

Konsequenzen nachlassenden Nitratabbaus in Grundwasserleitern

Für mehr als 20 Wassergewinnungsgebiete werden derzeit mögliche Auswirkungen eines nachlassenden Nitratabbauvermögens untersucht und die Konsequenzen für die Effizienz und Nachhaltigkeit des Grundwasserschutzes in einem gestuften Verfahren bewertet.

Auf landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen werden seit Jahrzehnten Stickstoffdünger zur Ertrags- und Produktivitätssteigerung ausgebracht. Damit gelangen erhebliche Nitratmengen auch in die zur Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasserleiter (BMU & BMELV 2008), die zu einer nachteiligen Veränderung der Grund- und Rohwasserqualität führen. Derzeit weisen über ein Drittel der Grundwasserkörper in Deutschland infolge zu hoher Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (Überschreitung der EU-Qualitätsnorm von 50 mg/l) einen schlechten Zustand auf (UBA 2010). Hohe Nitratkonzentrationen können letztlich dazu führen, dass Brunnen außer Betrieb genommen, die Förderung in tiefere Stockwerke verlagert oder eine kostenintensive Nitratelimination bei der Wasseraufbereitung errichtet werden muss.

Häufig leisten Nitratabbauprozesse im Boden (ungesättigte Zone) und im Grundwasserleiter (gesättigte Zone) einen entscheidenden Beitrag zur Minderung der Nitratbelastung des Grundwassers. Im Boden kann Nitrat durch mikrobielle Umsetzungsprozesse unter Verwendung leicht abbaubarer, organischer Kohlenstoffverbindungen (C_{org}) reduziert werden. Durch sich zersetzende Biomasse wird C_{org} im Oberboden nachgeliefert, so dass sich das Nitratabbauvermögen im Boden fortlaufend regeneriert. Bei der gegenwärtig hohen Stickstoffaufbringung werden jedoch – je nach Standort – erhebliche Nitratfrachten aus der Bodenzone in den Grundwasserleiter ausgewaschen.

Verfügen die Sedimente des Grundwasserleiters über ein entsprechendes Abbauvermögen, so kann das eingetragene Nitrat

auch in der gesättigten Zone reduziert werden. Die Denitrifikation, d. h. die Reduktion von Nitrat zu molekularem Stickstoff, ist die einzige Möglichkeit für einen effektiven In-situ-Abbau. Sie erfolgt im Wesentlichen durch irreversiblen Verbrauch von organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org}) und/oder Eisendisulfid (Pyrit: FeS_2). Beide Stoffe liegen meist nur in Spurengehalten vor. Damit ist das Nitratabbauvermögen eines Grundwasserleiters als „endliche Ressource“ anzusehen, die schrittweise aufgezehrt wird. Durch das Nachlassen des Nitratabbauvermögens wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter wäre trotz intensiver Grundwasserschutzmaßnahmen mit steigenden Nitratkonzentrationen im Rohwasser zu rechnen.

