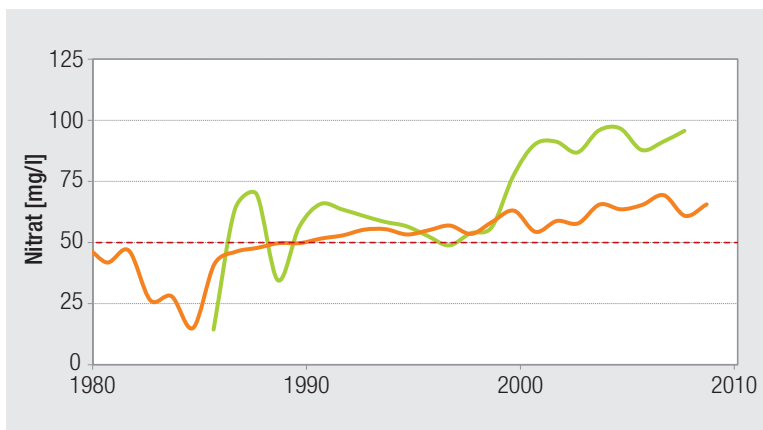


# Konsequenzen nachlassenden Nitratabbau in Grundwasserleitern

In einem vom DVGW und von Wasserversorgungsunternehmen finanzierten Forschungsvorhaben wurde eine **Methodik zur Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in Porengrundwasserleitern** entwickelt und die **qualitativen, technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen eines fortschreitenden Aufbrauchs des Nitratabbauvermögens für die Wasserversorgung** bewertet.

Auf **landwirtschaftlich** intensiv genutzten Flächen werden seit Langem Stickstoffdünger zur Ertrags- und Produktivitätssteigerung eingebracht. Stickstoffüberschüsse, die bei nicht bedarfsgerechter Düngung auftreten, können unter entsprechenden Bedingungen in Form von Nitrat auch in die zur Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasserleiter gelangen und so zu einer nachteiligen Veränderung der Grund- und Rohwasserqualität führen. Verfügen die Grundwasserleiter über kein oder nur über ein sehr geringes Nitratabbauvermögen, kann es im Rohwasser zu einem schnellen Anstieg der Nitratkonzentrationen kommen (**Abb. 1**). Um den Nitratreintrag ins Grundwasser zu mindern, werden in den meisten Wassergewinnungsgebieten Grundwasserschutzmaßnahmen beschusst. Dennoch führen hohe Nitratkonzentrationen häufig dazu, dass Brunnen außer Betrieb genommen, die Förderung in tiefere Stockwerke verlagert oder eine kostenintensive Nitratelimination bei der Wasseraufbereitung eingerichtet werden muss.

**Abb. 1:** Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser von zwei ausgewählten Wassergewinnungsgebieten



Quelle: eigene Auswertungen

geringe Nitratkonzentrationen aufweisen. Dies ist im Wesentlichen hydrogeochemisch und biologisch gesteuerten Nitratabbauprozessen zu verdanken, die sowohl in der ungesättigten Bodenzone als auch im Grundwasserleiter ablaufen können. Bei der heterotrophen Denitrifikation reagiert organisch gebundener Kohlenstoff (OC) mit dem im Grundwasser gelösten Nitrat, bei der autolithotrophen Denitrifikation sind es insbesondere Eisendisulfide (Pyrit:  $\text{FeS}_2$ ). Beide Verbindungen liegen meist nur in Spuren im Gesteinsmaterial der Grundwasserleiter vor und werden im Zuge der Reaktionsprozesse, bei denen Nitrat über Zwischenstufen zu Stickstoff reduziert wird, irreversibel verbraucht. Das an diese Stoffe gebundene Nitratabbauvermögen eines Grundwasserleiters ist somit als „endliche Ressource“ anzusehen, die im Laufe der Zeit aufgezehrt wird. Damit einhergehend ist prinzipiell mit einem Anstieg der Nitratkonzentration im Grundwasser – und damit früher oder später auch im geförderten Rohwasser – zu rechnen.

## Vorhabensziele und Untersuchungsgebiete

Ausgangspunkt für das vom DVGW und von 16 Wasserversorgungsunternehmen geförderte Forschungsvorhaben war, dass es bisher kaum gesicherte Vorstellungen über das regionale Ausmaß und über die Zeiträume gab, in denen ein Nachlassen des Nitratabbau zu relevanten Auswirkungen auf die Rohwasserqualität führt. Es war unklar, welche technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen ein Nachlassen des Nitratabbauvermögens für die Wasserversorgung und den Ressourcenschutz haben würde. Darüber hinaus fehlte ein praxistaugliches Instrumentarium, um das in den Gewinnungsgebieten (noch) vorhandene Nitratabbauvermögen zu quantifizieren und die Zeitspannen zu prognostizieren, in denen ein kritischer Anstieg der Nitratkonzentration im

Rohwasser zu erwarten ist. Diese Fragestellungen wurden durch ein Konsortium aus mehreren Forschungspartnern (IWW Zentrum Wasser, CAH Geo-Infometric, TU Clausthal/Hydrogeologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, DVGW-Technologiezentrum Wasser) untersucht.

Die 21 betrachteten Untersuchungsgebiete befinden sich in der norddeutschen Tiefebene, am Niederrhein, im Münsterland, im Weserbergland sowie in Südhessen (Abb. 2).

