



In Wasserschutzgebieten werden häufig Kooperationen zwischen Landwirten und Wasserwerken umgesetzt.
Foto: imago/Panthermedia

Über die Jahre eine deutlich bessere N-Effizienz erreicht

20 Jahre Wasserschutz-Kooperation

Seit dem Jahr 2004 besteht die Wasserschutz-Kooperation zwischen Marktfruchtbetrieben der Region und dem Wasserversorgungsunternehmen Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach. Dr. Stefan Weimar vom federführenden Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach, fasst die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen aus diesem Zeitraum zusammen.

Bereits im Vorfeld der im Jahr 2014 etablierten Wasserschutzberatung Rheinland-Pfalz wurden am DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück langjährige Wasserschutz-Kooperationen zwischen einzelnen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) und landwirtschaftlichen Betrieben im Einzugsbereich des Saar-Nahe-Berglands fachlich koordiniert.

Einrichtung von N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen

Mit der Einrichtung von N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen lag ein besonderer Fokus auf der potenziellen Abschätzung des standortspezifischen N-Austragsrisikos in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und N-Düngungsintensität. Die Finanzierung der Bodenanalytik wurde vollständig von den jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen getragen.

Dazu gehört seither die im Jahr 1990 gegründete Wasserschutz-Kooperation der Verbandsgemeindewerke Kir-

ner Land und die Wasserschutz-Kooperation der Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach. Die aus diesen Wasserschutz-Kooperationen erarbeiteten Zeitreihen zur langjährigen N-Dynamik einschließlich der N-Bilanzierung dienten seinerzeit maßgeblich als fachliche Grundlage zur Einrichtung der heutigen Wasserschutzberatung Rheinland-Pfalz.

Die schon seit dem Jahr 2004 bestehende Wasserschutz-Kooperation mit dem Wasserversorgungsunternehmen Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach in der Federführung des DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück basierte ursprünglich auf einem 1986 durch das damalige MWVLW geförderten mehrjährigen Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Dort wurde seinerzeit die NO_3 -Dynamik in der ungesättigten und gesättigten Zone von landwirtschaftlich genutzten Standorten im Einzugsbereich des Wasserschutzgebietes Stromberger Straße in Bad Kreuznach näher untersucht.

In einem Folgeprojekt veranlassten die Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach bis zum Jahr 1998 in bestimmten Wasserschutzgebieten jeweils zum Beginn der Sickerwasserperiode die Entnahme und Untersuchung von Bodenproben auf den N_{min} -Gehalt in 0 bis 90 cm Bodentiefe von ackerbaulich und Weinbaulich genutzten Flächen.

Kooperation startete 2004 mit 13 Marktfruchtbetrieben

Nach einer mehrjährigen Unterbrechung wurde die Untersuchungsreihe im Frühjahr 2004 aufgrund steigender Nitratgehalte im Grundwasser nach behördlicher Anordnung durch die Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord von der Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach fortgesetzt. Der im gleichen Jahr gegründeten Wasserschutz-Kooperation gehören derzeit 13 Marktfruchtbetriebe an, die mittlerweile insgesamt 65 N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen repräsentativ über die verschiedenen Wasserschutzgebiete verteilt bewirtschaften. Die N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen werden jeweils zu Beginn der Sickerwasserperiode im Herbst und zum Vegetationsbeginn im Frühjahr auf den N_{min} -Gehalt in 0 bis 90 cm Bodentiefe untersucht. Im Intervall von längstens sechs Jahren erfolgt eine Untersuchung des pH-Werts, der Grundnährstoffe und Spurenelemente sowie des Gehalts an organischer Substanz und Gesamt-N des Oberbodens.

Die Böden der N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen lassen sich überwiegend als Braunerden und Parabraunerden mit sandig-lehmiger bis lehmiger Textur und einem durchwurzelbaren Bodenraum von bis zu 90 cm typisieren.

Bewirtschafter erhalten eine N_{min} -basierte Düngeempfehlung

Die Bewirtschafter der N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen erhalten zum Vegetationsbeginn eine N_{min} -basierte N-Düngeempfehlung gemäß der geltenden Düngeverordnung durch das DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück Bad Kreuznach. Darüber hinaus haben sich die Bewirtschafter seither zur parzellenscharfen Aufzeichnung aller pflanzenbaulichen Maßnahmen auf diese Flächen mittels Ackerschlagkartei verpflichtet. Nach der Vorlage bei der Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach werden diese vom DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück Bad Kreuznach ausgewertet.

