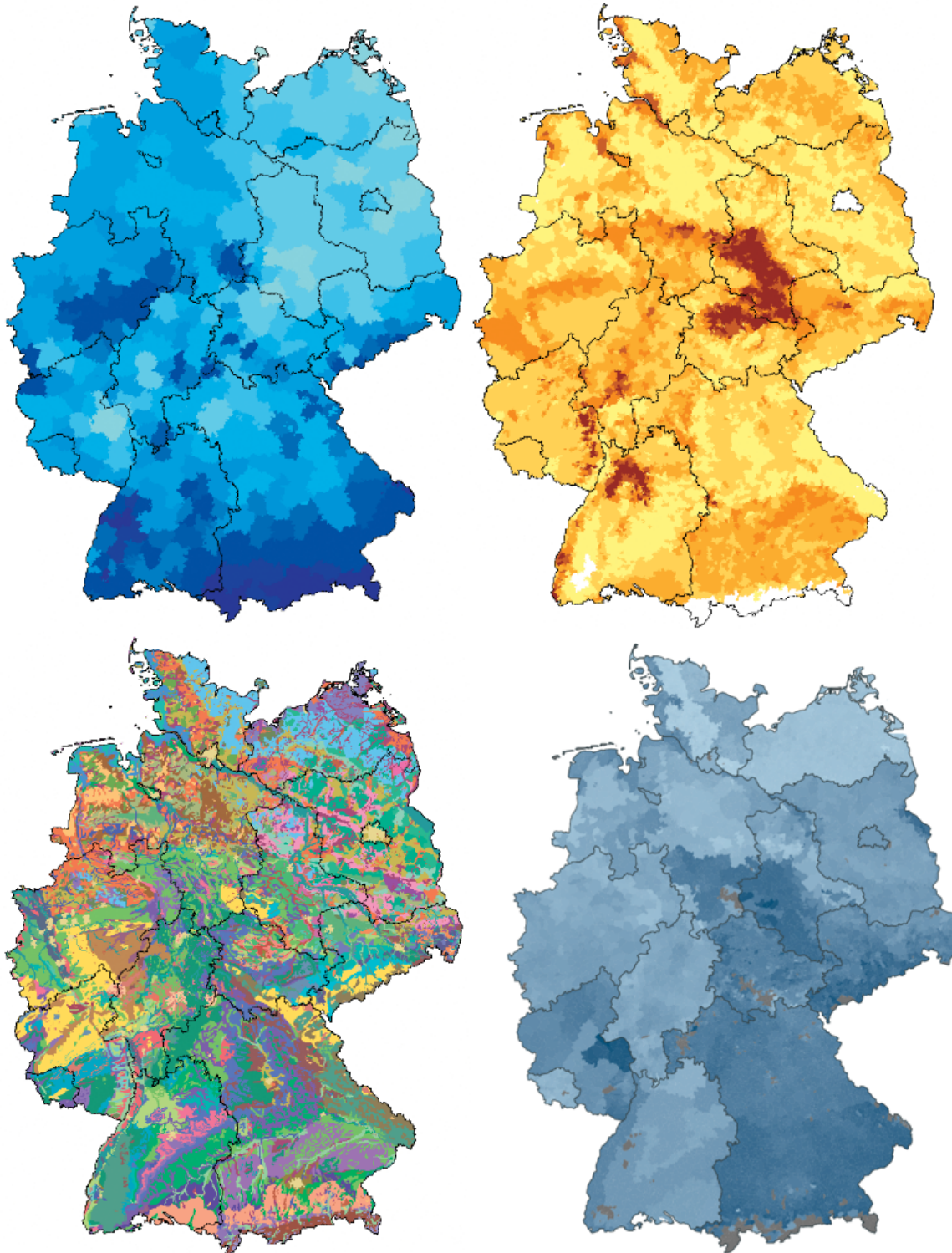
Werten zusammen. Die bayerischen Landwirte können sowohl die vorläufigen als auch die endgültigen Nmin-Werte für die Berechnung der Düngebedarfsermittlung verwenden. In Jahren mit außergewöhnlichen Witterungsbedingungen während der Wintermonate ist es jedoch ratsam, die Berechnungen im Frühjahr auf Grundlage der endgültigen Nmin-Werte zu aktualisieren, um gegebenenfalls bei der Düngung reagieren zu können.

5 Diskussion

Die quantitativen Ergebnisse der flächengewichteten N_{min}-Werte zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern. Diese treten im Vergleich der einzelnen Jahre deutlich hervor sowie insbesondere innerhalb eines Jahres zwischen den Bundesländern bei gleichen Kulturen.

Innerhalb der einzelnen Bundesländer und zwischen den Jahren lässt sich dies aufgrund der klimatischen Bedingungen und entsprechenden Mineralisationsprozesse im Boden erklären (van den Broek und Lorenz, 2024). Ein Beispiel ist das Jahr 2018, das in Deutschland von Trockenheit und Hitze geprägt war, die letztlich in vielen Regionen zu geringeren Ernten führten. Zwar wurde im Jahresverlauf die Düngung von vielen Betrieben entsprechend des Witterungsverlaufs angepasst, allerdings konnte der bereits aufgebrauchte Stickstoff nicht mehr vollständig von den Pflanzen aufgenommen werden (Klages et al., 2020a). Außerdem bewirken Dürren eine verzögerte Mineralisation organischer Düngemittel (Beck, 1983; Lochmann et al., 1989). Da der weitgehend ausbleibende Niederschlag im Winter eine vollständige Auswaschung des Stickstoffs verhinderte, führten diese Faktoren in allen Bundesländern zu vergleichsweise hohen N_{min}-Werten im Frühjahr 2019.

Abbildung 14: Exemplarische Darstellung der Niederschlagssummen, der Bodengüte, der Leitbodenarten und der Frühjahrs-Nmin-Werte in Deutschland



Anmerkung: Die exemplarische Darstellung bezieht sich auf die langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen im Zeitraum März bis August (Min: <45 mm, Max: >150 mm, oben links), die durchschnittliche Bodengüte (Min: 0–30, Max: 70–100, oben rechts), die Leitbodenarten (unten links) in Deutschland, sowie die flächengewichteten durchschnittlichen Frühjahrs-Nmin-Werte der Jahre 2018 bis 2022 in Deutschland (unten rechts).

