| Brandenburg. geowiss. Beitr. | Cottbus | 26 (2019), 1/2 | S. 35–43 | 3 Abb., 3 Tab., 13 Zit. |
|------------------------------|---------|-----------------------|----------|-------------------------|
|------------------------------|---------|-----------------------|----------|-------------------------|

Erfahrungen bei der Anwendung des GEBAH-Moduls "Geneseklassen"

Experiences with the application of the GEBAH-Module "Genetic classes"

GERHARD HOTZAN

1 Einleitung

Auf dem Weg des Wassers vom atmosphärischen Niederschlag bis zu den Grundwässern in den tiefen bedeckten Grundwasserleitern kommt es zu Reaktionen zwischen den Fluiden und Gasen in den Porenräumen und dem Substrat der Grundwasserleiter (GWL), deren Ergebnisse sich im Grundwasserchemismus widerspiegeln. Am Ausgangspunkt der Grundwasserneubildung stehen versickernde, geringmineralisierte Niederschlagswässer. Diese erfahren bei der Passage der Bodenzone im Ergebnis der sich hier vollziehenden Reaktionen (überwiegend Lösungs- und Fällungsreaktionen, Redoxreaktionen sowie Kationenaustausch-, Sorption- und Desorptionsprozesse einschließlich der sich dabei einstellenden und gegenseitig bedingenden Gleichgewichtszustände) unter Beteiligung gasförmiger, flüssiger und fester Komponenten eine erste hydrochemische Überprägung. Der sich dabei ausbildende Grundwasserchemismus bleibt nicht konstant, sondern ändert sich im Ergebnis der in unterschiedlichem Maße weiter ablaufenden oben genannten Prozesse auf dem Weg durch die im jeweiligen Einzugsgebiet verbreiteten GWL. Sowohl lateral innerhalb eines Grundwasserleiters, als auch vertikal über mehrere Grundwasserleiter hinweg kommt es so zu stofflichen Differenzierungen der Ionenzusammensetzung des Grundwassers. Die genetische Entwickelung des Grundwasserchemismus kann mit Hilfe hydrogeochemischer Modelle auf der Grundlage des PIPER-Diagramms (Löffler 1972) bzw. des ValjaŠko- Diagramms beschrieben werden (RECHLIN 1997, HOTZAN 2011).

Die Untersuchung des Grundwasserchemismus basiert auf Grundwasserproben, die aus den einzelnen Grundwasserleitern mit Hilfe von Brunnen bzw. Grundwassermessstellen gewonnen werden. Diese Proben werden unter Beachtung der einschlägigen DIN-Vorschriften und Richtlinien entnommen und in spezialisierten Laboren analysiert. Für hydrogeochemisch-genetische Betrachtungen ist die Analyse der Hauptionen ausreichend. Dazu zählen Ca²+, Mg²+, Na+, K²+, HCO₃-, SO₄²-, Cl⁻-. Darüber hinaus besitzen Verbindungen der N-Gruppe (NO₃-, NO₂-, NH₄+), Feges. / Fegel., Mnges. / Mngel. sowie UV 254 und DOC zur Identifikation geogener

und anthropogener Einflüsse Bedeutung. Äußerst wichtig ist die Einhaltung der Fehlertoleranzen der Analysen. Der relative Fehler der Ionensummenbilanz sollte nicht mehr als 2% betragen, besser ist eine Abweichung < 1%.

Eine Methode zur Charakterisierung des Entwicklungsprozesses des Grundwasserchemismus in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands besteht in der Ermittlung der "Geneseklassen".

Die theoretischen Grundlagen und die Methodik wurden bereits publiziert (HOTZAN 2010, HOTZAN 2011). Die "Geneseklassen" sind Gruppen von Analysen, für die hydrogeochemisch-genetisch begründete Indizes ermittelt werden, die in komprimierter Form Informationen zur Herkunft und zum Entwicklungsgrad sowie zu geogenen und anthropogenen Beeinflussungen von Grundwässern beinhalten. Die "Geneseklassen" werden auf der Grundlage eines Algorithmus im Ergebnis der Berechnung der Lagepunkte der Wasseranalysen im VALJAŠKO-Diagramm (vgl. RECHLIN 1997) in Kombination mit den prozentualen Anteilen der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze, der Milieuparameter sowie ausgewählter Stoffkonzentrationen und Ionenverhältnisse ermittelt. Die Abgrenzungskriterien für die einzelnen "Geneseklassen" tragen empirischen Charakter.

Die Zuordnung der Wasseranalysen zu "Geneseklassen" konnte durch die Prüfung der Verteilungsgesetzmäßigkeiten der typprägenden Anionen mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsnetzen (wagner et al. 2009) statistisch abgesichert werden. Durch Isotopenuntersuchungen zur absoluten Altersbestimmung wurde die Altersabfolge der einzelnen "Geneseklassen" überprüft und verifiziert (F. Bednorz & D. Brose 2017).

Mit GEBAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) sowie den Nachfolgeversionen 1.2 bis 1.3 liegt eine Software zur Berechnung der Lagepunkte von Wasseranalysen im VALJAŠKO- Diagramm (VALJAŠKO 1961) einschließlich der prozentualen Anteile der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze sowie typischer Salzverhältnisse vor.