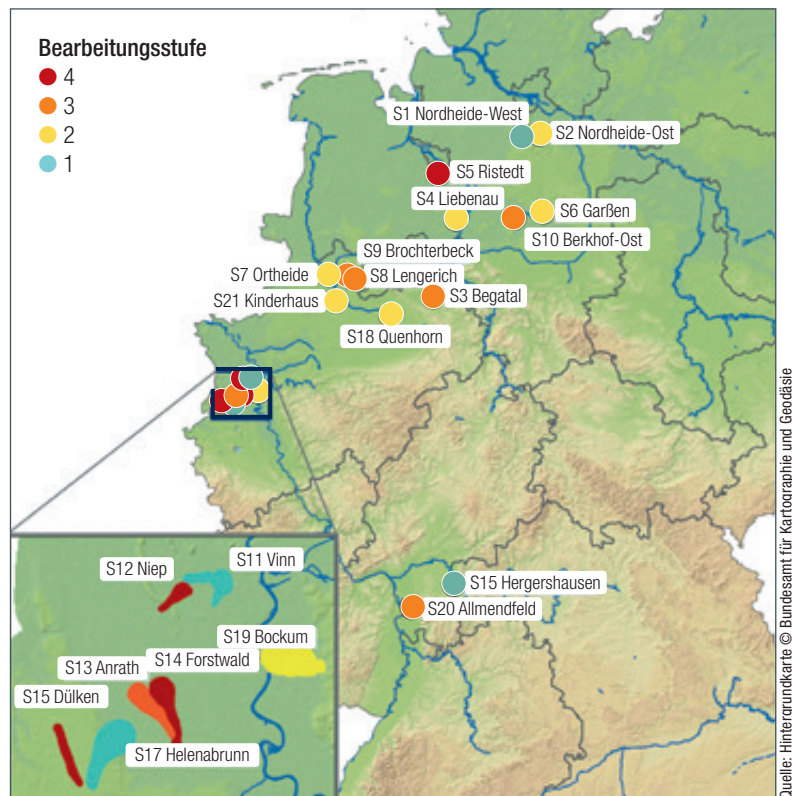
In einzelnen Gebieten waren die wasserwirtschaftlichen, hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse so heterogen und komplex, dass eine Abgrenzung in einzeln untersuchte Teileinzugsgebiete erforderlich war. Dadurch ergaben sich insgesamt 38 untersuchte Teilgebiete mit einer Vielzahl unterschiedlicher Standortbedingungen, sodass eine breite Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Wassergewinnungsgebiete mit Porengrundwasserleitern in Deutschland gewährleistet ist.

Die Rohwasserbeschaffenheiten der untersuchten Gewinnungsgebiete und Teileinzugsgebiete unterscheiden sich deutlich voneinander, sowohl im Hinblick auf die Höhe der Konzentrationen als auch im Hinblick auf die Konzentrationsentwicklungen. In fünf Untersuchungsgebieten liegen die Nitratkonzentrationen bereits deutlich über dem in diesem Vorhaben definierten Schwellenwert (37,5 mg/l), in vier dieser Gebiete wird auch der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l zum Teil deutlich überschritten (Abb. 3).

Dagegen weisen 13 Gebiete derzeit ein nitratfreies Rohwasser auf. Dies entspricht in etwa einem Drittel der im Rahmen des Vorhabens untersuchten Gebiete. Sechs Gebiete weisen derzeit (noch) Nitratkonzentrationen im Rohwasser auf, die als nitratarm (1-10 mg/l) eingestuft werden können. Zehn Gebiete weisen bereits erhöhte Nitratkonzentrationen auf (10-30 mg/l Nitrat im Rohwasser) und rund ein Viertel der untersuchten Gebiete weisen hohe (30-50 mg/l) und sehr hohe (> 50 mg/l) Nitratkonzentrationen auf.

### Gestufte Vorgehensweise

Für die Bewertung der Effizienz und Nachhaltigkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen wurde ein vierstufiges Untersuchungs-

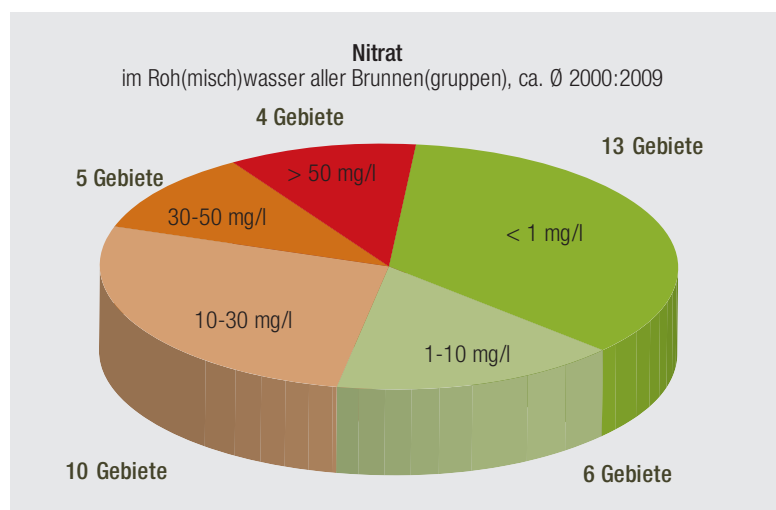


und Bewertungsverfahren entwickelt, angewendet und auf seine Praxistauglichkeit geprüft (Abb. 4).

