

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Herbst-Nmin-Analyse (Nmin)

Nicolas Lampkin

Schlussbericht Teil II.13

Verbundprojekt “Entwicklung eines leistungsdifferenzierten Honorierungssystems für den Schutz der Umwelt“

Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umweltleistungen: Herbst-N_{min}-Analyse (N_{min})

Der ökologische Landbau steht für ein ganzheitliches Konzept der Landnutzung mit dem Anspruch, in besonderer Weise die Belastungsgrenzen der Natur zu berücksichtigen. Für die erbrachten Umweltleistungen erhalten Ökobetriebe eine flächenbezogene Prämie. Die Höhe dieser Umweltprämie wird bisher auf der Basis regionaler durchschnittlicher Zusatzkosten und Erlöseinbußen der ökologischen Produktion im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise kalkuliert. Dieses Vorgehen hat zwei Nachteile. Zum einen steht die Prämienhöhe in keinem Zusammenhang zum Wert der erbrachten öffentlichen Leistung. Und zum zweiten bietet die Prämie keine finanziellen Anreize, Bewirtschaftungspraktiken umzusetzen, die über die gesetzlichen Öko-Mindestbedingungen hinausgehen. Vor diesem Hintergrund war das Ziel des UGÖ-Forschungsprojektes „Entwicklung eines leistungsdifferenzierten Honorierungssystems für den Schutz der Umwelt“, die Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen ökologischen Landbaupraktiken und der Erbringung von Umweltleistungen zu quantifizieren und eine Grundlage für die Entwicklung eines Konzepts zur Honorierung von Umweltleistungen unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus zu schaffen.

Der vorliegende UGÖ-Schlussbericht Teil II.13 beschreibt die methodische Vorgehensweise und Datenquellen und bewertet die Qualität des Indikators ‚Herbst-N_{min}-Analyse (N_{min})‘, der eventuell als Teil des Honorierungssystems dienen könnte.

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Förderkennzeichen: 2818OE110

Die Durchführung des Projektes erfolgte in einem engen Austausch mit der BÖL-Geschäftsstelle und dem BMEL. Für die inhaltlichen Impulse und die administrative Unterstützung möchten wir insbesondere Frau Doris Pick, Dorothee Hahn, Viola Molkenhain und Karl Kempkens danken. Zudem möchten wir Pascal Gerbaulet, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; Bernhard Wagner, Wassergut Canitz; Maximilian Zinnbauer, Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen; und Jürgen Heß, Universität Kassel, für ihre Hilfe bei der Vorbereitung dieses Indikatorberichts unseren Dank aussprechen.

Nicolas Lampkin
Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Bundesallee 63
38116 Braunschweig
E-Mail: bw@thuenen.de

Braunschweig, Juli 2023

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Politische Relevanz und Vorschriften	1
1.2	Beitrag des ökologischen Landbaus	2
2	Methodik	3
2.1	Zusammenfassung	3
2.2	Detaillierte Methodenbeschreibung	3
2.3	Notwendige Inputdaten	5
2.4	Leistungsbestimmung (Schwellenwerte)	6
3	Indikatorqualitätsbewertung	8
3.1	Aussagekraft	8
3.2	Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit	9
3.3	Datenverfügbarkeit und -qualität	10
3.4	Transaktionskosten	11
3.5	Kommunizierbarkeit	12
3.6	UGÖ-Modul-A-Ergebnisse: Ausschnitt aus dem Schlussbericht Teil 1 (2023)	14
4	Schlussfolgerung	15
5	Literaturverzeichnis	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1:	Politische Ziele, Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Nitrat- und Stickstoffbelastung des Wassers	1
Tabelle 2.1:	Zusammenfassung der notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen	6
Tabelle 2.2:	Vorschläge für N _{min} -Indikator-Schwellenwerte	7
Tabelle 3.1:	Bewertung des N _{min} -Indikators nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien	8
Tabelle 3.2:	Bewertung des N _{min} -Indikators nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien	10
Tabelle 3.3:	Bewertung des N _{min} -Indikators nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien	11
Tabelle 3.4:	Schätzung der Transaktionskosten des N _{min} -Indikators	12
Tabelle 3.5:	Bewertung des N _{min} -Indikators nach den ausgewählten Transaktionskostenkriterien	12
Tabelle 3.6:	Kommunizierbarkeit des N _{min} -Indikators nach Zielgruppen	13
Tabelle 3.7:	Bewertung des N _{min} -Indikators nach den ausgewählten Kommunizierbarkeitskriterien	13
Tabelle 3.8:	Modell für den Indikator Herbst-N _{min} für den Datensatz „Einzelkultur“ und die Anova der Bewirtschaftungspraktiken	14
Tabelle 4.1:	Gesamtbewertung des N _{min} -Indikators	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich der berechneten N-Auswaschung pro Hektar der Experimentalstudien sowie Modelle und LCAs	2
Abbildung 2-1:	Interaktive Bodenfeuchtekarte des Deutschen Wetterdienstes je nach Bodentiefe und Zeitpunkt	4
Abbildung 2-2:	Interaktive Bodenfeuchtekarte des Deutschen Wetterdienstes nach ausgewähltem Standort	5
Abbildung 2-3:	Entwicklung des N _{min} -Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung nach der Ernte 1999 bis 2007	7
Abbildung 2-4:	Entwicklung des N _{min} -Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung Herbst 1996 bis 2008	7

1 Einleitung

Nitratauswaschung aus der Landwirtschaft gilt als eines der Hauptprobleme für Trinkwasserqualität von Grundwasser sowie für Ökosysteme, die von den Nährstoffgehalten des Oberflächengewässers beeinflusst werden können. Die hohen Gehalte an Stickstoff (N) sind in erster Linie auf eine hohe Düngeintensität zurückzuführen. Insgesamt werden etwa 200 kg N/ha auf deutschen landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht, wobei synthetische N-Dünger etwa die Hälfte dazu beitragen. Diese Mengen haben sich in den letzten 30 Jahren kaum geändert. Es gibt aber sehr große regionale Unterschiede in Deutschland (vgl. UGÖ- Schlussbericht Teil II.1).

1.1 Politische Relevanz und Vorschriften

Um diese Problemsituation zu beherrschen und Trinkwasserqualität und aquatische Ökosysteme zu schützen, gibt es eine Reihe von politischen Initiativen (Gesetze, Verordnungen und Richtlinien) auf deutscher und EU-Ebene mit definierten Zielen und Zielgrößen, einschließlich der Grundwasserverordnung (GrwV)¹, der Oberflächengewässerverordnung (ÖGewV)², des Nationalen Aktionsprogramms zum Schutz von Gewässern vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen³, der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) und der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NSBV) (aquatische Ökosysteme)⁴. Die Düngeverordnung und Stoffstrombilanzverordnung werden auch verwendet, um die N-Belastung zu vermindern, vor allem in roten Gebieten (hohe N-Sensibilität).

