

Methoden zur Fundstellenaufklärung diffuser Nährstoffeinträge in das Grundwasser – Möglichkeiten und Grenzen

Stephan Hannappel (Berlin), Marc Schöttler (Mainz) und Gabriele Lemke (Güstrow)

Zusammenfassung

Ziel der Arbeiten war die Aufklärung der möglichen Ursachen langjährig festgestellter deutlich erhöhter Nährstoffkonzentrationen oberhalb der EU-Schwellenwerte in 35 Messstellen des Landesmessnetzes in Mecklenburg-Vorpommern. Zunächst wurden die lokalen Fließverhältnisse des Grundwassers im Gelände mit Feldmethoden geotechnisch untersucht. Zum Einsatz kam sowohl die Einbohrlochmethode der Fa. PHREALOG, in deren Ergebnis die Fließrichtung und -geschwindigkeit laseroptisch ermittelt wird, als auch das konventionelle Verfahren des „Hydrologischen Dreiecks“, das Informationen zur stichtagsbezogenen Fließrichtung des Grundwassers liefert. Im Vergleich mit dem Grundwassergleichplan wurden beim PHREALOG-Verfahren oft deutliche Abweichungen der Fließrichtungen festgestellt. Diese werden durch lokale Inhomogenitäten im Substrataufbau der Grundwasserleiter und ein eingegrenzter Einblick in das Aquiferprofil aufgrund kurzer Filterstrecken erklärt. Das Verfahren liefert im Nahfeld der Messstellen zwar gesicherte, auf nachvollziehbaren Messungen beruhende Daten zur Fließrichtung, die jedoch mit zunehmender Entfernung im Zustrom unsicherer werden. Daher wurde zur Bestimmung der Zustromgebiete das Verfahren als nicht optimal geeignet eingestuft, da hier nur ein lokal begrenzter Ausschnitt des Fließgeschehens abgebildet wird.

Anschließend wurden Zustromgebiete des Grundwassers zu den Messstellen konfiguriert, innerhalb derer das Grundwasser stets fünf Jahre im Untergrund unterwegs ist. Die chemischen Analyse- daten der 35 Messstellen wurden unter Berücksichtigung ihrer geologischen Schichtenverzeichnisse auf Ursachen der Belastung hin dreifach klassifiziert. Bei sieben Messstellen wurden geogene Ursachen und bei weiteren sieben der Eintrag heterogener Stoffgruppen (Bor, Kalium) festgestellt, die nicht eindeutig durch landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung verursacht worden sind. Dazu wurden bei den zuständigen Wasserbehörden entsprechende Recherchen durchgeführt. Bei den verbleibenden 21 Messstellen konnte aufgrund des Vergleichs der derzeit im LUNG digital zur Verfügung stehenden Daten zum Stickstoffaustrag aus der durchwurzelten Bodenzone festgestellt werden, dass innerhalb der ausgewiesenen Zustromgebiete ein deutlicher Zusammenhang zwischen diesen Emissionsdaten und den Immissionsdaten im Grundwasser besteht. Allerdings bestehen Unsicherheiten in der Quantifizierung des Zusammenhangs, da die Daten zum Stickstoffaustrag aus dem Boden nicht den Abbau in der gesamten ungesättigten Zone berücksichtigen und der landwirtschaftlich bedingte Düngungseintrag unter lehmigen und fruchtbaren Böden sehr lange zurückliegen kann.

Schlagwörter: Grundwasser, Nährstoffe, diffuser Eintrag, Landwirtschaft, Nitrat, Fließrichtung

DOI: 10.3243/kwe2014.08.001

Abstract

Methods for the Reconnoitring of Sites where Diffuse Nutrient Contamination in the Groundwater have been Discovered – Possibilities and Limitations

Objective of the operation was the clarification of the possible causes of long-term, determined, clearly increased nutrient concentrations above the EU threshold in 35 metering points of the federal state measurement network in Mecklenburg-Vorpommern. First, the local flow behaviour of the groundwater in the terrain was investigated geotechnically using field methods. Both the PHREALOG single borehole method, in whose output the flow direction and rate is determined optically by laser, and also the conventional process of the “Hydraulic triangle”, which provides information on reference date-related flow direction of the groundwater, were employed. In comparison with the groundwater contour plan, using the PHREALOG method, frequently distinct deviations of the flow directions were determined. These are explained through local inhomogeneities in the substrate structure of the aquifer and a limited insight into the aquifer profile due to filter sections. Although the method provides secure data on the flow direction based on traceable measurements in the near field of the metering points they become, however, more uncertain with increasing distance in the inflow. Therefore, for the determination of the inflow areas, the process has been rated as not optimal, as here only a locally limited detail of the flow direction is reproduced.