In der Zuständigkeit der Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach liegen aktuell die per Rechtsverordnung festgelegten oder bereits abgegrenzten Wasser-

schutzgebiete Bad Kreuznach Süd und Nord (Bosenheim, Planig, Bretzenheim, Stromberger Straße), Fürfeld, Frei-Laubersheim, Hochstätten, Altenbamberg, Ebernburg, Hallgarten und Weinsheim sowie die Brunnenfassungen der Ortsgemeinden Mandel, Sponheim und St. Katharinen.

Weitere Maßnahmen zum Wasser- und Bodenschutz

Der Kooperation liegen neben der routinemäßigen Bodenanalytik und der jährlichen N-Bilanzierung weitere Bewirtschaftungsmaßnahmen zugrunde, die im Sinne des vorsorgenden Wasser- und Bodenschutzes über den Rahmen des geltenden Fachrechtes hinausgehen können.

Im Rahmen der pfluglosen Bodenbearbeitung sollen mögliche N-Überhänge nach N-lastigen Vorfrüchten, wie zum Beispiel Winterraps, Leguminosen und Mais durch die Bestellung der nachfolgenden Wintergetreide-Arten als Mulchsaat konserviert werden. Vor dem Anbau von Sommerungen wird die Etablierung von Zwischenfrüchten empfohlen. Bei sehr knappem Wasserhaushalt kann alternativ auch ein Strohmulch zu einer eher verhaltenen N-Mineralisierung und besseren Wasserspeicherung beitragen.

Die kulturbegleitende N-Düngung sollte frühestens bei Vegetationsbeginn ausgebracht werden, während die Qualitätsdüngung bei Wintergetreide zeit-

lich vor dem Ährenschieben zu terminieren ist, um die N-Verwertung zu optimieren. N-Verteilungen mit einer Betonung der Schossergabe oder auch platzierte N-Düngungsverfahren in Anlehnung an das CULTAN-Verfahren sind anzustreben.

Ergebnisse der 20-jährigen Beobachtungen

Beginnend mit dem Jahr 2004 bis zum ersten Quartal des Jahres 2025 werden die Ergebnisse zu den Maßnahmen der grundwasserschonenden Bewirtschaftung vorgestellt.

Bodenchemische Kennwerte: Die Böden der N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen zeigen nach der jüngsten Untersuchung vom Februar 2023 mehrheitlich einen pH-Wert von über pH 7,0 im Oberboden.

Mit einem Humusgehalt zwischen 1,75 und 2,5 Prozent bildet sich ein standorttypischer Versorgungsbereich von ackerbaulich genutzten Oberböden ab. Der Gesamt-N-Gehalt bewegt sich zwischen zirka 0,10 und 0,15 Prozent, entsprechend einem mittleren C/N-Verhältnis von zirka 10 zu 1. Innerhalb des 20-jährigen Betrachtungszeitraums belegen die epochalen Untersuchungen für die Mehrzahl der Standorte bei diesen Parametern ein gleichbleibendes Niveau.

Der Gehalt an CAL-löslichem Phosphat im Oberboden der N_{min} -Dauerbeobachtungsflächen bewegt sich in den zwischenzeitlich aktualisierten