Quelle: Roßberg et al. (2007), eigene Darstellung.

Allerdings können systematische und jährlich wiederkehrenden Unterschiede zwischen den Bundesländern identifiziert werden. Diese „Brüche“ an den Grenzen der Bundesländer werden in Kapitel 3.2 quantifiziert und sind bereits in weiteren Studien dokumentiert (Zinnbauer et al., 2023). Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts deuten darauf hin, dass die beobachteten Unterschiede nicht ausschließlich auf standörtliche Gegebenheiten zurückzuführen sind (siehe auch die in Abbildung 14 dargestellten Deutschlandkarten mit bodenklimatischen Eigenschaften, deren Ausprägungen losgelöst von Ländergrenze sind), sondern auch auf Unterschiede in den Vorgehensweisen zur Bereitstellung von Richtwerten. Darunter fällt unter anderem:

Beprobungszeitraum

Die Mineralisierungsprozesse im Frühjahr verlaufen dynamisch und sind von den Witterungsbedingungen (z. B. Bodentemperatur, Niederschlägen) abhängig (Beck, 1983; Lochmann et al., 1989). Dies beeinflusst maßgeblich Höhe und Entwicklung der Nmin-Werte im Boden. Für die zeitgerechte Erstellung der Düngbedarfsermittlung vor Beginn der Vegetationsperiode sind Richtwerte möglichst früh zu Jahresbeginn für Landwirtinnen und Landwirte von Bedeutung. Im weiteren Jahresverlauf kann die Düngbedarfsermittlung durch zusätzliche Nmin-Beprobungen ergänzt und bei Bedarf korrigiert werden. Für eine optimale Pflanzenernährung ist dies notwendig, da die erste Nmin-Beprobung, die Aussaat und die N-Aufnahme in der Regel zeitlich versetzt erfolgen. Einheitliche und abgestimmte Beprobungszeiträume können hierbei zu mehr Transparenz und einer besseren Vergleichbarkeit beitragen.

Anzahl und Durchführung der Beprobungen

Die Anzahl der Nmin-Beprobungen variiert erheblich zwischen den Bundesländern, was unmittelbare Auswirkungen auf die räumliche Auflösung und damit auf die Aussagekraft der ermittelten Richtwerte haben kann. In Regionen mit einer hohen Beprobungsdichte, wie in Baden-Württemberg, lassen sich standörtliche Unterschiede kleinräumiger erfassen und spezifischer berücksichtigen. Dabei ist zu beachten, dass auch die naturräumlichen Unterschiede innerhalb der Bundesländer unterschiedlich stark ausgeprägt sind, was ebenfalls Einfluss auf die erforderliche Beprobungsdichte haben kann. In Bundesländern mit vergleichsweise wenigen Beprobungen, etwa Mecklenburg-Vorpommern oder Brandenburg, werden hingegen große Flächen mit einer einzigen Probe repräsentiert, was zu einer stärkeren Glättung lokaler Unterschiede führen kann. Dies kann die Präzision der Düngbedarfsermittlung und die Vergleichbarkeit zwischen Regionen beeinflussen. Darüber hinaus erschwert die heterogene Beprobungsintensität einen bundesweiten Abgleich der Werte, da Unterschiede in den Ergebnissen sowohl auf tatsächliche standörtliche Gegebenheiten als auch auf die Beprobungsstrategie zurückzuführen sein können. Einheitlichere Vorgaben zur Anzahl der Beprobungen in Relation zur landwirtschaftlichen Nutzfläche könnten hier zu einer besseren Vergleichbarkeit und belastbareren Aussagen beitragen. Im Workshop wurde zudem berichtet, dass die Durchführung der Beprobung teilweise unterschiedlich gehandhabt werde, wie in Bayern mit höheren Standards beispielsweise bei der Schütteldauer (1,5–2 h) und -intensität der Probe im Vergleich zur VDLUFA-Methode (0,5 h), was bei schweren Böden zu höheren Nmin-Gehalten in den Bodenproben führen könne (VDLUFA, 2002). Durch die Standardisierung technischer Vorgaben ließe sich die Vergleichbarkeit steigern und ein Abbau von systematischen Diskrepanzen an den Landesgrenzen erreichen.

Neben systematischen Unterschieden bei Beprobung und Analytik, die wie in Bayern zu methodisch bedingten höheren Nmin-Werten führen können, können Brüche an den Ländergrenzen darüber hinaus auch auf systematisch divergierende Düngintensitäten zwischen den Ländern hinweisen, die nicht nur durch standörtliche Gegebenheiten zu erklären sind, sondern beispielweise auf langjährige unterschiedliche Schwerpunkte bei der Düngberatung hinweisen. An dieser Stelle besteht Forschungsbedarf.

Berechnung der dritten Tiefenstufe

Darüber hinaus kann die abweichende Berechnung der dritten Tiefenstufe in den einzelnen Bundesländern zu Brüchen an den Landesgrenzen beitragen. In diesem Zusammenhang konnten van den Broek und Lorenz (2024) zeigen, dass die tatsächlich gemessenen Nmin-Werte im Mittel der Einzeljahre über einen dreijährigen Zeitraum (2022 bis 2024) in Niedersachsen tendenziell geringer ausfallen als berechnete Nmin-Werte. Damit zeigt sich, dass sich die berechneten Nmin-Werte und die gemessenen Nmin-Werte im Beobachtungszeitraum im Durchschnitt und in der Varianz unterscheiden. Zudem deuten die Ergebnisse auf eine leichte Überschätzung der berechneten Nmin-Werte im Vergleich zu den gemessenen Nmin-Werten hin. Die Auswertungen in Kapitel 3.1.3 weisen hier kein einheitliches Muster auf, da die unterschiedlichen Berechnungsweisen der Bundesländer die gemessenen Werte sowohl über- als auch unterschätzen (bei jeweils drei Bundesländern). Auch der Vergleich zwischen tatsächlich gemessener Nmin-Werte und den entsprechenden behördlichen Richtwerten zeigt große Abweichungen (van den Broek und Lorenz, 2024). Diese sind sowohl in den unterschiedlichen Jahren als auch für verschiedene Kulturen ausgeprägt, wobei sich keine klaren Muster erkennen lassen. Insgesamt überwiegen die Fälle, in denen die gemessenen Nmin-Werte geringer ausfallen als der entsprechende Richtwert. Die absoluten Abweichungen liegen für den Beobachtungszeitraum 2022 bis 2024 zwischen -30 kg N/ha (Unterschätzung) und +26 kg N/ha (Überschätzung).