Tabelle 1.1: Politische Ziele, Indikatoren sowie Leistungen der Landwirtschaft zum Thema Nitrat- und Stickstoffbelastung des Wassers

Oberziel	Qualitative Zielsetzung	Zielindikator	Leistungsformulierung*
Minderung der stofflichen Belastung von Gewässern; Ökosysteme schützen, Ökosystemleistungen erhalten und Lebensräume bewahren	Das Grundwasser ist vor Verunreinigungen oder sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften zu schützen und in seiner natürlichen Beschaffenheit zu erhalten (OGewV, DNS).	100 % der Messstellen mit einer Nitratkonzentration von <50 mg/l	Verminderung der Nitratbelastung im Grundwasser
	Die gewässertypischen Orientierungswerte für Stickstoff in Fließgewässern sollen an allen Messstellen eingehalten werden (OGewV, DNS).	100 % der Messstellen halten an der Orientierungswert des guten ökologischen Zustands für Stickstoff ein	Verminderung der Stickstoffbelastung in Oberflächengewässern

* Die zu honorierende Umweltleistung besteht in der ...

Quelle: UGÖ-Schlussbericht Teil II.1.

¹ Setzt die Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (GWRL) um.

² Setzt die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) und verwandte Richtlinien um.

³ Setzt die europäische *Nitratrichtlinie* (EU-RL 91/676/ EWG) um.

⁴ <https://www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/allgemeines/-/strategien/nationale-strategie-zur-biologischen-vielfalt>, abgerufen am 06.04.2023.

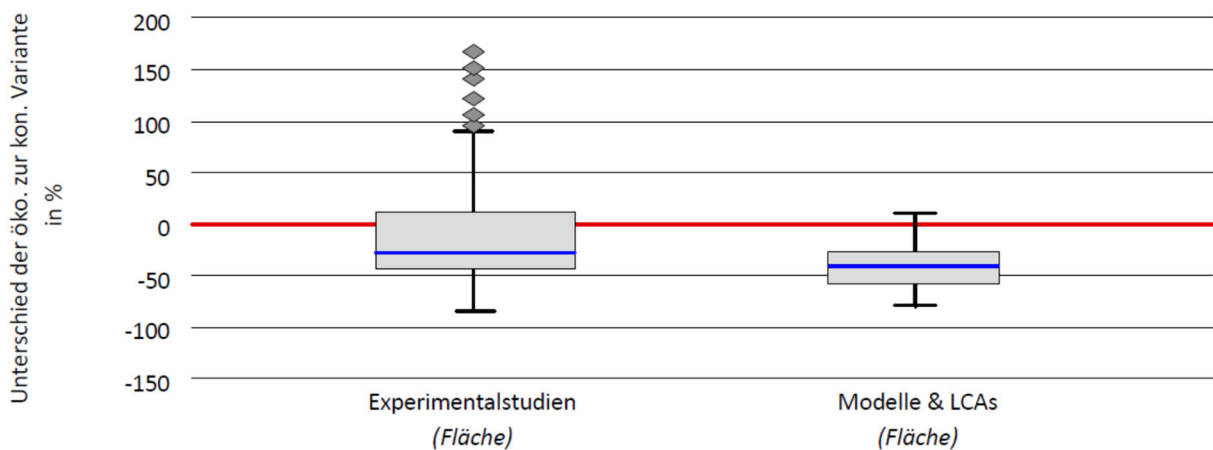
Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis und die Cross-Compliance-Bestimmungen bzw. die Konditionalitäten der GAP (GAPKondV⁵) spezifizieren Maßnahmen zum Erhalt des guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands (GLÖZ). Hier relevant ist GLÖZ 4: Schaffung von Pufferstreifen entlang von Wasserläufen.

AUKM und sonstige Fördermaßnahmen sind auch in den meisten Bundesländern verfügbar, zum Beispiel Verzicht auf Stickstoffdüngung, gewässerschonende Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Uferrand- und Gewässerschutzstreifen.

1.2 Beitrag des ökologischen Landbaus

Ökologische Betriebe können die Herbst-N_{min}-Werte u. a. durch organische Düngung, Stroh einarbeiten, Untersaaten, Gründüngung, Zwischenfruchtanbau, Winterbodenbedeckung und Zeitpunkt des Kleeerasumbruchs beeinflussen. Im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft verursacht die ökologische Bewirtschaftung bis zu 80 % weniger N-Auswaschung (Abbildung 1-1), wobei ein Teil dieser 80 % damit zusammenhängt, dass kein synthetischer Stickstoff angewendet wird.

Abbildung 1-1: Relative Unterschiede zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich der berechneten N-Auswaschung pro Hektar der Experimentalstudien sowie Modelle und LCAs



Negative Werte zeigen eine niedrigere N-Auswaschung auf ökologisch bewirtschafteten Flächen (kon Variante = 0 %). Experimentalstudien (n=90); Modelle und LCAs (n=42). Für den berechneten N-Austrag wurden die Einheiten kg NO₃⁻ / ha, kg NO₃⁻-N/ha, kg N_{min}/ha und kg Gesamt-N/ha umgerechnet und zusammengefasst.

Quelle: Sanders und Hess (2019).

⁵ Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung - GAPKondV) <https://www.gesetze-im-internet.de/gapkondv/BJNR224400022.html>, abgerufen am 28.06.2023.

2 Methodik

2.1 Zusammenfassung

Die N_{\min} -Analyse dient zur Ermittlung des löslichen und unmittelbar pflanzenverfügbaren Stickstoffs (Nitrat und Ammonium) im Boden. Im Frühling können die Ergebnisse bei der Düngeplanung helfen, wobei das eher für konventionelle Betriebe interessant ist. Im Herbst hilft die N_{\min} -Analyse bei der Ermittlung der potentiellen N-Auswaschungsgefahr am Ende der Vegetationszeit, vor allem in Wasserschutzgebieten. Die Praxismaßnahmen⁶, die von ökol. Landwirt*innen unternommen werden könnten, um N-Auswaschungsrisiken zu vermeiden, sind praktikabel und gut bekannt. Deswegen könnte die Vermeidung von Risiken als honorierbare Leistung angesehen werden und mit N_{\min} -Analysen, evtl. in Kombination mit Stickstoffsalden, erfasst werden.

2.2 Detaillierte Methodenbeschreibung

Die N_{\min} -Methode ist von Scharpf und Wehrmann in den 1970er Jahren entwickelt worden⁷, um eine Unter- oder Überdüngung von Kulturen zu vermeiden, die auch zu Nitratauswaschungen oder zu hohen Nitratgehalten in Gemüse führen könnten. Ein gutes Beispiel für die Anwendung im Rahmen einer Verordnung ist die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO)⁸ in Baden-Württemberg. Diese regelt mit Ausgleichszahlungen u. a. den Schutz des Grundwassers vor Nitratauswaschung; dabei sind bestimmte Nitrat-Boden-Werte einzuhalten. Jährlich vom 15. Oktober bis 15. November (in begründeten Fällen bis 15. Dezember ausdehnbar) werden die Böden auf Nitratreste kontrolliert. Werden die N_{\min} -Überwachungswerte überschritten, hat dies Anordnungen bzw. Auflagen zur Folge (siehe unten).

Die Proben müssten von Landwirt*innen rechtzeitig genommen werden, für jeden Schlag in der Fruchtfolge. Hinweise zur Entnahme von Bodenproben sind frei verfügbar, zum Beispiel von der LUFA Nord-West⁹. Die Proben werden dann zu einem anerkannten Labor geschickt, zum Beispiel zum Raiffeisen-Laborservice¹⁰.

Mit den Ergebnissen ist die Errechnung von flächengewichtetem N_{\min} pro Betrieb und für Kulturen möglich. Ausreißer werden dadurch nivelliert und der Betrieb anhand des Flächenanteils reell dargestellt (Gerbaulet, pers. Mitteilung). Die Aussagekraft von N_{\min} -Werten hängt sehr von methodischen Überlegungen ab.