Bewertet wurde dabei die „Nachhaltigkeit“ einer Grundwasser-Bewirtschaftungsstrategie auf Grundlage der aktuellen und der für die Zukunft mit unterschiedlichen Verfahren prognostizierten Nitratkonzentrationen im Rohwasser. Hierfür wurden zu Beginn des Vorhabens gemeinsam mit den beteiligten Versorgungsunternehmen Kriterien entwickelt. Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ wird hierbei als Schlüsselbegriff für die prognosebasierte Bewertung der zukünftigen Nitratkonzentration im Rohwasser verwendet. Als „Schwellenwert der Nachhaltig-

**Abb. 2:** Lage der untersuchten 21 Wassergewinnungsgebiete (WGG S1 bis S21) mit Angabe der durchzuführenden Bearbeitungsstufen 1-4

**Abb. 3:** Statistische Verteilung der aktuellen Nitratkonzentrationen im Roh(misch)wasser aller Brunnen(gruppen) der 38 untersuchten (Teil-)Einzugsgebiete (Bezug: Mittelwerte ca. 2000-2009).



keit“ wurde eine Unterschreitung einer Nitratkonzentration im Rohwasser von 37,5 mg/l Nitrat (das sind 75 Prozent des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung) innerhalb einer Zeitspanne von mindestens 30 Jahren definiert (die mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Einzugsgebiet muss deutlich überschritten werden). Das Konzept sieht vor, die jeweils nächsthöhere und damit aufwendigere Bearbeitungsstufe anzuwenden, wenn in der vorangegangenen Stufe nach den definierten Kriterien keine eindeutige Aussage zur Nachhaltigkeit getroffen werden kann.

### Bewertung der Nachhaltigkeit

#### Stufe 1: Überschlägige Nitratbilanz

In der ersten Bearbeitungsstufe erfolgt eine schnelle und robuste Gefährdungsabschätzung auf der Grundlage

einer Nitratbilanz, mit der die gegenwärtige Abbauleistung des wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiters überschlägig ermittelt wird. Prognostische Aussagen sind hier noch nicht möglich. Im Ergebnis weist etwa die Hälfte der 38 untersuchten Gebiete eine hohe Nitratbauleistung auf: Über 80 Prozent des eingetragenen Nitrats im Grundwasserleiter werden dort abgebaut. Je ein Viertel der Untersuchungsgebiete weist mittlere (80-40 Prozent) bzw. geringe (< 40 Prozent) Nitratbauleistungen auf (Abb. 5).

In diesen Gebieten erreicht ein großer Teil des eingetragenen Nitrats die Förderbrunnen. Von den 38 Gebieten konnten in Stufe 1 bereits acht als „derzeit nachhaltig“, aber auch fünf als „nicht nachhaltig“ bewertet wer-

den. Für die übrigen Gebiete ist eine höhere Stufe zur Bewertung erforderlich (Abb. 6).

In den Bearbeitungsstufen 2 bis 4 dient die mit der jeweiligen Methodik ermittelte prognostische Entwicklung der Nitratkonzentration als Kriterium der Nachhaltigkeit. Die Ergebnisse stellen in diesem Sinne eine „Risikoanalyse“ hinsichtlich der Rohwasserbeschaffenheit dar. Wie schnell und wie hoch die Nitratkonzentrationen im Rohwasser ansteigen werden, wird in jeder Bearbeitungsstufe mit der jeweiligen Methodik anhand von drei definierten Nitratreintragszenarien berechnet:

1. „Status quo“: Die in den Modellierungen definierten aktuellen Nitratreintragskonzentrationen für das Bezugsjahr werden unverändert beibehalten.
2. „Best Case“: Der Bilanzüberschuss auf landwirtschaftlichen Flächen wird ab „heute“ auf 40 kg N/(ha · a) begrenzt. Dies entspricht der genannten Obergrenze bei einer Umsetzung der Empfehlungen der „Technischen Regel W 104“ des DVGW zur grundwasserverträglichen Bewirtschaftung.
3. „Worst Case“: Die in der Vergangenheit bislang maximal erreichten Nitratreinträge auf landwirtschaftlichen genutzten Flächen werden mit einem Zuschlag von 20 Prozent angenommen.

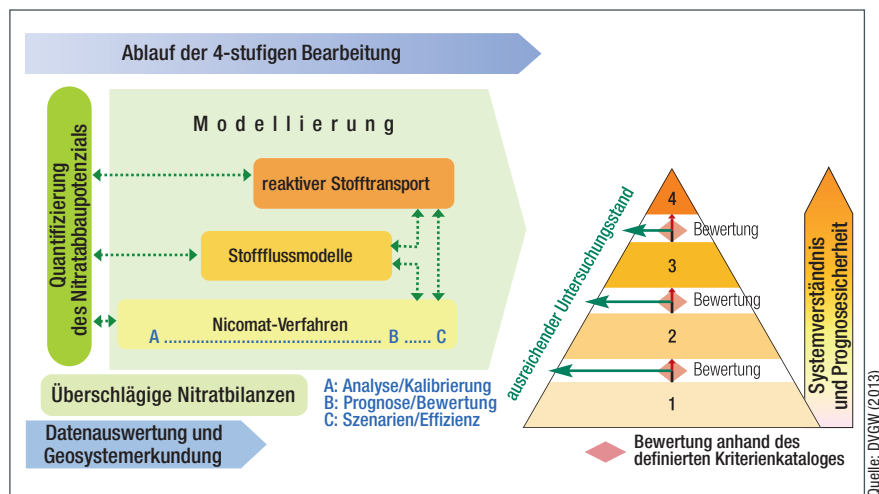


Abb. 4: Gestufte Vorgehensweise zur Bewertung der Gefährdung des Rohwassers durch ansteigende Nitratkonzentrationen und zur Bewertung der „Nachhaltigkeit“ einer Ressourcenbewirtschaftung.