Vor diesem Hintergrund weisen Löw et al. (2021) auf die Bedeutung verpflichtender Nmin-Beprobungen von geübten bzw. zertifizierten Probenehmern hin, um die standörtlichen Bedingungen möglichst präzise in der Düngedarfsermittlung abzubilden. Aktuell gelten verpflichtende Nmin-Beprobungen für jeden Schlag beziehungsweise für jede Bewirtschaftungseinheit nur als besondere Anforderung zum Schutz der Gewässer in ausgewählten Bundesländern für Flächen in mit Nitrat belasteten Gebieten (Landwirtschaftskammer NI, 2025a). Allerdings weisen einige Studien trotz vergleichbarem Fruchtfolge- und Düngemanagement auf erhebliche Spannweiten von gemessenen Nmin-Werten auf den untersuchten Landschaftsausschnitten hin (Lorenz, 2004; Stenger et al., 1996), was eine kritische Betrachtung sowohl der technischen Standards bei Beprobung und Analytik als auch der grundsätzlichen Eignung des Frühjahrs-Nmin-Wert in der aktuellen Systematik zur Ermittlung des Stickstoffdüngedarfs gemäß Anlage 4 DüV (2020) nahelegt.

Insgesamt werden Unterschiede im Beprobungszeitraum, in der Zahl und Durchführung der Probenahmen sowie in der Berechnung der dritten Tiefenstufe zwischen den Bundesländern deutlich. Frühzeitig abgestimmte und einheitliche Zeiträume könnten die Vergleichbarkeit verbessern, da die Mineralisation stark witterungsabhängig ist. Auch variierende Beprobungsdichten und Standards bei der Analytik, etwa bei der Schütteldauer, schränken Präzision und Vergleichbarkeit ein. Zudem bergen unterschiedliche Ansätze bei der Berechnung der dritten Tiefenstufe das Risiko einer systematischen Unter- bzw. Überschätzung der Nmin-Werte, was die Notwendigkeit unterstreicht, eine bundeseinheitliche Berechnungsweise zu etablieren, wobei grundsätzlich eine Beprobung vorgezogen werden sollte. Insgesamt erscheint daher eine stärkere Standardisierung von Beprobung und Analytik, ergänzt um verpflichtende Nmin-Probenahmen durch geschulte Fachkräfte, notwendig, um Diskrepanzen zu verringern und die Aussagekraft zu erhöhen.

Für die landwirtschaftliche Praxis ergeben sich daraus weitreichende Konsequenzen. Die unterschiedliche Vorgehensweise der Bundesländer erschwert sowohl die Vergleichbarkeit kulturspezifischer Richtwerte als auch darüber hinaus die Ergebnisse der Düngedarfsermittlung. Besonders Betriebe mit Flächen über Ländergrenzen hinweg können bei der Verwendung von Richtwerten mit teils stark abweichenden Ergebnissen konfrontiert werden. Daraus können Düngedarfungs- und Rechtsunsicherheiten entstehen sowie Wettbewerbsverzerrungen, da Betriebe je nach Standort strengeren oder weniger strikten Auflagen unterliegen. Langfristig könnte die fehlende Harmonisierung die Akzeptanz der Düngedarfsermittlung sowohl als Düngedarfungsinstrument seitens der landwirtschaftlichen Praxis und als auch als Regulierungsansatz seitens der Kontrollbehörden und des Gesetzgebers beeinträchtigen sowie die Erreichung übergeordneter Klimaschutz- und Gewässerschutzziele gefährden.

5.1 Rolle im Wirkungsmonitoring

Im Rahmen des Wirkungsmonitorings werden Informationen zu den Nmin-Werten zur Abschätzung regionaler Stickstoffbilanzsalden mit dem Modell RAUMIS¹ benötigt (Zinnbauer et al, 2023). Diese sind ein wesentlicher Parameter zu Bewertung des regionalen Belastungsrisikos der Gewässer und sind die Grundlage zur Quantifizierung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und der Stickstoffeinträge in die Gewässer. Allerdings müssen sie – mangels geeigneter Daten – durch Modellanwendungen geschätzt werden. Die Nmin-Werte werden bei der Modellierung der Stickstoffbilanzen zur Abschätzung des regionalen Stickstoff-mineraldüngereinsatzes herangezogen, der zwar eine wesentliche Stickstoffquelle ist, allerdings liegen keine regionalen, belastbaren Informationen dazu vor.

Die Datenaufbereitung hat gezeigt, dass die heterogene Datengrundlage zu den behördlichen Nmin-Werten, wie in Kapitel 3.1 dargestellt, grundsätzlich verarbeitet werden kann (erster Schritt: Umwandlung in einheitliches, maschinenlesbares Format; zweiter Schritt: Implementierung in RAUMIS-Modul Düngebedarfsermittlung). Es zeigt sich auch, dass die Heterogenität der Daten eine Aufbereitung zeitlich sehr aufwendig macht und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Bundesländern einschränkt.

Unter den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der UAG-Nmin bestand weitgehend ein gemeinsames Verständnis hinsichtlich der bestehenden Problematik sowie der damit verbundenen Limitationen. Vor diesem Hintergrund wurden potenzielle Ansatzpunkte für eine Harmonisierung der Datenbereitstellung identifiziert, die sowohl zur Steigerung der Effizienz bei der Ermittlung einzelner Indikatoren zur Durchführung des Wirkungsmonitorings als auch zur Verbesserung der Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Ergebnisse sowie der Schaffung vergleichbarer standortsbezogener (Wettbewerbs-)Bedingungen beitragen könnten.