Durch das Modul "Geneseklassen" wird das Programm GEBAH ergänzt. Das Modul nimmt die Zuordnung von Wasseranalysen zu genetisch begründeten Klassen, den "Geneseklassen" vor. Die Daten-Ein- und Ausgaben in Excel- sowie Access-Formaten gestatten die komfortable Verarbeitung auch größerer Datenmengen in einem vertretbaren zeitlichen Rahmen.

Die "Geneseklassen" sind als Kartiereinheiten für eine Grundwasserleiter spezifische Darstellung in einer thematischen, hydrogeochemisch-genetischen Karte konzipiert. Unter Berücksichtigung des hydrogeologischen Umfeldes eröffnet sich durch diese Karte die Möglichkeit, begründete Aussagen über die Herkunft der Wässer sowie die Speisungsbedingungen in einem Einzugsgebiet zum Zeitpunkt der Grundwasserprobenahme zu treffen.

2 Der aktuelle Stand der Systematik der "Geneseklassen"

Im Rahmen der Erarbeitung des Algorithmus zur Programmierung des GEBAH-Moduls "Geneseklassen" sowie in der sich anschließenden Testphase wurden in Ergänzung und Präzisierung zu den Veröffentlichungen von HOTZAN 2010 & 2011 "Geneseklassen" zusammengefasst und weitere eingeführt. Die detaillierte Charakteristik ist in der Hilfe-Datei des Programm-Moduls dokumentiert. Die aktuelle Gesamtübersicht zu den "Geneseklassen" der neubildungsbürtigen Wässer zeigt Tabelle 1.

In Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad der Grundwässer werden die Genesegruppen der Oberflächenwässer (A), der jungen Uferfiltratwässer (B), der gealterten Uferfiltratwässer (C), der jungen Neubildungswässer (D), der gealterten Neubildungswässer (E), der alten Neubildungswässer (F) sowie der statischen Wässer (G) unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit vom Charakter der Beeinflussung und wird durch eine angehängte zweistellige Zahlenkombination ausgedrückt. Beeinflussungstypen sind dabei die unbeeinflussten, die anthropogen beeinflussten so-

wie die geogen beeinflussten Grundwässer. Die anthropogen beeinflussten Grundwässer werden weiter in nicht versauerte, in durch Pyritverwitterung beeinflusste sowie versauerte Wässer unterteilt, die geogen beeinflussten Grundwässer in geogen-salinar beeinflusste sowie versauerte Wässer aufgeschlüsselt.

Die salinaren Wässer im Salzwasserstockwerk werden mit dem Index "H" charakterisiert. Weiterhin werden die Genesegruppen der salinaren Ablaugungswässer, der salinaren Formationswässer sowie der salinaren Regenerationswässer unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit vom Charakter der den Grundwasserchemismus beeinflussenden Prozesse und wird durch eine angehängte Zahlenkombination ausgedrückt. Maßgebliche Prozesse (Beeinflussungstypen) sind dabei Lösung und Kationenaustausch. Letzterer kann weiter in eine Alkalisierung, eine Erdalkalisierung sowie ein Kationengleichgewicht differenziert werden.

Salinare Regenerationswässer entstehen beim Eindringen von Süßwässern in das Salzwasserstockwerk. Es kommt zu einem Kationenaustausch in Form einer Alkalisierung. Diese Wässer werden einer gesonderten Geneseklasse zugeordnet.

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht zu den "Geneseklassen" salinarer Wässer im Süßwasserstockwerk. Die salinaren Wässer im Süßwasserstockwerk werden mit dem Index "I" charakterisiert. Alle diese Wässer haben ihren Ursprung im Salzwasserstockwerk. Bei gleichzeitigem Vorliegen wasserwegsamer geologischer Strukturelemente (quartäre Rinnen, tektonische Störungen) sowie einem höherem Druckpotential im Salzwasserstockwerk im Vergleich zum Süßwasserstockwerk können die salinaren Wässer aus dem Salzwasserstockwerk in die GWL des Süßwasserstockwerks intrudieren. In Abhängigkeit von der Verweilzeit in den GWL des Süßwasserstockwerks werden als Genesegruppen

| | Beeinflussungstyp | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------|--|
| Genesegruppe / Entwicklungsgrad | unbeeinflusst | anthropogen beeinflusst | | | geogen beeinflusst | | |
| | | nicht versauert | durch Pyritverwitterung beeinflusst | versauert pH<6,5 | geogen-salinar beeinflusst | Versauerung pH<6,5 | |
| Oberflächenwässer | А | | | | | | |
| junge Uferfiltratwässer | B11 | | | | | | |
| gealterte Uferfiltratwässer | C11 | | | | | | |
| junge Neubildungswässer | D11 | D21 | D22 | D23 | D31 | D34 | |
| gealterte Neubildungswässer | E11 | E21 | E22 | E23 | E31 | E34 | |
| alte Neubildungswässer | F11 | F21 | | F23 | F31 | F34 | |
| statische Grundwässer | G11 | | | | G31 | | |

