

## **Effizienzkontrolle Grundwasserschutz**

### **- Bewertung und Optimierung von Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffeinträgen zur Sicherung der Rohwasserqualität -**

Circa 40 bzw. 60 % der Grundwasserkörper in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen befanden sich 2013 bzw. 2009 in einem schlechten chemischen Zustand (BERGMANN & LEUCHS 2014, NIEDERSÄCHSISCHER LANDTAG 2012). Als Hauptursache hierfür werden erhöhte Stoffeinträge genannt, die häufig in Verbindung mit landwirtschaftlichen Flächennutzungen stehen. In den meisten Fällen wird die Einstufung in einen schlechten chemischen Zustand durch zu hohe Nitratwerte verursacht, in jüngster Vergangenheit kommen Belastungen mit Wirkstoffen von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) sowie deren relevanten und nicht relevanten Abbauprodukten hinzu (BERGMANN & LEUCHS 2014, JANKOWSKI 2014). Es ist nicht davon auszugehen, dass sich mit Vorliegen der 2. Bestandsaufnahme (2013) ein wesentlich abweichendes Bild der Belastungssituation ergibt.

Dort, wo das Grundwasser zugleich als Ressource zur Produktion von Trinkwasser genutzt wird, besteht potenziell das Risiko, dass sich Land- und Wasserwirtschaft gegenseitig nachteilig beeinflussen oder sich in ihrer Entwicklung hemmen. Um die bestehenden Nutzungskonflikte zu mindern, wurde vor nunmehr ca. zwei Jahrzehnten das Modell des kooperativen Gewässerschutzes installiert, bei dem die beteiligten Akteure versuchen, gemeinsam abgestimmte Regeln einzuhalten, um so ein erfolgreiches Nebeneinander zu gewährleisten.

Für die Wasserversorgung stellt eine stabile und anthropogen möglichst gering überprägte Rohwasserqualität die entscheidende Größe bei der Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Trinkwassers dar. Dabei müssen die in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) genannten Grenzwerte eingehalten werden (d. h. 50 mg/l Nitrat sowie 0,1 µg/l PBSM (Einzelstoff) bzw. 0,5 µg/l für die Summe der PBSM). Seit dem Jahr 2007 werden zudem auch einige Abbauprodukte von PBSM diskutiert, die zwar (toxikologisch) als nicht relevant bewertet wurden, zu denen es aber ebenfalls Konzentrationsobergrenzen gibt, die im Trinkwasser eingehalten werden müssen.

Wenngleich es dem Wasserversorgungsunternehmen für einzelne Stoffe gelingt, über die im Wasserwerk installierte Wasseraufbereitungstechnik die Trinkwassergrenzwerte sicher einzuhalten, kann dies für ein nachhaltiges Wirtschaften nicht die favorisierte Lösung sein. Ziel muss es sein, mögliche Belastungen soweit zu minimieren, dass die oben genannten Grenzwerte bereits am Eintragsort, d. h. an der Grundwasseroberfläche eingehalten werden. Zudem ist die technische Entfernung oder Reduzierung von Nitrat in der Regel nicht ökonomisch vertretbar. Hier bleibt vielfach nur die Stilllegung entsprechend belasteter Brunnen, das Ausweichen der Förderung in tiefere Grundwasserstockwerke oder das Vermischen mit weniger belasteten Wässern.

Die sich im Rohwasser einstellenden Konzentrationen werden neben dem Stoffeintrag (gemessen an der Grundwasseroberfläche) von weiteren wichtigen Größen beeinflusst. Dies sind z. B. der Stoffrückhalt sowie der Abbau von Wasserinhaltsstoffen. Der Umfang und die zeitliche Entwicklung dieser Prozesse werden maßgeblich von den im Gewinnungsgebiet vorherrschenden natürlichen (Standort-)Bedingungen bestimmt. Hierzu gehören u. a. die Mineralogie, die Geochemie, die Mächtigkeit sowie der Aufbau und die Struktur des Bodens, der tieferen ungesättigten Zone sowie des Grundwasserleiters selbst.