Bis zu einer (vollständigen) Harmonisierung sind aber noch weitere Schritte notwendig. Im Bereich Erhebung und Analyse von Bodenproben könnte eine Verständigung auf Mindeststandards zielführend sein, beispielsweise hinsichtlich der Analyseschritte im Labor, orientierend an den Bundesländern mit den höchsten Standards. Darüber hinaus sollte der Fokus insbesondere auf Maßnahmen zur Harmonisierung der Datenerhebung und -bereitstellung liegen. Ein zentraler Schritt ist hierbei die Einigung auf eine einheitliche Auswahl von Kulturarten(-gruppen) sowie Bodenartgruppen gemäß den Klassifikationen des Verbands deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, 2000). Entsprechende Vorschläge wurden während der Sitzung diskutiert. Auf dieser Grundlage wurde erstmalig eine Schablone für einen harmonisierten Ansatz mit „Mindeststandards“ entwickelt, die im Anschluss an die Sitzung zirkulierte und infolgedessen punktuell überarbeitet wurde. Dabei handelt es sich um eine Auflösung der Nmin-Werte der ersten, zweiten und dritten Stufe gemäß der Kulturarten bzw. Kulturartengruppen (*kultur*), unterteilt in Winterweizen, Winterraps, Wintergerste, sonstige Winterkulturen, Sommerkulturen, Gemüse, sowie der fünf VDLUFA-Bodenartengruppen (*bodengruppe*), unterteilt in Sand, schwach lehmiger Sand, stark lehmiger Sand, sandiger schluffiger Lehm, toniger Lehm bis Ton (siehe Tabelle 5). Die überarbeitete Schablone wurde den Ländern im Januar 2026 vom Thünen-Institut als Excel-Tabelle zur Verfügung gestellt. Eine weitergehende, detailliertere Regionalisierung sowie Differenzierung der Kulturarten(-gruppen) über diese Mindeststandards hinaus sowie die einheitliche Berücksichtigung der Vorfrucht wird weiterhin als notwendig erachtet und angestrebt.

¹ Mathematisches Simulationsmodell „Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland“, vgl. Zinnbauer et al. (2023).

Tabelle 5: Schablone für einen einheitlichen Ansatz zur Bereitstellung von Nmin-Richtwerten

bodengruppe	kultur	nmin_0_30	nmin_30_60	nmin_60_90
1	Winterweizen			
1	Winterraps			
1	Wintergerste			
1	Sonstige Winterkulturen			
1	Sommerkulturen			
1	Gemüse			
2	Winterweizen			
2	Winterraps			
...				
5				

Quelle: Eigene Darstellung.

5.2 Modellbasierte Verfahren

Modellbasierte Verfahren, wie etwa die beschriebenen Regressions- oder Simulationsansätze, werden zunehmend als Alternativen zur klassischen, flächendeckenden Probenahme von Nmin-Werten diskutiert. In einzelnen Bundesländern wie Bayern oder Nordrhein-Westfalen werden diese Verfahren bereits zur Bereitstellung von Nmin-Richtwerten verwendet (LfL, 2025b). Der potenzielle Nutzen dieser Ansätze ist erheblich. So entfällt beispielsweise die zeitliche Abhängigkeit bei der Erstellung der Düngebedarfsermittlung: Während bei konventionellen Verfahren die Ergebnisse der Laboranalysen abgewartet werden müssen, könnten modellgestützte Berechnungen bereits deutlich vor Beginn der Vegetationsperiode durchgeführt werden. Dies eröffnet Landwirten und Beratern größere Handlungsspielräume und Planungssicherheit. Darüber hinaus ergeben sich erhebliche Einsparungen an zeitlichen und finanziellen Ressourcen, da sowohl die aufwendige Probenahme als auch die anschließende Laboranalytik entfallen. Ein weiterer möglicher Vorteil liegt in der Präzision: Bei belastbaren Modellen, die eine Vielzahl von Parametern berücksichtigen, ist eine genauere Abbildung des tatsächlichen Nmin-Gehaltes als bei vereinzelt, klassischen Bodenproben vorstellbar. Dies kann dann vorliegen, wenn im Modell aktuelle Witterungsverläufe und Standortbedingungen integriert werden und der zeitliche Versatz zwischen Probenahme und tatsächlicher Stickstoffaufnahme durch die Pflanze rechnerisch ausgeglichen werden kann.

Gleichzeitig ist eine abschließende Bewertung der Praktikabilität und Belastbarkeit dieser Verfahren derzeit noch nicht möglich, ebenso wie eine verlässliche Einschätzung des aktuellen und künftigen Mehrwerts. Die wissenschaftliche Datenlage zu den bislang vorgestellten Modellen ist sehr begrenzt: Weder liegen umfassende Publikationen noch systematische Validierungs- und Plausibilisierungsstudien vor, die eine belastbare Einschätzung erlauben würden. Auch etablierte Begutachtungsprozesse in der Fachliteratur fehlen bislang, sodass die Aussagekraft der bisherigen Ansätze eingeschränkt bleibt. Die bisher vorliegenden Gütekenwerte sind als gering einzustufen und leisten nur einen geringen Beitrag zur Vorhersagegenauigkeit. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit den angekündigten Veröffentlichungen, die unter anderem bereits etablierte, interne Validierungsprozesse adressieren, zukünftig eine fundiertere Bewertung möglich sein wird (mündliche Mitteilung S. Kalmbach (LfL) und P. Schad (LWK Nordrhein-Westfalen)). Grundsätzlich erscheint das Potenzial modellgestützter Ansätze sehr groß, insbesondere wenn es gelingt, unterschiedliche Datenquellen wie aktuelle und historische Messwerte, Angaben zum Fruchtfolge- und Düngemanagement, Bodentypen sowie klimatische Entwicklungen – sowohl gegenwärtige als auch historische – in integrierten Modellen mit hoher Modellgüte zusammenzuführen. Damit könnten in Zukunft innovative Werkzeuge im Rahmen der Düngebedarfsermittlung

entstehen, die nicht nur effizienter und kostengünstiger sind, sondern auch eine verbesserte Abbildung der Stickstoffdynamik im Boden räumlich differenziert ermöglichen.

