Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2010) 15: 191–201
DOI 10.1007/s00767-010-0146-5

TECHNISCHE MITTEILUNG

Planung und Durchführung eines Grundwasser-Monitorings mit Direct-Push in Nordbrandenburg

Stephan Hannappel · Petra Braun

Eingang des Beitrages: 22. 9.2009 / Eingang des überarbeiteten Beitrages: 13. 4.2010 / Online veröffentlicht: 16. 6.2010
© Springer-Verlag 2010

Zusammenfassung Im Norden Brandenburgs befinden sich zwei nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ausgewiesene Grundwasserkörper wegen hoher Stickstoffkonzentrationen derzeit im „schlechten (chemischen) Zustand“. Die Bewertung seitens des Landesumweltamtes Brandenburg basierte auf dem Vergleich von – der Behörde zum Zeitpunkt der Bewertung relativ wenigen zur Verfügung stehenden – Konzentrationsdaten mit der Qualitätsnorm der Grundwasserrichtlinie zu Nitrat bzw. dem Schwellenwert zu Ammonium. Durch die Direct-Push-Untersuchungen sowie ergänzende Grundwasserbeprobungen wurde überprüft, inwiefern die bisher bekannte Datenbasis relativ kostengünstig verbessert werden kann. Mit den Ergebnissen der Feldarbeiten wurde zudem versucht, mit geostatistischen Mitteln die Belastung räumlich einzugrenzen und die für die behördliche Arbeit notwendige flächenbezogene Bewertung zu überprüfen.

Conception and realization of a groundwater monitoring by direct push in Northern Brandenburg

Abstract Due to high nitrogen concentrations, two groundwater bodies in Northern Brandenburg were classified under the heading “poor (chemical) condition” according to the Water Framework Directive of the European Commission. These evaluations of the “Landesumweltamt Brandenburg” were based on several investigations that compared the hydrogeochemical data with the quality norm for nitrate and with the threshold value for ammonia from the European Groundwater Directive. By sampling with direct push techniques, we re-analysed the extent of contamination in order to decide whether the water quality could be improved in a cost-effective manner. Based on the newly established data set, the area of contamination could be more precisely delineated with geostatistical techniques. This helped to determine whether the previous evaluation of local groundwater quality was still valid.

Keywords Groundwater monitoring · Direct push · Groundwater directive · Ammonium · Nitrate · SIMIK+

Dr. S. Hannappel (✉)
HYDOR Consult GmbH, Am Borsigturm 40, 13507 Berlin, Deutschland
E-Mail: hannappel@hydor.de

Dipl. Geogr. P. Braun
Landesumweltamt Brandenburg, Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam, Deutschland

Einleitung

Ziel der Untersuchungen im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg war es, die nach der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) vorgenommene Einstufung der beiden Grundwasserkörper (GWK) in den „schlechten chemischen Zustand“ im Norden Brandenburgs mit Direct-Push-Methoden zu überprüfen. Gleichzeitig sollte damit das sog. „operative Monitoring“ nach der – die WRRL in Bezug auf das Grundwasser präzisierende – Grundwasserrichtlinie (EG 2006) begleitet und überprüft werden. Die Datenlage zu messstellenbezogenen Konzentrationsdaten von Stickstoff im Grundwasser sollte signifikant verbessert und eine flächenhafte Ermittlung zu den Konzentrationen der Stickstoffparameter vorgenommen werden.

Im 212 km^2 großen GWK Schwedt standen dem Landesumweltamt Brandenburg für die bisherige Zustandsbewertung nur Messdaten von sechs Grundwassermessstellen zur Verfügung. Das war eine unzureichende Dichte für eine

geostatistische Regionalisierung der punkt- bzw. messstellenbezogenen Konzentrationsdaten. Diese Regionalisierung ist jedoch notwendig, da nach einem Vorschlag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser pro GWK die Flächengröße mit einer Konzentration oberhalb des Schwellenwertes von Ammonium (0,5 mg/l) bzw. der Qualitätsnorm von Nitrat (50 mg/l) nicht größer als 25 km^2 sein darf, wenn der GWK im „guten chemischen Zustand" ist. Eine Aufschlussdichte von etwa 1 Messwert pro 10 bis 12 km^2 wurde z. B. in Mecklenburg-Vorpommern – mit vergleichbaren hydrogeologischen Randbedingungen wie in Nordbrandenburg – als notwendig zur Durchführung der geostatistischen Berechnung angesehen (Kollatsch et al. 2006). Die Erreichung mindestens einer solchen Aufschlussdichte wurde daher mit Direct-Push-Methoden angestrebt.

Geklärt werden sollte auch, ob das Verfahren auf andere GWK im „schlechten Zustand" aufgrund diffus eingetragener Nährstoffe in Brandenburg übertragen werden kann. Der Fokus der Untersuchungen lag auf Stickstoff, da das Grundwasser die wesentliche Eintragsquelle bei diesem Stoff für die oberirdischen Gewässer darstellt (Schumann 2010, Dietrich & Schumann 2006). Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass keine permanente Messstelle benötigt wird sowie einmalige und kostengünstige In-situ-Messungen mit Probenentnahmen in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt werden können.

Die Referenzgebiete besitzen jeweils einen hohen landwirtschaftlichen Flächennutzungsanteil. Im GWK Schwedt standen die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen des Direct-Push-Verfahrens (DP) vor allem in der Niederung im Mittelpunkt. Zunächst waren repräsentative Sondieransatzpunkte festzulegen, die Tiefen der Probennahme zu bestimmen und eine Auswertung der erhobenen Daten in räumlicher Hinsicht vorzunehmen.

Eine ähnliche Erhebung wurde auch im Grundwasserkörper Prenzlau durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind hier jedoch nicht im Detail dargestellt.

Kenntnisse zum Vorkommen von Stickstoff im Grundwasser Brandenburgs

Stickstoff tritt im Grundwasser Brandenburgs aufgrund der vorherrschenden hydrogeochemischen Zustände vor allem als Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) und nur sehr untergeordnet als Nitrit (NO_2) auf. Wichtigste Eintragsquelle ist der nicht von Pflanzen aufgenommene Stickstoff aus der landwirtschaftlichen Düngung. Unter reduzierenden Bedingungen kann das mit dem Sickerwasser in den Grundwasserleiter eingetragene Nitrat bei Anwesenheit von organischen Kohlenstoffverbindungen und/oder Schwefel-Eisen-Verbindungen reduziert werden. Diese Grundwässer können dann wieder geringere Nitratwerte aufweisen und sogar nitratfrei werden. Der vorwiegend mikrobiell gesteuerte Abbau des Nitrats im Zuge der Denitrifikationsreaktion mit reduzierten Schwefelverbindungen als Elektronendonatoren wurde grundlegend in Sandböden unter Ackerflächen im „Fuhrberger Feld" untersucht (Böttcher et al. 1989). Als Ursache der räumlichen Variabilität der Nitratkonzentrationen wurden dabei primär neubildungsgeprägte Prozesse aus der ungesättigten Zone identifiziert.

Durch vorwiegend mikrobielle Prozesse sind die Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser Brandenburgs oft stark erhöht und weisen auch auf anthropogene Beeinflussungsarten z. B. durch Abwässer, Gülle, Jauche oder Stallmist hin (Kunkel et al. 2004). Vor allem in den großen Niederungsgebieten des Landes mit flurnahen Grundwasserständen und oftmals hohen organischen Anteilen in der Versickerungszone bestehen günstige Bedingungen für stabil hohe Ammoniumkonzentrationen bei entsprechend im Untergrund vorhandenen Stickstoffpotenzialen.

Das Auftreten des Stickstoffes in seiner jeweiligen Stoffverbindung hängt primär vom pH- bzw. Eh-Wert im Grundwasser ab (Krajnov & Voigt 1990). Dieser wird vor allem durch Sauerstoff, Schwefel, Eisen und gelöste organische Substanzen bestimmt. Oberhalb von etwa Eh 200 mV tritt primär Nitrat, unterhalb davon primär Ammonium im Grundwasser auf. Unter den hydrogeochemischen Voraussetzungen der Grundwässer in Brandenburg sind also freie Nitrationen in erhöhten Konzentrationen eher untergeordnet zu erwarten. Die Redoxpotenziale liegen ganz überwiegend unterhalb von 200 mV, der Medianwert der Messstellen des landesweiten Überblicksmessnetzes z. B. liegt bei 94 mV (LUA 2007).