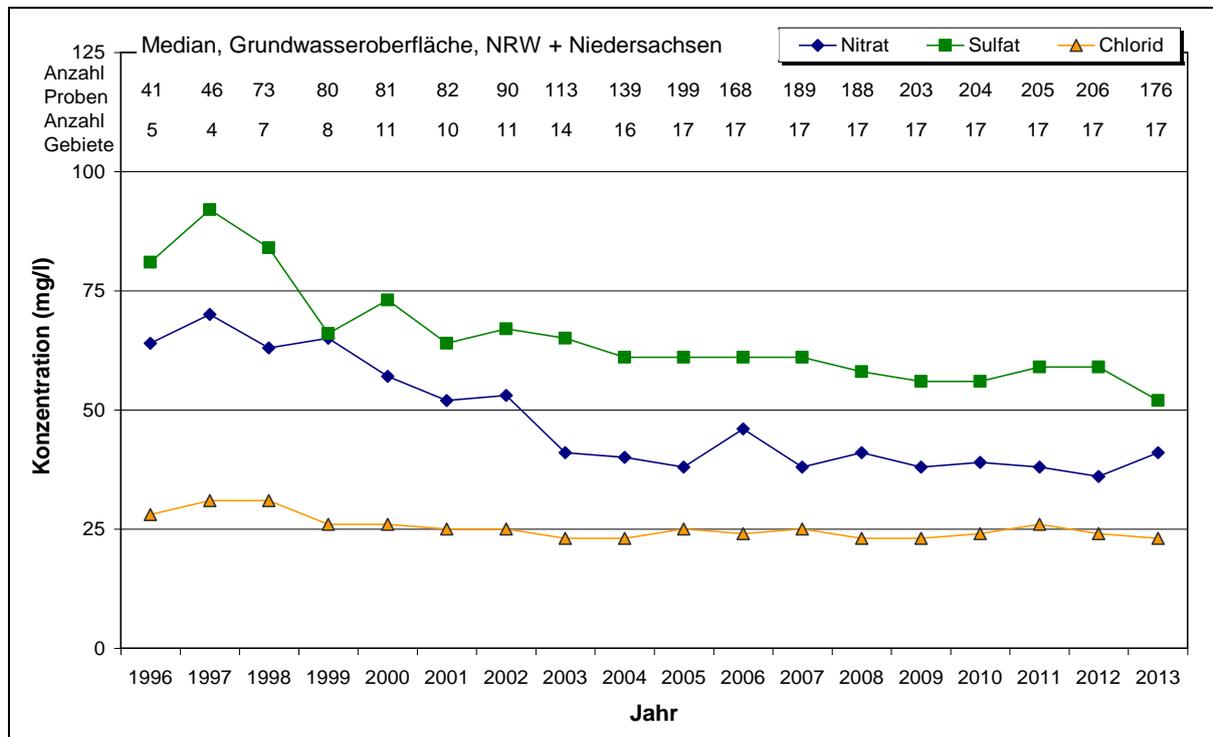
In Abhängigkeit vom Ort des Eintrages, den vorkommenden Substraten sowie den hydrogeochemischen Milieubedingungen variiert die Gefahr einer möglichen Stoffbelastung der Rohwässer erheblich. Dies gilt auch für die Fließzeit des Grundwassers bis zur Brunnengalerie (abhängig z. B. von der Tiefenlage der Filterstrecke, der Größe des Gewinnungsgebietes etc.). Für den Parameter Nitrat ist explizit zu erwähnen, dass das im Boden und/oder Grundwasser bestehende natürliche Abbaupotenzial eine besonders wichtige Rolle spielt, wobei die Prozesse unterschiedlich intensiv ablaufen und Reduktionsmittel verbrauchen, die i. d. R. nicht nachgeliefert werden.

Ohne eine umfassende Kenntnis zur jeweiligen Eintragungssituation einerseits sowie den maßgeblichen Prozessen andererseits lassen sich keine belastbaren Aussagen zur jetzigen und zukünftigen Rohwasserqualität treffen. Damit fehlt letztendlich eine entscheidende, wenn nicht die wichtigste Größe der Produktionskette Trinkwasser.

Um diese Lücke zu schließen, wertet IWW seit Mitte der 90er Jahre die gebietspezifischen Gegebenheiten zahlreicher Wassergewinnungsgebiete aus. Dort, wo zu wenige Messwerte vorlagen, wurden Empfehlungen zur Optimierung der Grund- und Rohwasserüberwachung ausgesprochen (Aspekte wie z. B. Art und Umfang des Messnetzes, des jeweiligen Untersuchungsumfanges oder der Untersuchungshäufigkeit). Bei allen Arbeiten ergab sich, dass das systemübergreifende Verständnis in den Kompartimenten Pflanze - Boden - Wasser den entscheidenden Input für ein in sich logisches und über die Jahre reproduzierbares Bild der wasserwirtschaftlichen Zusammenhänge liefert.