6 Fazit

Die Ergebnisse des Berichts zeigen deutliche Unterschiede in den Nmin-Richtwerten zwischen den Bundesländern, sowohl im zeitlichen Vergleich der Jahre als auch innerhalb eines Jahres bei gleichen Kulturen. Schwankungen lassen sich vor allem mit klimatischen Bedingungen und Prozessen wie der Mineralisation erklären. Besonders deutlich zeigte sich dies 2018: Trockenheit und Hitze führten zu geringerer Pflanzenaufnahme und verzögerter Mineralisation, sodass Stickstoff erst im Winterhalbjahr verlagert wurde und im Frühjahr 2019 hohe Nmin-Werte auftraten. Darüber hinaus wurden systematische Unterschiede an den Ländergrenzen identifiziert, die nicht nur standörtlich, sondern auch auf unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Bereitstellung von Richtwerten zurückzuführen sind.

Besondere Bedeutung haben hierbei die Unterschiede im Beprobungszeitraum, in der Anzahl und Durchführung der Probenahmen und -analytik sowie in der Berechnung der dritten Tiefenstufe. Frühzeitige, einheitlich abgestimmte Beprobungszeiträume könnten zu einer besseren Vergleichbarkeit und verlässlicheren Düngebedarfsermittlung beitragen, da die Dynamik der Mineralisation stark von Temperatur und Niederschlag beeinflusst ist. Ebenso führt die stark variierende Beprobungsdichte zwischen den Bundesländern zu deutlichen Unterschieden in der räumlichen Auflösung der Daten, wodurch Präzision und Vergleichbarkeit eingeschränkt werden. Auch methodische Differenzen in der Durchführung, etwa bei der Schütteldauer und -intensität, können messbare Effekte haben. Zudem weisen unterschiedliche Ansätze bei der Berechnung der dritten Tiefenstufe auf potenzielle Überschätzungen hin, die sich in den Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Nmin-Werten niederschlagen. Vor diesem Hintergrund erscheint die Verwendung einheitlicher (räumlicher und kulturartspezifischer) Auflösungsfaktoren, eine stärkere Standardisierung von Beprobung und Analytik, verbunden mit verpflichtenden Nmin-Beprobungen durch geschulte Probenehmer, notwendig, um systematische Diskrepanzen zu verringern und die Aussagekraft der Düngebedarfsermittlung zu erhöhen, sofern belastbare Modell-/Simulationsansätze nicht bundesweit zur Verfügung stehen.

Für die landwirtschaftliche Praxis sind daraus unterschiedliche Konsequenzen abzuleiten. Da die Bundesländer unterschiedliche Vorgehensweisen anwenden, wird sowohl die Vergleichbarkeit kulturspezifischer Nmin-Richtwerte als auch die darauf basierende Düngebedarfsermittlung deutlich eingeschränkt. Für Betriebe, deren Flächen sich über mehrere Ländergrenzen erstrecken, entstehen dadurch zum Teil stark variierende Ergebnisse bei der Bestimmung des Stickstoffdüngebedarfs anhand der Richtwerte. Dies kann letztlich zu Wettbewerbsverzerrungen und zu einer je nach Vorgehensweise weniger oder stärker restriktiven Ausgestaltung der Düngeregulierung führen.

Im Kontext des Wirkungsmonitorings zeigen die Ergebnisse, dass Stickstoffbilanz-Modellierungen auf Datengrundlage der aktuellen Erhebungs- und Bereitstellungspraxis möglich sind. Gleichwohl könnte eine stärker harmonisierte Vorgehensweise bei der Bereitstellung von Richtwerten durch die Bundesländer die Effizienz, Transparenz und Akzeptanz deutlich verbessern. Eine Orientierung an ambitionierten Standards würde sowohl die Vergleichbarkeit erhöhen als auch die Praxistauglichkeit für landwirtschaftliche Betriebe steigern. Langfristig ist geplant, betriebliche empirische Nmin-Daten in das Wirkungsmonitoring einzubeziehen, was jedoch entsprechende Anpassungen im Düngegesetz und in der geplanten Monitoringverordnung voraussetzt.

Darüber hinaus verweisen die untersuchten alternativen Ansätze, insbesondere die Modellierung von Nmin-Richtwerten auf Basis von Regressions- oder Simulationsverfahren unter Berücksichtigung standörtlicher und betrieblicher Eigenschaften, auf vielversprechende Potenziale. Diese ermöglichen zum einen eine Düngebedarfsermittlung weit vor Vegetationsbeginn und könnten zum anderen die landwirtschaftliche Praxis zusätzlich durch Zeit- und Kosteneinsparungen aufgrund wegfallender Proben erheblich erleichtern. Allerdings sind für eine breite Implementierung noch eine umfassende Validierung und wissenschaftliche Begutachtung erforderlich, um die Belastbarkeit und Akzeptanz dieser Methoden abzusichern.

Ein Blick in andere EU-Mitgliedstaaten, wie nach Dänemark, verdeutlicht alternative Vorgehensweisen bei der Düngeplanung. Dort werden Zu- und Abschläge, wie für die Berücksichtigung des mineralisierten Stickstoffgehalts im Boden, überwiegend anhand von Leitböden und Bodentextur, Fruchtfolgen und Witterungsbedingungen abgeschätzt und als Tabellenwerte bereitgestellt, was angesichts der vergleichsweise homogenen bodenklimatischen Gegebenheiten in Dänemark praktikabel scheint (Tendler, 2021). Darüber hinaus sollen in Dänemark ab 2027 Emissionsquoten entsprechend der Vorgaben des jeweiligen Wassereinzugsgebiets den zulässigen Düngereinsatz festlegen (Christel et al., 2025). Eine flächendeckende Laboranalyse des Mineralstickstoffs im Boden ist dort nicht vorgeschrieben. Aufgrund der in Deutschland deutlich heterogeneren Standorte scheint dieses Vorgehen nur eingeschränkt übertragbar, dennoch können standardisierte Auflösungsfaktoren einen ersten Schritt zu einer vergleichbaren und harmonisierten Datengrundlage darstellen.