Derzeit gibt es weder gesicherte Vorstellungen über das regionale Ausmaß noch

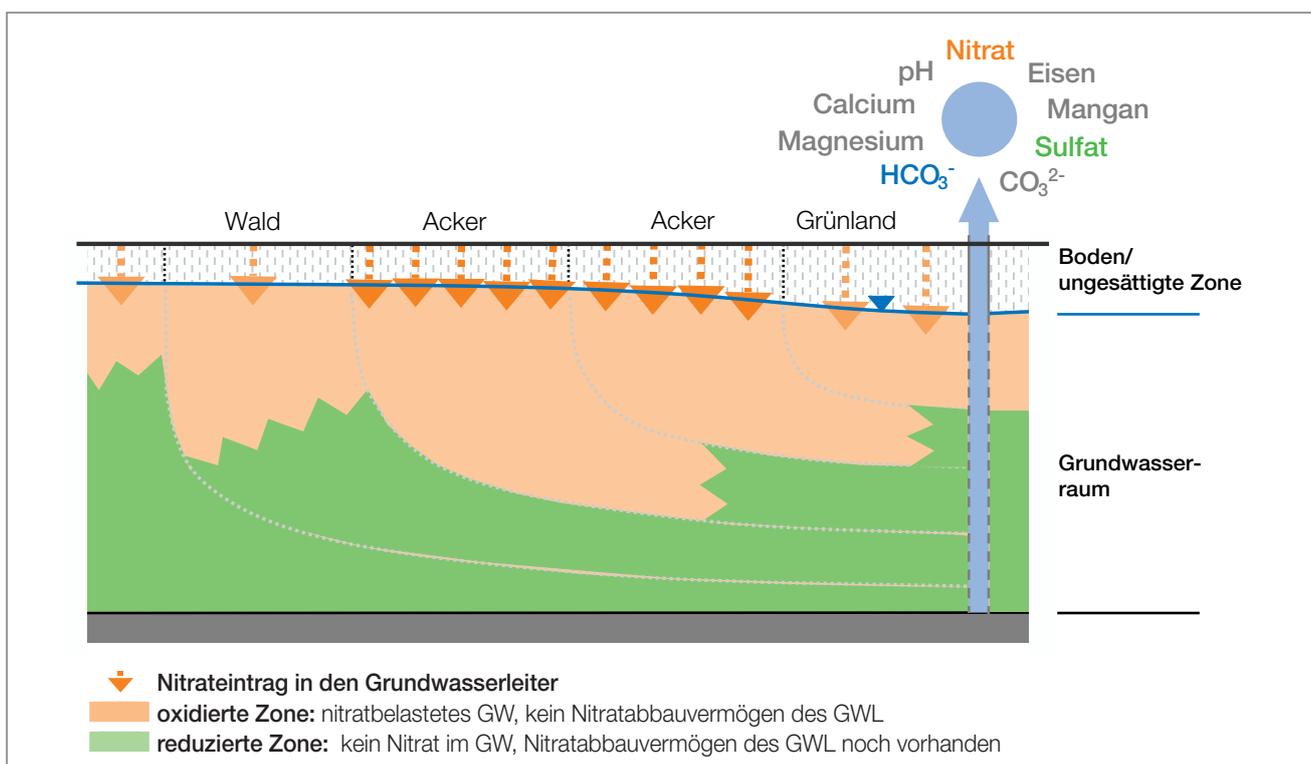


Abb. 1: Schematische Profilskizze eines Grundwasserleiters mit abnehmendem Nitratabbauvermögen

Quelle: Autoren

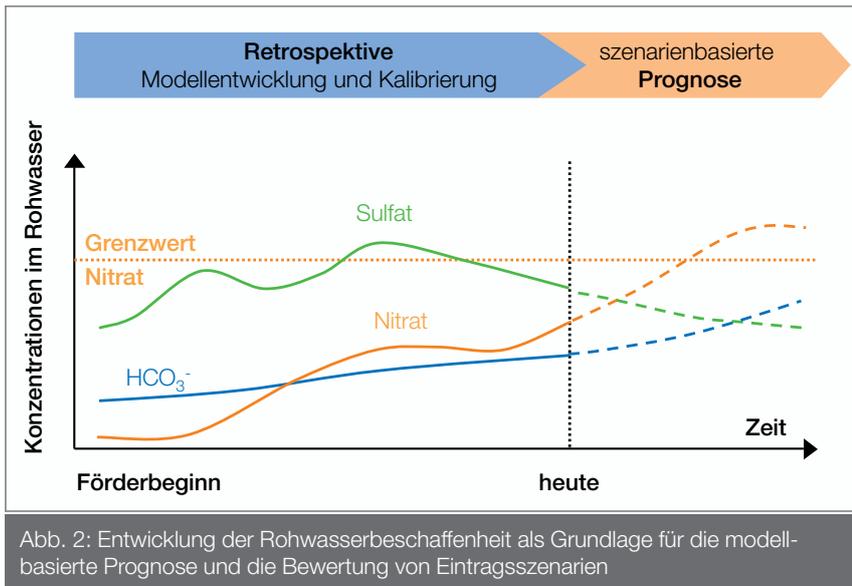


Abb. 2: Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit als Grundlage für die modellbasierte Prognose und die Bewertung von Eintragszenarien

Quelle: Autoren

über die Zeiträume, in denen dieser Prozess zu relevanten Auswirkungen auf die Rohwasserqualität führt. Auch ist noch unklar, welche technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen ein Nachlassen des Nitratabbauvermögens für die Wasserversorgung und den Ressourcenschutz haben würde. Es fehlt ein praxistaugliches Instrumentarium, um das noch in den Gewinnungsgebieten vorhandene Abbauvermögen zu quantifizieren und die Zeiträume zu prognostizieren, in denen ein kritischer Anstieg der Nitratkonzentration im Rohwasser zu besorgen ist. Ziel muss es sein, die langfristigen Auswirkungen

hoher Nitratreinträge auf die Qualität wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserressourcen sichtbar zu machen, um – im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenschutzes – erforderliche vorbeugende Maßnahmen rechtzeitig umsetzen zu können.

Konkrete Vorhabenziele

Aus diesem Anlass fördert der DVGW zusammen mit 16 Wasserversorgungsunternehmen ein Forschungsvorhaben, das die Konsequenzen nachlassenden Nitratabbauvermögens in Grundwasserleitern untersucht. Koordiniert vom IWW Zentrum

Wasser erarbeitet ein Verbund aus den Forschungspartnern Consulaqua – Geo-Infometric, der Abteilung Hydrogeologie an der TU Clausthal, den Abteilungen für Bodenphysik und für Umwelt- und Erkundungstechnologien des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) sowie dem DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) praxisnahe Methoden zur Quantifizierung und Bewertung der Auswirkungen einer nachlassenden Nitratabbauleistung in Grundwasserleitern. Das Vorhaben wurde Anfang 2010 begonnen und ist auf drei Jahre angelegt.