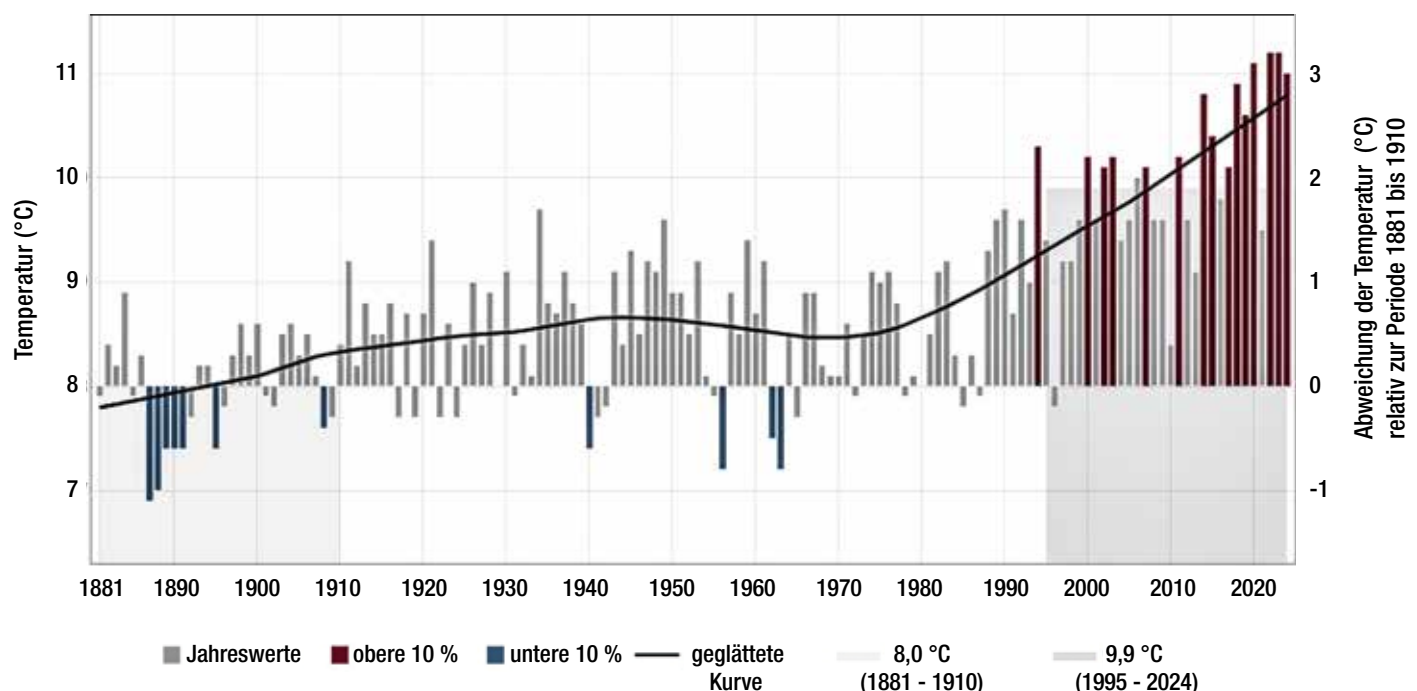
Gehaltsklassen B und D, während die Standorte beim Gehalt an CAL-löslichem Kali und $CaCl_2$ -austauschbarem Magnesium eher zu den Gehaltsklassen C bis E tendieren.

Der nach der CAT-Methode untersuchte Gehalt an Zink, Mangan und Bor des Oberbodens entspricht einem optimalen bis sehr hohen Versorgungsbereich. Lediglich der Gehalt an Kupfer belegt bei gut 40 Prozent der Standorte einen niedrigen Versorgungstatus.

Mit steigenden Temperaturen steigt die N-Mineralisationsrate

Der N_{min} -Gehalt der Untersuchungsflächen schwankt im bisherigen Betrachtungszeitraum auf einem teilweise beachtlichen Niveau zwischen zirka 35 und 134 kg/ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe. Zum Beginn der Sickerperiode wurde in der Mehrzahl der Jahre ein verhältnismäßig hoher N_{min} -Gehalt vorgefunden. Zur Beurteilung der vorliegenden N-Dynamik der Standorte sind neben der Nährstoffzufuhr inklusive organischer Düngung und Kalkversorgung das Zusammenwirken weiterer standortspezifischer Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Bodentextur, der Gehalt an organischer Substanz im Boden, der Temperatur- und Feuchtigkeits-abhängige Mineralisationsverlauf des Bodens, die Bodenbearbeitungs-Intensität und auch die Fruchtfolge-Gestaltung ausschlaggebende Variablen.

Zeitliche Entwicklung der Jahrestemperaturen von 1881 bis 2024



Vermutlich dürfte sich auch der klimatisch bedingte Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur in einer steigenden Mineralisationsrate von bodenbürtigem Stickstoff abbilden.

Bei sehr vorsichtiger Interpretation deuten die im Landkreis Bad Kreuznach insgesamt vorliegenden $N_{\min}$ -Untersuchungsbefunde in der Tendenz auf eine parallele Entwicklung zwischen dem im Frühjahr unter Ackerland ermittelten $N_{\min}$ -Gehalts in 0 bis 90 cm Bodentiefe und der Bodentemperatur des Vorjahres hin.