Tab.1: Systematik der "Geneseklassen" neubildungsbürtiger Wässer

Tab.1: Systematics of the genesis classes of groundwater recharge influenced water

| Genesegruppe | Beeinflussungtyp | | | |
|------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| | Lösung | Kationenaustausch | | |
| | | Alkalisierung | Erdalkalisierung | Kationengleichgewicht |
| salinare Ablaugungswässer | H311 | H312 | H313 | H34 |
| salinare Formationswässer | | | H321, H322, H323 | |
| salinare Regenerationswässer | | H33 | | |

Tab.2: Systematik der Geneseklassen salinarer Wässer im Salzwasserstockwerk Tab.2: Systematics of the genesis classes of saline waters in the saline aquifers

| Genesegruppe / | Beeinflussungstyp | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|--|-----------------------|--|
| Entwicklungsgrad | Verdünnung | Kationenaustausch | | | |
| | | Alkalisierung (Aufsüßung) | Erdalkalisierung (salinare Intrusion) | Kationengleichgewicht | |
| frisch intrudierte salinare Wässer | I311 | I312 | I313 | 134 | |
| gealterte salinare Wässer | | 133 | 132 | | |

Tab.3: Systematik der Geneseklassen salinarer Wässer im Süßwasserstockwerk

Tab.3: Systematics of the genesis classes of saline waters in the freshwater aquifers

die frisch intrudierten salinaren Wässer und die gealterten salinaren Wässer unterschieden. Die weitere Differenzierung erfolgt auch bei diesen Wässern in Abhängigkeit vom Charakter der den Grundwasserchemismus beeinflussenden Prozesse. Im Index werden diese durch eine angehängte Zahlenkombination ausgedrückt. Maßgebliche Prozesse (Beeinflussungstypen) sind dabei Verdünnung und Kationenaustausch. Letzterer kann in eine Alkalisierung, gleichbedeutend mit einer Aufsüßung der im GWL verbreiteten salinaren Wässer, eine Erdalkalisierung, gleichbedeutend mit einer aktiven salinaren Intrusion sowie ein Kationengleichgewicht differenziert werden.

3 Grenzen der Aussagefähigkeit und zu beachtende Probleme

Bei der Arbeit mit dem Modul "Geneseklassen" wurden Interpretationsspielräume und Grenzen der Anwendbarkeit bei den unten aufgeführten Problemstellungen deutlich:

3.1 Fehlertoleranzen der Analysen

Die Anwendung des Programms GEBAH einschließlich des Moduls "Geneseklassen" setzt eine hohe Analysengenauigkeit voraus. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten sind die in der Programmdokumentation vorgeschriebenen relativen Analysenfehler unbedingt einzuhalten. Durch die

programminterne auf mathematisch-statistischer Basis beruhende Näherungsberechnung können zwar geringfügige Analysenfehler korrigiert werden, jedoch ist bei relativen Fehlern > 3% die Aussage zunehmend unsicher.

3.2 Empirisch ermittelte Kriterien der Geneseklassenzuordnung

Die Zuordnung der Wasseranalysen zu einzelnen "Geneseklassen" erfolgt auf der Grundlage von empirischen Kriterien. Die so ermittelten Klassen wurden mit statistischen Verfahren (Wahrscheinlichkeitsnetze in Wagner 2009) auf ihre Konsistenz geprüft, jedoch können bei Werten im Umfeld der Klassengrenzen im Kontext mit Analysenfehlern Unsicherheiten bei der Klassenzuordnung nicht ausgeschlossen werden. Es wird in diesem Fall empfohlen, Analysen zu wiederholen und Maßnahmen zu ergreifen, um die Analysengenauigkeit zu erhöhen.

3.3 Zusätzliche Sulfateinträge in das Grundwasser im Ergebnis einer autotrophen Denitrifikation

In unbedeckten, aber auch in bedeckten pleistozänen GWL wurden in den letzten Jahren steigende Sulfat- und Eisenkonzentrationen bei gleichzeitiger Verringerung der Nitratgehalte festgestellt. Diese Erscheinungen werden insbesondere in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher

Nutzung beobachtet, d. h. in den Verbreitungsgebieten anthropogen beeinflusster Neubildungswässer.

Die Sulfat- und gelösten Eisen-Ionen bilden sich im Ergebnis einer autotrophen Denitrifikation, für die nach Kölle et al.1983 folgende Reaktionsgleichung aufgestellt wurde: $5 \text{ FeS}_2 + 14 \text{ NO}_3^- + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 7 \text{ N}_2 + 10 \text{ SO}_4^{2-} + 5 \text{ Fe}^{2+} + 2 \text{ H}_2\text{O}$ In Abhängigkeit von den Ausgangskonzentrationen können die zusätzlichen Sulfateinträge im GEBAH/ Geneseklassen zu Änderungen der "Geneseklasse" führen. Die Grundwässer werden scheinbar jünger (z. B. Entwicklung von anthropogen beeinflussten gealterten Neubildungswässern der "Geneseklasse" E21 zu jungen anthropogen beeinflussten Neubildungswässern der "Geneseklasse" D21). Im Ergebnis der Auswertung von Analysenreihen von Brunnen oder Messstellen eröffnet sich dadurch aber auch die Möglichkeit, sich ausbildende Redoxfronten und die damit in Zusammenhang stehenden Probleme wie erhöhte Uran-Gehalte oder die Verockerung von Brunnen zu erkennen und auszukartieren.