Recherche der hydrogeologischen Standortinformationen der beiden GWK

Abbildung 1 zeigt die (rot umkreisten) Untersuchungsgebiete mit den beiden Grundwasserkörpern Schwedt und Prenzlau im Nordosten Brandenburgs, beide liegen jeweils etwa 40 km südwestlich von Stettin. Der GWK Schwedt grenzt an die Oder sowie Polen und umfasst hydrogeologisch drei sich deutlich unterscheidende Einheiten: Im Osten sowie im Zentrum liegen als hydrogeologische Struktureinheiten Entlastungsgebiete, in den Randbereichen im Westen sowie im Norden Durchflussgebiete mit anstehendem Geschiebemergel und dazwischen neubildungsgeprägte Bereiche (Hannappel et al. 1995). Geologisch ist er durch sandige fluviatile Sedimente der Bach- und Flussauen im Odertal, die im Welsetal von holozänen Moorbildungen überlagert werden, aufgebaut. Im Zentrum lagern weichselzeitliche Urstromtalsande. In den Hochflächengebieten dominieren bindige Bildungen, zumeist von Grund- oder Endmoränen. Der Felchowsee wird von glazilimnischen Ablagerungen der Weichsel-Eiszeit umrandet.

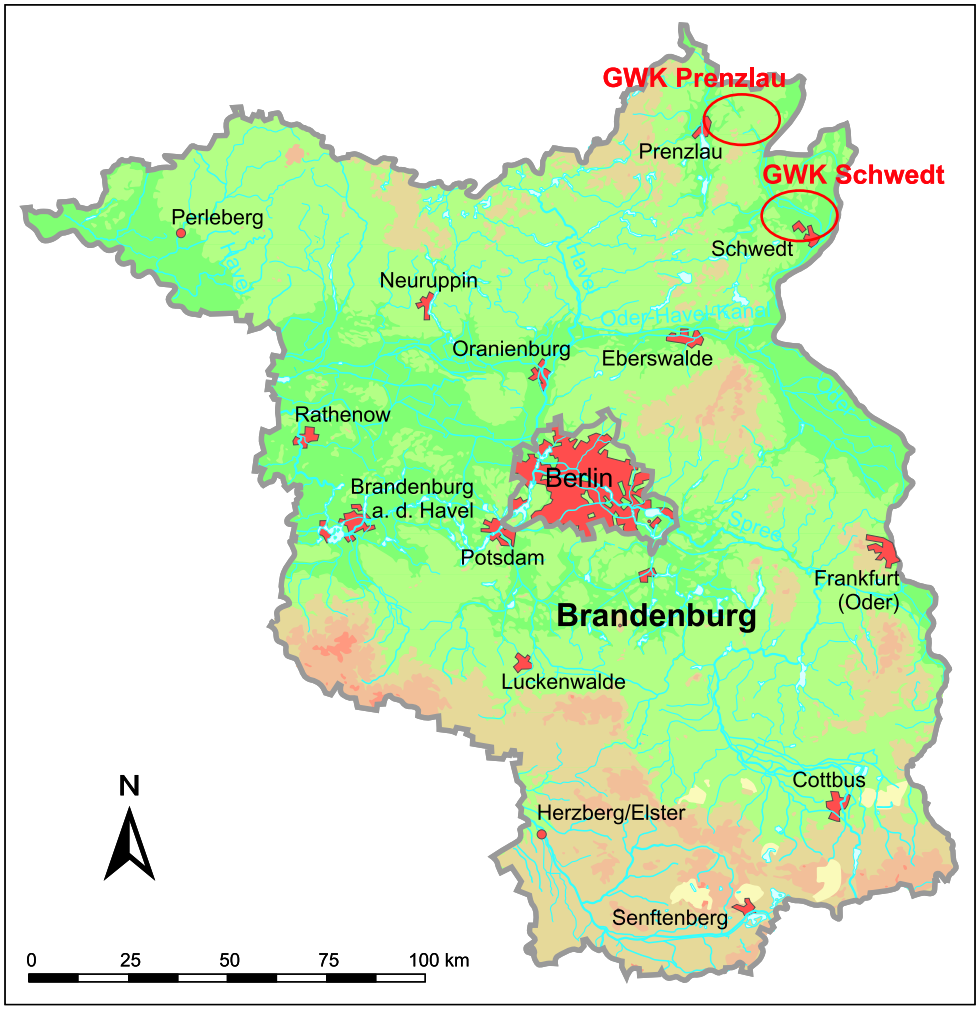

Abb. 1 Lage der beiden Grundwasserkörper im Norden Brandenburgs

Abbildung 2 zeigt eine hydrogeologische Übersichtskarte des GWK Schwedt, Abbildung 3 ein hydrogeologisches Profil im Südosten des GWK mit markantem Übergang von der Hochfläche in die Niederung, dessen Verlauf in Abbildung 2 eingetragen ist. Im Zentrum ist der oberflächennahe Grundwasserleiter unbedeckt, die Mächtigkeiten schwanken jedoch beträchtlich. Es existieren auch Gebiete, in denen durch hydraulische Verbindungen mit tiefer liegenden Grundwasserleitern die Mächtigkeiten bis zu 50 Meter ansteigen. An den Rändern im Westen und Norden steht weichselzeitlicher Geschiebemergel an. Seine Mächtigkeiten sind so hoch (mehr als 20 Meter), dass ein Durchdringen des Mergels mit den Sondierungen technisch bedingt nicht möglich war. Das Grundwasser fließt von den Hochflächenrändern jeweils zu den Niederungen (s. Abb. 2). Von Südwesten fließt es also zunächst nach Nordosten und biegt dann nach Osten ab. Von Norden ist die Fließrichtung auf das Welsetal gerichtet, dort strömt das Grundwasser dann nach Osten und biegt bei Erreichen des Odertales wieder in die überregionale Fließrichtung nach Norden um. Beispielsweise liegen im Polderbereich des Odertals Ammoniumwerte von weit oberhalb 0,5 mg/l vor, während die Nitratwerte aufgrund der niedrigen Redoxpotenziale der schlecht belüfteten Sedimente im Bereich der Nachweisgrenzen liegen. Hier ist auch der Stickstoffeintrag aus der Oder durch regelmäßig infiltrierendes Überflutungswasser im Winter möglich. Die Oder führt in Schwedt im langjährigen Durchschnitt nach den Messungen des Landesumweltamtes mehr als 3 mg/l anorganischen Stickstoff. Genauso ist aber auch der Eintrag aus der Mineralisierung der organischen Substanz oder der landwirtschaftlichen Nutzung des Polderbereichs möglich.

Konzeptionelle Vorbereitung der Feldarbeiten

Folgendes Vorgehen wurde im Rahmen der Untersuchungen gewählt:

1. Zunächst wurden sog. „repräsentative Sondierbereiche“ im Ergebnis der hydrogeologischen Recherchearbeiten räumlich ausgewiesen.