N_{\min} -Richtwerte oder N_{\min} -Probenahme?

Laut der Düngeverordnung, müssen N-Vorräte im Boden in der Düngerbedarfsberechnung wahrgenommen werden. Dies kann entweder über N_{\min} -Richtwerte oder N_{\min} -Proben-Ergebnisse erfolgen. Die N_{\min} -Richtwerte werden von Länderbehörden und Landwirtschaftskammern¹¹ berechnet und bekanntgegeben, beziehen sich aber auf mehrheitlich konventionelle Proben. Düngerbedarf muss auch für Wirtschafts- und andere organische Dünger wie Biogasgärreste berechnet werden. Für Ökobetriebe könnte daher eine Probenahme relevanter sein, obwohl die Nutzung von Richtwerten Geld und Zeit sparen kann, wenn Proben keine Vorteile bringen.

⁶ Zum Beispiel Klee gras im Winter bzw. Frühjahr umbrechen, Zwischenfruchtanbau zur Winterbodenbedeckung, keine Ausbringung von Mist und Gülle im Herbst (siehe auch SchALVO)

⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Nmin>, abgerufen am 18.07.2023.

⁸ <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=WasSchAusglV+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>, abgerufen am 18.07.2023. Die SchALVO besteht seit den 1980er Jahren für Wasserschutz bzw. -einzugsgebiete und handelt sich um Ausgleichszahlungen, die bei Überschreitungen des vorgegebenen Höchstwertes nicht gezahlt wurden.

⁹ <https://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/ation/downloadcenter?file=08EBCD>, abgerufen am 18.07.2023.

¹⁰ <https://www.raiffeisen-laborservice.de/landwirtschaft-bodenanalyse-nmin>, abgerufen am 18.07.2023.

¹¹ https://www.duengebehoerde-niedersachsen.de/duengebehoerde/news/39002_Nmin-Richtwerte_2022, abgerufen am 18.07.2023.

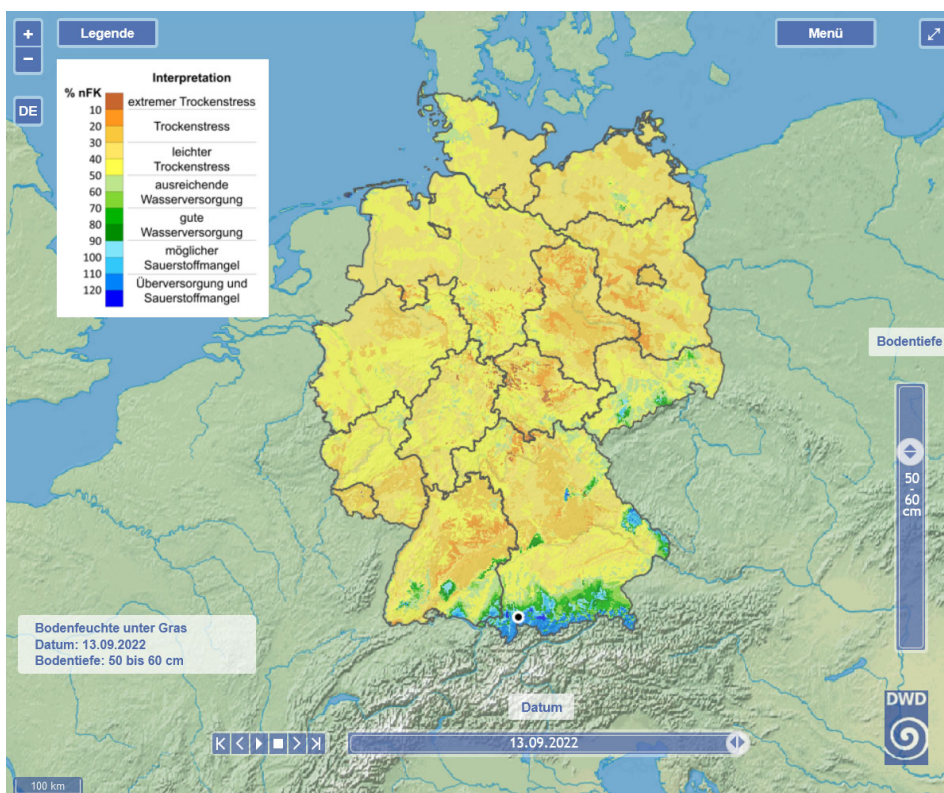
Probenahme im Frühling oder Herbst?

Je nach Kultur (Winterung oder Sommerung) könnten Probenahmen im Frühling oder Herbst relevant sein. Aber für diesen Indikator ist nicht die Düngerbedarfsberechnung von Interesse, sondern es geht um die auswaschbaren Mengen am Anfang der Sickerperiode. Deshalb ist nicht nur eine Herbst-Probenahme essentiell, die Zeit der Probenahme muss auch zur Sickerperiode gut passen.

Bestimmung des Zeitpunkts der Herbst N_{min} -Probenahme

Das Auswaschungsrisiko besteht, wenn ein Boden Feldkapazität über mehrere Tage erreicht hat und Wasser unter Schwerkraft davon abfließt. Feldkapazität hängt vom Bodentyp und -struktur (Porengröße) ab und ist deswegen von Schlag zu Schlag unterschiedlich¹². Aber eine schlaggenaue Feststellung des Probezeitpunkts ist für das Honorierungssystem nicht realistisch. Die Zeitpunktentscheidung Betriebsleiter*innen oder Berater*innen zu überlassen ist auch hinsichtlich der Justiziabilität nicht wünschenswert. Eine Festsetzung des Probezeitpunkts auf Gemeinde-, Kreis- oder Länderebene ist aber vorstellbar, basierend auf Daten vom Deutschen Wetterdienst (Abbildung 2-1)¹³. Zum Beispiel könnte in Görisried (Abbildung 2-2) schon Mitte September eine Netto-Feldkapazität (nFK) von 100 % erreicht werden. In anderen Gebieten ist das erst Anfang November üblich. Die genauen Regeln der Zeitpunktfestsetzung müssten von Länderbehörden bestimmt werden und die Betriebsleiter*innen zeitgerecht informiert werden.

Abbildung 2-1: Interaktive Bodenfeuchtekarte des Deutschen Wetterdienstes je nach Bodentiefe und Zeitpunkt

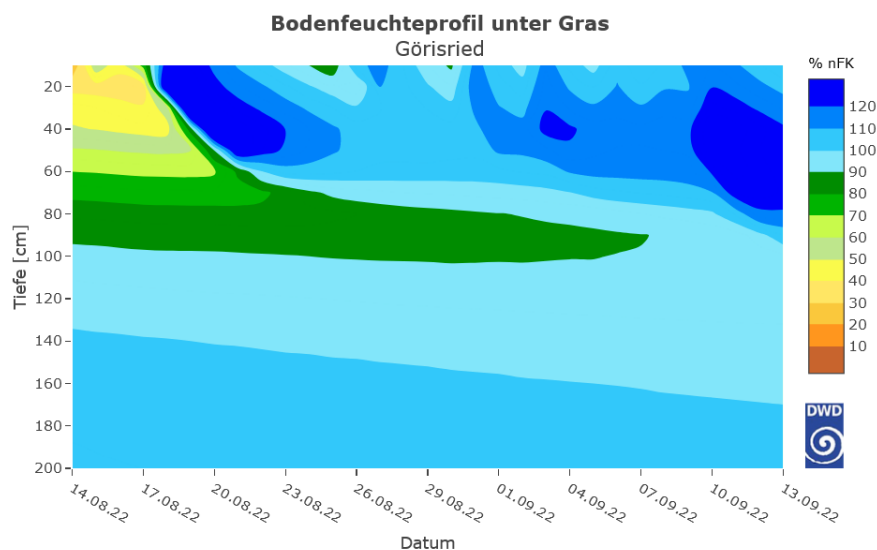


Quelle: Deutscher Wetterdienst¹³.