In einigen Gebieten ließen sich darüber hinaus besonders sensible Bereiche lokalisieren, in denen die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen besonders erfolgsversprechend ist. Hier wurde gemeinsam mit den landwirtschaftlichen Akteuren die Flächenbewirtschaftung optimiert, die anschließend in den jeweiligen Gebieten etabliert wurde (Zwischenfruchtanbau, Nmin-Messungen bzw. Obergrenzen, optimierter Einsatz von Düngern etc.). Die Maßnahmen werden üblicherweise im Rahmen bestehender kooperativer Vereinbarungen von dem Begünstigten - also dem Wasserversorgungsunternehmen - finanziell ausgeglichen. Aus Sicht der Wasserversorgung ist der maßgebliche Erfolgsparameter hierbei die an der Grundwasseroberfläche gemessene Stoffkonzentration. Sollten sich hier Konzentrationen von 50 mg/l Nitrat und 0,1 µg/l eines PSM-Wirkstoffes einstellen, ist davon auszugehen, dass aus diesem Wasser ein qualitativ einwandfreies Trinkwasser auch ohne nachgeschaltete technische Aufbereitung gewonnen werden kann.

Die Anfang der 90er Jahre in den Bundesländern installierte kontinuierliche Rohwasserüberwachung liefert ein aussagekräftiges Bild zur Größenordnung und Entwicklung der bisherigen Belastungssituation. Hierbei zeigte sich, dass vielfach ein Rückgang der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen beobachtet wurde, der allgemein mit den ergriffenen kooperativen Gewässerschutzmaßnahmen in Verbindung gebracht wird. Seit dem Jahr 2004 ist eine Trendumkehr zu beobachten, die sich in einer Stagnation bzw. einem leichten Anstieg der Werte ausdrückt.



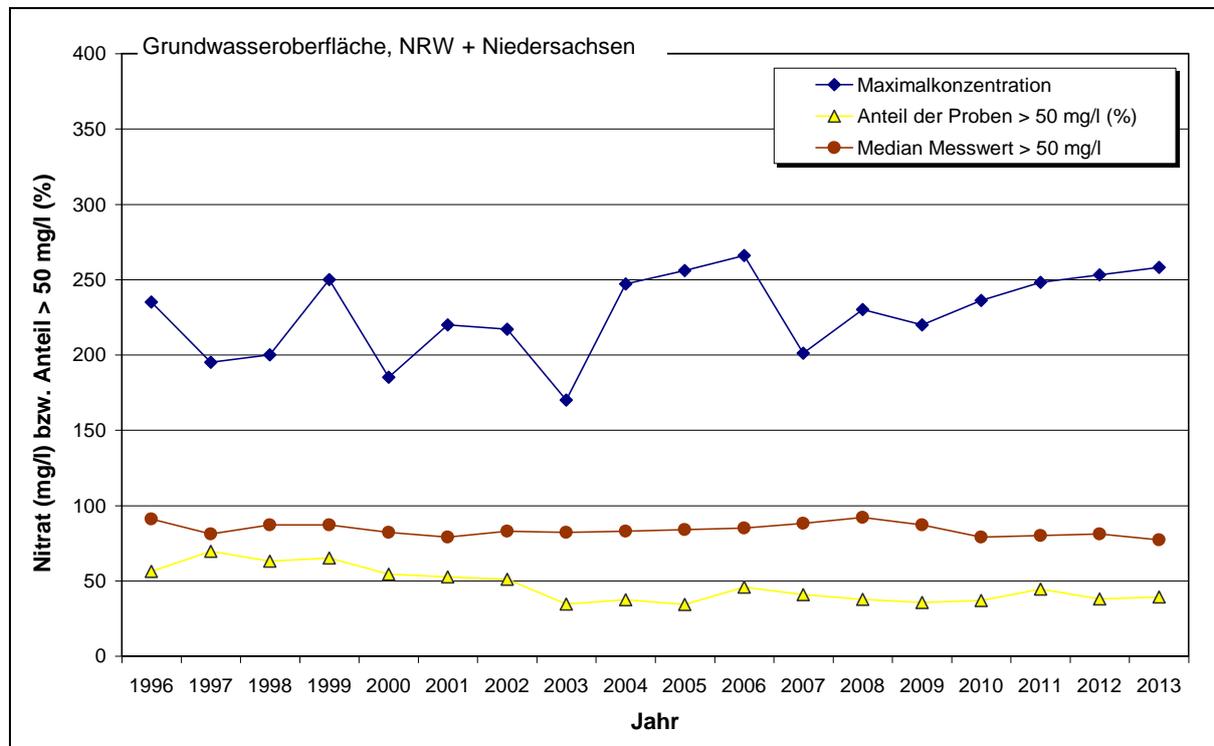
**Abbildung 1:** Konzentrationsentwicklung von Eintragsparametern im oberflächennahen Grundwasser ausgewählter Trinkwassergewinnungsgebiete in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen (IWW 2014)