3.4 Anorganische anthropogene Stoffeinträge durch mineralische Düngemittel

Im Modul "Geneseklassen" erfolgt die Identifikation anorganischer anthropogener Stoffeinträge in das Grundwasser und demzufolge die Zuordnung dieser Wässer zu den anthropogenen Beeinflussungstypen durch die unten aufgeführten vier Entscheidungskriterien. Dabei handelt es sich um Nitrat- (Kriterium $NO_3^- > 2$ mg/L), Kalium- (Kriterium $K^+ >$ 7 mg/L) und Sulfat- Ionen - (Kriterium 130 mg/L \geq SO₄²⁻ \geq 250 mg/L) sowie um die Chlorid-Salze (Kriterium CaCl₂ + $MgCl_2 + NaCl + KCl > 15 \%$ und NaCl + KCl < 15 %). Anorganische kaliumhaltige mineralische Düngemittel bestehen überwiegend aus chloridischen (KCl) und sulfatischen Kaliumsalzen (K,SO₄). Als Nebenbestandteile beinhalten sie NaCl, MgCl₂, MgSO₄ sowie CaSO₄. Es sind demzufolge die gleichen Salze, die auch bei geogen-salinaren Beeinflussungen relevant sind (Kriterium CaCl₂ + MgCl₂ + NaCl + KCl > 15 % und NaCl + KCl > 15 %). Unter Flächen mit intensivem Düngemitteleinsatz kann dies dazu führen, dass in den dort verbreiteten anthropogen beeinflussten Neubildungswässern das Salinar-Kriterium überschritten wird und diese Wässer im Modul "Geneseklassen" den "salinaren" bzw. den "salinar- beeinflussten" Neubildungswässern zugeordnet werden. Erst unter Hinzuziehung des Geologischen Grund-Verhältnisses und des Salinar-Matrix-Koeffizienten (GGV und SMK, Brose 2017) und im Ergebnis von detaillierten Standortrecherchen kann entschieden werden, ob es sich um eine echte geogene Grundwasserversalzung oder um anthropogen beeinflusste Wässer handelt.

3.5 Geogen-salinar beeinflusste und beeinträchtigte Wässer

"Geogen-salinar beeinflusste" Wässer sind Neubildungswässer, die nach der Berechnungsvorschrift des Moduls "Geneseklassen" die Bedingungen CaCl, + MgCl, + NaCl

+ KCl > 15 % und NaCl + KCl > 15 % (bei einer Gesamtmineralisation < 350 mg/L NaCl + KCl > 20 %) erfüllen müssen. Zur Prüfung des Beeinflussungsgrades durch salinare Wässer werden zusätzlich GGV und SMK ermittelt. Als Prüfkriterium für einen Salzwassereinfluss gilt dabei GGV< 0.05 und SMK<1.

GGV und SMK sind jedoch sehr sensible Parameter, die salinare Speisungsanteile schon bei sehr geringen Cl-Konzentrationen belegen und das obige Prüfkriterium bereits erfüllen, auch wenn die Bedingungen für eine "salinare Beeinflussung" im Sinne des Moduls "Geneseklassen" noch nicht gegeben sind, d. h. die Neubildungswässer noch "unbeeinflusst" sind. Die Bezeichnungen der "Geneseklassen" dieser "unbeeinflussten" Neubildungswässer erhalten dann den Zusatz "salinar beeinträchtigt".

4 Beispiel für eine hydrogeochemisch-genetische Kartierung auf der Grundlage von "Geneseklassen"

Im Weiteren soll die Anwendung der "Geneseklassen" bei der Kartierung der hydrogeochemisch-genetischen Verhältnisse am Beispiel der Erkundung des Einzugsgebietes einer Wasserfassung in Ostbrandenburg demonstriert werden.

Das Beispielgebiet befindet sich im Bereich des Berliner Urstromtals, einer Hauptabflussbahn von Schmelzwässern der Weichsel-Kaltzeit. Der hier anzutreffende unbedeckte Grundwasserleiter (GWL) weist eine Mächtigkeit von bis zu 35,0 m auf. Er besteht aus Weichsel-kaltzeitlichen glazifluviatilen Fein-, Mittel- und Grobsanden sowie Saalekaltzeitlichen Fein- und Mittelsanden. Als Liegendstauer wirken Saale-kaltzeitliche glazilimnische Beckenschluffe und Geschiebemergel, die Mächtigkeiten zwischen 25 und 35 m erreichen können. Darunter lagert der bedeckte Saalebis Elster-kaltzeitliche Hauptgrundwasserleiter (HGWL). Er besteht aus Mittel- bis Grobsanden, die eine Mächtigkeit von ca. 10 bis 20 m aufweisen. Der Saale-kaltzeitliche Grundwasserhemmer-Komplex ist zwar großflächig verbreitet, weist aber geologische Fenster in Form von Rinnensystemen auf, die mit schluffigen Feinsanden ausgefüllt sind. Lokal wurden diese Beckensedimente vollständig erodiert, so dass hydraulische Verbindungen zwischen dem unbedeckten GWL und dem bedeckten HGWL bestehen. In einer Aufschlussbohrung wurde ein derartiges geologisches Fenster aufgeschlossen. Die hier erbohrte Schichtenfolge besteht überwiegend aus schluffigen Fein- und Mittelsanden. Im Ergebnis von oberflächengeophysikalischen (geoelektrischen und elektromagnetischen) Messungen sowie Bohraufschlüssen konnte eine vorläufige Konturierung des geologischen Fensters vorgenommen werden. Dieses quert den nördlichen Teil des Anstrombereiches der zukünftigen Brunnentrasse. Aufgrund seiner Genese (glazigene Rinne) ist es in Nordost-Südwest-Richtung gestreckt und spaltet sich nach Süden in mehrere Arme auf.