¹² <https://de.wikipedia.org/wiki/Feldkapazitat>, abgerufen am 18.07.2023.

¹³ https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/appl/bf_view/_node.html, abgerufen am 18.07.2023.

Abbildung 2-2: Interaktive Bodenfeuchtektekarte des Deutschen Wetterdienstes nach ausgewähltem Standort



Quelle: Deutscher Wetterdienst¹³.

2.3 Notwendige Inputdaten

Dieser Indikator basiert auf Proben, die im Rahmen der DüV ohnehin regelmäßig erhoben werden müssen. Um die Ergebnisse zu interpretieren, sind aber einige schlagbezogene Daten als Kontextindikatoren notwendig (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Noch zu klären sind die sonstige Bodenmerkmale und Klimadaten, die als Kontextindikatoren zu verstehen sind. Laut SchALVO gelten als auswaschungsgefährdete (A) Böden:

- alle Böden mit einer beprobaren Bodentiefe von weniger als 0,6 m
- Böden mit hohem Sandanteil – das sind Böden mit den Bodenarten des Ackerschätzungsrahmens¹⁴
 - Sand (S), anlehmiger Sand (SI)
 - lehmiger Sand (IS), ausgenommen Lössboden (IS Lö)
 - stark lehmiger Sand (SL), ausgenommen Lössboden (SL Lö)
- Böden mit hohem Skelettanteil – das sind unabhängig von der Bodenart alle Böden mit den Entstehungsarten Vg (steinhaltige Verwitterungsböden) oder Alg (steinhaltige Alluvialböden) oder Dg (steinhaltige Diluvialböden) und den Zustandsstufen 4, 5, 6 und 7 des Ackerschätzungsrahmens
- Böden mit den Bodenarten des Grünlandschätzungsrahmens 5
 - Sand (S), lehmiger Sand (IS)
 - Lehm (L) oder Ton (T) und den Zustands- und Wasserstufen II4⁻, II5⁻, III4⁻, III5⁻

¹⁴ Rösch A, Kurandt F (1991) Bodenschätzung - Gesetz mit amtlicher Begründung, Durchführungsbestimmungen und Verwaltungsvorschriften - Nachdruck der 3. Auflage 1950: 148 S. - Köln (Heymann) - ISBN 3-452 220 86-9

Tabelle 2.1: Zusammenfassung der notwendigen Inputdaten und mögliche Datenquellen

Quelle	InVeKoS	LPIS	GLÖZ	Kontrolle	Betriebs- unterlagen	Proben	Drohnen	Fern- erkundung	Statistik/ Normdaten
Schlag ID ^a	X	X			X				
N _{min} -Analyse Ergebnisse					X				
Datum der Probenahme					X				
Schlaggröße	X	X			X				
Schlagnutzung	X				X				
• Hauptfrucht	X				X			X	
• Vorfrucht	X				X				
• Nachfrucht ^b	X				X				
• Zwischenfrucht (Winterbodenbedeckung)	?				X			X	
Zeitpunkt (Monatsdekade) der Grundbodenbearbeitung					X			X	
Schicht (0-30=I, 30-60=II, 60-90=III) ^c					X				
Ton, Schluff, Sand, Humusgehalt					X				
Sonstige Bodenmerkale (vgl. SchALVO oder digitale Bodenkarten, z. B. BÜK 50)					X				
Sonstige Klimadaten?					X				

^a Bei der Düngedokumentation müssen N_{min}-Werte (zumindest in roten Gebieten) schlaggenau gezogen werden. Es gibt aber keine Verpflichtung, dass die Schlag ID der Düngedokumentation mit der Schlag ID des InVeKoS übereinstimmen muss.

^b Angenommen, die Flächendaten werden im Mai an InVeKoS geliefert und die N_{min}-Proben von vorherigem Herbst werden verfügbar sein.

^c Proben sollen normalerweise in bis zu 90 cm genommen werden, aber in manchen Böden ist das nicht möglich. In solchen Fällen ist es wichtig zu wissen, um welche Tiefe es sich in etwa handelt.

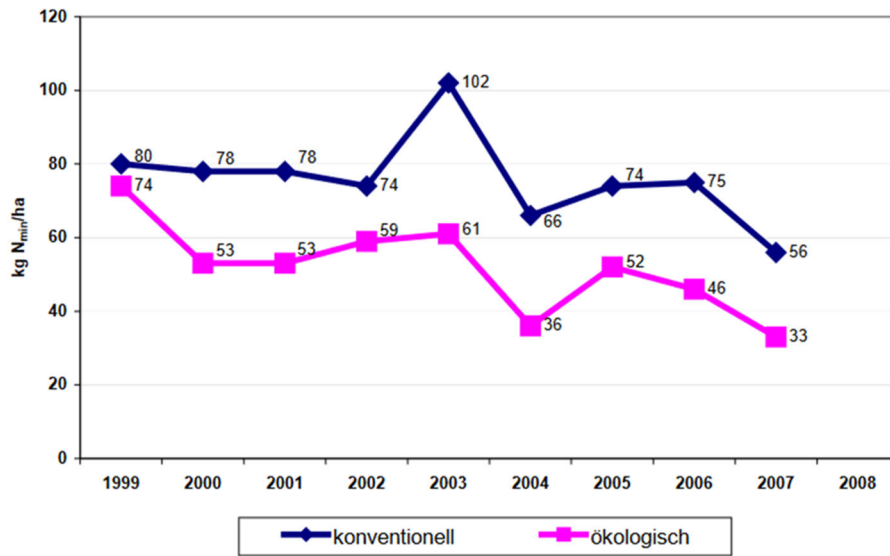
Quelle: Eigene Darstellung.

2.4 Leistungsbestimmung (Schwellenwerte)

Obwohl N_{min}-Analysen in Deutschland weit verbreitet sind, gibt es immer noch wenig Studien die sich mit N_{min}-Werten im ökologischen Landbau befassen. Daten aus Thüringen (Leiterer et al., 2010; Herold und Höpfner, 2010) und Sachsen (Kolbe, 2022; Kolbe und Meyer, 2021; Kolbe, 2009) werden oft zitiert. Die Thüringer Daten zeigen etwa 25 kg N/ha Unterschied zwischen ökologischen und konventionellen Flächen nach der Ernte (Abbildung 2.1), aber kleinere Unterschiede im Herbst (Abbildung 2.2). Kolbe (2009) präsentierte mittlere N_{min}-Werte für ökol. Ackerbaubetriebe von 40 kg N/ha, etwas weniger für Grünland (25 kg N/ha). Kolbe (2022) stellte fest, dass hohe Leguminosen-Anteile (über 40 %), hohe organische Düngung und besondere Wetterverhältnisse (lange Trockenperioden mit hohen Temperaturen) sehr hohe N_{min}-Werte (über 150 kg N/ha) verursachen können, besonders im Herbst. Die SchALVO¹⁵ setzt N_{min}-Überwachungswerte von bis zu 45 kg N/ha (90 kg/ha für Moor und Anmoor Böden) fest. Basierend auf diesen Ergebnissen, schlagen wir folgende Richtwerte vor (Tabelle 2-2). Dabei müssten gesetzlich vorgeschriebene Mindeststandards (DüV, ÖkoVO, GLÖZ) ohne Bezahlung eingehalten werden.