Subsequently, inflow areas of the groundwater were configured to the metering points, within which the groundwater has always been in transit for five years underground. The chemical analysis data of the 35 metering points, taking into account their geological soil profiles, were classified three times for the causes of the loading. With seven metering points geogenic causes were determined and with a further seven the input of heterogenic groups of elements (boron, potassium), which have not clearly been caused by agricultural area management. With this, appropriate research has been carried out by the responsible water authorities. With the remaining 21 metering points, on the basis of the comparison of the data on the nitrogen input currently available digitally in the LUNG, it could be determined from the soil zone penetrated by roots that within the selected inflow areas there was a significant relationship between this emission data and the immission data in the groundwater. Admittedly there are uncertainties in the quantifying of the relationship as the data from the soil on the nitrogen input does not take into account the degradation in the whole unsaturated zone and the agriculturally conditioned fertiliser input under clayey and fertile soils can date back a very long time.

Key words: groundwater, nutrients, diffuse input, agriculture, nitrate, direction of flow

Einführung

Sowohl in den Richtlinien der Europäischen Union als auch in der deutschen Grundwasserverordnung [1] wird zur Bestimmung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper eine messstellenbezogene Auswertung der Beschaffenheitsdaten und eine flächenhafte Bewertung der Belastung in Bezug auf die Schwellenwerte gefordert. Für Nitrat ist ein Schwellenwert von 50 mg/l, für Ammonium 0,5 mg/l und für Einzelwirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln (PSM) 0,1 µg/l festgelegt. In Mecklenburg-Vorpommern (M-V) sind im Zuge der Bewirtschaftungsplanung im Jahr 2006 18 von 49 Grundwasserkörpern aufgrund von Nitrat und Ammonium in den schlechten Zustand eingestuft und der EU gemeldet worden.

Punktuell treten auch Überschreitungen der Schwellenwerte von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen auf, die zwar in Bezug auf den Grundwasserkörper nicht zur Einstufung in den schlechten Zustand geführt haben, aber dennoch einer detaillierten Untersuchung auf mögliche Quellen unterzogen werden müssen. Nicht selten treten Überschreitungen des Schwellenwertes für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe gemeinsam mit Überschreitungen von Stickstoffverbindungen im Grundwasser auf. Die Nitratwerte liegen bei einigen – in oberflächennahen Grundwasserleitern ausgebauten – Messstellen in sehr hohen Konzentrationen vor und geben Anlass zur Sorge, dass das natürliche Nitratabbauvermögen des Untergrundes [2] in diesen Gebieten allmählich vermindert ist oder bereits aufgebraucht ist.

Zur Erreichung der Umweltziele nach Artikel 4 der WRRL sind die Mitgliedsstaaten aufgefordert, alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um eine weitere Verschlechterung zu begrenzen und zu verhindern. Gleichzeitig ist eine Risikoabschätzung vorzunehmen, ob und wann die Grundwasserkörper den guten Zustand erreichen werden [3] (LAWA 2013). In Mecklenburg-Vorpommern existieren dazu bereits grundlegende Untersuchungen, z. B. die Ermittlung der Verweilzeiten nach der DIN 19732 in der ungesättigten Zone [4], zudem wurden auch verschiedene Maßnahmen in der landwirtschaftlichen Fachberatung (LFB) in der Fläche installiert. Zudem wurde eine aktuelle Literatur- und Marktstudie zur Bestimmung der Anstromrichtung von Grundwassermessstellen durchgeführt [5], die Basis der vom LUNG M-V finanzierten Arbeit [6] in methodischer Hinsicht war.