Die **Abbildung 1** zeigt die Entwicklung der Eintragsparameter (hier als Median aller in den Jahren 1996 und 2013 gemessenen Konzentrationen,  $n = 41 - 206$  Proben / a bei 4 - 17 berücksichtigten Gebieten). Bei den gezeigten Werten handelt es sich ausschließlich um Proben, die bei IWW in den entsprechenden Jahren analysiert worden sind.

Die Ganglinien weisen bis zum Jahr 2004 eine Abnahme der Konzentrationen auf; seit 2005 stagnieren die Werte. Die Sulfatkonzentration nahm weiter ab. Wichtig ist an dieser Stelle der Hinweis, dass bei der Konzeption derartiger Messnetze sowie der Interpretation der so erhobenen Daten sowohl die vorhandenen Regelwerke als auch die standort- und nutzungsspezifischen Randbedingungen beachtet werden müssen. Ist dies der Fall, liefert diese Methode belastbare Aussagen zur Qualität der anströmenden Wässer und damit zur Effizienz der ergriffenen Maßnahmen.

Die **Abbildung 2** veranschaulicht, dass bei identischem Datensatz ein Anteil von 34 bis 70 % der in den jeweiligen Jahren entnommenen Grundwasserproben den Trinkwassergrenzwert von 50 mg/l Nitrat überschreiten ( $n = 23 - 115$ ). Es wurden

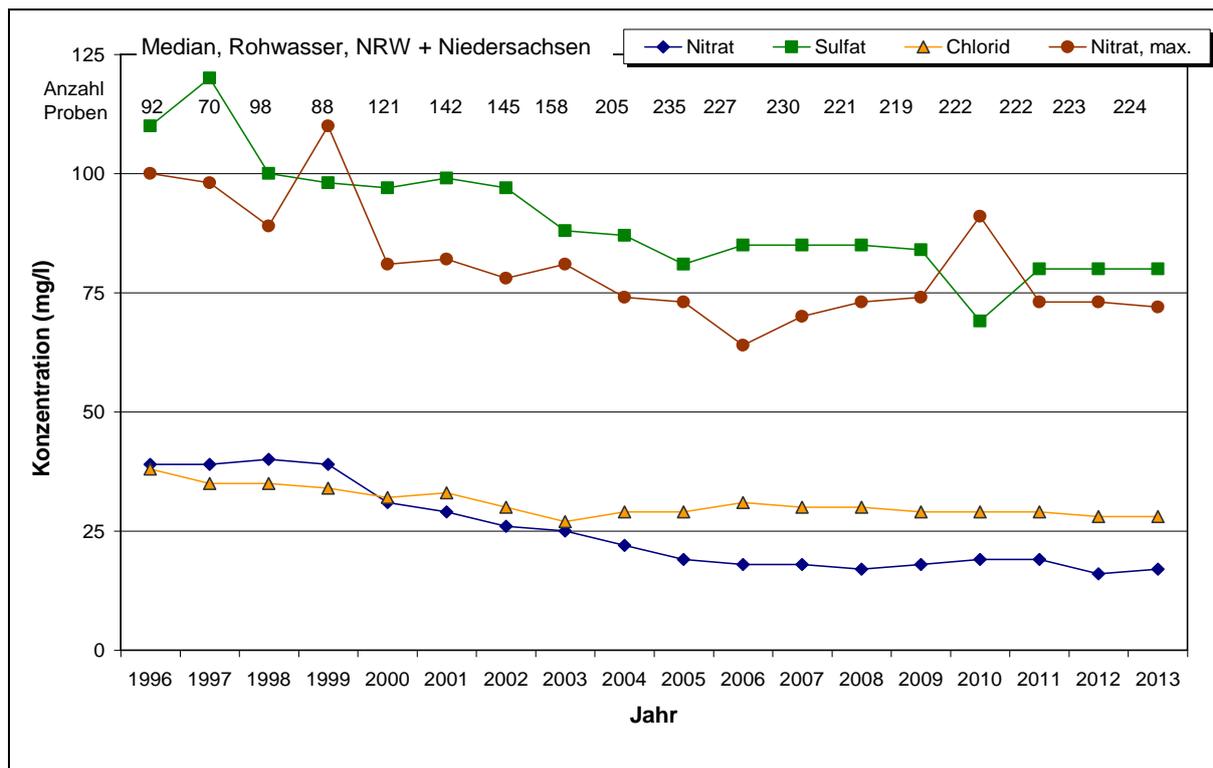
Spitzenkonzentrationen von 170 bis 270 mg/l Nitrat gemessen. Der Median dieser Proben liegt zwischen 77 und 92 mg/l. Alle drei Ganglinien zeigen eine weitgehend stabile Entwicklung, für die letzten Jahre deutet sich ein leichter Trend zu steigenden Maximalwerten an.