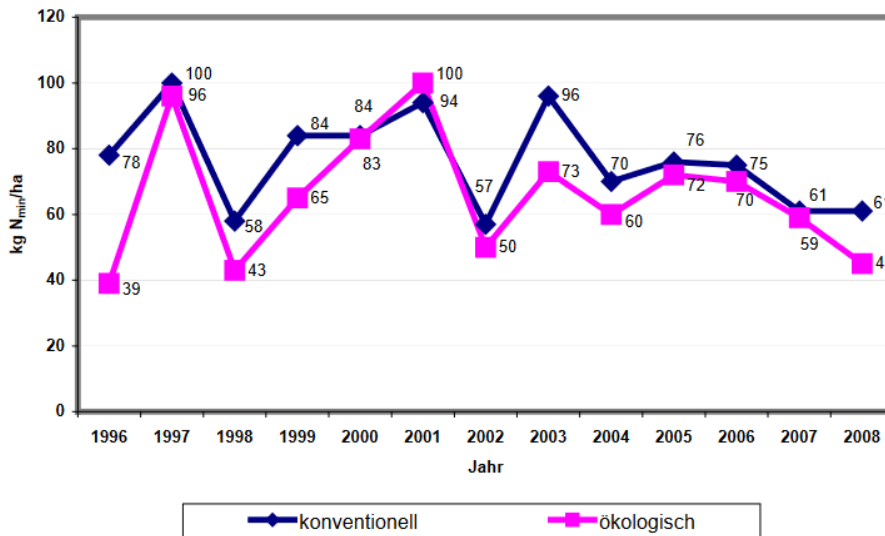
¹⁵ <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=WasSchAusglV+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>, abgerufen am 18.07.2023. Die SchALVO besteht seit den 1980er Jahren für Wasserschutz bzw. -einzugsgebiete und handelt sich um Ausgleichszahlungen, die bei Überschreitungen des vorgegebenen Höchstwertes nicht gezahlt wurden.

Abbildung 2-3: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung nach der Ernte 1999 bis 2007



Quelle: Leiterer et al. (2010).

Abbildung 2-4: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung Herbst 1996 bis 2008



Quelle: Leiterer et al. (2010).

Tabelle 2.2: Vorschläge für N_{min}-Indikator-Schwellenwerte

Indikator	Einheit	Gruppierung	Sehr gut (Stufe 3)	Gut (Stufe 2)	Ausreichend	Ungünstig/ nicht zulässig	Anmerkung/ Quelle
Herbst-N _{min} -Analyse	kg N/ha	Alle	<10	10-30	30-50	>50	Siehe oben

Quelle: Eigene Darstellung.

3 Indikatorqualitätsbewertung

Die Methodik der Bewertung wurde in UGÖ-Schlussbericht Teil II.4 vorgestellt. Hier werden nur einzelne Aspekte wiederholt als Verständnishilfe für die Detailergebnisse des Indikators.

3.1 Aussagekraft

Bei der Aussagekraft eines Indikators handelt es sich um die Fähigkeit des Indikators, das erwünschte Zielniveau oder die Leistungserbringung möglichst genau darzustellen. Die politischen Ziele, im Kontext vom Leitbild der nachhaltigen Entwicklung und Umweltgerechtigkeit, und dafür relevante Leistungen sind im Abschnitt 1.1 dargestellt.

Unter Aussagekraft sind folgende Aspekte wichtig:

- **Relevanz:** Der Indikator hat Bezug oder Nähe (theoretisch und zeitlich) zum Problem, zum Ziel oder zur erwünschten Leistung. Im Prinzip haben ergebnisorientierte Indikatoren einen engeren Bezug zum Problem als handlungsorientierte. Allerdings können methodische oder andere Überlegungen dazu führen, dass handlungsorientierte Indikatoren als besser geeignet bewertet werden. Relevanz heißt auch, dass Handlungsebenen direkt beeinflusst werden können und Handlungsbereiche für die Agierenden (Politik, Verwaltung, Unternehmen, Verbände ...) handhabbar sind.
- **Repräsentativität und Sensibilität:** Die tatsächliche Situation und Änderungen in der beobachteten Situation können gut abgebildet werden.
- **Vergleichbarkeit:** Inwieweit und unter welchen Umständen sind Kontextfaktoren, zum Beispiel ähnliche Standorte (Boden, Klima, Hangneigung) oder Produktionssystem/Betriebstypen (Ackerbau-, Gemüsebau-, Milch-, sonstige Grünlandbetriebe usw.), für die Interpretation der Indikatoren von Bedeutung.
- **Komplementarität und Duplikation** unter den Indikatoren, bezogen auf das Logikmodell (vgl. UGÖ-Schlussbericht Teil II.5): Ist ein Indikator auch für andere Schutzgüter bzw. Ziele relevant oder sind die gleichen Daten für mehrere Indikatoren relevant, können unnötige Überlappungen mit anderen Indikatoren oder wiederholte Datenerhebung vermieden werden.

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3.1: Bewertung des N_{min}-Indikators nach den ausgewählten Aussagekraftkriterien

Kriterien	Bewertung	Anmerkungen/Quellen
Relevanz (theoretisch, zeitlich, politisch, Umwelt, Praxis)		Die Bundesregierung hat als Ziel, Stickstoff (vor allem als Nitrat und Ammoniak) in Grundwasser und Oberflächengewässern zu minimieren, um Trinkwasserqualität und menschliche Gesundheit zu schützen und Umweltschäden wie Eutrophierung zu vermeiden. Dieses Ziel ist mit EU- und deutschem Recht eng verbunden – EU-Nitrat- und -Wasserrichtlinien, Düngeverordnung, Oberflächenwasserschutzverordnung, Grundwasserverordnung.
Leistung 1: Verminderung der Nitrat- und N-Belastung in Gewässern	++	
Leistung 2: Nichtzutreffend	x	Die N _{min} -Analyse misst die Verfügbarkeit an mineralischem Stickstoff im Boden, entweder als wertvollen pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Frühling und Sommer oder als löslichen auswaschbaren Nitrat im Herbst und Winter. Organische N-Verbindungen wie zum Beispiel Eiweiß werden dabei nicht berücksichtigt. Die N _{min} -Werte im Herbst werden von der Bewirtschaftung mit unterschiedlichen Praxismaßnahmen im Lauf des Jahres beeinflusst, deswegen ist dieser Indikator eher ergebnisorientiert.