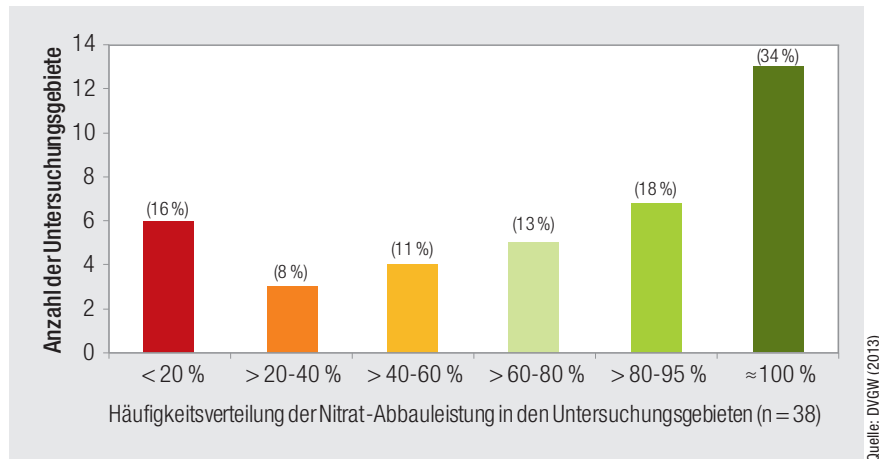
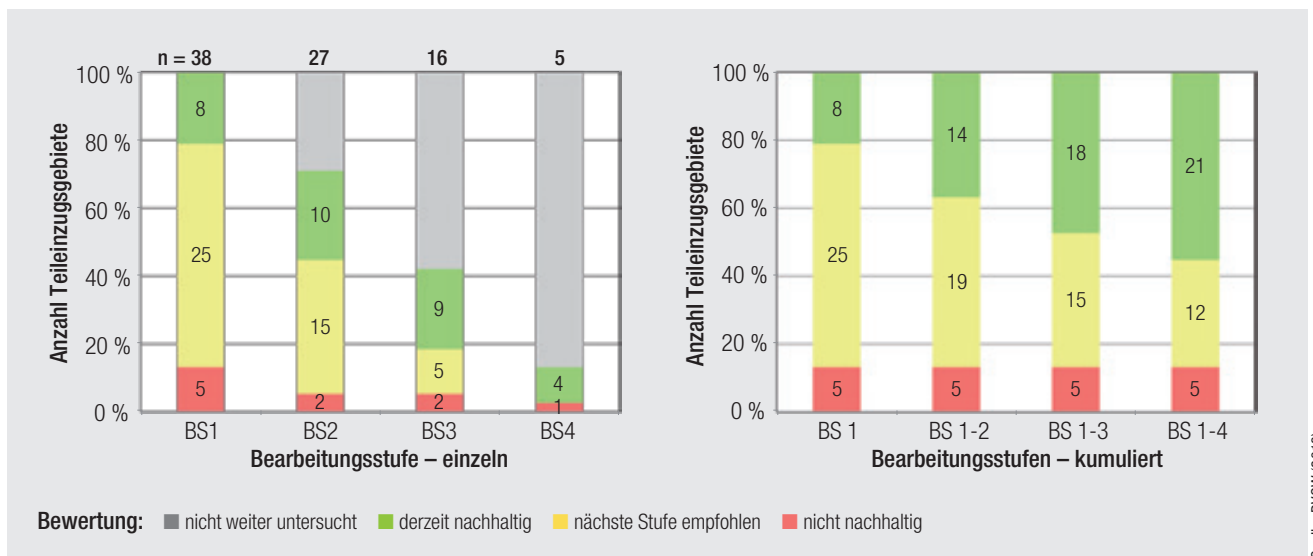


Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der aktuellen Nitratbauleistung in den Untersuchungsgebieten (Datengrundlage: 38 Untersuchungsgebiete).

#### Stufe 2: Nicomat-Verfahren

In der Stufe 2 wird das Nicomat-Verfahren angewandt, welches die Prognoseberechnungen auf der Grundlage eines an der Beschaffenheitsentwicklung des Rohwassers (Nitrat, Sulfat, zum Teil Hydrogencarbonat) kalibrierten, einzugsgebietsbezogenen, flächendifferenzierten „Bilanzmodells“ durchführt. Die Prognosen werden für zwei Stoffumsatz-Varianten durchgeführt, welche die prinzipiellen Ober- und Untergrenzen der zukünftigen Entwicklung für die entsprechenden Eintragsszenarien beschreiben. Die Annahme „Denitrifikation konstant“ geht davon aus, dass das Nitratbauleistungsvermögen auf dem heu-



**Abb. 6:** Bewertung der Nachhaltigkeit der untersuchten Teileinzugsgebiete (insgesamt 38 TEZG) nach der jeweiligen Bearbeitungsstufe. Links: Ergebnisse der einzelnen Bearbeitungsstufen mit Angabe der Anzahl der untersuchten TEZG. Rechts: Kumulierte Ergebnisse der Bearbeitungsstufen, dabei ist die Bewertung der vorangegangenen Stufe übernommen, wenn das TEZG in der betreffenden Stufe nicht weiter untersucht wurde. In jeder Stufe wurden mehrere TEZG jeweils zusätzlich als „nachhaltig“ bewertet (rote Zahlen). Für zwölf TEZG wird noch die jeweils nächste Stufe zur Bearbeitung empfohlen, da keine abschließende Bewertung gegeben werden konnte. Einige TEZG wurden in den höheren Stufen weiter bearbeitet, obwohl die Bewertung „derzeit nachhaltig“ schon in vorangegangenen Stufen erfolgt war.

tigen Stand auch zukünftig erhalten bleibt. Die zweite Prämisse „Denitrifikation null“ unterstellt, dass ab „sofort“ kein Nitratabbau mehr stattfindet und das ins Grundwasser eingetragene Nitrat vollständig, nach entsprechend berechneter Fließzeit im Grundwasser, zum Förderbrunnen gelangt.