**Abbildung 2:** Detailbetrachtung der oberflächennahen Grundwässer mit Nitratkonzentrationen über 50 mg/l (IWW 2014)

Die **Abbildung 3** zeigt die entsprechenden Größenordnungen und Entwicklungen für die in den jeweiligen Gebieten geförderten Rohwässer.

Im Vergleich mit den in der **Abbildung 1** gezeigten Ganglinien lässt sich eine vergleichbare Entwicklung erkennen, bei tendenziell höheren Sulfat- und niedrigeren Nitratwerten im Rohwasser. Auch im Rohwasser werden vereinzelt Spitzenkonzentrationen von weit über 50 mg/l gemessen, die erst durch das Verschneiden mit weniger belasteten Wässern eine Qualität erreichen, die den Anforderungen der Trinkwasserverordnung genügen. Es wurden nur Daten von Rohwässern verwendet, zu denen auch Messwerte aus der Vorfeldüberwachung vorlagen. Betrachtet man nur die Daten der Gebiete, zu denen seit 1996 kontinuierliche Zeitreihen vorlagen, ergeben sich sowohl für die Grund- als auch für die Rohwässer vergleichbare Entwicklungen.



**Abbildung 3:** Konzentrationsentwicklung von Eintragsparametern im Rohwasser ausgewählter Trinkwassergewinnungsgebiete in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen (IWW 2014)

Bei den PBSM ergibt sich eine insgesamt günstigere Situation: Im Gegensatz zu Nitrat treten nur einzelne, punktuelle Belastungen auf, das Konzentrationsniveau im Vorfeld von Trinkwassergewinnungsgebieten ist allgemein als moderat zu bewerten ( $\ll$  10fache-Überschreitung des Trinkwassergrenzwertes, IWW 2014). Schließlich lassen sich beim Monitoring bekannt gewordener Schäden eindeutige Entwicklungen in Richtung abnehmender Werte aufzeigen. Aus Sicht der Wasserversorgung besteht ein mögliches Problem vielmehr im Auftreten neuer, bisher nicht berücksichtigter Stoffe. Diese Situation ist letztendlich auf das sehr breite, hoch dynamische und wenig transparente Spektrum beim Einsatz von PBSM-Wirkstoffen zurückzuführen. Als Lösung ist ein offener Austausch zwischen den Akteuren über Art und Umfang der applizierten PBSM unumgänglich. Zur kontinuierlichen Optimierung der Überwachung ist das Wasserversorgungsunternehmen aufgrund der in der Anlage 2, Teil I, Nr. 10 TrinkwV formulierten Bemerkung zum PBSM-Grenzwert verpflichtet. Im Gegensatz zum Parameter Nitrat kann sich eine mögliche Betroffenheit des Versorgungsunternehmens sehr kurzfristig ändern - ein Aspekt, der vielfach unterschätzt wird und gravierende Einschnitte im Betriebsablauf mit sich bringen kann (z. B. Erteilung einer Ausnahmegenehmigung nach § 10 TrinkwV inkl. Information der Öffentlichkeit).