An 21 Fallbeispielen wird untersucht, wie in Trinkwassereinzugsgebieten die Nitratabbauleistung von Grundwasserleitern und die verbleibenden reaktiven Potenziale unter Praxisbedingungen quantifiziert und bewertet werden können, welche Konsequenzen sich aus den Ergebnissen für die Effizienz und Nachhaltigkeit der Grundwasserschutzarbeit ergeben und welche Auswirkungen Änderungen der Nitratabbauleistung auf die Aufbereitung des Rohwassers im Wasserwerk haben können. Dabei soll vor allem beantwortet werden, wie lange das Nitratabbauvermögen bei welchen Eintragsfrachten ausreicht, um eine bestimmte Nitratkonzentration im Rohwasser einzuhalten, und durch welche Maßnahmen und zu welchen Kosten sich der Verbrauch des Abbauvermögens verzögern

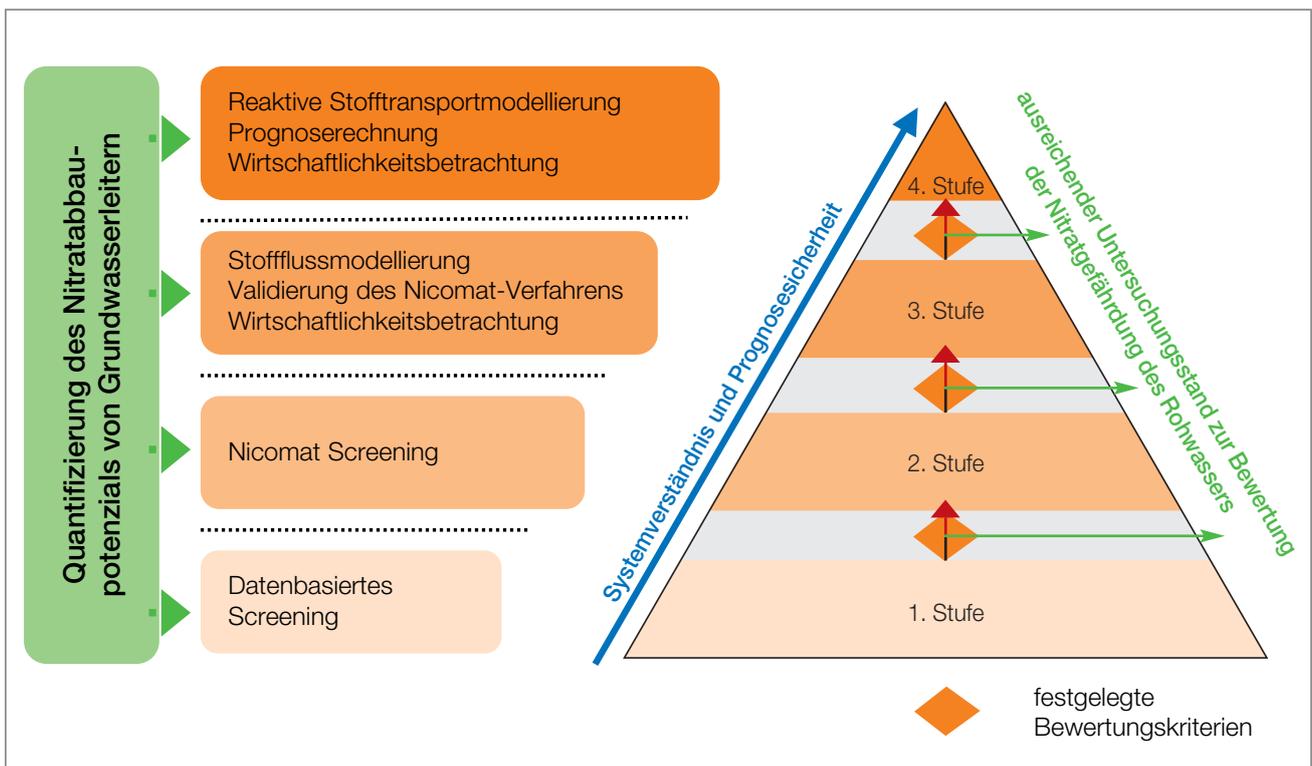


Abb. 3: Gestufte Vorgehensweise

Quelle: Autoren

lässt, so dass eine bestimmte Nitratkonzentration im Rohwasser nicht überschritten wird.

Bewertung von Nachhaltigkeit und Effizienz

Je nach Flächennutzung und Bewirtschaftungsintensität führen lang anhaltende Nitratreinträge zu einem – retardiert mit der Grundwasserströmung – fortschreitenden

Aufbrauch des Nitratabbauvermögens (Abb. 1), so dass Nitrat auf immer mehr Stromlinien bis zum Förderbrunnen durchbricht. Hier mischen sich sauerstoff- und nitrathaltige Grundwässer aus der oxidierten Zone in zunehmendem Anteil mit nitratreien und meist durch höhere Eisen-, Sulfat- und Hydrogenkarbonatkonzentrationen gekennzeichnete Grundwässer aus der reduzierten Zone. In Folge dieser Mi-

schung kann es zur Fällung von Eisenhydroxiden (Brunnenverockerung) und zu einem Anstieg der Nitratkonzentrationen im Rohwasser kommen (Abb. 2).