Von den 27 der in Stufe 2 bearbeiteten Gebiete wurden zwei Gebiete als „nicht nachhaltig“ und zehn Gebiete als „derzeit nachhaltig“ eingestuft (Abb. 6). In den nachhaltig bewirtschafteten Gebieten würde die Nitratkonzentration im Rohwasser aufgrund niedriger Nitratreinträge oder durch die bereits in der ungesättigten Zone ablaufenden Abbau-

prozesse selbst ohne Denitrifikation im Grundwasserleiter unter dem Schwellenwert bleiben. Für die Mehrzahl der Gebiete (15) wäre dies aber nicht der Fall. In diesen Gebieten sichert die Denitrifikation (noch) eine derzeit niedrige Nitratkonzentration im Rohwasser.

#### Stufe 3: Stoffflussmodellierung und Validierung des Nicomat-Verfahrens

Auf Stufe 3 werden Stoffflussmodellierungen unter Einsatz des hydrochemisch-thermodynamischen Rechenprogramms „PhreeQC“ durchgeführt. Erst damit kann festgestellt werden, welche Prognosebedingungen gelten, indem die ablaufenden Abbauprozesse identifiziert und quantifiziert werden.

Durch die hydrogeochemische Ableitung der Abbauprozesse und deren retrospektive Entwicklung, aber auch durch die modellgestützte Ableitung der nutzungsspezifischen Einträge bekommt das Nicomat-Verfahren die Unterstützung, die für belastbare Prognosen benötigt wird. Die Prognosen des Nicomat-Verfahrens werden somit durch die Ergebnisse der Stoffflussmodellierung „validiert“.

Von den 16 der auf Stufe 3 bearbeiteten Gebieten wurde für zwei Gebiete die bereits in der vorangegangenen Stufe festgestellte Einstufung „nicht nachhaltig“ bestätigt (Abb. 6). Neun Gebiete wurden als „derzeit nachhaltig“ be-



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 1** enthält Beiträge zu den Themen Fernwärme, Heiztechnik und Handel. Lesen Sie darüber hinaus u.a. mehr zu den Themen:

- **Flüssiggas**  
Mit gutem Gewissen „sündigen“ . . .
- **Forschung**  
Verfahren zur energetischen Bewertung von Wärmepumpen
- **Sanierung**  
Stromschlag nach Heizungseinbau?

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de).  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de)



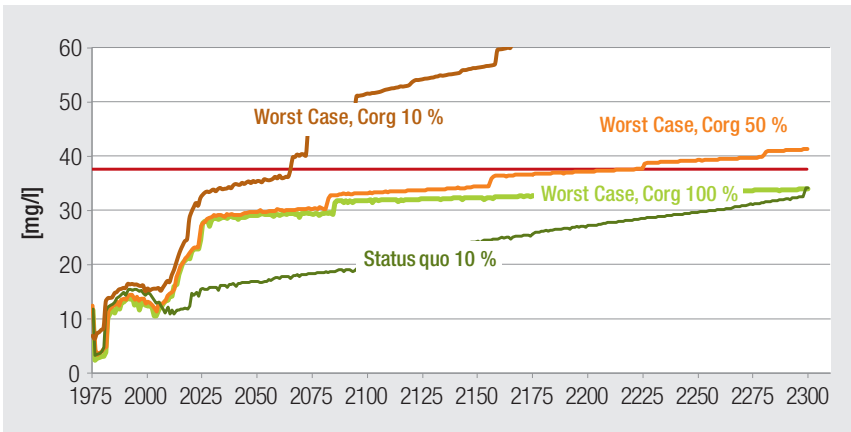


Abb. 7: WGG Niederrhein: Ergebnis von Langzeitprognosen zur Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser; die Prozentangabe gibt den reaktiven Anteil des geschätzten OC-Vorrates an.

Quelle: DVGW (2013)

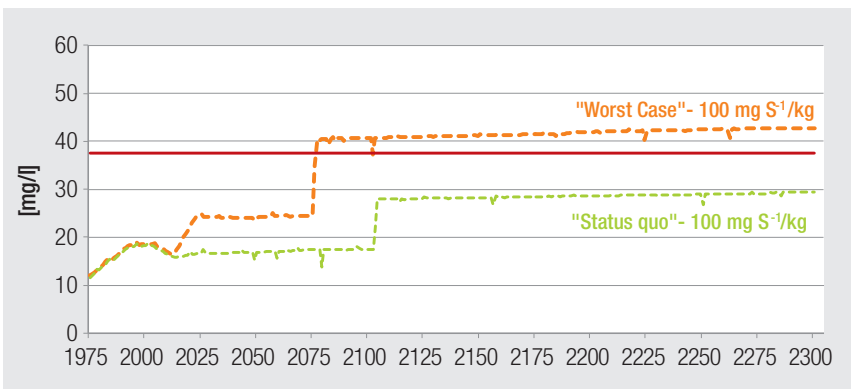


Abb. 8: WGG Norddeutschland: Ergebnis von Langzeitprognosen zur Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser.