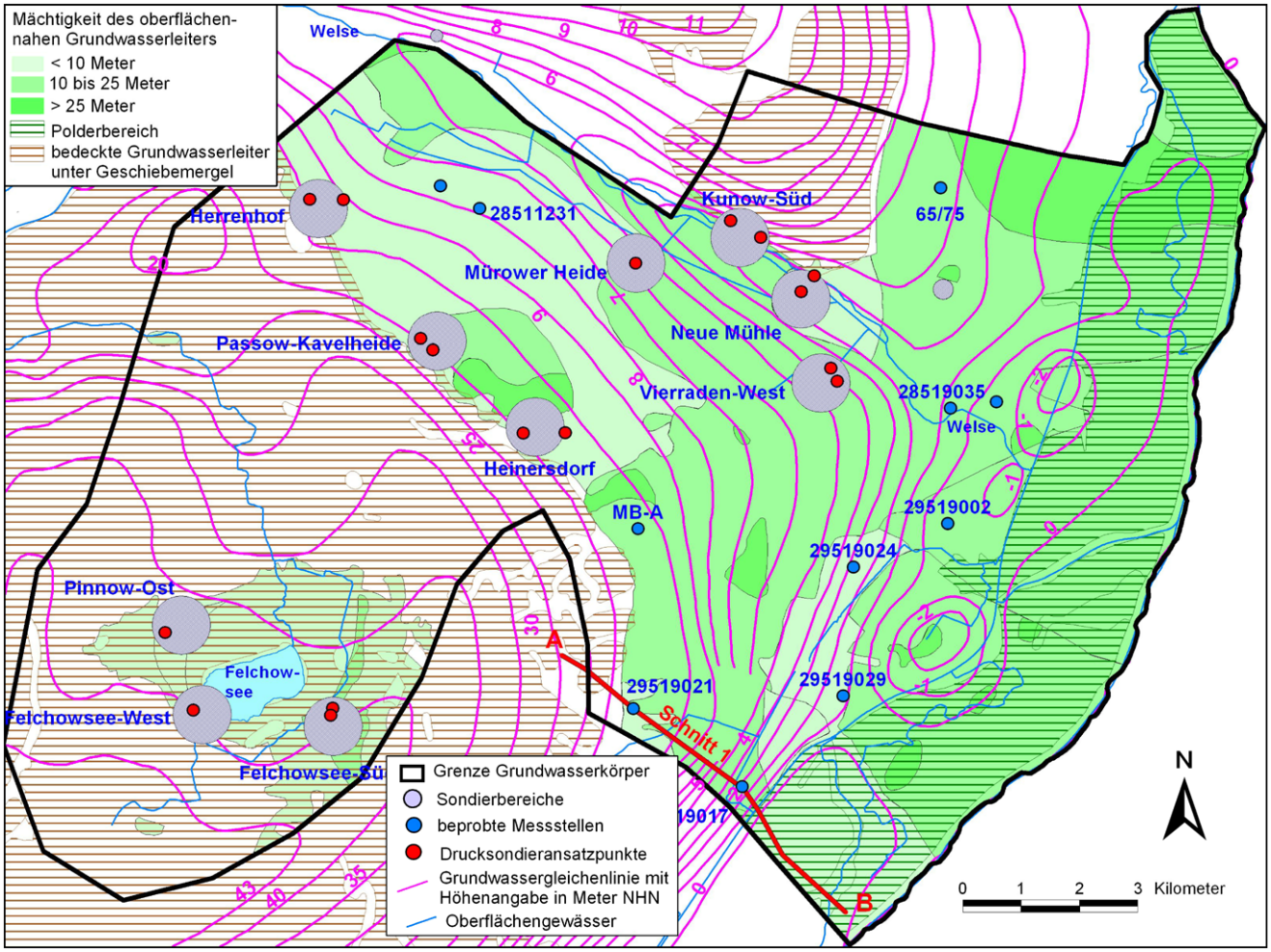

Abb. 2 Hydrogeologische Übersichtskarte des Grundwasserkörpers Schwedt

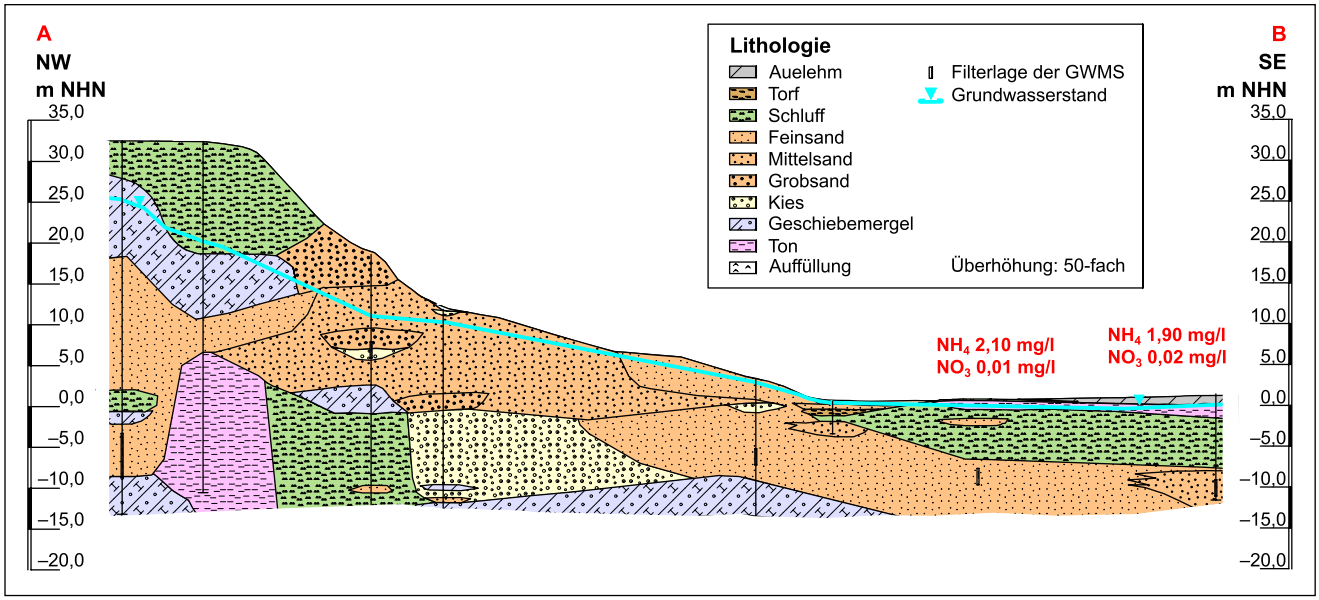

Abb. 3 Hydrogeologischer Schnitt durch den Grundwasserkörper Schwedt

2. Die Ansatzpunkte wurden so gewählt, dass in den oberen Horizonten der GWL eine (zumindest mäßige) Stickstoffbelastung aufgrund der vorherrschenden Landnutzung und der hydrogeologischen Lagerungspositionen in der Umgebung wahrscheinlich war.
3. Punktbezogene und starke Kontaminationen wurden mit den Sondierungen nicht untersucht, da sie für die Fläche des GWK im Ganzen aufgrund der Ergebnisse der „Bestandsaufnahme“ des Landesumweltamtes nach der WRRL nicht repräsentativ sind.
4. Aufgrund der Tiefenzonierung der Stickstoffkonzentrationen war es notwendig, die Entnahmetiefen der Grundwasserproben gestaffelt zu projektieren. Unterhalb der Grundwasseroberfläche wurde etwa alle 2 bis 3 Meter bis zur Endteufe eine Probe entnommen. Die Endteufen richteten sich im Wesentlichen nach der Basis des Grundwasserleiters und lagen zumeist zwischen 5 und 25 Meter unter Gelände.
5. Die Sondierungen wurden so durchgeführt, dass vor Festlegung der Entnahmeteufen der Grundwasserproben Informationen zum lithologischen Aufbau der Schichten vorhanden waren; dies wurde durch elektrische Drucksondierungen im Vorfeld erreicht.

Festlegung der Sondierbereiche

Auf Grundlage des hydrogeologischen Kenntnisstandes wurden jeweils radiale Sondierbereiche mit einem Durchmesser von 1 km festgelegt. Die Sondierbereiche wurden primär dort positioniert, wo bisher nur wenige Informationen vorlagen. Daneben waren die hydrogeologischen Lagerungsbedingungen von großer Bedeutung, da aufgrund der technischen Randbedingungen der DP-Sondierungen vorwiegend unbedeckte Grundwasserleiter berücksichtigt werden mussten. Des Weiteren wurde die Grundwasserdynamik als maßgebliches Kriterium herangezogen, z. B. bei den Sondierbereichen am Rand der Hochflächen aufgrund des bekannten hydraulischen Abstroms von dort in die Niederungen.