Die zeitliche Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit stellt ein integrales Signal für die Entwicklung der Stoffeinträge und Stoffumsätze in einem Einzugsgebiet dar. Sie spiegelt die Entwicklung der Flächennutzung und der Bewirtschaftungsintensität ebenso wider wie eine etwaige Abnahme der Nitratabbauleistung. Die dahinter stehenden komplexen und miteinander gekoppelten geohydrologischen und hydrogeochemischen Zusammenhänge können nur mit geeigneten Modellansätzen untersucht werden. Erst wenn Ursachen und Wirkungen verstanden und die bisherige Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit nachvollzogen werden kann, können die Modelle für szenarienbasierte Prognosen genutzt werden. Je komplexer und dynamischer die ablaufenden Prozesse und Reaktionen sind, desto umfassender müssen auch die Modelle sein. Dieser Zusammenhang ist in der gestuften Vorgehensweise hinterlegt (Abb. 3).

Gestufte Vorgehensweise

Für die Bewertung der Effizienz und Nachhaltigkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen und Bewirtschaftungsstrategien im Kontext eines nachlassenden Nitratabbauvermögens wurde ein gestuftes Verfahren zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials erarbeitet, das im Laufe des Vorhabens auf die Gewinnungsgebiete angewendet und erprobt wird. Der Verfahrensablauf ist in Abbildung 4 skizziert. Bewertet wird die Nachhaltigkeit einer Bewirtschaftungsstrategie auf Grundlage der Nitratkonzentration im Rohwasser – auf der ersten Stufe nur bezogen auf die aktuelle Nitratkonzentration, auf den folgenden Stufen anhand von Prognoserechnungen zur zukünftigen Nitrat-Entwicklung im Rohwasser. Wichtigstes Kriterium für eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung ist eine dauerhafte Unterschreitung einer definierten Nitratkonzentration im Rohwasser (hier: 37,5 mg/l, 75 % des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung). Der Prognosezeitraum sollte mindestens 30 Jahre betragen und die mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Einzugsgebiet deutlich überschreiten.

Stufe 1: Überschlägige Nitratbilanz

Vorhandene wasserwirtschaftliche, hydrogeologische, bodenkundliche und agrarstrukturelle Daten werden stufenweise analysiert, um eine zunehmend ver-