Quelle: DVGW (2013)

wertet. Für fünf der untersuchten Gebiete ist in Stufe 3 noch keine Bewertung möglich, da ein signifikanter Verlust der Nitratabbauleistung und eine deutliche zeitliche Veränderung der Denitrifikationsprozesse erkannt wurden. In diesen Fällen ist eine prognosebasierte Bewertung nur unter Berücksichtigung eines nachlassenden Nitratabbauvermögens zulässig. Der fortschreitende Verlust an den für den Nitratabbau benötigten Feststoffen (Pyrit und OC) im Grundwasserleiter muss bei der Prognose berücksichtigt werden. Diese Aufgabe kann nur mit Hilfe einer reaktiven Stofftransportmodellierung durchgeführt werden, die in der Bearbeitungsstufe 4 eingesetzt wird. Hierzu wird ein Multi-1D-Stromröhrenansatz auf Grundlage des Programms „PhreeqC“ verwendet.

**Stufe 4: Reaktive Stofftransportmodellierung**  
Mit Ausnahme eines Gebietes, bei dem die Nitratkonzentrationen im Rohwasser bereits heute deutlich über dem

Schwellenwert (37,5 mg/l) liegen und das bereits in vorangegangenen Stufen als „nicht nachhaltig“ klassifiziert wurde, wird in keinem der fünf auf der Stufe 4 untersuchten Gebiete, auch unter Berücksichtigung eines nachlassenden Nitratabbauvermögens, der Schwellenwert im Rohwasser in den nächsten drei Jahrzehnten überschritten. Damit wurden auch diese Gebiete letztlich als „nachhaltig“ eingestuft (Abb. 6). Dies gilt für die betreffenden Gebiete sogar für das sogenannte „Worst Case“-Eintragsszenario, das einen Anstieg der Nitratreinträge bis über das Niveau der frühen 1990er-Jahre hinaus annimmt.

### Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens

Im Rahmen des Vorhabens wurden verschiedene Methoden zur Charakterisierung und Quantifizierung des Nitratabbauvermögens (weiter)entwickelt, angewendet und auf Plausibilität

geprüft. Für die Modellberechnungen der Stufe 4 werden als Eingangsparameter die Umsatzrate des organisch gebundenen Kohlenstoffs (OC) und die mittleren Gehalte an Pyrit im Grundwasserleiter benötigt. Die erfolgreiche Integration der erkannten Kenngrößen der Abbauprozesse in die erarbeiteten Modelle wurde belegt.

Das Nitratabbauvermögen wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter kann durch einfache Stoffbilanzen, die Bestimmung der Tiefenverlagerung einer Redoxschicht und anhand der auf hydrogeochemischen Modellen basierenden prozessbasierten Auswertung vorhandener Grundwasserbeschaffungsdaten charakterisiert und quantifiziert werden. Die Kombination dieser Methoden identifiziert die am Nitratabbau beteiligten Prozesse qualitativ und quantitativ – wenn auch in unterschiedlicher Güte. OC-Umsatzraten können vergleichsweise gut aus vorhandenen Grundwasserbeschaffungsdaten mit Hilfe hydrogeochemischer Modelle abgeleitet werden, absolute Gehalte an Pyrit oder auch an OC allenfalls nur in ihrer Größenordnung. Die Nutzung dieser Daten erlaubt aber auch ein Erkennen einer räumlichen Differenzierung der Denitrifikationsprozesse. Dies wurde für OC-Umsatzraten, aber auch für das Auftreten von Pyrit anhand von Beispielgebieten aufgezeigt.

Die erarbeiteten Methoden wurden für ausgewählte Einzugsgebiete eingesetzt und die erzielten Ergebnisse durch konventionelle Untersuchungsverfahren (Bohrungen, Sediment- und Grundwasseranalysen) auf Plausibilität überprüft. Die erzielten Ergebnisse und Vorhersagen aus den einzelnen Methoden wurden größtenteils im Rahmen der Plausibilitätsprüfungen bestätigt. Solche begleitenden Felduntersuchungen sind sinnvoll, um Modellvorstellungen zu den im Gebiet ablaufenden Abbauprozessen zu widerlegen oder zu bestätigen, und tragen dazu bei, einzugsgebietsübergreifende wie räumlich differenzierte Ergebnisse hinsichtlich des Nitratabbauvermögens eines Grundwasserleiters zu liefern.

## Untersuchungsergebnisse

Als eine wesentliche Ursache, dass in vielen der untersuchten Gebieten auch in den kommenden 30 Jahren von einer Unterschreitung des Schwellenwertes ausgegangen werden kann, wurde erkannt, dass der autolithotrophe Nitratabbau bei „aufgebrauchtem“ Pyritvorrat oft durch die heterotrophe Denitrifikation auf der Grundlage des im Grundwasserleiter vorhandenen organischen Kohlenstoffs abgelöst oder zumindest teilweise kompensiert wird. Bei einem Verlust des autolithotropen Nitratabbauvermögens kommt es in solchen Gebieten bei gleich bleibenden Nitratreinträgen lediglich zu einem begrenzten und langsamen Anstieg der Nitratkonzentrationen im Rohwasser, wie an einem Beispielgebiet gezeigt werden konnte.

Falls jedoch ein nachlassender Nitratabbau und steigende Nitratreinträge räumlich zusammentreffen, ist innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Jahrzehnten, der in etwa der mittleren Aufenthaltszeit des Grundwassers im Einzugsgebiet entspricht, mit einem deutlichen Anstieg der Nitratkonzentrationen im Rohwasser zu rechnen. Hierbei ist vor allem der an Pyritschwefel gebundene Anteil des Nitratabbauvermögens relevant, da dieser für einen schnellen und vollständigen Nitratabbau sorgt. Entsprechende Prognosen und Bewertungen sind aber immer einzugsgebietsspezifisch durchzuführen. Es wurde gezeigt, dass mit den erarbeiteten Modellansätzen berechnet werden kann, wie hoch dieser Anstieg sein wird, wann er erfolgt und in welchem Umfang die Intensivierung der Flächennutzung mit erhöhten Stickstoffeinträgen und die irreversible Zehrung des Abbauvermögens die Nitratbelastung des Rohwassers beeinflussen.