Ziel war es, an ausgewählten Messstellen des Landesmessnetzes, die im arithmetischen Mittel der letzten Jahre die o. g. Schwellenwerte überschritten haben, durch die Ausweisung eines konkreten Zustromgebietes für die Messstellen sowie einer nutzungsbezogenen Recherche mögliche Ursachen der Belastung näher definieren und daraus Schlussfolgerungen für zukünftige Vermeidungsstrategien ziehen zu können. Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden eine wichtige Grundlage für künftige Maßnahmenplanungen aber auch für die Berichterstattung nach WRRL im Hinblick auf die Erreichung der Umweltziele.

Datengrundlage

Die 35 Grundwassermessstellen waren zumeist in den letzten Jahren neu gebaut worden. Dies war eine wichtige Voraussetzung für die technischen Feldarbeiten. Zudem lag auch ein ausreichend dimensionierter Durchmesser des Ringraums mit

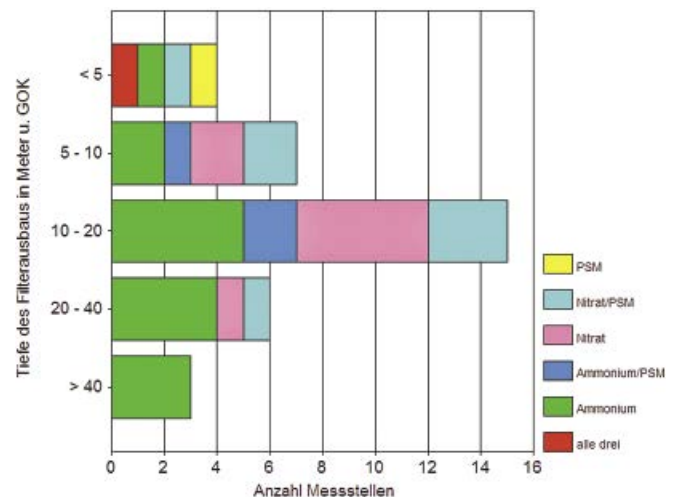


Abb. 1: Zusammenhang zwischen der Tiefe des Filterausbaus der Messstellen und der Art der Grundwasserbeeinflussung

> 100 mm vor. Geringere Durchmesser sind für die Kontrollbefahrungen problematisch. Die mittleren Tiefenlagen des Filterausbaus variieren von vier Meter unter Gelände bis 48 Meter unter Gelände, im Durchschnitt liegen sie bei 16 Meter unter Gelände.

Bei 21 der 35 Messstellen wurden Überschreitungen der Schwellenwerte von Kombinationen von Parametern beobachtet (z. B. Nitrat und Ammonium). Abbildung 1 zeigt diese Zusammenhänge grafisch in Relation zur Tiefe des Filterausbaus. Bei den tief ausgebauten Messstellen sind primär erhöhte Ammonium-Gehalte erkennbar. PSM dagegen treten nur bei sehr oberflächennah verfilterten Messstellen auf. Erhöhte Nitrat-Werte wurden in fast allen Tiefenstufen gefunden, zumeist im Intervall von fünf bis 20 Meter unter Gelände.

Bei einigen Messstellen mit erhöhten Ammoniumgehalten konnten die Ursachen in den hydrogeologischen Lagerungsbedingungen bei zumeist tiefliegenden, bedeckten Grundwasserleitern und des aktuellen Kenntnisstandes zu den natürlichen Hintergrundgehalten [7, 8, 9] als geogen bedingt identifiziert werden. Auf die Mehrzahl der Messstellen hingegen mit zumeist stark erhöhten Nitratgehalten traf das jedoch nicht zu. Durchschnittlich liegt der Stickstoffgehalt bei den 35 Messstellen bei fast 20 mg/l N (Stickstoff).