Kriterien	Bewertung	Anmerkungen/Quellen
Repräsentativität	+	Die Verfügbarkeit an mineralischem Stickstoff im Boden im Herbst, wenn die Sickerperiode anfängt, ist eine sehr gute Repräsentation des N-Auswaschungsrisikos. Aber die Genauigkeit der Abschätzung der Sickerperiode ist kritisch. Siehe weiter die Überlegungen unten.
Sensibilität	-	Die N_{\min} -Werte können vor allem von Feuchte und Wärme beeinflusst werden, deswegen müssen Zeitpunkt und Methoden der Probenahme und des Transports zum Labor geregelt werden. Wünschenswert wäre auch der Einsatz erfahrener Probenehmer*innen. Diese potentiellen Schwierigkeiten führen dazu, dass einige Expert*innen N_{\min} -Analysen kritisch betrachten.
Vergleichbarkeit	+	Es wäre möglich, mit zwei Gruppen von N_{\min} -Analysen zu arbeiten: <ul style="list-style-type: none"> • kultivierte Böden: Ackerbau, Gemüsebau, Weinbau und ähnliche Dauerkulturen, aber nicht Streuobstwiesen; • Dauergrünland einschließlich Streuobstwiesen. Ein Betriebswert könnte von einzelnen Schlagwerten, gewichtet auf Flächenbasis, berechnet werden. Relevante Kontextindikatoren, um die Ergebnisse zu interpretieren, wären Ton- und C_{org} -Gehalte sowie Art der Bodenbewirtschaftung (wendend, nicht wendend) und Anteil mehrj. Klee gras/Leguminosen in der Fruchtfolge (AKG, UGÖ-Schlussbericht Teil II.12).
Komplementarität	+	Es gibt mögliche Überschneidungen mit Humusbilanzen und Stoffstrombilanzen, die die N_{\min} -Werte beeinflussen könnten, aber die unterschiedliche Werte sind hilfreich, um ein gesamtes Bild zu schaffen.
Gesamtbewertung Aussagekraft	+	Hoch, unter der Bedingung, dass Probezeitpunkt und Methodik formalisiert werden können, um relevante Ergebnisse zu erzielen.

Quelle: Eigene Darstellung.

3.2 Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit

Vor allem, weil es sich um öffentliche Mittel handelt, muss mit den Indikatoren eine hohe Justiziabilität gewährleistet werden können. Auf der einen Seite müssen die Betrugsmöglichkeiten möglichst geringgehalten werden. Auf der anderen Seite muss es möglich sein, dass, wenn einzelne Betriebe unterschiedliche Bewertungen bekommen, diese Bewertungen eine gerichtliche Überprüfung bestehen können. Wichtige Kriterien dafür sind:

- rechtliche Grundlage (klare Definition einschließlich Methodenbeschreibung und technischer Koeffizienten/Umrechnungsfaktoren)
- Messbarkeit/Quantifizierbarkeit (Präzision/Genauigkeit)
- Evidenzbasiertheit (betriebliche Belege, Forschung oder statistische Gesicherheit)
- Replizierbarkeit/Verlässlichkeit (zwischen Betrieben, unter Datensammlern, über Zeit)
- Betrugsanfälligkeit (Möglichkeiten, Daten anzupassen, um bestimmte Ergebnisse zu erzielen)

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3.2: Bewertung des Nmin-Indikators nach den ausgewählten Justiziabilitäts- und Betrugsanfälligkeitskriterien

Kriterien	Bewertung	Anmerkungen/Quellen
Rechtliche Grundlage	+	Die methodische Vorgehensweise ist gut definiert mit mehrjährigen Erfahrungen in unterschiedlichen Bundesländern ^{16,17,18,19,20} in Zusammenhang mit DüV, AUKM und nitratbelasteten (roten) Gebieten. Zeitpunkt der Probenahme im Herbst muss geregelt werden.
Messbarkeit/ Quantifizierbarkeit	+	Die Analysen liefern genaue Werte pro Schlag, die auf Betriebsebene kombiniert werden können. Wenn den Probe- und Transportmethoden gefolgt wird, dann ist die Genauigkeit hoch, aber zum Beispiel können zu hohen Temperaturen zu überhöhten Werten führen.
Evidenzbasiertheit	++	Die Analysen haben eine extensive Forschungsgeschichte als Grundlage und sind inzwischen auch statistisch sehr gut gesichert.
Replizierbarkeit/ Verlässlichkeit	0	Die Schläge sind in LPIS festgelegt. Wie oben schon erwähnt, ist der Zeitpunkt der Probenahme sehr kritisch und muss geregelt werden. Die Replizierbarkeit ist hoch, wenn Proben von erfahrenen bzw. professionellen Probenehmer*innen genommen werden (die Laboranalysen sind gut standardisiert und unterliegen normalerweise einer Qualitätskontrolle).
Betrugsanfälligkeit	0	Es ist möglich, die Proben von Standorten zu nehmen, wo die Herbst-N _{min} -Werte niedriger sein könnten, zum Beispiel, wo nicht gedüngt wurde oder wo keine Bodenbearbeitung stattgefunden hat. Diese Risiken könnten durch eine professionelle Probenahme reduziert werden.
Gesamtbewertung Justiziabilität	+	Ausreichend bis gut, falls Zeitpunkt und Probenahme gelöst werden können.

Quelle: Eigene Darstellung.

3.3 Datenverfügbarkeit und -qualität

Im Prinzip sollen Indikatoren auf der Grundlage (dauerhaft) verfügbarer oder leicht zu erhebender Daten einfach zu messen und zuverlässig/belastbar sein. Die Daten sollen praktikabel zu erheben und nicht zu sehr expertenabhängig sein. Möglicher Datenbedarf sowie mögliche Datenquellen und deren Verfügbarkeit sind schon in Abschnitt 2.3 und UGÖ-Schlussbericht Teil II.3 erfasst worden.

Um die Datenverfügbarkeit zu bewerten, müssen zudem die Qualität der Daten und die Verlässlichkeit der Datenquelle bzw. Erhebungsmethode berücksichtigt werden. Die Erhebungskosten müssen auch akzeptabel sein (siehe ebenfalls den Abschnitt zu Transaktionskosten). Wo möglich sollte eine mehrfache Lieferung ähnlicher Daten, zum Beispiel Landnutzungsdaten an InVeKoS und Kontrollstellen, vermieden werden. Für die Bewertung sind folgende Kriterien verwendet worden:

¹⁶ Zum Beispiel: <https://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/nav/241/article/2170.html>, abgerufen am 18.07.2023.

¹⁷ https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjKkvKP8pb6AhXuS_EDHSqeAmsQFnoECAyQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.nlwkn.niedersachsen.de%2Fdownload%2F69971%2FNLWKN_2010_Untersuchung_des_mineralischen_Stickstoffs_im_Boden_Empfehlungen_zur_Nutzung_der_Herbst-Nmin-Methode_Band_8_.pdf&usg=AOvVaw0rIE3d7ZQz452acsqyyAlb, abgerufen am 18.07.2023.

¹⁸ <http://www.tll.de/www/daten/untersuchungswesen/probenahme/pdf/smin0311.pdf>, abgerufen am 18.07.2023.

¹⁹ <https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/probenahme/probenahme-nmin-smin.pdf>, abgerufen am 18.07.2023.

²⁰ <https://www.er-suedbayern.de/wp-content/uploads/2020/01/LKP-Anleitung-DSN-Probeziehung.pdf>, abgerufen am 18.07.2023.

- Verlässlichkeit der Datenquelle
- Datenqualität
- Verlässlichkeit der Erhebungsmethode
- Vermeidung mehrfacher Datenerhebung

Eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) wurde verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten.