Für zwei Wassergewinnungsgebiete wurden mittels reaktiver Stofftransportmodelle anhand von Langzeitprognosen die Zeiträume bis zum Überschreiten des definierten Schwellenwertes im Rohwasser ermittelt und die Sensitivität der relevanten Einflussfaktoren auf den jeweiligen Zeitpunkt erkannt (Abb. 7 und Abb. 8).

In beiden Fällen ist ein Überschreiten des Schwellenwertes erst in über 200 Jahren zu erwarten, wenn die Nitratreinträge konstant bleiben. Bei deutlich ansteigenden Nitratreinträgen würde jedoch bereits in der Mitte der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts der Schwell-

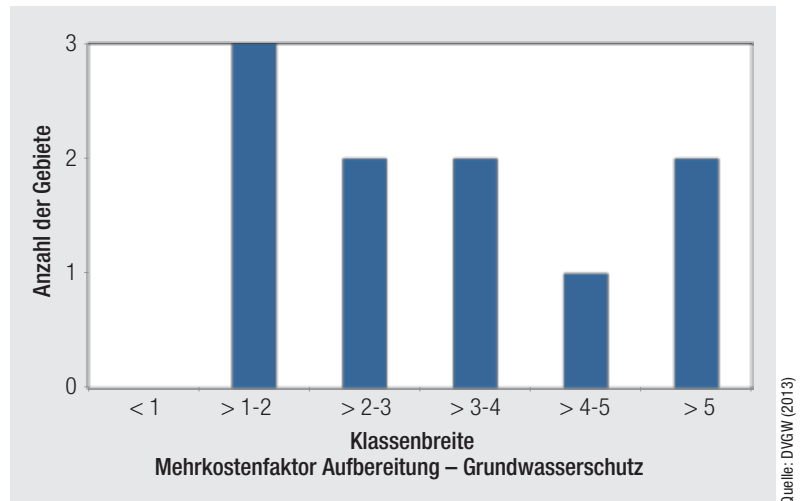
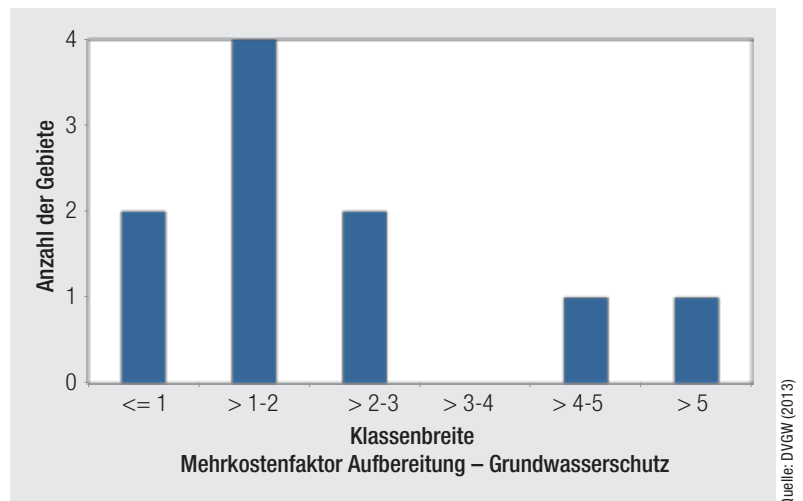


Abb. 9: Mehrkostenfaktor einer Aufbereitung im Vergleich zu den Kosten für Grundwasserschutzmaßnahmen bei einem nicht mehr vorhandenen Nitratabbauvermögen. Annahme: Aufbereitung für die Entfernung von Nitrat aus dem Rohwasser 0,3 €/m<sup>3</sup>; Kosteneffizienz landwirtschaftlicher Grundwasserschutzmaßnahmen 6 €/kg N.



lenwert überschritten. Maßnahmen des konventionellen Grundwasserschutzes verlagern die Problematik hoch nitratbelasteter Rohwässer also weiter in die Zukunft. Andererseits führen diese Maßnahmen zu sogenannten „Ewigkeitskosten“. Bricht man die Maßnahmen ab oder kommt es aus anderen Gründen zu einer Intensivierung der Nitratreinträge in das Grundwasser, verlagert sich die Überschreitung der Schwellenwerte schnell in Richtung Gegenwart.

Deshalb wurde anhand eines Fallbeispiels untersucht, ob und in welchem Maße die oft diskutierte Kombination aus Flächenkauf und Extensivierung landwirtschaftlich genutzter Flächen eine Alternative zum konventionellen Grundwasserschutz darstellt. Es wurde gezeigt, dass es sich hierbei um eine Vorgehensweise handelt, die im Vergleich zu den Aufwendungen für den konventionellen

Abb. 10: Mehrkostenfaktor einer Aufbereitung im Vergleich zu den Kosten für Grundwasserschutzmaßnahmen bei einem nicht mehr vorhandenen Nitratabbauvermögen. Annahme: Aufbereitung für die Entfernung von Nitrat aus dem Rohwasser 0,3 €/m<sup>3</sup>; Kosteneffizienz landwirtschaftlicher Grundwasserschutzmaßnahmen 12 €/kg N.