Insgesamt wird deutlich, dass die Bereitstellung von behördlichen Nmin-Richtwerten im föderalen System mit erheblichen Herausforderungen verbunden ist. In dem vorliegenden Bericht wird jedoch auch dargelegt, dass durch stärkere Harmonisierung und Standardisierung eine belastbarere Datengrundlage und somit eine höhere Vergleichbarkeit der Düngepraxis zwischen den Bundesländern geschaffen werden kann. Mit der vom Thünen-Institut entwickelten Schablone zur Bereitstellung behördlicher Nmin-Werte liegt erstmals ein einheitliches Format vor, das den Bundesländern zur Verfügung steht und von den Beteiligten als zielführend bewertet wird. Dies kann einen wichtigen Schritt für eine effizientere, belastbarere und transparenter gestaltete Düngebedarfsermittlung in Deutschland darstellen.

7 Danksagung

Die Autorinnen und Autoren des vorliegenden Berichts danken allen beteiligten Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Administration herzlich für das engagierte Mitwirken in der Unterarbeitsgruppe, insbesondere für das sorgfältige Ausfüllen der Fragebögen sowie für ihre konstruktive und kritische Mitarbeit in dem Workshop. Die in dem Workshop eingebrachten Anregungen, Fragen und Hinweise haben wesentlich zum erfolgreichen Arbeitsprozess und zu den Ergebnissen der Unterarbeitsgruppe beigetragen. Hervorzuheben ist zudem die vertrauensvolle und kollegiale Zusammenarbeit zwischen den Expertinnen und Experten der verschiedenen Bundesländer, deren wertvolle Einblicke aus der jeweiligen Praxis sich als besonders relevant und zielführend für die Bearbeitung der Fragestellungen erwiesen haben. Der interdisziplinäre und länderübergreifende Austausch hat die Qualität und Aussagekraft der erarbeiteten Inhalte gestärkt. Für tatsächliche Verbesserungen in der Praxis und die erfolgreiche Umsetzung von Handlungsempfehlungen sind weitere Schritte notwendig, die auf dem Gestaltungswillen jeder und jedes Einzelnen sowie auf eine enge und konstruktive Zusammenarbeit zwischen den Institutionen des Bundes und der Länder aufbauen.

Literaturverzeichnis

- Beck T (1983) Die N-Mineralisierung von Böden im Laborbrutversuch. *J Plant Nutrition & Soil* 146(2):243-252. doi: 10.1002/jpln.19831460213, zu finden in <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.19831460213>>
- BMEL, BMU (2021) 2. Monitoringbericht zur Wirkung der Düngeverordnung auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft sowie für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. unveröffentlicht
- Boessenkool B (2025) Select and Download Climate Data from 'DWD' (German Weather Service): Package 'rdwd', zu finden in <<https://cran.r-project.org/web/packages/rdwd/rdwd.pdf>> [zitiert am 22.7.2025]
- Christel W, Juul-Larsen KH, Ejrnaes M (2025) Large-scale land use changes ahead: Reducing nitrogen loss to the aquatic environment, greenhouse gas emissions from the agricultural sector and restoring nature in "a green Denmark". Aarhus, zu finden in <https://www.luwq2025.nl/wp-content/uploads/2025/10/207-Wibke-Christel-et-al_Large-scale-changes-ahead-Agreement-on-a-green-Denmark.pdf> [zitiert am 19.12.2025]
- Deutscher Wetterdienst (2024) Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, zu finden in <https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/> [zitiert am 24.7.2025]
- DüV (2020) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen: Düngeverordnung.
- Elliott AC, Hynan LS (2011) A SAS(®) macro implementation of a multiple comparison post hoc test for a Kruskal-Wallis analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 102(1):75-80. doi: 10.1016/j.cmpb.2010.11.002, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260710002786>>
- Erismann J, Galloway J, Dise N, Sutton M, Bleeker A, Grizzetti B, Leach A, de Vries W (2015) Nitrogen : too much of a vital resource : Science Brief. 97890745, zu finden in <<https://research.wur.nl/en/publications/nitrogen-too-much-of-a-vital-resource-science-brief>>
- Europäischer Gerichtshof (2018) Urteil des Gerichtshofs. Europäische Kommission gegen Bundesrepublik Deutschland. Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats – Richtlinie 91/676/EWG., zu finden in <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:62016CJ0543>> [zitiert am 30.1.2025]
- Friedman J, Hastie T, Tibshirani R (2009) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Second Edition. New York: Springer series in statistics
- Giebel A, Wendroth O, Isaak Reuter H, Kersebaum K-C, Schwarz J (2006) How representatively can we sample soil mineral nitrogen? *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 169(1):52-59. doi: 10.1002/jpln.200521755
- Klages S (2017) Die neue Düngeverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung BLE, Bundesinformationszentrum Landwirtschaft BZL(1756/2017)
- Klages S, Heidecke C, Osterburg B (2020a) The Impact of Agricultural Production and Policy on Water Quality during the Dry Year 2018, a Case Study from Germany. *Water* 12(6):1519. doi: 10.3390/w12061519, zu finden in <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1519>>
- Klages S, Heidecke C, Osterburg B, Bailey J, Calciu I, Casey C, Dalgaard T, Frick H, Glavan M, D'Haene K, Hofman G, Leitão I, Surdyk N, Verloop K, Velthof G (2020b) Nitrogen Surplus—A Unified Indicator for Water Pollution in Europe? *Water* 12(4):1197. doi: 10.3390/w12041197, zu finden in <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1197>>
- Klages S, Löw P, Osterburg B (2020c) Düngeverordnung: erhebliche Änderungen. www.bub-agrar.de: B&B Agrar. Recht und Gesetz, zu finden in <https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00063763> [zitiert am 1.8.2025]
- Koenker R, Machado JAF (1999) Goodness of Fit and Related Inference Processes for Quantile Regression. *Journal of the american statistical association* 94(448):1296. doi: 10.2307/2669943, zu finden in <<http://www.jstor.org/stable/2669943>>
- Landwirtschaftskammer NI (2025a) Rote Gebiete – welche Vorgaben gelten in nitratbelasteten Gebieten?, zu finden in <https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/news/38275_Rote_Gebiete_-_welche_Vorgaben_gelten_in_nitratbelasteten_Gebieten> [zitiert am 15.8.2025]