In Jahren mit geringer Austauschhäufigkeit des Bodenwassers, abhängig von der Feldkapazität des effektiven Bodenraums und der nach der Vorfruchternte bis zur Bodenuntersuchung angefallenen Sickerwassermenge, war im Frühjahr ein relativ hoher $N_{\min}$ -Gehalt in 0 bis 90 cm Bodentiefe feststellbar. Dies zeigte sich insbesondere in den Vegetationsjahren 2004 bis 2006, 2008, 2017 und 2019, als vom September des Vorjahres bis zum Untersuchungszeitraum Ende Februar weniger als etwa 230 mm, teilweise auch weniger als 170 mm Niederschlag fielen.

$N_{\min}$ -Gehalt variiert deutlich je nach angebauter Kultur

Bei erwartungsgemäß höherer Austauschhäufigkeit des Bodenwassers, wie zum Beispiel in den Vegetationsjahren 2001 bis 2003, 2007, 2010 und 2014 bis 2016 sowie 2023 bis 2025 lag der $N_{\min}$ -Gehalt zum Vegetationsbeginn in 0 bis 90 cm Bodentiefe auf einem vergleichsweise niedrigeren Niveau.

Auf den $N_{\min}$ -Dauerbeobachtungsflächen folgt im Betrachtungszeitraum 2004 bis 2025 der $N_{\min}$ -Gehalt im Frühjahr in 0 bis 90 cm Bodentiefe der einzelnen Kulturen (Ø) der nachfolgenden Abstufung:

- 1) Sommergerste (SG), Körnermais (KM), Zuckerrüben (ZR): Ø 87 kg N/ha
- 2) Winterweizen (WW): Ø 80 kg N/ha
- 3) Wintergerste (WG), Winterroggen (WR), Wintertriticale (WTr): Ø 69 kg N/ha
- 4) Winterraps (WRaps): Ø 62 kg N/ha
- 5) Stilllegung: Ø 49 kg N/ha

Abstufung bei $N_{\min}$ -Untersuchung im Herbst:

- 1) Winterweizen: Ø 117 kg N/ha
- 2) Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale: Ø 99 kg N/ha
- 3) Sommergerste, Körnermais, Zuckerrüben: Ø 95 kg N/ha
- 4) Winterraps: Ø 86 kg N/ha
- 5) Stilllegung: Ø 42 kg N/ha

Bei den untersuchten Kulturarten-Gruppen liegt der durchschnittliche $N_{\min}$ -Gehalt im Herbst in 0 bis 90 cm Bodentiefe immer über dem des Frühjahrstermins in der folgenden Abstufung:

- 1) Winterweizen
- 2) Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale
- 3) Sommergerste, Körnermais, Zuckerrüben
- 4) Winterraps
- 4) Stilllegung

Vom Vegetationsbeginn bis zum Beginn der Sickerperiode nahm der $N_{\min}$ -Gehalt im Betrachtungszeitraum der Jahre 2004 bis 2024 mit Ausnahme der Jahre 2008, 2019 und 2023 im Mittel aller Standorte um zirka 23 kg N/ha zu.

Der $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn der Sickerperiode zeigt langjährig folgende prozentuale Verteilung: 0 bis 30 cm: 41 Prozent, 30 bis 60 cm: 36 Prozent, 60 bis 90 cm: 23 Prozent.

Vom Beginn der Sickerperiode bis zum Vegetationsbeginn des darauffolgenden Jahres nahm der $N_{\min}$ -Gehalt im Betrachtungszeitraum der Jahre 2004 bis 2025 mit Ausnahme der Jahre 2005, 2011, 2021 und 2024 im Mittel aller Standorte um zirka 19 kg N/ha ab.

N-Bilanzierung ohne Stilllegungsflächen

Zwischen den Anbaujahren im Zeitraum 2008 bis 2016 stieg die jährliche N-Zufuhr angesichts der höheren Markterlöse und der allmählichen Ausdehnung des Winterweizen- und Winterraps-Flächen an. Ab dem Anbaujahr 2017 nimmt die jährliche N-Zufuhr kontinuierlich ab und entwickelt sich analog zum abnehmenden Inlandsabsatz für mineralische N-Düngemittel in Deutschland.