Grundwasserschutz kostenneutral gestaltet werden kann, deren „Nachhaltigkeit“ jedoch deutlich höher einzuschätzen ist als die des konventionellen Grundwasserschutzes. Bei einer praktischen Umsetzung dürfte die wesentliche Schwierigkeit in der Verfügbarkeit der Flächen, aber auch im steigenden Flächendruck infolge des Energiepflanzenanbaus und der Intensivtierhaltung liegen. Die Flächenverfügbarkeit wäre eine kooperativ mit der Landwirtschaft zu lösende Aufgabe. In der Praxis ist eine kombinierte Strategie aus konventionellem Grundwasserschutz und Flächenkauf mit Extensivierung am ehesten umsetzbar. Grundvoraussetzung für eine effektive Auswahl der Flächen ist allerdings eine gute Kenntnis der hydrogeologischen Situation im Einzugsgebiet (Fließzeiten, Neubildungsgebiete usw.), wenn das natürliche Nitratabbauvermögen optimal ausgenutzt werden soll. Prinzipiell gilt, je weiter entfernt die verbleibenden landwirtschaftlichen Emissionsflächen sind, desto mehr Abbauvermögen steht im Grundwasserleiter zur Verfügung und desto geringer sind dementsprechend die Auswirkungen hoher Nitratreinträge auf die Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser. Angesichts der prognostizierten Konzentrationsentwicklungen ist das Erfordernis einer verfahrenstechnischen Aufbereitung des Rohwassers in nahezu keinem der untersuchten Gebiete erkennbar. Die mit einer Aufbereitung verbundenen Kosten wurden als mindestens doppelt so hoch wie ein gegebenenfalls noch zu intensivierender Grundwasserschutz eingeschätzt (Abb. 9 und Abb. 10).

### Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf

Mit den im Rahmen des Vorhabens entwickelten und geprüften Modellen und Methoden wurden die Gefahren und Risiken von Nitratreinträgen in das Grundwasser unter Berücksichtigung des nachlassenden Nitratabbauvermögens des jeweiligen Grundwasserleiters im Hinblick auf die Nitrat-

belastung des Rohwassers systematisch quantifiziert, prognostiziert und bewertet. Die bestehenden „Zeitpuffer“ bis zur Erreichung eines wasserwirtschaftlich abgeleiteten Schwellenwertes für die Nitratkonzentration im Rohwasser sind entweder bereits aufgebraucht oder sie reichen je nach Gebiet noch einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte. Dabei handelt es sich aber nicht um konstante Werte. Grundwasserschutzmaßnahmen verlängern den verfügbaren „Zeitpuffer“, durch Intensivierungen des Nitratreintrags in das Grundwasser wird dieser verkürzt. Das beschriebene Instrumentarium an Modellen und Methoden lässt sich innerhalb dieser Rahmenbedingungen dafür einsetzen, geeignete gebietspezifische Strategien der Ressourcenbewirtschaftung hinsichtlich Effizienz und Nachhaltigkeit zu entwickeln.

Im Rahmen des Vorhabens wurde gezeigt, dass es durch jahrzehntelange Nitratreinträge zu einer fortschreitenden Änderung der Redoxverhältnisse in wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleitern kommt. Im Zuge dieser Redoxkonversion breitet sich – angetrieben durch die Nitratreinträge – von der Grundwasseroberfläche eine zunehmend weiter in die Tiefe reichende oxidierte Zone aus. In diesem Kontext sind unterschiedliche Themenaspekte neu zu bewerten und vertiefter zu untersuchen. Hierzu gehören beispielsweise:

- Umsatz und Reaktivität des organisch gebundenen Kohlenstoffs (OC): Kommt es zu einer Reaktivitätsminderung des OCs im Zuge anhaltender Nitratreinträge?
- Ursachen für den in vielen Gebieten erkannten Anstieg der Hydrogencarbonatkonzentrationen im Rohwasser: Art und Intensität der neben der heterotrophen Denitrifikation für diesen Anstieg ursächlichen Prozesse.
- Gefährdungs- und Risikoabschätzung einer durch die Redoxkonversion der Grundwasserleiter ausgelösten Mobilisations- und Demobilisationsdynamik von redoxsensitiven Spurenelementen.

### Danksagung

Dem DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. und den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen sei für die finanzielle Förderung und für die engagierte Mitarbeit in dem Vorhaben gedankt. Unser Dank gilt ebenso den Mitgliedern der Projektbegleitgruppe, die das Vorhaben fachlich und organisatorisch unterstützten. ■

#### Literatur:

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (2013): Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern – Abschlussbericht. DVGW-Förderkennzeichen W 1/06/08 ([www.dvgw.de/mein-dvgw/exklusive-angebote/forschungsprojekte/wasser/abgeschlossene-projekte](http://www.dvgw.de/mein-dvgw/exklusive-angebote/forschungsprojekte/wasser/abgeschlossene-projekte))

### Die Autoren

**Dr. Axel Bergmann,**  
**Dr. Frank-Andreas Weber**  
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut  
für Wasserforschung gGmbH

**Dr. Carsten Hansen, Dr. Siegfried Wilde, Leonardo van Straaten**  
Consulaqua Hamburg Beratungsgesellschaft mbH,

**Univ.-Prof. Dr. Wolfgang van Berk,**  
**Dr. Steffen Häußler**  
Technische Universität Clausthal,  
Institut für Endlagerforschung

**Prof. Dr. Peter Dietrich,**  
**Dr. Uwe Franko**  
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

**Dipl.-Geol. Joachim Kiefer,**  
**Dipl.-Ing. Matthias Rödelsperger**  
DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW)

Kontakt:  
Dr. Axel Bergmann  
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut  
für Wasserforschung gGmbH  
Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 0208 40303-251  
E-Mail: [a.bergmann@iww-online.de](mailto:a.bergmann@iww-online.de)  
Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)