- Landwirtschaftskammer NI (2025b) Vorabveröffentlichung der Ernte-Nmin-Werte 2020-2025. Landwirtschaftskammer NI, zu finden in <https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/news/40004_Vorabveroeffentlichung_der_Ernte-Nmin-Werte_2020-2025> [zitiert am 1.11.2025]
- Landwirtschaftskammer NRW (2025a) Nmin: Fachinfos Düngung, Boden. Münster, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/nmin/index.htm>> [zitiert am 24.7.2025]
- Landwirtschaftskammer NRW (2025b) NminNRW, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/nminnrw>> [zitiert am 23.7.2025]
- LfL (2025a) Basisdaten (Düngeberatung/Düngerecht): Düngung und Nährstoffflüsse. Freising, zu finden in <<https://www.lfl.bayern.de/basisdaten>> [zitiert am 23.7.2025]
- LfL (2025b) Simulation des Nmin-Werts im Frühjahr (N-Simulation), zu finden in <<https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/234596/index.php>> [zitiert am 20.8.2025]
- Lochmann R, van Ploeg RRD, Huwe B (1989) Zur Parametrisierung der Stickstoff-Mineralisierung in einem Ackerboden unter Feldbedingungen. *J Plant Nutrition & Soil* 152(3):319-324. doi: 10.1002/jpln.19891520310, zu finden in <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.19891520310>>
- Lorenz K (2004) Nutzung der räumlichen Variabilität von ausgewählten Standorteigenschaften für die ortsspezifische N-Düngung – Messung und Simulation. Berlin, 166 p, zu finden in <<https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/15864/Lorenz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [zitiert am 20.11.2020]
- Löw P, Osterburg B, Klages S (2021) Comparison of regulatory approaches for determining application limits for nitrogen fertilizer use in Germany. *Environ. Res. Lett.* 16(5):55009. doi: 10.1088/1748-9326/abf3de, zu finden in <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abf3de>>
- Löw P, Brandes E, Eysholdt M, Mattner C, Zahra S, Zinnbauer M (2026) Aufbereitete Frühjahrs-Nmin-Richtwerte ausgewählter Bundesländer auf Ebene der Agraratlasgemeinden und der RAUMIS-Kulturarten für die Jahre 2018 bis 2022. <https://doi.org/10.3220/253-2026-21>
- LUFA NRW (2023) Maisflächen auf mineralisierten Stickstoff (Nmin) beproben, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/neues/aktion-nmin-spaet.htm>> [zitiert am 24.7.2025]
- LUFA NRW (2024) Probenahme Nmin (Boden), Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/probenahme/probenahme-nmin-smin.pdf>> [zitiert am 24.7.2025]
- Mielenz H, Dieser M, Stock O, Zieseniß S, Kücke M, Greef JM, Stever-Schoo B, Julius Kühn-Institut (2021) Abschlussbericht: Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“. Julius Kühn-Institut, zu finden in <https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00076979>
- NDüngGewNPVO (2023) Niedersächsische Landesdüngeverordnung: Niedersächsische Verordnung über düngerechtliche Anforderungen zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat oder Phosphat (NDüngGewNPVO) vom 17.11.2023., zu finden in <<https://voris.wolterskluwer-online.de/browse/document/e192c34b-6e25-3088-a1a2-2597c8ae7232>> [zitiert am 22.8.2025]
- Neuenfeldt S, Gocht A, Röder N, Yang X, Laggner B, Meyer-Borstel H (2024) THÜNEN AGRARATLAS (2022). Zenodo, zu finden in <<https://zenodo.org/records/14197441>>
- Nicholson FA, Williams JR, Cassidy R, Doody D, Ferreira A, Jamsek A, Kaste O, Langas S, Laursen RK, Schipper P, Surdyk N, Tendler L, van Vliet J, Verloop K (2018) Survey and Review of Decision Supports Tools: FAIRWAY REPORT series, Stichting Wageningen Research, NL
- Osterburg B, Runge T (2007) Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Braunschweig: Landbauforschung Völkenrode – FAL Agricultural Research, 312 p. Sonderheft 30
- Piepho HP, Büchse A, Emrich K (2003) A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. *Journal of Agronomy & Crop Science*:310-322
- Roßberg D, Michel V, Graf R, Neukampf R (2007) Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland: Definition of soil-climate-areas for Germany. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 59(7):155-161