Feldmethoden

Zunächst wurden die lokalen Fließverhältnisse des Grundwassers im Gelände mit geeigneten Feldmethoden geotechnisch untersucht. Zum Einsatz kam nach einer Kosten-/Nutzenanalyse zum einen die Einbohrlochmethode der Fa. PHRE-ALOG, in deren Ergebnis die Fließrichtung und -geschwindigkeit laseroptisch ermittelt wird. Zur Qualitätssicherung erfolgte vor den Messungen eine Kamerabefahrung zur optischen Überprüfung des Zustands der Filterstrecken und zur Erfassung von Rohrübergängen. Dies war erforderlich, um Messungen in einwandfreien Filterrohr-Positionen zu gewährleisten. Die Kamerabefahrungen zeigten, dass alle Messstellen in einem guten Zustand und für die Durchführung von Durchflussmessungen geeignet waren. Zur Dokumentation wurden repräsentative Fotos der Filterrohrwandung gemacht (s. Abbildung 2).

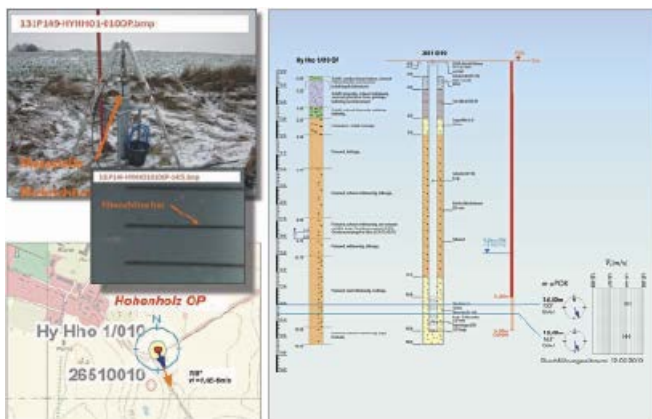


Abb. 2: Exemplarische Dokumentation der Feldmessungen der Firma PHREALOG (Messstelle Hohenholz OP)

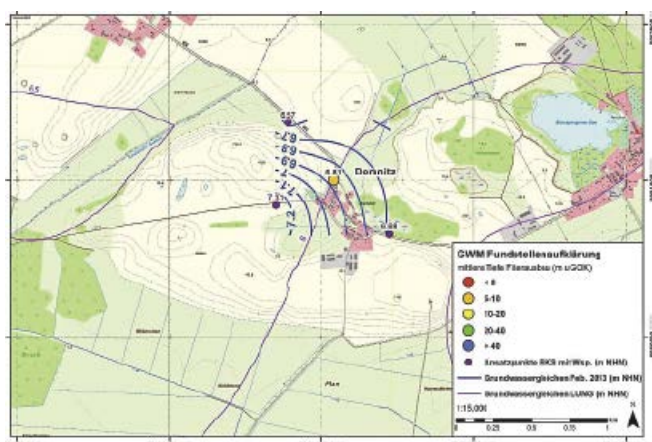


Abb. 3: Interpolierte, mit Kriging regionalisierte Grundwassergleichen Februar 2013 im Ergebnis der Durchführung der drei Rammkernsondierungen am Standort Demnitz

Zum anderen kam das auf Rammkernsondierungen (RKS) mit Grundwasserstandsmessungen basierende Verfahren des „Hydrologischen Dreiecks“ zum Einsatz, das ebenfalls Informationen zur stichtagsbezogenen Fließrichtung des Grundwassers liefert. Abbildung 3 zeigt dazu ein Beispiel der berechneten Ergebnisse der im Frühjahr 2013 durchgeführten Feldmessungen.

Im Ergebnis der Feldarbeiten und deren Bewertung lagen zu 32 untersuchten Standorten aktuell ermittelte Daten zur Fließrichtung des Grundwassers im Zustrom der Messstellen vor. Bei drei Standorten musste auf den landesweiten Gleichenplan zurückgegriffen werden. Die PHREALOG-Methode ermittelt die gesuchten Angaben direkt und im Ergebnis der Auswertung der Rammkernsondierungen wurde die Fließrichtung mittels des Hydrologischen Dreiecks bestimmt. Somit ist ein Vergleich der bisherigen, aus dem landesweiten Gleichenplan ableitbaren Fließrichtung mit den aktualisierten Daten möglich. Zusammenfassend ist das klassifiziert in Abbildung 4 (links) für diejenigen 28 der 35 Messstellen dokumentiert, bei denen die Feldarbeiten sich auf den gleichen Grundwasserleiter beziehen, der auch im Gleichenplan abgebildet ist.