Im Nordosten des Betrachtungsgebietes befindet sich eine weitere tiefreichende, nordwest-südost streichende pleistozäne Rinnenstruktur, die Briesener Rinne, in der die quartäre und tertiäre Schichtenfolge bis in das Prärupel-Niveau erodiert ist. Diese Rinne ist mit glazifluviatilen und glazilimnischen Sedimenten gefüllt. Insbesondere an den Rinnenrändern sind lokal sandige Sedimente verbreitet, über die hydraulische Verbindungen zwischen den GWL der verschiedenen stratigraphischen Niveaus bestehen. Über diese Rinnenstruktur erfolgt lokal der Aufstieg hochmineralisierter Wässer aus dem Salzwasserstockwerk in die pleistozänen GWL des Süßwasserstockwerks.

Die Hydrodynamik im unbedeckten GWL sowie im bedeckten HGWL im Einzugsgebiet der erkundeten Wasserfassung ist durch ein Gefälle von ca. 1,0 ‰ charakterisiert. Die generelle Grundwasserfließrichtung ist nach Südwest, zum Vorfluter, der Spree, orientiert. Im Ergebnis der Erfassung der Grundwasserspiegel mittels Datenloggern wurde nachgewiesen, dass die beiden GWL unterschiedliche Druckpotentiale aufweisen (siehe Abb. 1). Im nördlichen Teil des geologischen Fensters zeigt der bedeckte HGWL um ca. 0,2 bis 0,6 m höhere Druckwasserspiegel, d. h. über das geologische Fenster erfolgt hier eine Einspeisung aus dem bedeckten HGWL in den hangenden unbedeckten GWL. Im südlichen Teil des Fensters dagegen sind diese Verhält-

nisse ausgeglichen bzw. umgekehrt, so dass der unbedeckte GWL ein bis 0,06 m höheres Druckpotential aufweist. Der unbedeckte GWL speist in diesem Bereich den bedeckten HGWL.

Im Untersuchungsgebiet existiert eine Reihe von Altmessstellen, die im Rahmen der Braunkohlenerkundung Fürstenwalde 1982 und 1985 errichtet und beprobt wurden. Sie sind in den Niveaus des unbedeckten GWL sowie des bedeckten HGWL verfiltert. Im Rahmen der hydrogeologischen Standorterkundung wurden zwei Brunnen im bedeckten HGWL sowie weitere Messstellen im näheren und weiteren Anstrombereich der Brunnen errichtet.

Durch die Auswertung der aus diesen Brunnen und Grundwassermessstellen gewonnenen Wasseranalysen mit dem Programm "GEBAH"/"Geneseklassen" erfolgt die Zuordnung zu "Geneseklassen", die in Verbindung mit den Koordinaten der Messstellen hydrogeochemisch-genetische Punktinformationen darstellen und mit entsprechenden Symbolen in eine topografische Karte eingetragen werden (vgl. Hotzan 2012, 2013). Die Kartendarstellung erfolgte grundwasserleiterspezifisch, d. h. sowohl für den unbedeckten GWL sowie den bedeckten HGWL. Angaben zur Grundwasserdynamik (Isohypsenpläne) sowie zu geologi-

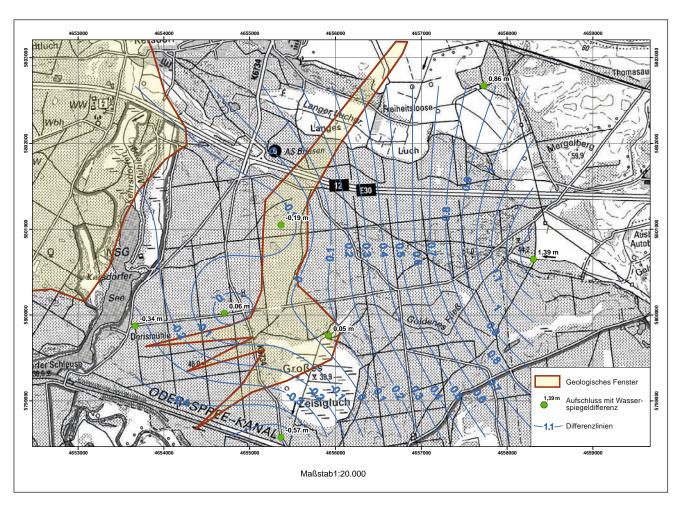


Abb. 1: Geologische Fenster mit Wasserstandsdifferenzenplan

Fig. 1: Geological window with a map of the pressure gradient between the two aquifers

schen Strukturelementen (z. B. geologische Fenster, glazigen gestörte Bereiche, tektonische Störungen), die als Wasser wegsame Bereiche wirken, ergänzen die Darstellung. Durch die ausreichend hohe Aufschlussdichte im Betrachtungsgebiet konnten, unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Verhältnisse sowie der Lage der geologischen Strukturelemente, Geneseareale auskartiert werden.