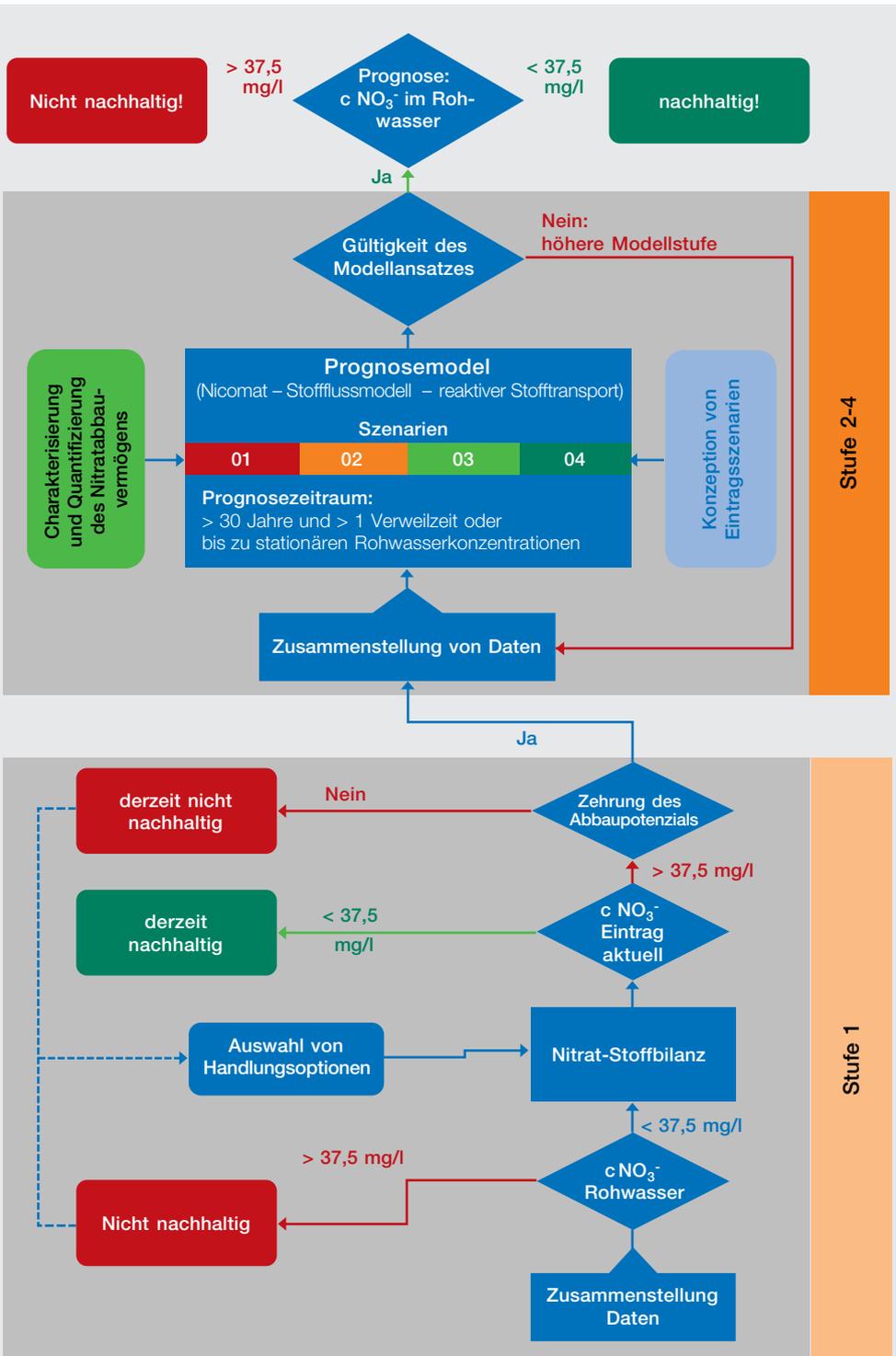


Abb. 4: Flussdiagramm für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen und Bewirtschaftungsstrategien

Quelle: Autoren

dichtete und konsistente Grundlage für die Modellrechnungen aufzubauen. Eine erste Einschätzung der Nitrat-Abbauleistung in einem Gewinnungsgebiet liefert eine überschlägige Nitratbilanz (Abb. 5). Aus der Differenz zwischen geschätzten mittleren Nitratreinträgen und zeitäquivalenten Austrägen über das Rohwasser wird die Abbauleistung des Grundwasserleiters abgeleitet, absolut in Tonnen Nitrat pro Jahr und relativ als abgebauter Anteil der Eintragskonzentration. Liegen die Rohwasserkonzentrationen über dem definierten Wert von 37,5 mg/l ist gemäß Bewertungsschema die Bewirtschaftung als „nicht nachhaltig“ anzusehen. Andernfalls entscheidet der mittlere Nitratreintrag, ob derzeit eine „nachhaltige Bewirtschaftung“ vorliegt (Einträge < 37,5 mg/l). Kann bei einer höheren Nitratreintragskonzentration mit der überschlägigen Nitratbilanz eine Denitrifikation belegt werden, sind Prognoserechnungen auf Folgestufen erforderlich.

Stufe 2: Nicomat-Verfahren

Prognosen erfordern eine räumliche und zeitliche Differenzierung der Eintrags- und Umsatzprozesse. Dies erfolgt zunächst

mit Hilfe des Nicomat-Verfahrens, einem Excel-basierten interaktiven Berechnungs- und Entscheidungshilfe-Instrument (van Straaten & Wilde 2005, Wilde et al. 2003), das auf zeitlich und örtlich differenzierten Stoffbilanzierungen unter Berücksichtigung der Flächennutzungen, Bodenarten und deren Eintragsfunktionen sowie der Grundwasserfließzeiten basiert. Für die Umrechnung der Nitratreinträge in Äquivalentkonzentrationen für Sulfat und Hydrogenkarbonat aus dem Nitrat-Abbau werden zunächst stöchiometrische Faktoren und ein frei wählbares Verhältnis zwischen den prinzipiellen Abbaureaktionen (Denitrifikation durch Pyrit und durch C_{org}) vorgegeben und durch den Vergleich mit gemessenen Rohwasserkonzentrationen kalibriert. Ohne das erst auf der dritten Stufe erarbeitete hydrogeochemische Prozessverständnis werden Prognoserechnungen hier unter der Annahme durchgeführt, dass zukünftig kein Nitrat-Abbau im Grundwasserleiter mehr stattfindet (Worst-Case-Annahme). Die berechnete Konzentrationsentwicklung stellt somit die zu erwartende Obergrenze für die Entwicklung der Nitratkonzentration im Rohwasser dar.

Bleiben die Nitratkonzentrationen im Rohwasser auch ohne Denitrifikation im Grundwasserleiter unter 37,5 mg/l, können bereits auf dieser Stufe nachhaltige Bewirtschaftungsszenarien erkannt werden. Für alle anderen Szenarien kann auf dieser Stufe die Nachhaltigkeit nicht eindeutig belegt werden. Hierzu ist das anhand hydrogeochemischer Modellrechnungen zu erarbeitende quantitative Verständnis der ablaufenden Abbauprozesse erforderlich.