Bei etwa der Hälfte der Messstellen betragen die Abweichungen der Fließrichtung bis zu 90°, sehr geringe Abweichungen (< 30°) zeigen sich nur bei etwa einem Drittel der Messstellen. Bei einem Fünftel betragen die Abweichungen mehr als 120°. Das sind zum Teil deutliche Abweichungen, die im Er-

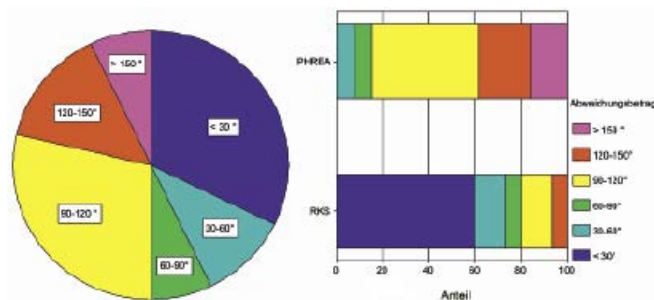


Abb. 4: Anteile der Abweichungsklassen zwischen dem alten und dem neuen Informationsstand zur Fließrichtung (links) und Vergleich der Häufigkeit dieser Klassen zwischen den beiden genutzten Methoden (rechts)

gebnis der räumlich hochaufgelösten Feldarbeiten Hinweise darauf geben können, dass der bisherige Gleichenplan lokal auf einer nicht hinreichenden Datenbasis beruht oder ein anderes Stockwerk abbildet. Die Differenzierung der Abweichungen nach der Messmethode zeigt (Abbildung 4 rechts), dass bei den Sondierungen ein höherer Grad der Übereinstimmung mit dem bisherigen Gleichenplan als bei den PHREALOG-Messungen besteht. Bei mehr als der Hälfte der Standorte z. B. liegen hier die Abweichungen < 30°, während bei den PHREALOG-Messungen bei keiner Messstelle dieser Wert erreicht wurde. Hier zeigen mehr als 80 % der Messstellen eine Abweichung von > 90°. Der Grund liegt darin begründet, dass das Verfahren lithologische Inhomogenitäten im Substrataufbau des Grundwasserleiters, die lokale Auswirkungen auf das Fließverhalten der Schwebstoffe haben, hochaufgelöst abbildet. Die Filterstreckenlängen von zwei m pro Messstelle erlauben darüber hinaus nur einen reduzierten Einblick in das Aquiferprofil. Aufgrund der meist gleichförmigen lithologischen Ausbildung wurde bei dem Einsatz des Verfahrens davon ausgegangen, dass ein ausreichend repräsentatives Bild des Grundwasserfließbewegung auch für das weitere Umfeld um die Messstelle herum gewonnen werden kann. Die Rammkernsondierungen hingegen liefern – wie auch ein Gleichenplan – für die Umgebung der Messstellen räumlich generalisierte Information, die Unsicherheiten am lokalen Standort der Messstelle selber beinhalten können.

Ausweisung unterirdischer Zustromgebiete

Anschließend wurden mit diesen standortbezogenen Daten Zustromgebiete des Grundwassers zu den Messstellen konfiguriert, und zwar unter folgenden Prämissen:

- Die Zustromgebiete werden in Form gleichschenkliger Dreiecke, beginnend an der Messstelle senkrecht zum nachgewiesenen Anstrom, erstellt;
- der Öffnungswinkel der Dreiecke wird konstant mit 45° festgelegt;
- die Reichweiten der Zustromgebiete (von der Messstelle bis zum äußeren Rand des Dreiecks) entsprechen einer einheitlichen Fließzeit im Grundwasser von fünf Jahren,
- für die Berechnung der Fließzeiten werden die aus den geologischen Schichtenverzeichnissen abgeleiteten Daten zur Durchlässigkeit und die aus den Feldmessungen abgeleiteten Daten zur Fließrichtung Gradienten einheitlich verwendet;