In jedem Sondierbereich wurden zwei Ansatzpunkte projektiert: zunächst wurde am „obligatorischen“ Punkt eine Sondierung abgeteuft, eine Probe entnommen und mit nasschemischen Geländeschnelltest die Größenordnung der Stickstoffgehalte (für Nitrat: Merckoquant-Stäbchentest 1.1002.0001 mit einer Bestimmungsgrenze von 1 mg/l, für Ammonium: Aquaquant-Test 1.14400.0001 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/l) ermittelt. Lagen diese höher als die Schwellenwerte, wurde ein zweiter „optionaler“ Ansatzpunkt in der Nähe realisiert, um die Gehalte zu verifizieren

Zusätzlich wurden drei Sondierungen im GWK Schwedt in direkter Nachbarschaft zu Messstellen durchgeführt. Ziel war es hier einerseits, die lithologische Interpretation der DP-Sondierungen mit den geologischen Schichtenverzeichnissen der Trockenbohrungen zu vergleichen und andererseits die Daten der vertikal differenzierten Probenentnahme der DP-Sondierungen den an den Messstellen zum gleichen Zeitpunkt gewonnenen Daten gegenüberzustellen.

Vorbereitung der Auftragsvergabe zur Durchführung der technischen Arbeiten

Nach der anschließenden Genehmigungsplanung wurde die Auftragsvergabe folgendermaßen vorbereitet:

- Festlegung der zu sondierenden Teufen an den Ansatzpunkten (bis maximal 25 Meter unter Gelände),
- Festlegung der hydrochemischen Laborparameter im Anschluss an die Grundwasserprobennahme (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, NH_4^{+}, Fe^{++}, Mn^{++}, Cl^{-}, SO_4^{--}, HCO_3^{-}, NO_3^{-}, NO_2^{-}, o-PO_4^{-}),
- Ergänzende Aufsuchung und Überprüfung von Grundwassermessstellen vor Ort,
- Erstellung einer Leistungsbeschreibung und eines Leistungsverzeichnisses sowie,
- Mitwirkung bei der Vergabe der technischen Feld- und Laborarbeiten.

Für die Festlegung der Teufen wurden die recherchierten Informationen zu den Sondierbereichen, wie z. B. Höhe des Grundwasserstandes und Flurabstand, sowie zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters verwendet. Bei den drei Vergleichsmessungen wurden die Tiefen den Endteufen der Trockenbohrungen angepasst. Insgesamt wurden in den beiden GWK Schwedt und Prenzlau 477 Sondiermeter an 22 Ansatzpunkten geplant.

Des Weiteren wurden gezielt Grundwassermessstellen im Gelände aufgesucht und technisch und hydraulisch untersucht. Kriterium der Auswahl war einerseits die Lage, da eine möglichst homogene Verteilung der Datenbasis für die Regionalisierung angestrebt wurde. Zudem mussten die Filterdaten der Messstellen einen Ausbau im oberen Grundwasserleiter als dem hydrogeologischen Bezugshorizont der Untersuchungen anzeigen. Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- Aufsuchung und Identifizierung der Messstellen anhand von GPS-Messungen,
- Technische und hydraulische Überprüfung (Lotung, Wasserstandsmessung, Auffülltests),
- Bewertung der hydraulischen Funktionsfähigkeit,
- Dokumentation (Anfahrtsbeschreibung, Feststellung von Besonderheiten, Lageplan, Foto).

Im GWK Schwedt wurden 14 Messstellen zur Überprüfung ausgewählt. 11 der 14 untersuchten Messstellen zeigten sich als hydraulisch funktionsfähig und konnten für die Grundwasserbeprobung empfohlen werden. Ergänzt wurden diese

um drei vom LUA betriebene Messstellen sowie um zwei ehemalige Trinkwasserbrunnen.

Anschließend wurden die für die Ausschreibung der Feldleistungen notwendigen Verdingungsunterlagen zusammengestellt. Dabei wurde ermittelt, welche Verfahren (Schulmeister et al. 2003, Köber et al. 2009) und Anbieter für die Leistung im Rahmen einer beschränkten Ausschreibung in Frage kommen. Es wurde empfohlen, das „CPT"-Verfahren (*Cone Penetration Testing*) geoelektrischen Verfahren vorzuziehen, da bei letzteren die bindigen Schichten vorwiegend über den Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit identifiziert werden. Die elektrische Leitfähigkeit des Gebirges resultiert jedoch in der Leitfähigkeit des Elektrolyten (hier Grundwasser) und der Matrix (hier das Sediment). Durch veränderte Leitfähigkeiten des Grundwassers z. B. können Fehlinterpretationen nicht ausgeschlossen werden. Außerdem sind die Leitfähigkeitsunterschiede bei bestimmten Geschiebemergeln mit relativ geringen Tongehalten nicht besonders signifikant. Beim CPT-Verfahren beruht die Identifikation der bindigen zu den rolligen Schichten aus den absoluten Werten des gemessenen Spitzendrucks und der gemessenen Mantelreibung sowie des daraus gebildeten Quotienten. In bindigen Schichten sinkt in der Regel der Spitzendruck und die Mantelreibung nimmt zu. Das Mantelreibung-/Spitzendruck-Verhältnis ist somit ein zuverlässiger Indikator.

Durchführung der technischen Feldarbeiten

Die Feldarbeiten erstreckten sich über einen Zeitraum von insgesamt sechs Wochen im Frühjahr 2009. Fortlaufend erfolgte in allen 19 Sondierbereichen jeweils eine Drucksondierung, deren Ergebnisse inkl. der lithologischen Interpretation digital übermittelt wurden. Damit konnte dann über Anzahl und Teufe der Grundwasserproben pro Standort entschieden werden. Hierbei konnte es zu Abweichungen von der bisherigen Planung kommen, wenn die angetroffene Lithologie aufgrund zu bindiger Schichten eine Grundwasserprobenentnahme nicht zuließ. Dann wurde unter Verzicht auf die Grundwassersondierung auf den optionalen Standort der Drucksondierung ausgewichen.

Eingesetzte Geräte und Entnahmesysteme

Da wegen winterlicher Witterungsverhältnisse ein komplettes Anfahren einiger Ansatzpunkte mit dem LKW nicht möglich war, kam für einige optionale Punkte ein Raupengerät zum Einsatz. Standardmäßig wurden Spitzendruck und lokale Mantelreibung sowie die Neigung registriert. Zur Ermittlung der Grundwasserstände wurde an einigen Ansatzpunkten der dynamische Porenwasserdruck gemessen. Außerdem wurden Dissipationstests durchgeführt, welche den statischen Porenwasserdruck messen, woraus die Grundwasserstände ermittelt werden konnten. Die lithologische Schichtenfolge wurde interpretiert.

Für die Entnahme der zonierten Grundwasserprobennahmen am Untersuchungsstandort wurden über den gesamten Zeitraum mobile Direct-Push-Geräte der Serie 66 auf Raupenfahrwerk und Pick-Up der Firma Geoprobe® eingesetzt. Mit den Geräten wurde das Probennahmesystem in die geforderte Tiefe mittels Hydraulikhammer gebracht. Das Aufzeichnen des Eindringwiderstandes ist beim Einsatz dieser Technik nicht möglich. Es wurde durchweg mit dem 1,5"-Hohlgestänge von Geoprobe® gearbeitet.

Die Grundwasserprobennahme von unten nach oben erfolgte mit dem Sampling-Point-16-System von Geoprobe®. Das System wurde mit Hohlgestänge auf die tiefste zu beprobende Tiefe gebracht. Dabei ist das System komplett durch eine Spitze geschlossen. Durch Zurückziehen des Gestänges bei gleichzeitigem Gegenhalten mit speziellen Innengestängen wurde die Spitze herausgedrückt und der Filter auf ca. 110 cm frei gezogen. Anschließend wurde das Totvolumen sowie das 3-fache Volumen mittels Hydroliftpumpe abgepumpt. Während des Abpumpens wurden die Vor-Ort-Parameter Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Redoxspannung und pH-Wert gemessen. Nach Konstanz der Parameter wurden die Probennahme sowie die Schnelltests auf Ammonium und Nitrat durchgeführt. Die Förderraten während des Abpumpens wurden an die jeweiligen Zulaufbedingungen angepasst, um eine qualitätsgerechte Probennahme zu gewährleisten. Zum Beproben des nächst höheren Horizontes wurde das komplette System auf den neuen Beprobungshorizont gezogen und die Beprobung begann erneut.