Stufe 3: Stoffflussmodellierung und Validierung des Nicomat-Verfahrens

Mittels einer Stoffflussmodellierung werden zunächst die systemdominierenden Stoffeinträge und hydrogeochemischen Prozesse identifiziert und quantifiziert. Nutzungsspezifische Eintragsfunktionen werden u. a. anhand vorhandener Beschaffenheitsdaten aus oberflächennah verfilterten Grundwasser-Messstellen abgeleitet. Eintragsfunktionen und die in den Stufen 2,3 und 4 erforderliche Umschreibung der Prozesse in der ungesättigten Zone werden durch das Modell CANDY (Franko 1995) für ausgewählte Standorte validiert. ▶

Hocheffiziente Lösungen in allen Anwendungen.



Water Management von Wilo.

Wilo Pumpen und Systeme für das Water Management setzen weltweit Maßstäbe hinsichtlich Hocheffizienz und technischer Leistung. Dank unseres langjährigen Know-hows und unserer herausragenden Planungsunterstützung erhalten Sie jederzeit optimale Lösungen für alle Ihre Anwendungen: in der Reinwasserversorgung, Druckerhöhung, Abwasserförderung, Abwasserbehandlung und Abwasserentsorgung. Alles aus einer Hand – und auf Herz und Nieren getestet. Kompetent? Wir nennen das Pumpen Intelligenz.

Wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Basisdaten

Bezugsjahr der Rohwasserförderung	2008	
Gesamtfördermenge im Bezugsjahr	1.000.000	m³/a
mittlere Infiltrationsrate der Oberflächengewässer im Einzugsgebiet	100.000	m³/a
mittlere Nitratkonzentration im geförderten Rohwasser im Bezugsjahr	25,0	mg/l
mittlere Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet	220	mm/a
mittlere wassererfüllte Mächtigkeit des Fördergrundwasserleiters im Einzugsgebiet	20	m
effektive Porosität des Grundwasserleiters	0,2	
Fläche des Einzugsgebietes der Förderbrunnen	4,1	km²
mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im Einzugsgebiet (Grundwasser-Fließzeit)	16	Jahre

Überschlägige Abschätzung nutzungsspezifischer Nitrat-Einträge							für das Jahr:			
Haupt-nutzungs-art	Flächen-anteil %	anteilige Fläche km²	Gw-Neub. gewichtet % relativ	Gw-Neub. berechnet mm/a	anteilige Menge 1.000 m³/a	Mischungs-anteil %	1992 Nitrat Eintrag mg/l	2008 Nitrat Eintrag mg/l		
Acker	60	2,5	100	252	619	61,9	120	99		
Grünland	20	0,8	80	202	165	16,5	80	70		
Wald	15	0,6	65	164	101	10,1	50	45		
Siedlung	5	0,2	30	76	15	1,5	50	50		
Oberflächengewässer-Infiltration							100	10,0	10	10
resultierende mittlere Konzentration des Nitrat-Eintrags im Einzugsgebiet								94	79	

Berechnung der Frachten und Abbauleistung

Nitrat-Eintrag	über die Grundwasserneubildung:	93	t/a
	über Oberflächengewässer-Infiltration:	1	t/a
Nitrat-Austrag	über das geförderte Rohwasser:	25	t/a
Differenz	Eintrag-Austrag = Abbauleistung	69	t/a
Abbauleistung als Anteil	des Nitrat-Gesamteintrags	73	%

Abb. 5: Überschlägige Nitratbilanz (fiktives Beispiel)

Hydrogeochemische Stoffflussmodelle berechnen die Entwicklung der Wasserbeschaffenheit für repräsentative Fließpfade – von der Infiltration des Niederschlags in die Bodenzone über die Passage verschiedener Redoxzonen im Grundwasserleiter bis zur Mischung der Wässer im Förderbrunnen (van Berk & Hansen 2006). Diese Fließpfade repräsentieren jeweils spezifische Nutzungs- bzw. Eintragungssituationen und Reaktionsbedingungen im Untergrund. Die Modellierung erfolgt mit dem Programm PhreeqC (Parkhurst & Appelo 1999) als Sequenz irreversibler Reaktionen und chemisch-thermodynamischer Gleichgewichte zwischen der wässrigen Lösung und gleichgewichtseinstellenden Mineral- und Gasphasen. Die Mischung der unter den verschiedenen Eintrags- und Umsetzungsbedingungen resultierenden Grundwässer repräsentiert das Rohwasser. Kann die Rohwasserbeschaffenheit für alle Hauptinhaltsstoffe plausibel nachvollzogen werden, so kann das Modell zu einem reaktiven Stofftransportmodell erweitert werden (Bergmann et al. 2010, Hansen et al. 2010).