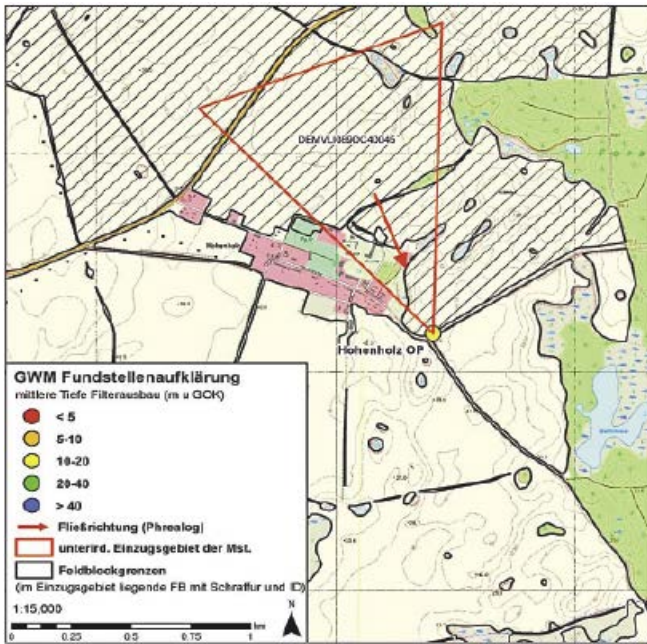


Abb. 5: Zustromgebiet des Grundwassers zur Messstelle in Hohenholz (OP: Oberpegel)

- anschließend werden diese auf Basis der Feldmessungen zu den Fließrichtungen und -geschwindigkeiten konstruierten Zustromgebiete an erkennbaren Einzugsgebietsgrenzen oder morphologischen Hochlagen abgeschnitten.

Vernachlässigt wurden dabei die zum Teil noch deutlich längeren Aufenthaltszeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone, die in M-V bis zu mehrere Jahrzehnte betragen können [4]. Die PHREALOG-Standorte beinhalten als Ergebnis die mit einem Pfeil ermittelte Fließrichtung (s. Abbildung 5) und die RKS-Standorte zusätzlich die mit dem Hydrologischen Dreieck ermittelten lokalen Grundwassergleichen.

In Hohenholz erfolgt der Zustrom im Ergebnis der PHREALOG-Messung aus Nordnordwest (Fließrichtung des Grundwassers 159°). Die Größe des Gebietes beträgt 71,5 ha.

Bewertung der hydrochemischen Daten

Die Nitratgehalte schwanken sehr stark innerhalb der einzelnen Messstellen (s. Abbildung 6). Nitratfreie Messstellen sind in Abbildung 6 anhand der Mediane auf der Abszisse erkennbar, die Werte liegen hier zumeist unterhalb der Nachweisgrenzen.

Die chemischen Analysedaten der 35 Messstellen wurden unter Berücksichtigung ihrer geologischen Schichtenverzeich-

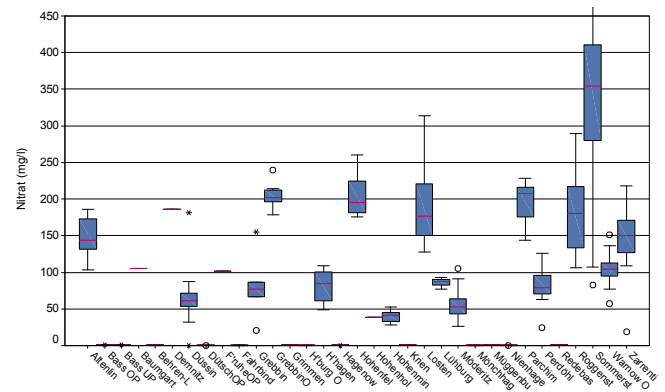


Abb. 6: Spannweitendiagramm Nitrat auf Basis aller Messwerte der 35 Messstellen

nisse auf mögliche Ursachen der Grundwasserbelastung hin dreifach hydrochemisch klassifiziert (s. Tabelle 1).

Bei sieben Messstellen wurden geogene Ursachen (zum Teil saline Beeinflussung) und bei weiteren sieben der Eintrag heterogener Stoffgruppen (Bor, Kalium) festgestellt, die nicht eindeutig durch die landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung verursacht worden sind. Dazu wurden bei den zuständigen Wasserbehörden entsprechende Recherchen durchgeführt.