Die hydrogeochemisch-genetische Auswertung der Wasseranalysen aus dem unbedeckten GWL zeigt ein heterogenes Bild (siehe Abb. 2). Neben den jungen ("Geneseklassen D11, D21) findet man in diesem GWL auch gealterte ("Geneseklasse" E11) und alte Neubildungswässer ("Geneseklasse" F11). Lokal wurden salinar beeinflusste junge Neubildungswässer ("Geneseklasse" D31) angetroffen. Die Filter der Grundwassermessstellen befinden sich in zwei Teufenniveaus des innerhalb des unbedeckten GWL, in einem hangenden (Weichsel-kaltzeitlichen) mittel- bis grobsandigen Bereich und einem liegenden (Saale-kaltzeitlichen)

fein- bis mittelsandigen Bereich. Der Hangendbereich wird

hydrogeochemisch-genetisch überwiegend von jungen Neu-

bildungswässern der "Geneseklassen" D11 und D21 domi-

niert. Im Abstrom des geologischen Fensters sind in diesem

Niveau auch salinar beeinflusste junge Neubildungswässer

der "Geneseklasse" D31 anzutreffen. Die Geneseareale in diesem Niveau werden mit Vollfarben dargestellt.

Im Liegendbereich des unbedeckten GWL dominieren im Abstrom des geologischen Fensters im Norden salinar beeinflusste Neubildungswässer, im Süden unbeeinflusste alte Neubildungswässer der "Geneseklasse" F11. Außerhalb des Einflussbereichs des geologischen Fensters sind junge und gealterte Neubildungswässer der "Geneseklassen" D11 und E11 anzutreffen. Die Geneseareale in diesem Niveau sind schraffiert dargestellt.

Die hydrogeochemisch-genetische Auswertung der Wasseranalysen aus den Brunnen und Messstellen im bedeckten HGWL zeigt ebenfalls ein sehr heterogenes Bild (siehe Abb. 3). Im südlichen Teil des Einzugsgebiets sowie im Anstrom des geologischen Fensters dominieren alte, unbeeinflusste Neubildungswässer der "Geneseklasse" F11 sowie statische Wässer der "Geneseklasse" G11. Im südlichen Teil des geologischen Fensters gelangen, bei abwärts gerichtetem Druckgradienten, junge Neubildungswässer der "Geneseklasse" D11 in den bedeckten HGWL und breiten sich mit dem Grundwasserstrom in westliche Richtung aus. Die Übergangszonen zwischen den jungen und den alten Neubildungswässern sind durch Mischwässer ("Geneseklassen"

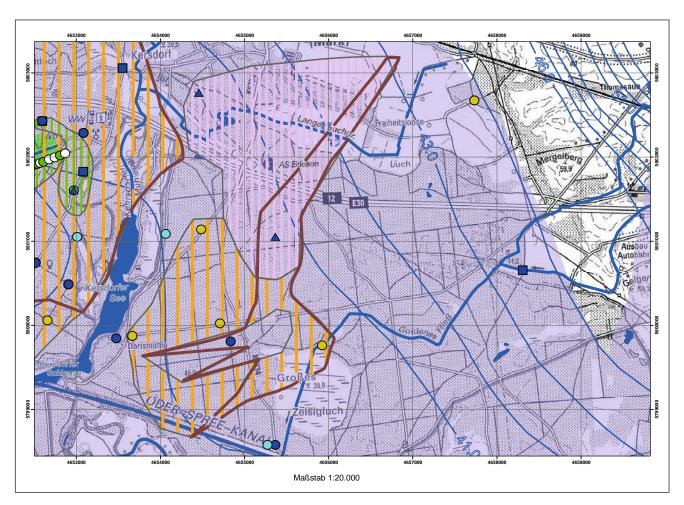


Abb. 2: Hydrogeochemisch-genetische Karte des unbedeckten weichsel- bis saalekaltzeitlichen GWL

Fig. 2: Hydrogeochemical-genetic map of the uncovered Weichselian and Saalian aquifers

E11 und E21) charakterisiert. Im nördlichen Seitenstrom bewegt sich eine Salzwasserfahne ausgehend von der Briesener Rinne in südwestliche Richtung zur Vorflut (Spree). Sie wird durch salinare, gealterte erdalkalisierte Wässer der "Geneseklasse" I32 im Kernbereich sowie alte, salinar beeinflusste Neubildungswässer der "Geneseklasse" F31 an den Flanken charakterisiert.