Tabelle 3.3: Bewertung des N_{min}-Indikators nach den ausgewählten Datenverfügbarkeits- und -qualitätskriterien

Kriterien	Bewer- tung	Anmerkungen/Quellen
Verlässlichkeit der Datenquelle	++	Die Schlagdaten einschließlich Landnutzung sind über die gesetzlich geregelten InVeKoS- und LPIS-Systeme erfasst worden. Die Stelle der Beprobung kann georeferenziert werden.
Datenqualität	+	Die Schlagdaten haben eine hohe Qualität und werden regelmäßig kontrolliert und verbessert. Die Qualität der Probedaten hängt eng mit der Durchführung der Proben (Zeitpunkt, Professionalität) zusammen.
Verlässlichkeit der Erhebungsmethode	+	Die Methodik der Probenahme und -bewertung ist klar definiert und mit Ausbildung und Erfahrung kann beides konsistent durchgeführt werden.
Vermeidung mehrfacher Erhebungen	0	Landnutzungsdaten sind schon vorhanden und müssen nicht wieder erhoben werden, die N _{min} -Analysen und relevante Kontextdaten müssen jährlich auf dem Betrieb genommen werden.
Gesamtbewertung Daten	+	Hoch bis sehr hoch

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4 Transaktionskosten

Die Transaktionskosten, die mit der Datenerhebung und -prüfung verbunden sind (Zeitaufwand, Ausgaben), müssen möglichst geringgehalten werden, so dass möglichst viele Fördermittel zielgemäß verwendet werden können. Transaktionskosten können auf der Seite der Geldgeber oder auf der Seite der Empfänger*in vorkommen. Beispiele sind die Entwicklung von Verwaltungssoftware, Berechnung und Kontrolle von Ergebnissen sowie der Arbeitszeitbedarf für Betriebsleiter*innen, um Anträge zu stellen, Daten und Unterlagen zu liefern und so weiter. Auch relevant können besondere Kosten für die Probenahme und Analyse von Bodenproben oder direkte Biodiversitätserhebungen sein. Um die Transaktionskosten zu bewerten, werden die verschiedenen Kostenarten qualitativ aufgelistet und, wenn möglich, tatsächliche Kosten spezifiziert oder geschätzt.

Die betriebliche Transaktionskosten für die Probenahmen und -analysen sind in Tabelle 3-4 zusammengefasst. Zwei Varianten werden vorgestellt: einer externe, professionelle Probenahme mit Hilfe von Maschinen, oder eine manuelle Probenahme von Betriebsleiter*innen.

Um die Folgen für Verwaltungen und Betriebe zusammenzufassen, wurde eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) verwendet (Tabelle 3-5).

Tabelle 3.4: Schätzung der Transaktionskosten des Nmin-Indikators

Probenahme durch:	Externe Expert*innen mit maschineller Probenahme		Betriebsleiter*innen manuell mit Bohrstock		Anmerkungen, Quellen
<i>Pro Probe (3x30 cm Schichten)</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 60 €/h</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 30 €/h</i>	
Probenahme	-	30 €	0,5 h	15 €	Siehe unten
Laboranalyse	-	20 €	-	20 €	
Gesamt	-	50 €	0,5 h	35 €	
<i>Pro Schlag (2 ha)</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 60 €/h</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 30 €/h</i>	
1 Probe/ha	-	50 €	0,5 h	35 €	
Gesamt	-	100 €	1 h	70 €	
<i>Pro Betrieb (60 ha)</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 60 €/h</i>	<i>Ressourcen</i>	<i>Kosten 30 €/h</i>	
30 Schläge	-	3.000 €	30 h	2.100 €	
Ausbildung	-	-	1 h	30 €	
Berichterstattung	-	-	1 h	30 €	
Reisekosten	-	80 €	-	-	
Kontrolle	-	-	Siehe Fußnote	110	
Gesamt		3.080 €		2.270 €	

Annahmen für die Kontrolle: 5 % der Betriebe, 20 % der Schläge je Betrieb, externe Expert:innen

Laborkosten basiert auf Raiffeisen Laborservice je nach Menge etwa 20 €/Probe, über 20 Proben mit kostenloser Abholung²¹

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 3.5: Bewertung des Nmin-Indikators nach den ausgewählten Transaktionskostenkriterien

Kriterien	Bewertung	Anmerkungen/Quellen
Verwaltungskosten	0	Die Transaktionskosten würden evtl. die Anpassung von IT- und Verwaltungssystemen einschließen, um N _{min} -Ergebnisse mit den LPIS-Schlagdaten und InVeKoS-Landnutzungsdaten zu verbinden. Ein Kontrollsystem, um die Ergebnisse zu prüfen, müsste auch umgesetzt werden. Die Bestimmung und Kommunikation des Probenahmezeitpunktes könnten auch Kosten verursachen.
Betriebskosten	-	Wie in Tabelle 3-4 berechnet, sind die Kosten auf Betriebsebene verhältnismäßig hoch, obwohl Möglichkeiten, sie zu reduzieren, verfügbar sind.
Gesamtbewertung Transaktionskosten	-	Mäßig bis schlecht wegen Kosten der Probenahmen

Quelle: Eigene Darstellung.

3.5 Kommunizierbarkeit

Um tatsächliche Verhaltensänderungen mit dem Honorierungssystem zu erreichen, vor allem von Landwirt*innen, aber auch von Verbraucher*innen, Behörden und Politiker*innen, sollten die Indikatoren für eine breite Öffentlichkeit verständlich und einfach in relevanten Kontexten zu interpretieren sein. Dies würde helfen, Zielsetzungen zu vermitteln, Interesse zu wecken und Innovationen zu inspirieren. Es könnte auch helfen,

²¹ <https://www.raiffeisen-laborservice.de/landwirtschaft-bodenanalyse-nmin>, abgerufen am 18.07.2023.

Fehlentscheidungen auf der Basis einer zu begrenzten Auswahl an Indikatoren zu vermeiden. Eine jährliche Indikatoren-Berichterstellung könnte der Kommunikation des Programms dienen.

Um die Kommunizierbarkeit zu bewerten, wäre es notwendig, die einzelnen Indikatoren unterschiedlichen Zielgruppen vorzustellen. Das ist in diesem Projekt nicht vorgesehen. Eine einfache, qualitative Bewertung der Kommunizierbarkeit wird trotzdem versucht, in Hinsicht auf folgende Kriterien (Tabelle 3.6): Durchschaubarkeit der Methodik; Komplexität der Umsetzung; Interpretierbarkeit der Ergebnisse; und Änderungsmotivation.

Tabelle 3.6: Kommunizierbarkeit des Nmin-Indikators nach Zielgruppen

	Landwirt*innen	Behörden	Politiker*innen	Verbraucher*innen
Durchschaubarkeit der Methodik	Hoch	Hoch	Mäßig	Niedrig
Komplexität der Umsetzung	Mäßig mit Training	Hoch wegen Zeitpunkfrage	Nichtzutreffend	Nichtzutreffend
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	Sehr hoch	Hoch	Mäßig bis hoch, je nach Engagement	Mäßig, wenn es um Mittelwert der Noten geht (1–5)
Änderungsmotivation	Sehr hoch	Mäßig	Mäßig	Niedrig
Gesamt	Hoch bis sehr hoch	Hoch	Mäßig	Mäßig

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Gesamtbewertung der Kommunizierbarkeit wurde eine Fünf-Punkte-Bewertungsskala (++: sehr hoch/gut, +: hoch/gut, 0: mäßig/ausreichend, -: niedrig/schlecht, --: sehr niedrig/schlecht) verwendet, um die einzelnen Indikatoren nach den Kriterien zu benoten (Tabelle 3.7).