Bei den verbleibenden 21 Messstellen konnte aufgrund des Vergleichs der derzeit im LUNG digital zur Verfügung stehenden Daten zum Stickstoffaustrag aus der durchwurzelten Bodenzone festgestellt werden, dass innerhalb der ausgewiesenen Zustromgebiete ein Zusammenhang zwischen diesen Emissionsdaten und den Immissionsdaten im Grundwasser besteht (s. Abbildung 7), die Quelle des Eintrags also vermutlich die landwirtschaftliche Flächenbewirtschaftung ist. Grafisch hervorgehoben sind in Abbildung 7 Zustromgebiete (rote Punkte), bei denen die Messstellen dem Nitrat-PSM-Typ zugeordnet worden sind.

Bei den meisten dieser Messstellen ist ein durch die blaue Linie markierter positiver Zusammenhang zwischen den berechneten und den gemessenen Konzentrationen erkennbar. Höhere berechnete Stickstoff-Austräge aus dem Boden stehen also bei den Messstellen des Nitrat-PSM-Typs auch höheren gemessenen Konzentrationen im Grundwasser gegenüber.

Bei den übrigen Messstellen der anderen beiden Klassen (farbige offene Kreise in Abbildung 7) und den drei Messstellen des Nitrat-PSM-dominierten Typs mit erhöhten Ammoniumgehalten besteht dieser Zusammenhang erkennbar nicht. Das sind Messstellen mit erhöhten Ammonium-Gehalten im Grundwasser, bei denen der in den Untergrund eingetragene und den Boden nach unten verlassende Stickstoff redoxbedingt in der ungesättigten Zone weiter denitrifiziert wird und im Grundwasserleiter daher nicht mehr gelöst auftritt.

Typ	Kurzbezeichnung Typ	Hydrochemische Charakteristika der Messstellen	Anzahl
1	geogener Typ	geogen salinar oder anthropogen unbeeinflusst in bedeckten GWL ($\text{NO}_3 < 5 \text{ mg/l}$, $\text{K/Na} < 0,1$, $\text{Cl} < 50 \text{ mg/l}$, $\text{SO}_4 < 90 \text{ mg/l}$, $\text{K} < 7 \text{ mg/l}$, $\text{Bor} < 200 \mu\text{g/l}$, kein PSM-Fund $> 0,1 \mu\text{g/l}$)	7
2	Nitrat-PSM-Typ	$\text{NO}_3 > 40 \text{ mg/l}$ oder $\text{NH}_4 > 0,7 \text{ mg/l}$ oder PSM in unbedeckten GWL nachgewiesen	21
3	heterochemischer Typ	anthropogener Eintrag von Stickstoff, PSM und weiteren Stoffen (Kalium, Bor, Chlorid, Sulfat über den Werten des Typs 1)	7

Tabelle 1: Hydrochemische Typisierung und Anzahl der zugeordneten Messstellen

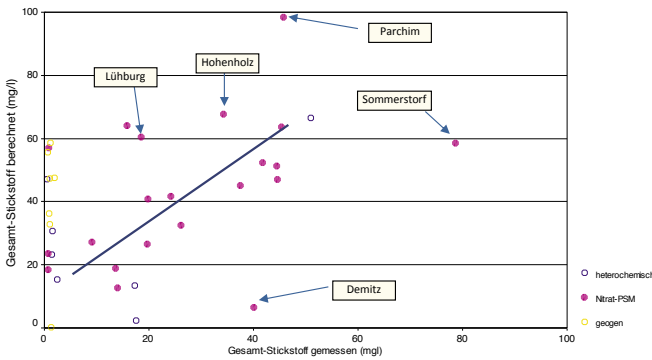


Abb. 7: Vergleich der in den Zustromgebieten berechneten zu den an den Messstellen gemessenen Stickstoff-Daten für alle 35 Messstellen

Die mit dem Messstellennamen in Abbildung 7 gekennzeichneten Zustromgebiete weichen von dem grafisch markierten Zusammenhang erkennbar ab, das hat zumeist lokale Ursachen (z. B. Niedermoorstandorte).