In diesem Zusammenhang ist ab dem Wirtschaftsjahr 2014/15 bis 2023/24 der flächenbezogene durchschnittliche N-Aufwand bundesweit um gut 40 Prozent von seinerzeit insge-

samt 109 auf bislang 62 kg N/ha zurückgeführt worden. Darüber hinaus wurde der Anbau von Kulturen mit geringerem N-Aufwand beziehungsweise günstiger N-Verwertung, wie zum Beispiel Braugetreide, Spelzweizen oder Körnermais, in die Fruchtfolge aufgenommen.

Der N-Aufwand ist um 40 Prozent gesunken

Im Mittel aller Dauerbeobachtungsflächen liegt der mittlere jährliche N-Bilanzsaldo von 2004 bis 2024 bei +18 kg N/ha (-6 bis 42 kg N/ha).

Die Auswertung der schlagbezogenen Aufzeichnungen von 2004 bis 2024 belegt für die Kulturen Winterraps und Winterweizen mit durchschnittlich 34 beziehungsweise 30 kg N/ha eine positive N-Bilanz. Die Kulturen Wintergerste, Winterroggen und Wintertriticale liefern einen fast ausgeglichenen N-Bilanzsaldo, während alle Sommerungen die N-Bilanz aufgrund des deutlich negativen Saldos entlasten.

In den Jahren 2005 bis 2007, 2009, 2019 sowie 2022 bis 2024 verhielt sich der mittlere jährliche N-Bilanzsaldo annähernd

ausgeglichen. Der mittlere jährliche N-Bilanzüberschuss stieg mit zunehmender N-Düngungsintensität an.

Der schlagspezifische N-Bilanzsaldo bildete sich im $N_{\min}$ -Gehalt zum Beginn der Sickerperiode nicht ab. Ein etwas stärkerer Zusammenhang besteht seither zwischen dem Anstieg des $N_{\min}$ -Gehalts vom Vegetationsbeginn bis zum Beginn der Sickerperiode und dem N-Bilanzsaldo bezogen auf das Jahresmittel.

Auch bei einem ausgeglichenen N-Bilanzsaldo kann im Mittel der untersuchten Flächen der $N_{\min}$ -Gehalt vom Vegetationsbeginn bis zum Beginn der Sickerperiode um bis zu zirka 20 kg N/ha ansteigen. Angesichts des mäßigen Korrelationskoeffizienten dürften weitere Faktoren, wie beispielsweise die Bodenbearbeitungsintensität, die Fruchtfolge-Gestaltung und auch kurzfristige Witterungseinflüsse sowie deren Interaktionen die beobachtete N-Dynamik tendenziell stärker beeinflussen.

Im Mittel aller Standorte korreliert die Abnahme des $N_{\min}$ -Gehalts vom Ende der Sickerperiode bis zum Vegetationsbeginn des darauffolgenden Jahres sehr schwach negativ mit dem N-Bilanzsaldo.

Fazit: Die N-Dynamik wird durch viele Faktoren beeinflusst

Die langjährige Untersuchungsreihe aus der Wasserschutz-Kooperation der Stadtwerke GmbH Bad Kreuznach belegt für die zurückliegende Jahresdekade im Mittel der $N_{\min}$ -Dauerbeobachtungsstandorte eine deutliche Verbesserung der N-Effizienz in Richtung eines ausgeglichenen N-Bilanzsaldos.

Der $N_{\min}$ -Gehalt zu Vegetationsbeginn und zum Beginn der Sickerperiode zeigt stärkere Amplituden mit insgesamt leicht sinkender Tendenz. Die N-Dynamik im Boden wird neben dem Gehalt an organischer Substanz vor allem von dem Temperatur- und Feuchtigkeits-abhängigen Mineralisationsverlauf, der Bodenbearbeitungs-Intensität und der Fruchtfolge-Gestaltung gesteuert, so dass eine angepasste N-Düngungsintensität über Zeitpunktanalysen des pflanzenverfügbaren Stickstoffs nicht unmittelbar zu identifizieren ist.

Es ist ebenfalls anzunehmen, dass die beobachtete N-Dynamik im Zuge ansteigender Luft- und Bodentemperaturen durch außerordentliche Witterungsverläufe mit anhaltenden Trockenphasen oder unvorhersehbare gewitterartige Starkregenereignisse überlagert wird. ■