Tabelle 3.7: Bewertung des Nmin-Indikators nach den ausgewählten Kommunizierbarkeitskriterien

Kriterien	Bewertung	Anmerkungen/Quellen
Durchschaubarkeit der Methodik	+	Die Durchschaubarkeit ist hoch, weil das System einfach zu verstehen ist, zumindest für Behörden und Betriebsleiter*innen
Komplexität der Umsetzung	+	Die Verfügbarkeit von Probenehmer*innen könnte zur Komplexität beitragen, aber die Methodik ist inzwischen weit verbreitet.
Interpretierbarkeit der Ergebnisse	++	Die Ergebnisse sind einfach zu interpretieren.
Änderungsmotivation	++	Die notwendigen Praxismaßnahmen, um Änderungen in der Situation zu erreichen, sind verhältnismäßig einfach zu implementieren, ohne hohe Investitionskosten, deswegen kann die Änderungsmotivation für Betriebsleiter*innen sehr hoch sein.
Gesamtbewertung Kommunizierbarkeit	+	Hoch bis sehr hoch aus der Perspektive der Betriebsleiter*innen

Quelle: Eigene Darstellung.

3.6 UGÖ-Modul-A-Ergebnisse: Ausschnitt aus dem Schlussbericht Teil 1 (2023)

Auswahl geeigneter Indikatoren

In den identifizierten Vergleichsstudien werden verschiedene Indikatoren genutzt, um eine Aussage zu der Wirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Stickstoffeintrag in das Grundwasser zu untersuchen. Zum einen wird hierfür der N-Austrag [kg/ha] verwendet, der auf Basis von gemessenen Nitratgehalten [mg/L] in Sickerwasserproben und mit Hilfe der Sickerwasserrate oder eines Modells berechnet wird. Weiterhin werden auch die N_{min} -Gehalte [kg/ha] in Bodenproben zu Beginn der Sickerwasserperiode verwendet, um eine Aussage über potenziell entstehende N-Austräge zu treffen. Ebenso kann die N-Bilanz [kg/ha] Auskunft über potenziell mögliche N-Austräge geben. Da dieser Indikator in Kapitel 4.5 behandelt wird, liegt der Schwerpunkt der Analyse auf dem N-Austrag und den N_{min} -Gehalten.

Indikator Herbst- N_{min}

Auf Grund von nur 12 erfassten Beobachtungen würde eine Auswertung für den Indikator Herbst- N_{min} zu keinen repräsentativen Ergebnissen führen. Daher wurde auf eine Auswertung der Daten verzichtet.

Für den Indikator Herbst- N_{min} ergab sich für die Modellbildung ein Datenkern von 52 Beobachtungen. Dies entspricht nur ca. 30% der erfassten Daten (n = 170) aus 7 der 13 Studien.

Tabelle 3.8 zeigt das mit Hilfe der Step-Funktion des Statistikprogramms ermittelte Modell für den Indikator Herbst- N_{min} sowie die Anova zu den Bewirtschaftungspraktiken. Durch die vorgenommene Bonferroni-Korrektur ($p < 0,083$) konnte bei keiner der Bewirtschaftungspraktiken ein signifikanter Einfluss auf den Herbst- N_{min} -Gehalt des Bodens festgestellt werden.

Tabelle 3.8: Modell für den Indikator Herbst- N_{min} für den Datensatz „Einzelkultur“ und die Anova der Bewirtschaftungspraktiken

Modell: $\ln(\log(\text{Herbst-}N_{min})) \sim \text{ID} + \text{Hauptkultur} + \text{Begrünung in SiWa-Periode} + \text{N-Input über } N_2\text{-Fixierung}$					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-Wert	Pr(>F)
Hauptkultur vor SiWa-Per.	2	1.1150	0.55752		
Begrünung in SiWa-Per.	3	3.6725	1.22417		
N-Input über N_2 -Fixierung	1	0.4638	0.46383		
Residuen	45	4.2731	0.09496		
Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: *0,083					

SiWa-Per. = Sickerwasserperiode, Df = Freiheitsgrade, Sum Sq = summierte Quadrate, Mean Sq = quadratisches Mittel, Pr(>F) = p-Wert der F-Statistik

Quelle: UGÖ Schlussbericht Teil 1

Die diagnostischen Plots für dieses Modell waren allerdings hinsichtlich Homoskedastizität und Normalverteilung nicht ausreichend, sodass das Modell verworfen werden musste und keine weitere Auswertung für diesen Indikator möglich war.

4 Schlussfolgerung

Nmin eignet sich gut als Indikator für Nitrat-Auswaschungsrisiken infolge unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen, die auf einzelnen ökol. Betrieben vorkommen können. Die Methode ist inzwischen gut bekannt, weit verbreitet und zunehmend mechanisiert, wenn die Frage der Festsetzung des Zeitpunkts gelöst werden kann. Die Ergebnisse sind sicher von Interesse für Landwirt*innen, um auch ihre Nährstoffversorgung zu verbessern.

Tabelle 4.1: Gesamtbewertung des Nmin-Indikators

Kriterien	Bewertung
Aussagekraft	+
Justiziabilität und Betrugsanfälligkeit	+
Datenverfügbarkeit und -qualität	+
Transaktionskosten	-
Kommunizierbarkeit	+
Gesamtbewertung	0

Quelle: Eigene Darstellung.

Die hohen Transaktionskosten und methodischen Schwierigkeiten führen aber zum Schluss, dass Herbst-N_{min}-Analysen nicht für das Honorierungssystem geeignet sind und alternative Indikatoren für Stickstoff und Wasserqualität notwendig sind, dass zum Beispiel Stickstoffsalden (UGÖ-Schlussbericht Teil II.14) und Verzicht auf synth. N-Dünger (UGÖ-Schlussbericht Teil II.11) eher nutzbar sind.

5 Literaturverzeichnis

- Herold L, Höpfner E (2010) Nmin-Monitoring auf konventionell und ökologisch bewirtschafteten Flächen. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen 8:44-50
- Kolbe H (2009) Effects of conventional and organic land use types on water protection criteria in Germany. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Kolbe H (2022) Comparative Analysis of Soil Fertility, Productivity, and Sustainability of Organic Farming in Central Europe: Part 2: Cultivation Systems with Different Intensities of Fertilization and Legume N₂ Fixation as well as Perspectives for Future Development. *Agronomy* 12(9):2060. doi: 10.3390/agronomy12092060
- Kolbe H, Meyer D (2021) Schlaggenaue Analyse von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen: Nährstoff- und Humusmanagement. *Berichte über Landwirtschaft* 99(2):1-38. doi: 10.12767/buel.v99i2.315
- Leiterer M, Herold L, Wagner S, Höpfner E, Kießling G, Schmid R (2010) Untersuchung von Nmin -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N min -Monitorings auf Dauertestflächen: Ergebnisse der Jahre 2005 bis 2009 und langjährige Betrachtungen. Themenblatt-Nr.: 21.13.210. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- Sanders J, Heß J (eds) (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Thünen Report 65. Braunschweig: Thünen-Institut



THÜNEN

UGÖ-Schlussbericht Teil II.13

**Kontext, Methodik und Qualität von Indikatoren zur Bewertung von Umwelleistungen:
Herbst-Nmin-Analyse (Nmin)**

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Bundesallee 63
DE-38116 Braunschweig