Druck- und Probennahmesondierungen sowie Probenentnahme an Messstellen

Realisiert wurden von den insgesamt 477 geplanten Sondiermeter 429 Sondiermeter, durchschnittlich also 11,6 Meter pro Sondierung mit einer Spanne von 5,6 bis 25,2 Sondiermetern. Im GWK Schwedt konnte an drei Standorten sowie an einem der Vergleichsstandorte darauf verzichtet werden, da kein weiterer Erkenntnisgewinn zu erwarten war.

Die Grundwasserprobennahmesondierungen wurden mit dem Geoprobe-System auf Basis der vorgegebenen Tiefen der Sondierungen und der Anzahl der zu entnehmenden Grundwasserproben durchgeführt. Bei dieser zweiten Runde der Grundwassersondierungen wurde auf die nasschemischen Schnelltests vor Ort verzichtet, da hiervon keine Planung einer weiteren Sondierung mehr abhing. Die Grundwasserprobenentnahme umfasste insgesamt 18 Grundwassermessstellen und 2 Brunnen mit einer Wasserstandsmessung, einem Kurzpumpversuch, der Bestimmung der Vor-Ort-Parameter inkl. der dazu gehörigen Dokumentation sowie dem Transport am gleichen Werktag in das Labor.

Tab. 1 Aktuelle Daten zu den Stickstoffwerten an den Messstellen im Vergleich zu den Sondierungen

Entnahmeort	Datum	Entnahmetiefe bzw. Filter	NH_4 vor Ort [mg/l]	NH_4 Labor [mg/l]	NO_3 vor Ort [mg/l]	NO_3 Labor [mg/l]
Messstelle Blumenhagen	20.02.2009	4,7–6, 7	–	< 0,05	–	18,6
Sondierung Blumenhagen	19.02.2009	3,0–4, 0	0,15	0,08	100	120
Sondierung Blumenhagen	19.02.2009	5,2–6, 2	0,15	< 0,05	10	16,5
Messstelle Jamikow	20.02.2009	11,0–13, 0	–	0,21	–	< 0,5
Sondierung Jamikow	19.02.2009	4,0–5, 0	0,15	0,05	n. b.	7,16
Sondierung Jamikow	19.02.2009	7,0–8, 0	0,30	0,14	n. b.	< 0,5
Sondierung Jamikow	19.02.2009	9,0–10, 0	0,40	0,31	n. b.	< 0,5
Sondierung Jamikow	19.02.2009	11,5–12, 5	0,30	0,28	n. b.	0,76
Messstelle Criewen	20.02.2009	5,0–7, 0	–	< 0,05	–	18,5
Sondierung Criewen	20.02.2009	4,0–5, 0	–	< 0,05	–	46,8
Sondierung Criewen	20.02.2009	5,5–6, 5	–	< 0,05	–	9,6

Ergebnisse von Vergleichsmessungen von Sondierungen und Messstellen

Ziel war der Vergleich von lithologischen und hydrochemischen Daten, die an (stationären) Messstellen bzw. (temporären) Sondierungen gewonnen worden waren. Dafür wurden drei Messstellen des landesweiten Überblicksmessnetzes des Landesumweltamtes ausgewählt, zu denen Wiederholungsmessungen aus nahezu 10 Jahren vorliegen, sodass die singulär erhobenen Daten in die bisherige Zeitreihe eingeordnet werden können. Ein Vorteil der an den Sondierungen gewonnenen Grundwasserproben liegt darin, dass sie vertikal höher aufgelöst entnommen wurden und damit genauere Informationen zu hydrochemischen Umsetzungsvorgängen in der Sickerstrecke ermittelt werden konnten. Bei der Messstelle repräsentiert die Probe im Vergleich dazu immer den hydraulisch durch das Abpumpen in Anspruch genommenen Raum, also mindestens die Kiesschüttung innerhalb des Ringraumes. Die Sondierungsprobenentnahme hingegen kann kleinräumig auf Unterschiede in der Wasserwegsamkeit und Reaktionsfähigkeit der Sedimente eingestellt und somit den Standortverhältnissen optimal angepasst werden. Daher wurden pro Standort 2 bis 3 Probenentnahmen bei den Sondierungen im Bereich des Ringraumes der Messstellen geplant. Um eine Vergleichbarkeit aller Daten zu gewährleisten, wurden die Sondierungen an allen drei Standorten in maximal 5 Meter Entfernung zu den Messstellen und die Probenentnahme an den Messstellen jeweils am gleichen Tag durchgeführt. Ergänzend wurden Erkenntnisse über die Genauigkeit der geologischen Interpretation der physikalischen Messdaten der Drucksondierungen an zwei der drei Standorte gewonnen. Es zeigte sich ein geringerer vertikaler Auflösungsgrad der Bohrungsdaten, dem allerdings ein höherer Informationsgehalt der Schichtansprache des Bohrgutes gegenübersteht.

Exemplarisch wird im Folgenden auf eine Messstelle im zentralen Bereich des GWK Schwedt (Blumenhagen) eingegangen, wo in den sechs Jahren seit 2003 hohe, stark schwankende und insgesamt zunehmende Nitratgehalte gemessen wurden. Im Frühjahr liegen die Nitratwerte meist höher als im Herbst. Die Qualitätsnorm von 50 mg/l wurde in den letzten beiden Jahren im Frühjahr überschritten. Es besteht eine für die regionalen Verhältnisse außerordentlich hohe Nitratbelastung an der Messstelle. Wahrscheinlich liegt der Grund im Zustrom von landwirtschaftlich beeinflusstem Grundwasser von der Hochfläche. Tabelle 1 dokumentiert alle aktuell an den drei Standorten vor Ort und im Labor erhobenen hydrochemischen Daten. In Blumenhagen konnten die an der Messstelle gemessenen Nitratgehalte – die allerdings noch im Frühjahr 2008 und auch in davor liegenden Jahren um einiges höher lagen – durch die Sondierung bestätigt und vertikal sehr scharf (120 mg/l bzw. 16 mg/l 2 Meter tiefer) aufgelöst werden.

Ergebnisse und hydrochemische Bewertung

Vorbemerkungen zum Einsatz geostatistischer Werkzeuge

Die flächenhafte Ermittlung und Darstellung der hydrochemischen Konzentrationen von Grundwasserinhaltsstoffen ist methodisch problematisch, da die Stoffe aufgrund ihrer Eigenschaften oft kleinräumig schwankenden Konzentrationen unterliegen, die durch ein Messstellennetz nicht optimal erfasst werden können. Die geostatistisch basierte Regionalisierung der laboranalytisch ermittelten Konzentrationsdaten wurde ausschließlich mit dem Ziel durchgeführt, die Überprüfung der Zustandsbeschreibung der Grundwasserkörper auf Basis des von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser vorgeschlagenen Verfahrens durchzuführen. Ermittelt werden sollte, ob die Flächen mit Konzentrationen von

Nitrat und Ammonium oberhalb der Schwellenwerte kleiner oder größer als 25 km^2 pro Grundwasserkörper sind.

Für die Regionalisierung wurde das Programm SIMIK+ (*Simple Updating and Indicator Kriging based on additional Information*, Fraunhofer 2003) verwendet, da es gegenüber dem Ordinary-Kriging-Verfahren deutliche Vorteile im Ergebnis der flächenhaften Berechnung der Konzentrationen besitzt. Es berücksichtigt bei der Interpolation nicht nur einen bekannten Erwartungswert, sondern auch eine bekannte Varianz. Diese beiden Werte werden jeweils anhand von flächenhaften Zusatzinformationen für den zu berechnenden Ort bestimmt und bei der Interpolation des Wertes zusätzlich zu den Messwerten der Umgebung berücksichtigt. Die Zusatzinformationen werden zur Abschätzung der Werte in Gebieten ohne Analysenergebnisse herangezogen. SIMIK+ kann diese qualitativen Informationen in klassifizierter Form nutzen und damit plausiblere Schätzergebnisse als standardmäßig eingesetzte Kriging-Methoden liefern (Bárdossy et al. 1997). Genutzt wurden als Zusatzinformationen die auf vier Klassen aggregierte Landnutzung nach Corine (Acker, Grünland, Siedlung, Wald) und drei aggregierte hydrogeologische Struktureinheiten (Neubildungs-, Durchfluss- und Entlastungsgebiete).