Der beschriebene Zusammenhang bei den Zustromgebieten des Nitrat-PSM-dominierten Typs, die in Abbildung 7 entlang der markierten Linie positioniert sind, deutet sehr klar auf den diffus wirksamen, flächenhaften Zutritt landwirtschaftlich verursachter Stickstoffeinträge nach erfolgter Denitrifikation aus der Bodenzone heraus in das Grundwasser hin. Andere punktbezogene Ursachen kommen in diesen Fällen aufgrund des Beschaffenheitsstatus der Grundwässer nicht in Frage. Bei den sieben Messstellen mit heterogenen hydrochemischen Anomalien hingegen ist dies wahrscheinlich.

Allerdings bestehen Unsicherheiten in der Quantifizierung des Zusammenhangs, da die Daten zum Stickstoffaustrag aus dem Boden nicht den Abbau in der gesamten ungesättigten Zone berücksichtigen und der landwirtschaftlich bedingte Düngungseintrag vor allem in Landesteilen mit lehmigen und fruchtbaren Böden sehr lange zurückliegen kann.

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt.

Literatur

[1] GrwV (2010): *Verordnung zum Schutz des Grundwassers*.- Bundesgesetzblatt, Teil I, G 5702, Nr. 56 vom 15.11.2010, 1513-1530, Bonn.

[2] van Berk, W. (2013): *Nachlassender Nitratabbau in den Grundwasserleitern – Roll front, was ist das*.- Info-Tag Grundwasser 2013, Güstrow (online verfügbar unter: http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/publikation/publikation_download/pub_wasser_menu/publikation_download_grundwasser.htm)

[3] LAWA (2013): *LAWA-Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-WRRL: Teil 3, Kapitel II.1.2 (Bestandsaufnahme Grundwasser)* – aktualisierte und überarbeitete Fassung 2013 (unveröff.).

[4] Hannappel, S., Lemke, G., Schwerdtfeger, B. & S. Zeilfelder (2011): *Ermittlung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung nach der DIN 19732 für Mecklenburg-Vorpommern*.- Beiträge zum Tag der Hydrologie 2011, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 30.11, ISBN: 978-3-941897-79-3, Hrsg.: FG Hydrologische Wissenschaften, Hennef.

[5] Wastraplan (2012): *Literatur- und Marktrecherche über die Bestimmung der Anstromrichtung bzw. des Einzugsgebietes von Grundwassermessstellen*.- Studie der WASTRA-PLAN Ingenieurgesellschaft mbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie M-V, vom 13.04.2012, Rostock (unveröffentlicht).

[6] HYDOR (2013): *Fundstellenaufklärung an ausgewählten Messstellen des Landesmessnetzes hinsichtlich Nitrat, Ammonium und Pflanzenschutzmittelwirkstoffen*.- Bericht der HYDOR Consult GmbH an das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Berlin (unveröff.)

[7] KUNKEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. & S. HANNAPPEL (2004): *Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland*.- Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 47, ISBN 3-89336-353-X, Jülich.

[8] LAUN (1996): *Bewertung der hydrochemischen Analysenergebnisse aus den hydrogeologischen Ergebnisberichten des Landes Mecklenburg-Vorpommern*.- Hrsg.: Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Heft 2/97, 62 S., Stralsund.

[9] LUA (1995): *Basisbericht zur Grundwassergüte des Landes Brandenburg*.- Hrsg.: Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam.

Autoren

Dr. Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40, 13507 Berlin

Dr. Marc Schöttler
PHREALOG
Rheinallee 88/Gebäude 25
55120 Mainz

Dipl.-Chem. Gabriele Lemke
Landesamt für Umwelt, Naturschutz
und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
Goldberger Straße 12
18273 Güstrow

E-Mail: hannappel@hydor.de



Unser Expertentipp

Merkblatt DWA-M 911
Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonen Bodenutzung am Beispiel des Stickstoffs
August 2013,
36 Seiten, DIN A4
ISBN 978-3-944328-13-3
€ 55,00/€ 44,00^{*)}

Themen
Signifikante Nährstoffeinträge aus der Fläche
August 2004, 169 Seiten,
83 Abbildungen, DIN A4
ISBN 978-3-937758-27-5
Sonderpreis anstatt ~~€ 34,00~~ jetzt € 20,40

*) für fördernde DWA-Mitglieder