- Stenger R, Priesack E, Beese F (1996) Räumliche Variabilität von Nmin-Gehalten in Ackerflächen des FAM-Versuchsgutes Scheyern, zu finden in <https://www.gil-net.de/Publikationen/24_301.pdf> [zitiert am 20.11.2020]
- Sutton MA, Oenema O, Erisman JW, Leip A, van Grinsven H, Winiwarter W (2011) Too much of a good thing. *Nature* 472(7342):159-161. doi: 10.1038/472159a, zu finden in <<https://www.nature.com/articles/472159a>>
- Tendler L (2021) Weizenanbau unter den Rahmenbedingungen des deutschen und dänischen Düngerechts, 30. Getreide-Tagung (09.-10. März 2021), zu finden in <https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00036439/30_Getreidetagung_2021_Tagungsbrochure-online.pdf.pdf> [zitiert am 17.11.2025]
- ThürDüV (2020) Thüringer Düngeverordnung (ThürDüV) vom 2. Dezember 2020, zu finden in <<https://landesrecht.thueringen.de/bsth/document/jlr-D%C3%BCVTH2021pP5>> [zitiert am 19.9.2025]
- Universität Zürich (2023) Kruskal-Wallis-Test, zu finden in <https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/kruskal.html> [zitiert am 17.11.2025]
- van den Broek J, Lorenz F (2024) Statistische Auswertung von Nmin in Bodenproben von Nmin in Bodenproben von landwirtschaftlich genutzten Flächen für die Düngebedarfsermittlung von 2022 bis 2024. 135. VDLUFA Kongress: Qualität landwirtschaftlicher Erzeugnisse in der Wertschöpfungskette: Verbraucheranspruch und nachhaltige Erzeugung 24.–27. 09. 2024 (Karlsruhe):84-92
- VDLUFA (2000) Zuordnung der Bodenarten-/gruppen (Tabelle 16), zu finden in <https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_tab16.pdf> [zitiert am 5.8.2025]
- VDLUFA (2002) Die Untersuchung von Böden: VDLUFA-Methodenbuch Band 1, 4. Auflage. Darmstadt
- Yates LA, Aandahl Z, Richards SA, Brook BW (2023) Cross validation for model selection: A review with examples from ecology. *Ecological Monographs* 93(1):e1557. doi: 10.1002/ecm.1557, zu finden in <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecm.1557>>
- Zinnbauer M, Eysholdt M, Henseler M, Herrmann F, Kreins P, Kunkel R, Nguyen H, Tetzlaff B, Venohr M, Wolters T, Wendland F (2023) Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 454 p

Anhang

Tabelle A1: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests zu den aufbereiteten Nmin-Richtwerten für Silomais im Vergleich der Bundesländer

Silomais												
Bundesland	BB	BW	BY	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST
BW	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BY	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MV	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
NI	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-
NW	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,830	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-
RP	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-
SH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-
SL	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-
SN	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-
ST	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,089	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-
TH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Anmerkung: Fett hervorgehobene Werte kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle A2: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests zu den aufbereiteten Nmin-Richtwerten für Wintergerste im Vergleich der Bundesländer

Wintergerste												
Bundesland	BB	BW	BY	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST
BW	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BY	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MV	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
NI	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-
NW	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-
RP	< 0,005	< 0,005	0,044	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-
SH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-
SL	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-
SN	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-
ST	< 0,005	< 0,005	0,925	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,014	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-
TH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Anmerkung: Fett hervorgehobene Werte kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle A3: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests zu den aufbereiteten Nmin-Richtwerten für Winterraps im Vergleich der Bundesländer

Winterraps												
Bundesland	BB	BW	BY	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST
BW	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BY	0,044	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MV	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
NI	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-
NW	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-
RP	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-
SH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-
SL	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,280	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-
SN	< 0,005	0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-
ST	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,610	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-
TH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Anmerkung: Fett hervorgehobene Werte kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle A4: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests zu den aufbereiteten Nmin-Richtwerten für Winterweizen im Vergleich der Bundesländer

Winterweizen												
Bundesland	BB	BW	BY	HE	MV	NI	NW	RP	SH	SL	SN	ST
BW	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BY	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MV	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
NI	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-	-
NW	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-	-
RP	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-	-
SH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-	-
SL	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,980	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-	-
SN	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	-
ST	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-
TH	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Anmerkung: Fett hervorgehobene Werte kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle A5: Übersicht der Internetadressen für die zuständigen Stellen der Bundesländer für die Bereitstellung von Nmin-Richtwerten im Frühjahr

Bundesland	Internetadresse der zuständigen Stelle des Bundeslandes für die Bereitstellung der Frühjahrs-Nmin-Richtwerte (Stand: 25.11.2025)
Schleswig-Holstein	https://www.lksh.de/landwirtschaft/duengung/nitratmessdienst
Niedersachsen	https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/thema/1066_Richtwerte_Nmin
Nordrhein-Westfalen	https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/nmin/index.htm
Hessen	https://llh.hessen.de/pflanze/boden-und-duengung/n-duengung/nmin-wert-zu-vegetationsbeginn
Rheinland-Pfalz	https://www.duengeberatung.rlp.de/Duengung/Ackerbau/-Gruenland/Nmin/Nmin-Empfehlungen
Baden-Württemberg	https://ltz.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Nitratinformationsdienst
Bayern	https://www.lfi.bayern.de/iab/duengung/027122/index.php
Saarland	https://www.lwk-saarland.de/pflanze/downloads
Brandenburg	https://lfb.brandenburg.de/lfb/de/landwirtschaft/acker-und-pflanzenbau/bodenschutz-und-duengung
Mecklenburg-Vorpommern	https://www.lms-beratung.de/de/zustaendige-stelle-fuer-landwirtschaftliches-fachrecht-und-beratung-lfb/duengung-und-naehrstoffbilanzierung-duengeverordnung/fachinfo-duev
Sachsen	https://www.landwirtschaft.sachsen.de/umsetzungshinweise-dungeverordnung-20300.html
Sachsen-Anhalt	https://llg.sachsen-anhalt.de/themen/pflanzenernaehrung-und-duengung/fruehjahrsduengung-nmin-richtwerte
Thüringen	https://tllr.thueringen.de/landwirtschaft/rechtliche-grundlagen

Quelle: Eigene Darstellung.

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek
verzeichnet diese Publikationen in
der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet unter
www.dnb.de abrufbar.

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

Bereits in dieser Reihe erschienene
Bände finden Sie im Internet unter
www.thuenen.de

Volumes already published in this
series are available on the Internet at
www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

**Löw, P., Brandes, E., Eysholdt, M., Reuter, T., Zinnbauer, M., Oltmanns, R.,
Peters, K., Schad, P., Fechner, H., Jung, S., Langen, M., Gömann, H., Kalmbach,
S., Offenberger, K., Sperger, C. (2026) Erhebung und Bereitstellung von
Frühjahrs-Nmin-Werten für die Düngbedarfsermittlung in Deutschland –
Gemeinsamkeiten und Unterschiede im föderalen System. Thünen Working
Paper 283. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
<https://doi.org/10.3220/253-2026-38>**

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

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



Thünen Working Paper 283

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI: 10.3220/253-2026-38
urn:nbn:de:gbv:253-2026-000029-5