Im Zusammenhang mit den Aufgaben der WRRL wurde das Programm auch in anderen Bundesländern bereits eingesetzt (Kuhn et al. 2007, Hannappel et al. 2008). Es ist eine Erweiterung des GIS ArcView in der Version 3.2 und setzt die Erweiterung „Spatial Analyst“ voraus. Im Zuge von programminternen Variogrammanalysen wurden die Einstellungen auf die vorhandene Datenbasis optimiert.

Grundwasserkörper Schwedt

Die Tiefenprofile der Konzentrationen von Nitrat und von Ammonium zeigt Abbildung 4, jeweils mit mehr als drei Tiefenbeprobungen. Eine eindeutig interpretierbare Tendenz der Konzentrationen in Abhängigkeit der Tiefenlage ist nicht erkennbar. Stärker in Erscheinung treten die Unterschiede zwischen den Standorten. Bei Nitrat überwiegen Standorte mit Nitratfreiheit. Bei Ammonium ist bei eini-

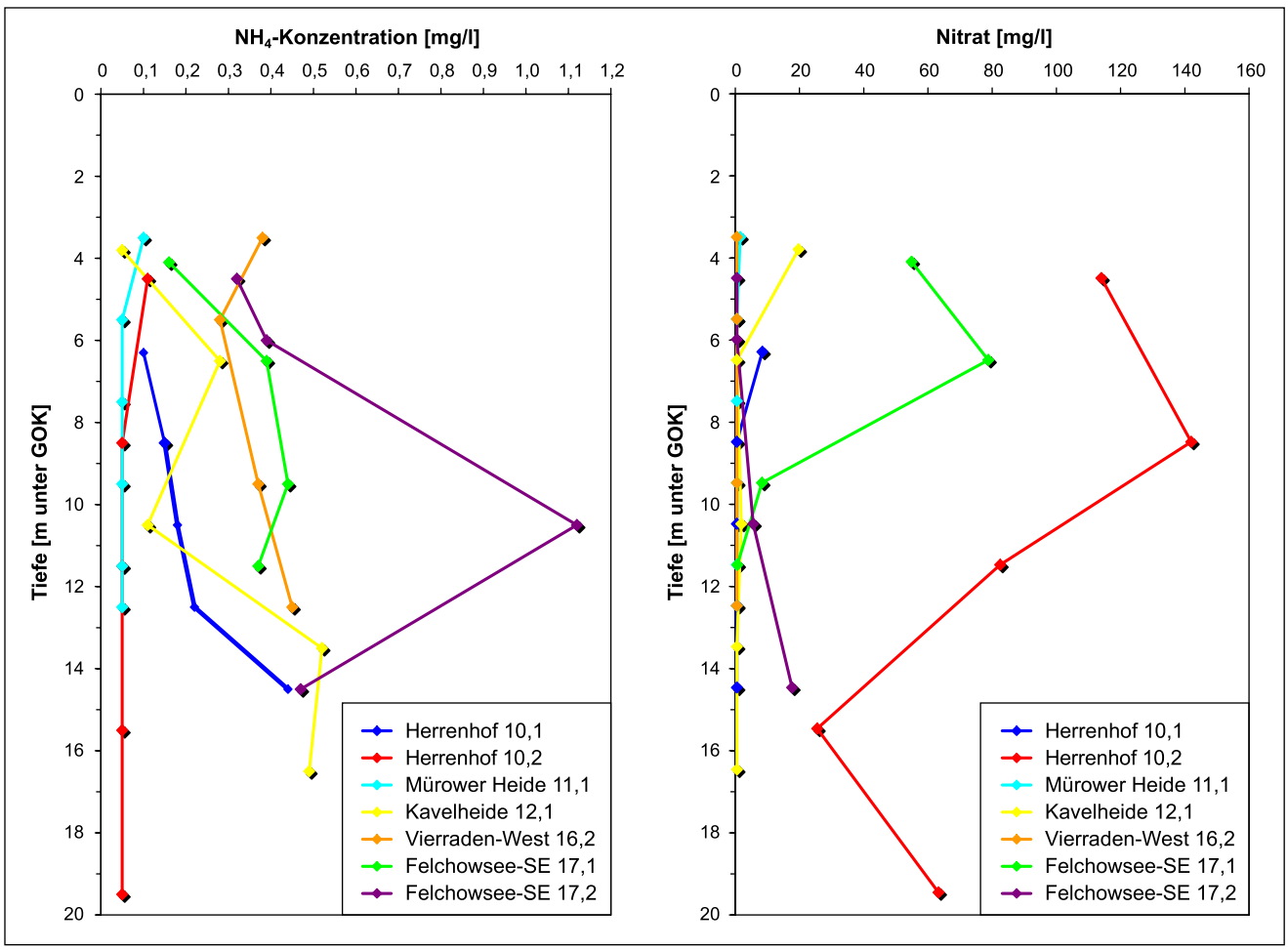

Abb. 4 Konzentrationstiefenprofile von Sondierungsstandorten mit mindestens vier Messungen pro Standort im Grundwasserkörper Schwedt

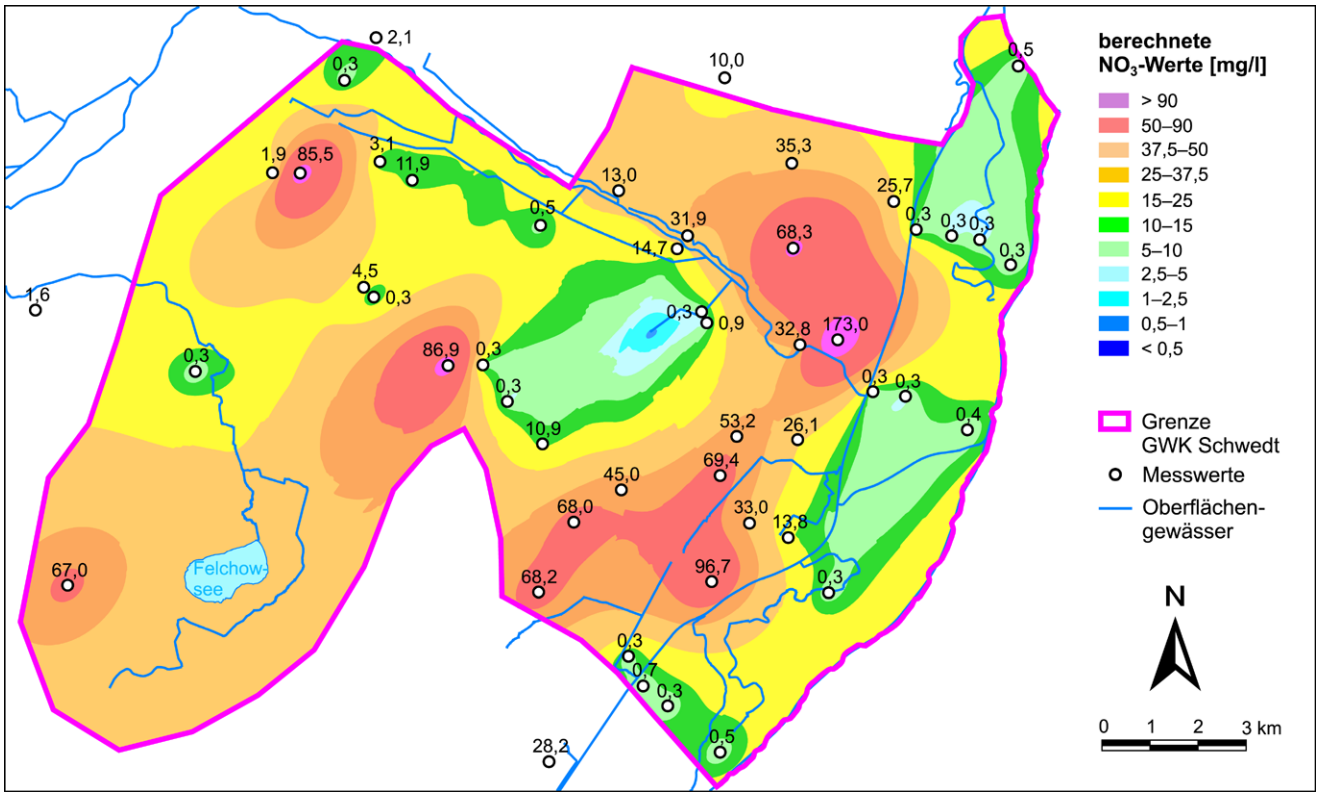

Abb. 5 Flächenhaft ermittelte Konzentrationen von Nitrat im Grundwasserkörper Schwedt

gen Standorten auch eine Zunahme mit der Tiefe erkennbar.