Das erzielte Prozessverständnis wird auf das damit „validierte“ Nicomat-Verfahren übertragen. Prognosen können nun unter der Maßgabe einer konstanten Abbauleis-

tung durchgeführt werden (Best-Case-Prognose). Szenarien, in denen die Nitratkonzentration im Rohwasser den Wert von 37,5 mg/l überschreitet, können eindeutig als nicht nachhaltig eingestuft werden. Da verfahrensbedingt der Verbrauch des Abbauleistungs auf dieser Stufe nicht berücksichtigt werden kann, ist eine eindeutige Bewertung eines Eintragungsszenarios als „nachhaltig“ erst auf der vierten Stufe möglich.

Stufe 4: Reaktive Stofftransportmodellierung

Um die Auswirkungen eines nachlassenden Nitrat-Abbauleistungs berechnen zu können, werden die Stoffflussmodelle räumlich und zeitlich analog zum Nicomat-Verfahren diskretisiert. Durch diesen „multiplen 1D-Stofftransportansatz“ kann die zeitliche Entwicklung der Grund- und Rohwasserbeschaffenheit unter Berücksichtigung der fortschreitenden Minderungen und lokaler Verlust des Abbauleistungs und auch der Reaktionskinetik ausgewählter Abbaureaktionen berechnet werden (Bergmann et al. 2010, Hansen et al. 2010). Entsprechend der modellierten Entwicklung der Nitratkonzentrationen innerhalb des festgelegten Prognosezeitraums können die betrachteten Eintragungsszenarios eindeutig als „nachhaltig“ oder als „nicht nachhaltig“ bewertet werden.

Spätestens auf dieser Stufe ist auch eine einzugsgebietsspezifische Charakterisierung und Quantifizierung des Nitrat-Abbauleistungs notwendig. Die reduktiven Phasen liegen meist heterogen und mit unterschiedlicher Verfügbarkeit und Reaktivität im Grundwasserleiter vor. Da eine räumlich differenzierte Bestimmung des Abbauleistungs über Sondierbohrungen und Feststoffanalytik finanziell sehr aufwendig und unter Praxisbedingungen für ein Einzugsgebiet kaum zu leisten ist, sollen im Rahmen des Vorhabens praxistaugliche Methoden zur Charakterisierung und Quantifizierung des Nitrat-Abbauleistungs auf Grundlage vorhandener Grundwasser-Beschaffenheitsdaten erarbeitet werden. Vorhersagen mit diesen Methoden werden dann stichprobenartig durch gezielte Beprobungen überprüft.

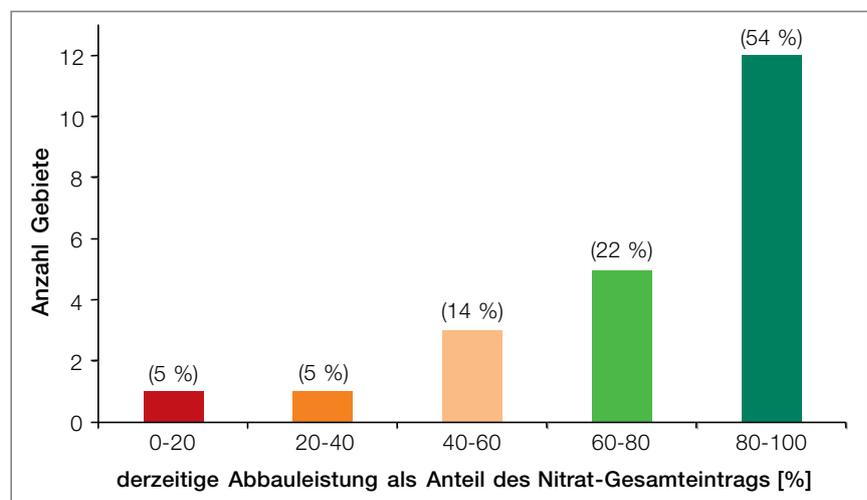


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der derzeitigen Nitrat-Abbauleistung in den am Vorhaben teilnehmenden Wassergewinnungsgebieten (Prozentangaben gerundet, vorläufige Ergebnisse)

Quelle: Autoren

Quelle: Autoren

Erste Ergebnisse und Ausblick

Für alle beteiligten Wassergewinnungsgebiete liegen anhand überschlägiger Nitratbilanzen erste Einschätzungen zur Nitrat-abbauleistung vor. Auf Grundlage des Bewertungsschemas für die Stufe 1 ist die bisherige Bewirtschaftungsstrategie nur in einem Gebiet als nachhaltig und in vier Gebieten bereits als nicht nachhaltig einzu-stufen. Für die überwiegende Anzahl der Gebiete sind Prognoserechnungen der Stufen 2, 3 oder 4 zur Bewertung der Nachhaltigkeit erforderlich. Praktisch in al-len Gebieten findet noch ein Nitratabbau im Grundwasserleiter statt, wenn auch mit deutlich unterschiedlichen Abbauleistungen (Abb. 6). In zwei Gebieten liegt die Abbauleistung bereits deutlich unter 50 Prozent, d. h., dass weniger als die Hälfte des Nitratreintrags noch im Grundwasserleiter abgebaut wird.