Ein angemessener Umgang mit den oben genannten Punkten verursacht in allen Fällen Betriebskosten. Wenngleich ein Teil dieser Kosten über das abgeführte Wasserentnahmeentgelt refinanziert werden kann, bleibt die Frage der Effizienz und Nachhaltigkeit der ergriffenen Gewässerschutzmaßnahmen. Zudem entstehen ver-

deckte Kosten, die nur in wenigen Unternehmen mit den tatsächlichen Ursachen in Verbindung gebracht (z. B. Verockerung).

Weiterhin ist zu beachten, dass sich im Produktionsbereich Landwirtschaft sehr kurzfristig die Rahmenbedingungen verändern können (Stichwort: Biogas, Tierproduktion, Getreidepreise etc.). Diese Situation steht vielfach im Widerspruch zum eher langfristigen Wirtschaften in der Wasserbranche. Ziel muss es sein, resultierende Diskrepanzen frühzeitig zu erkennen, um an geeigneter Stelle gezielt und effizient entgegen wirken zu können. Nur so kann der "Wareneingang Qualität des Rohwassers" als gesichert angesehen werden. Die zur Verfügung stehenden wasserwirtschaftlichen Werkzeuge wie z. B. das Wasserrecht und / oder ein festgesetztes Wasserschutzgebiet greifen an dieser Stelle letztendlich nur bedingt, da über sie primär der grobe Rahmen der Bewirtschaftung von Grundwasserkörpern geregelt wird.

Wir bieten folgende Dienstleistungen an:

- Überprüfung und ggf. Optimierung der Grund- und Rohwasserüberwachung (Messnetz, Untersuchungsumfang und -häufigkeit)
- Auswertung und Bewertung der wichtigsten einflussnehmenden Faktoren (Auswaschungsgefahr nach DIN 19732, Stoffabbau und -rückhalt, Abschätzung des Umfangs des Nitratabbaus etc.)
- Aussagen zur Verweilzeit des Sickerwassers bis zum Auftreffen auf die Grundwasseroberfläche bzw. Fließzeit des Grundwassers bis zur Brunnengalerie
- Berechnung der Nitratabbauleistung und des Nitratabbauvermögens im Grundwasserleiter
- Bewertung der Effizienz der bisher ergriffenen Maßnahmen (N<sub>min</sub>, veränderte Landbewirtschaftung), Abgleich zwischen der derzeitigen im Rohwasser gemessenen und zukünftig zu erwartenden Stoffbelastung, Bewertung der Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungsmaßnahmen

Hierfür stehen dem IWW verschiedene Werkzeuge und Auswertungsmethoden zur Verfügung:

- Raumbezogene Auswertung der standörtlichen Verhältnisse sowie der jeweiligen Nutzung im Gewinnungsgebiet mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen
- Berechnung des stofflichen Verlagerungs- und Transportverhaltens im Boden und Grundwasserleiter (nach DIN 19732 und diversen hydrogeologischen Berechnungsansätzen)
- Zuordnung möglicher stofflicher Belastungen im Grund- und Rohwasser zum Eintragsort und Berechnung des Eintragszeitpunktes

- Interpretation der gemessenen Nmin-Werte und Abgleich zwischen
  - Nmin-Probenahmezeitpunkt und dem Beginn der winterlichen Sickerung
  - Nmin-Wert und der gemessenen  $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationen an der Grundwasseroberfläche
  - Nmin-Wert und der Intensität der Flächennutzung im Oberstrom und sonstigen einflussnehmenden Faktoren.

Erklärung möglicher Diskrepanzen.

- Multi-Parameter-Tiefenmessungen zur Identifikation von Nitratabbauprozessen im Aquifer. Seit einigen Jahren setzt der Bereich Wasserressourcen-Management am IWW die Multi-Parameter-Sonde YSI<sup>®</sup>, Professional Plus der Firma ecoTech Umweltmesssysteme GmbH Bonn, für hydrochemische Tiefenlotungen an vollverfilterten Grundwassermessstellen ein. Erfasst werden die Parameter Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff, Redoxpotenzial (alle bis 30 m) sowie die Nitratkonzentration (bis 15 m). Dabei wird die Sonde in der Messstelle in situ und damit im ungestörten Aquifer auf die entsprechende Messtiefe herabgelassen. Voraussetzung für diesen Einsatz ist das Vorhandensein von vollverfilterten Messstellen mit einer Nennweite von  $> \text{DN } 100$  bei einem weitgehend homogenen Untergrund (Sand, Kies). Die in einigen Gebieten bestehende hydrochemische Schichtung des Aquifers wird über regelmäßige Messungen (z. B. halbjährlich) hochauflösend erfasst. Die Tiefenlotungen ersetzen nicht die vielfach etablierten Gütemessungen im gepumpten Grundwasser, sondern bilden ein zusätzliches Kontrollinstrument zur Überwachung der wasserwirtschaftlich genutzten Ressource und soll das hydrochemische Prozessverständnis rund um den Themenkomplex Nitrat(-abbau) weiter schärfen.