Für die geostatistische Regionalisierung der punktbezogenen Datenbasis wurde jeweils der Wert aus dem Tiefenbereich mit der gröbsten angetroffenen Kornfraktion im Ergebnis der lithologischen Auswertung der Sondierdaten als repräsentativ für den Standort ausgewählt. Die Berechnung wurde mit 50 Stützpunkten durchgeführt. Die Dichte lag bei 1 Messwert pro 4,6 km^2. Abbildung 5 dokumentiert das Ergebnis der Berechnung für Nitrat mit dem GIS-Tool SIMIK+ in einer 11-fachen Skalierung.

Die Karte enthält zusätzlich zu den Berechnungsergebnissen die Messwerte an allen Standorten. Mit den oberen beiden Klassen sind Gebiete markiert, bei denen jeweils ein Wert oberhalb der EU-Qualitätsnorm von 50 mg/l ermittelt wurde. Deutlich erkennbar ist anhand der lila und roten Farben, dass dies bezogen auf die Gesamtfläche des GWK relativ kleine Flächen sind. Sie verteilen sich vor allem auf das Stadtgebiet sowie die Umgebung von Schwedt, die beiden Sondierungsstandorte Herrenhof und Heinersdorf am nördlichen Rand der Landiner Hochfläche sowie die Messstelle in Pinnow im südwestlichen GWK.

Abbildung 6 zeigt die geostatistisch berechneten Konzentrationen von Ammonium. Im Gegensatz zu Nitrat zeigen sich hier erkennbar größere Flächen, die oberhalb von 0,5 mg/l liegen. Das sind vor allem der Polder- und der Hochflächenbereich. In der Welseniederung hingegen liegen die Konzentrationen zumeist niedrig. Abbildung 7 zeigt die aggregierten Belastungsgebiete für die beiden Stoffe Nitrat und Ammonium.

Bei Ammonium sind 136,5 km^2 der 212 km^2 umfassenden Fläche des GWK Schwedt, also 64 %, von der Schwellenwertüberschreitung betroffen. Bei Nitrat sind es nur 9 km^2, das entspricht 4,2 % der Fläche des GWK Schwedt. Insgesamt bestätigt sich das Ergebnis für den GWK Schwedt, er ist im schlechten Zustand. Primär ist dafür Ammonium und nur untergeordnet Nitrat verantwortlich. Im GWK Schwedt sind allerdings lokal auch starke zeitliche Schwankungen der Nitratwerte vorhanden (z. B. in Blumenhagen), sodass von einer signifikant hohen Nitratbelastung ausgegangen werden muss.

Im GWK Prenzlau wurden im Hochflächenbereich östlich der Ucker zumeist Konzentrationen oberhalb von 0,5 mg/l ermittelt. Dies steht in Einklang mit den bisherigen Informationen zum Beschaffenheitsstatus der bedeckten Grundwasserleiter aufgrund der zumeist anthropogen gesteuerten hydrogeochemischen Potenziale. Der „schlechte“ Zustand konnte daher bestätigt werden. Die Nitratwerte waren dagegen fast ausnahmslos im Bereich der Nachweisgrenze.

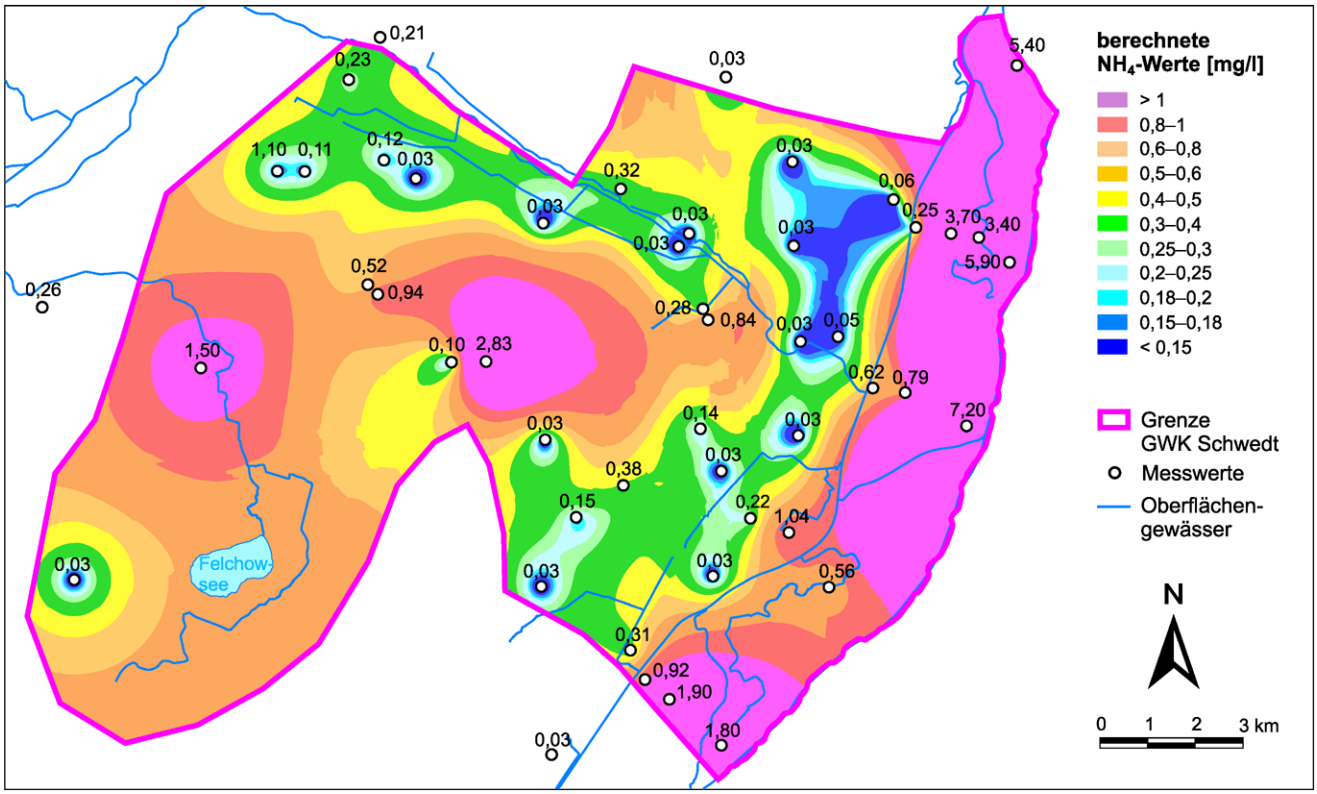

Abb. 6 Flächenhaft ermittelte Konzentrationen von Ammonium im Grundwasserkörper Schwedt