Im nördlichen Brunnen wurden während eines Pumpversuches junge Neubildungswässer der "Geneseklasse" D11 gefördert, die über das geologische Fenster aus dem unbedeckten GWL in den bedeckten HGWL gelangen. Mit zunehmender Pumpdauer wurden sulfatärmere Wässer aus dem lateralen Anstrom aktiviert, die jedoch noch nicht zu

einem Wechsel der "Geneseklasse" führten. Die im nördlichen Seitenstrom nachgewiesene Salzwasserfahne wurde durch das Förderregime des Brunnens nicht in das Einzugsgebiet hineingezogen.

Im südlichen Brunnen wurden während des Pumpversuches die ursprünglich noch vorhandenen alten unbeeinflussten Neubildungswässer ("Geneseklasse" F11) durch statische unbeeinflusste Wässer der "Geneseklasse" G11 ersetzt. Hydraulisch wirksame geologische Fenster sind in diesem Bereich nicht vorhanden. Im weiteren Einzugsgebiet sind alte unbeeinflusste Neubildungswässer der "Geneseklasse" F11 nachgewiesen worden, deren Aktivierung bei entsprechend langer Betriebsdauer möglich erscheint.

Legende der hydrogeochemisch-genetischen Karte Aufschlussbewertung Geneseareale junges Uferfiltrat junges Uferfiltrat, anthropogen beeinflusst altes Uferfiltrat junge GWN,unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst junge, unbeeinflusste Neubildungswässer junge GWN, durch Pyritverwitterung beeinflusst junge, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer junge GWN, versauert junge Neubildungswässer mit Beeinflussung durch Pyritverwitterung gealterte GWN, unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst junge, versauerte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer alte GWN, unbeeinflusst bis anthropogen beeinflusst junge, salinar beeinflusste Neubildungswässer statisches GW, unbeeinflusst junge, versauerte Neubildungswässer \triangle geogen-salinar beeinflusste Neubildungswässer, undifferenziert \bigcirc gealterte, unbeeinflusste Neubildungswässer salinare Ablaugungswässer gealterte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer salinare erdalkalisierte Wässer gealterte Neubildungswässer mit Beeinflussung durch Pyrityerwitterung salinare alkalisierte Wässer gealterte, versauerte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer salinare, gealterte, erdalkalisierte Wässer \wedge gealterte, salinar beeinflusste Neubildungswässer salinare, gealterte, alkalisierte Wässer gealterte versauerte Neubildungswässer salinare Gleichgewichtswässer \bigcirc alte, unbeeinflusste Neubildungswässer alte, anthropogen beeinflusste Neubildungswässer Geneseareale im Liegendbereich eines GWL alte, versauerte anthropogen beeinflusste Neubildungswässer Uferfiltratwässer, undifferenziert \triangle alte, salinar beeinflusste Neubildungswässer gealterte Neubildungswässer, undifferenziert \triangle alte, versauerte Neubildungswässer alte Neubildungswässer, undifferenziert \bigcirc statische, unbeeinflusste Grundwässer salinar beeinflusste Neubildungswässer, undifferenziert statische, salinar beeinflusste Grundwässer salinare erdalkalisierte Wässer Δ salinare Ablaugungswässer salinare alkalisierte Wässer Δ salinare alkalisierte Wässer salinare Gleichgewichtswässer salinare erdalkalisierte Wässer salinare gealterte erdalkalisierte Wässer \triangle salinare gealterte alkalisierte Wässer Gewässer \triangle salinare Gleichgewichtswässer Gewässernetz keine Analysen **GW-Isohypsen** Wasserwegsame geologische -+20 - Isolinien (m NHN) Strukturelemente Geologisches Fenster ----+30 --- Isolinien vermutet (m NHN)

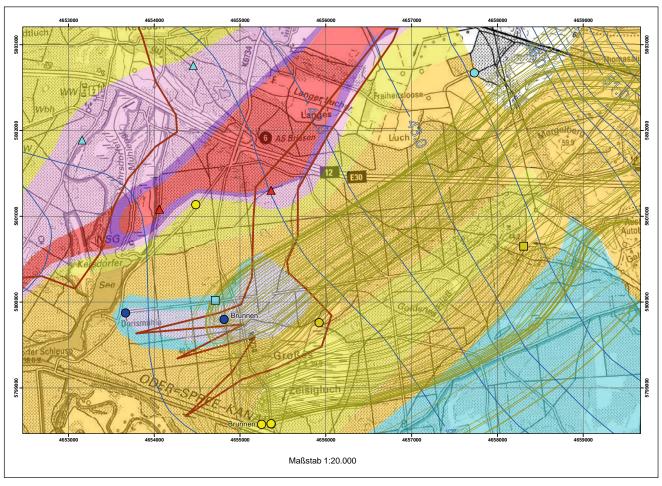


Abb. 3: Hydrogeochemisch-genetische Karte des bedeckten saale- bis elsterkaltzeitlichen HGWL

Fig. 3: Hydrogeochemical-genetic map of the covered Saalian and Elsterian main aquifer

5 Zusammenfassung

Der mehrjährige Praxistest des GEBAH-Moduls "Geneseklassen" konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Gegenüber den Veröffentlichungen von 2010 und 2011 wurden "Geneseklassen" ergänzt, umkombiniert bzw. eingezogen. Im Endergebnis steht ein Modul des Programmpaketes GEBAH zur Verfügung, mit dem der Entwicklungsgrad sowie geogene und anthropogene Beeinflussungen von Grundwässern ermittelt werden können. Insbesondere für hydrogeochemisch-genetische Kartierarbeiten in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des norddeutschen Tieflandes erweist sich diese Methodik als gut geeignet.