Die derzeit durchgeführten Prognoserechnungen werden ein deutlich tieferes Prozessverständnis und eine differenzierte Bewertung der einzelnen Gebiete erlauben. Um die Effizienz einer nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategie zu beurteilen, werden zum Abschluss des Vorhabens Grundwasserschutzmaßnahmen mit Kosten belegt, so dass Aufwendungen für den Grundwasserschutz mit prognostizierten Entwicklungen der Nitratkonzentration verglichen werden können. Ziel ist es, sowohl Effizienzunterschiede verschiedener Bewirtschaftungsstrategien zu identifizieren als auch die Effizienz des vorbeugenden Grundwasserschutzes den Kosten für die Aufbereitung im Wasserwerk gegenüber-zustellen.

Aufgabe des Vorhabens ist es, ein über-tragbares, praxistaugliches Verfahren zur Prognose und Bewertung der Conse- quenzen eines nachlassenden Nitrat-abbauvermögens zu erarbeiten, um die lang- fristigen Auswirkungen hoher Nitratrein- träge auf die Grund- und Rohwasserqualität sichtbar zu machen und nachhaltige Grundwasserschutzstrategien umsetzen zu können.

Danksagung

Dem DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. und den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen wird für die finanzielle Förderung und für die enga- gierte Mitarbeit in dem Vorhaben gedankt. Unser Dank gilt ebenso den Mitgliedern der Projektbegleitgruppe, die das Vorha- ben fachlich und organisatorisch unter- stützen.

Literatur:

Bergmann, A., Hansen, C., Seebode, T., van Berk, W. & Podewils, W. (2010): Entwicklung der Nitratkonzentration im Grund- und Rohwasser – Hydrogeochemische Stoffflussmodellierung als Planungs- und Prognosewerkzeug. IWW Berichte, 51, Mülheim an der Ruhr.

BMU & BMELV (2008): Nitratbericht 2008. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Bonn

Hansen, C., Bergmann, A., van Berk, W., Kübeck, C. & König, C. (2010): Ein Prognosewerkzeug zur Berechnung der Nitrausbreitung in wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleitern. IWW Berichte, 53, Mülheim an der Ruhr.

Franke, U. (1995): Modelling approaches of soil organic matter turnover within the CANDY system. Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long Term Datasets. NATO ASI Series I. Heidelberg, 247-257.

Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J. (1999): Users Guide to PhreeQC (Version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. – U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259; Denver, Colorado.

Van Berk, W. & Hansen, C. (2006): Hydrogeochemische Stoffflussmodelle – Leitfaden zur Modellierung der Beschaffenheitsentwicklung von Grund- und Rohwässern. 226 S., Springer (Berlin, Heidelberg).

van Straaten, L. & Wilde, S. (2005): Flächenmanagement, Grundwasserschutz und Rohwasserqualität - Weiterentwicklung und Erprobung eines praxisnahen, interaktiven und anwenderfreundlichen Verfahrens zur Planung und Beurteilung von Maßnahmen des Flächenmanagements und der Grundwasserschutzberatung im Hinblick auf die gezielte Verbesserung der Rohwasserqualität in Förderbrunnen für die Trinkwassergewinnung. DVGW energie | wasser-praxis 10/2005.

UBA (2010): Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 2 – Gewässergüte. – 116 S., Umweltbundesamt, De-sau-Roßlau.

Wilde, S., van Straaten, L., Thiem, H., Fürstenberg, K. & Andresen, J. (2003): Das Nicomat-Verfahren, ein interaktives Entscheidungshilfesystem „Flächenmanagement und Rohwasserqualität. KA – Abwasser, Abfall 2003 (50) Nr. 2, 195-201.

Autoren:

Dr. Carsten Hansen, Dr. Axel Bergmann, Dr. Frank-Andreas Weber (IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH),

Leonardo van Straaten, Dr. Siegfried Wilde (Consulaqua Hildesheim – Geo-Infometric), Univ.-Prof. Wolfgang van Berk, Steffen Häußler (TU Clausthal, Institut für Endlagerforschung),

Matthias Rödelsperger (DVGW Technologiezentrum Wasser),

Dr. Peter Diedrich, Dr. Uwe Franke (Helmholtzzentrum für Umweltforschung GmbH)

Kontakt:

Dr. Carsten Hansen
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wasserforschung gGmbH
Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 40303-234
Fax: 0208 40303-80
E-Mail: c.hansen@iww-online.de
Internet: www.iww-online.de

Die neue DIN EN 545

...Wir haben umgestellt auf die neuen Druckklassen!

Fordern Sie unseren Katalog an!

Informationen zur
DIN EN 545:2011 und
Hinweise zur Umstellung
erhalten Sie über unseren
Newsletter und unter

www.pamline.de