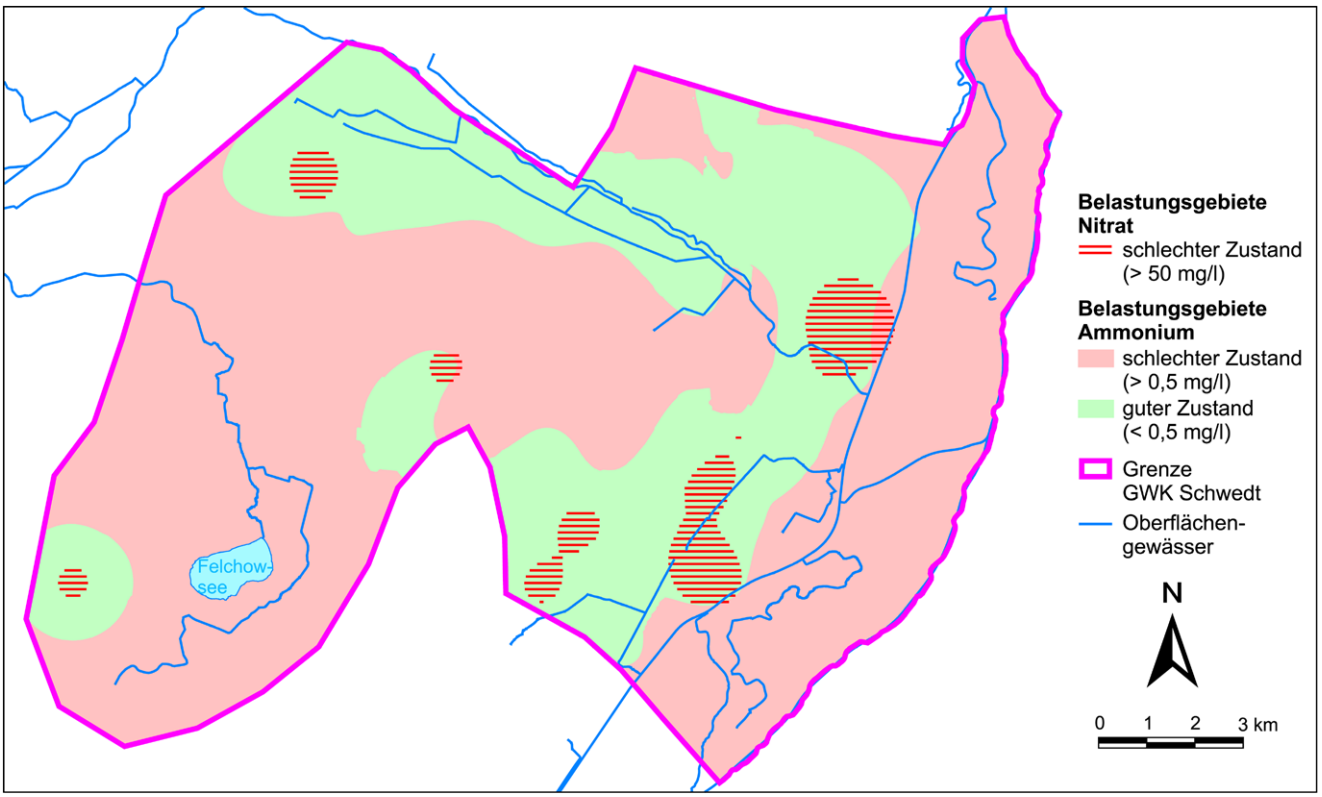

Abb. 7 Belastungsgebiete von Nitrat und Ammonium im Grundwasserkörper Schwedt

Empfehlungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Grundwasserkörper

1. Mit dem gewählten Vorgehen war es gut möglich, flächenbezogen einen deutlich präziseren Kenntnisstand im Vergleich zu den bisherigen Informationen zu erhalten.
2. Besondere Bedeutung kam der Recherche der hydrogeologischen Standortinformationen im Vorfeld der Felduntersuchungen zu. Die Recherche sollte in Form von Übersichtskarten, hydrogeologischen Schnitten und Lageplänen in jeweils geeigneten Maßstäben dokumentiert werden.
3. Im Ergebnis sollten repräsentative Sondierbereiche und zu überprüfende Grundwassermessstellen, die anschließend vor Ort auf ihre Funktionsfähigkeit untersucht werden müssen, identifiziert werden. Zu den Sondierbereichen müssen Tiefen und Probennahmehorizonte ausgewiesen werden, die anschließend in die Erstellung des Leistungsverzeichnisses für die Feldarbeiten eingehen. Diese Vorgaben können nicht pauschal und unabhängig von den zu bearbeitenden GWK pauschal angegeben werden, da hierfür das hydrogeologische Inventar (Verbreitung und Mächtigkeiten) sowie das Stoffpotenzial zu heterogen ist.
4. Die DP-Methode zur hydrochemisch orientierten Erkundung des Untergrundes hat sich bewährt. Die technologischen Grenzen haben sich auch in den beiden bearbeiteten GWK mit komplexen hydrogeologischen Lagerungsbedingungen nicht als hinderlich zur Erreichung des Zieles erwiesen.
5. Zeitliche Wiederholungen der DP-Sondierungen wurden dem Landesumweltamt aufgrund der langsam ablaufenden geochemischen Prozesse im Grundwasser nicht grundsätzlich empfohlen. Vielmehr sollten dort, wo hohe Konzentrationen festgestellt wurden, Messstellen in das operative Monitoring übernommen oder neu errichtet werden, um eine langfristig ausgelegte behördliche Überwachung sicherzustellen.
6. Im Ergebnis der Arbeiten sollte jeweils eine erneute Regionalisierung der Beschaffenheitsdaten mit allen recherchierten und neu erhobenen Daten zu den Stickstoffkonzentrationen im Grundwasser durchgeführt werden.

Literatur

Bárdossy, A., Haberlandt, U., Grimm-Strele, J.: Interpolation of groundwater quality parameters using additional information. In: Soares, A. (Hrsg.) geoENV I – Geostatistics for Environmental Applications, S. 189–200. Kluwer Academic, Dordrecht (1997)

Böttcher, J., Strebel, O., Duynisveld, W.: Kinetik und Modellierung gekoppelter Stoffumsetzungen im Grundwasser eines Lockergesteinsaquifers. Reihe C, Bd. 51; Geol. Jahrbuch, Hannover (1989)

Dietrich, J., Schumann, A.: Werkzeuge für das integrierte Flussgebietsmanagement – Ergebnisse der Fallstudie Werra. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 7. Weißensee-Verlag, Berlin (2006)

EG: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12.12.2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Abl. EG L 372 S, 19 ff; Brüssel (2006)

Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (Hrsg.): Benutzerhandbuch SIMIK+ ArcView-Erweiterung, Version 1.0. (2003)

Hannappel, S., Lauterbach, D., Voigt, H.-J.: Regionale Bezugseinheiten zur Interpretation des hydrochemischen Status der Porenaquifere in Brandenburg. Z. Angew. Geol. **41**(2), 127–133 (1995)

Hannappel, S., Heer, S., Barthel, E.: Regionalisierung hydrogeochemischer Parameter der diffus wirksamen Belastung und Ableitung von Schwellenwerten für das Grundwasser Sachsen-Anhalts. In: Sauter M. et al. (Hrsg.), Grundwasserressourcen. Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Bd. 57. Hannover (2008). ISBN 978-3-510-49204-6

Köber, R., Hornbruch, G., Leven, C., Tischer, L., Großmann, J., Dietrich, P., Weiß, H., Dahmke, A.: Evaluation of combined direct-push methods used for aquifer model generation. Groundwater **47**(4), 536–546 (2009)

Kollatsch, R.-A., Küchler, A., Schwerdtfeger, B., Stölken, B., Hannappel, S.: Regionalisierung diffuser stofflicher Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. Wasser Abfall **3**, 40–115 (2006)

Krajnov, S.R., Voigt, H.-J.: Geochemische und ökologische Folgen der Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit unter Einwirkung von Wasserschadstoffen. Z. Angew. Geol. **36**, 405–410 (1990)

Kuhn, K., Hannappel, S., Gabriel, B.: Grundwassermonitoring gemäß WRRL in Sachsen unter Nutzung von Beschaffenheitsmustern. Wasser Abfall **1**, 14–19 (2007)

Kunkel, R., Wendland, F., Hannappel, S., Voigt, H.-J.: Die natürliche, ubiquitar überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Bd. 47 (2004)

LUA (Landesumweltamt Brandenburg): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit 2001 bis 2005 im Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Bd. 55, 103 S. Potsdam (2007)

Schulmeister, M.K., Butler, Jr. J.J., Healey, J.M., Zheng, L., Wysocki, D.A., Mc Call, G.W.: Direct-push electrical conductivity logging for high-resolution hydrostratigraphic characterization. Ground Water Monit. Remediat. **23**, 52–62 (2003)

Schumann, A.: IWRM 2010 – neue Herausforderungen an die Hydrologie? Hydrol. Wasserbewirtsch. **54**(2), 105–115 (2010)