Die im Rahmen der Testarbeiten aufgetretenen Probleme, die zu zweifelhaften Klassenzuordnungen führten, wurden innerhalb des Dezernates Hydrogeologie des LBGR diskutiert und entsprechende Lösungsansätze unterbreitet. An einem Praxisbeispiel einer hydrogeochemisch-genetischen Kartierung im Rahmen der Erkundung eines neuen Fassungsstandortes für ein Wasserwerk in Ostbrandenburg wurde die Leistungsfähigkeit der Methodik demonstriert und die Förderfähigkeit der perspektivischen Wasserfassung durch die Aktivierung überwiegend neubildungsgeprägter, salinar unbeeinflusster Wässer nachgewiesen.

Summary

The several-year practical test of the GEBAH module "Genesis classes" was successfully completed. Compared to the publications of 2010 and 2011, "Genetic Classes" were supplemented, recombined or withdrawn. The final result is a module of the GEBAH programme package, with which the degree of development as well as geogenic and anthropogenic influences on groundwater can be determined. This methodology is particularly suitable for hydrogeochemical-genetic mapping work in the unconsolidated rock aquifers of the North German Plain.

The problems arising during the test work, which led to doubtful class allocations, were discussed within the department of Hydrogeology at the LBGR and corresponding solutions were submitted. The efficiency of the methodology was demonstrated using a practical example of hydrogeochemical-genetic mapping in the context of the exploration of a new catchment site for a waterworks in Eastern Brandenburg.

Literatur

- Bednorz, F. & D. Brose (2017): Altersdatierung mittels Isotopenanalytik zur Verweilzeitbestimmung und Identifizierung von Speisungsanteilen des Grundwassers in Brandenburg. Brandenburg. Geowiss. Beitr. **24**, 1/2, S. 83–101
- Brose, D. (2017): GEBAH- Eine Software für die konzentrationsunabhängige Früherkennung von Salzwasserintrusionen in Süßwasser führende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. Brandenburg. Geowiss. Beitr. 24, 1/2, S. 69–82
- HOTZAN, G. (2010): Genetische Grundwassertypen der Binnenversalzung, ihre Klassifizierung und Erscheinungsformen. Brandenburg. Geowiss. Beitr. 17, 1/2, S. 39–53
- HOTZAN, G. (2011): Die Formierung und Entwicklung des Chemismus natürlicher Grundwässer, ihre Widerspiegelung in hydrogeochemischen Genesemodellen sowie ihre Klassifizierung auf hydrogeochemisch-genetischer Grundlage. Brandenburg. Geowiss. Beitr. 18, 1/2, S. 77–91
- HOTZAN, G. (2012): Ein Beitrag zur Methodik der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung von Grundwässern in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands. Brandenburg. Geowiss. Beitr. **19**, 1, S. 65–80
- HOTZAN, G. & TH. Voss (2013): Komplexe hydrogeochemisch-genetische Kartierung zur Einschätzung der Salzwassergefährdung pleistozäner und tertiärer Grundwasserleiter im Raum Storkow-Frankfurt (Oder)-Eisenhüttenstadt. Brandenburg. Geowiss. Beitr. 20, 1/2, S. 63–82
- KÖLLE, W., WERNER, P., STREBEL, O. & J. BÖTTCHER (1983): Denitrifikation in einem reduzierenden Grundwasserleiter. – Vom Wasser, **61**, S. 125–147
- LÖFFLER, H. (1972): Hydrochemische Typisierung für Grundwasser im Lockergesteinsbereich des norddeutschen Tieflandes. In: LÖFFLER & MEINERT (2011): Geschichte der Geowissenschaften in der DDR, Teil II, Ostklüne (Störr)
- Rechlin, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **4**, S. 67–71
- RECHLIN, B. (2008): Eine Methode zur konzentrationsunabhängigen Früherkennung von Salzwasserintrusionen in süßwasserführende Grundwasserleiter und Oberflächengewässer. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **15**, 1/2, S. 57–68

- RECHLIN, B., HOFFKNECHT, A., SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. Software GEBAH Vers.1.1, LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen
- VALJAŠKO, M.G. u.a.(1961): Geochemie der Halokinese. In: Sb. Tr. Geol. Fakut. Moskau, Isdat. Mosk. Univ. (russ.)
- Wagner, F., Beer, A., Brose, D., Budziak, D., Clos, P., Dreher, T., Fritsche, H.- G., Hübschmann, M., Marczinek, S., Peters, A., Poeser, H., Schuster, H.-J., Wagner, B., Walter, T., Wirsing, G. & R. Wolter (2009): Erläuterungen zum Web Map Service (WMS) "Hintergrundwerte Grundwasser". 21S., BGR Hannover

Anschrift des Autors:

Dipl.-Geol. Gerhard Hotzan Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg Dezernat Hydrogeologie Inselstraße 26 03046 Cottbus gerhard.hotzan@lbgr.brandenburg.de