Mit der Sonde steht ein einfaches und kostengünstiges Instrument für die Qualitätssicherung der Grund- und Rohwasserbeschaffenheit und/oder der Effizienzkontrolle bei der Minimierung von Stoffeinträgen aus der Landwirtschaft zur Verfügung. IWW bietet den Einsatz der Multi-Parameter-Sonde als Dienstleistung an, verbunden mit der fachlichen Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Grundwassermessstellen sowie der Auswertung und Interpretation der erhobenen Daten. Selbstverständlich kann die Technik auch in Talsperren und Seen eingesetzt werden.

- $\text{N}_2/\text{Ar}$ -Messungen zur Bestimmung der  $\text{NO}_3^-$ -Eintragskonzentration zum Zeitpunkt  $t_0$ . Mit dieser Methode wird die tatsächliche Eintrags-/Ausgangskonzentration bestimmt, wobei unter Berücksichtigung des Verlagerungs- und Transportverhaltens Effekte des kooperativen Gewässerschutzes und/oder des Nitratabbaus besser voneinander getrennt werden können. Das Prinzip der  $\text{N}_2/\text{Ar}$ -Methode beruht auf der Messung des Verhältnisses der im Grundwasser gelösten Gase  $\text{N}_2$  und Ar zueinander, wobei sich die Konzentration von  $\text{N}_2$  im Gegensatz zum konservativen Tracer Argon durch die Denitrifikation er-

höht. Konkret bedeutet dies, dass dort, wo die Nitratwerte aufgrund des Abbaus gering sind, über diese Methode die eigentliche Nitrat-Ausgangskonzentration, der Anteil des abgebauten Nitrats sowie die tatsächlich im Wasser vorliegende  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration bestimmt werden können.

Die Methode wurde von IWW bereits in einigen Wassergewinnungsgebieten in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen erfolgreich eingesetzt. Ein Beispiel verdeutlicht das Vorgehen: In einer von der Grundwasseroberfläche entnommenen Probe werden aktuell ca. 10 mg/l Nitrat bestimmt. Die über die  $\text{N}_2/\text{Ar}$ -Methode quantifizierte  $\text{NO}_3^-$ -Ausgangskonzentration beträgt ca. 90 mg/l. Demnach werden derzeit rund 80 mg/l Nitrat abgebaut. Da das Nitratabbauvermögen endlich ist, liefert das hier beschriebene Ergebnis einen wesentlichen Baustein für die Sicherung der Rohwasserqualität sowie der gezielten Steuerung einer nachhaltigen, d. h. das Abbaupotenzial schonenden Landwirtschaft.

Die Methode ist einfach einzusetzen und kostengünstig. Insbesondere dort, wo bei reduzierten und nitratfreien Grundwässern wenig Klarheit über die eigentliche Belastungssituation besteht, kann die Methode neue Impulse bei der Priorisierung des Gewässerschutzes setzen.

- Vergleich der im Vorfeld der Wassergewinnung gemessenen Nitratkonzentrationen mit den  $\text{NO}_3^-$ -Werten im Rohwasser, Aussagen zur prozentualen Abbauleistung im Aquifer sowie zur Nachhaltigkeit der Prozesse.

Die genannten Auswertungen berücksichtigen alle bestehenden Verordnungen, Normen und technischen Regelwerke. Die genannten Leistungen können als Komplettpaket, aber auch modular angeboten werden. Der Vorteil für den Auftraggeber - dies können Wasserversorgungsunternehmen oder eine Kooperation Landwirtschaft/Wasserwirtschaft sein - besteht darin, dass nach Abschluss der Arbeiten konkrete Aussagen zur aktuellen Belastungssituation der Grund- und Rohwässer vorliegen und bisherige und geplante kooperative Gewässerschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz in Hinblick auf die Stoffbelastung bewertet werden. Die Arbeiten liefern damit wichtige Impulse für die Ausgestaltung des kooperativen Gewässerschutzes und sichern damit die Qualität der zur Trinkwassergewinnung genutzten Rohwasserressourcen.

## Literatur

- /1/ ATV-DVWK (2004): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs. ATV-DVWK-Themen, 28 S., Hennef.
- /2/ BERGMANN, S. & W. LEUCHS (2014): Grundwasserbelastungen aus diffusen Quellen - Ergebnisse der 2. Bestandsaufnahme. Textfassung zum Vortrag, Symposium zur EG -WRRL - „Halbzeit - WRRL auf der Zielgeraden?“

- 09./10.04.2014, Oberhausen. <http://www.dwa-nrw.de/wasserrahmenrichtlinie2014.htm>.
- /3/** DBG (DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT) (1992): Strategien zur Reduzierung standortbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat.
- /4/** DIN 38 402 (1985): Allgemeine Angaben (Gruppe A) Probenahme aus Grundwasserleitern (A 13).
- /5/** DIN 19732 (1997): Bewertung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbiebaren Stoffen. 4 S., Berlin.
- /6/** DVGW (2003): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen, Technische Regel Arbeitsblatt W 121. Bonn.
- /7/** DVGW (2003): Messnetze zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Wassergewinnungsgebieten. Technische Regel Arbeitsblatt W 108. Bonn.
- /8/** DVGW (2011): Grundsätze der Probenahme aus Grundwassermessstellen. Technische Regel Arbeitsblatt W 112. Bonn.
- /9/** DWA / DVGW (2013): Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs. Merkblatt DWA M 911 bzw. Technischer Hinweis - Merkblatt DVGW W 104-2 (M) 43 S., Hennef.
- /10/** GÄTH, S., ANTHONY, F., BECKER, K.-W., GERIES, H., HÖPER, H., KERSEBAUM, C., NIEDER, R. (1997): Bewertung des standörtlichen Denitrifikations- und Mineralisations-/Immobilisierungs-Potentials von Böden. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Gesellschaft, 85, III 1373 - 1376
- /11/** HÖLTING, B., HAERTLÉ, TH., HOHBERGER, K.-H., NACHTIGALL K. H., VILLINGER E., WEINZIERL, W., WROBEL J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. In: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.]: Geologisches Jahrbuch 63, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, S. 5 - 24, Hannover.
- /12/** HÖLTING, B., COLDEWEY W.G. (2009): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 7. Aufl. 383 S. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- /13/** IWW RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR WASSER, BERATUNGS- UND ENTWICKLUNGSGESELLSCHAFT MBH (2014): Auszug aus der Analysendatenbank zu den hydrochemischen Daten der Grund- und Rohwasserqualität ausgewählter Wassergewinnungsgebiete in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen. Mülheim a. d. R (unveröffentlicht).

- /14/** JANKOWSKI, A. (2014): PSM-Belastung in Niedersachsen - Ergebnisse der Bewertung 2014 und Maßnahmenumsetzung gemäß EG-WRRL, Vortrag 9. Grundwasserworkshop am 9. Juli 2014. Cloppenburg, Veröffentlichung in Kürze, [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/veranstaltungen/grundwasserworkshop/grundwasserworkshop\\_2014/grundwasserworkshop-2014-124281.html](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/veranstaltungen/grundwasserworkshop/grundwasserworkshop_2014/grundwasserworkshop-2014-124281.html)
- /15/** LANGGUTH, H.-R., R. VOIGT (2004): Hydrogeologische Methoden. 1005 S., Springer-Verlag, Berlin.
- /16/** LAWA (1995): Probenahme von Grundwasser. AQS-Merkblatt P8/2.
- /17/** NIEDERSÄCHSISCHER LANDTAG (2012): Kleine Anfrage des Abgeordneten Christian Meyer (GRÜNE), eingegangen am 27.07.2012, ausgegeben am 07.12.2012, 16. Wahlperiode, Drucksache 16/5525 <http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/LLD16-5525.pdf>.
- /18/** VERORDNUNG ÜBER DIE QUALITÄT VON WASSER FÜR DEN MENSCHLICHEN GEBRAUCH TRINKWV 2001 - TRINKWASSERVERORDNUNG VOM 21. MAI 2001. Bundesgesetzesblatt Jahrgang 2001 Teil I, Nr. 24, ausgegeben am 28.5. 2001, S. 959 ff, geändert durch Artikel 263 der Verordnung vom 25.11.2003, BGBl. I S. 2304. Bonn.