

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	19 (2012), 1	S. 65 – 80	5 Abb., 16 Zit.
------------------------------	---------	--------------	------------	-----------------

Ein Beitrag zur Methodik der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung von Grundwässern in den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands

Contribution to Methods of hydrogeochemical-genetic Mapping of Groundwater in the loose Sediment Aquifers of Norddeutsches Tiefland

GERHARD HOTZAN

1. Einleitung

Hydrogeochemische Karten sind ihrem Charakter nach thematische Karten, die mit der Zielstellung erarbeitet werden, die chemische Beschaffenheit des Grundwassers sowie die damit in Zusammenhang stehenden Fragestellungen in einem Grundwasserleiter (GWL) auf einer topographischen Grundlage darzustellen. Mit der Methodik der Erstellung dieser Karten beschäftigte sich bereits eine Vielzahl von Autoren. Als Beispiele seien hier genannt JORDAN & WEDER (1988), HÖLTING (1992) sowie MATTHESS (1994).

Die Grundlage der hydrogeochemischen, als auch der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung bilden Grundwasserproben, die aus den einzelnen GWL 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. Eine Grundwasservollanalyse im Land Brandenburg beinhaltet nach Erlass Nr. W/16/1999 z. B. die Untersuchung von 76 Stoffen und Parametern. Dazu zählen physikalische Milieuparameter, anorganische sowie organische Inhaltsstoffe sowie biologische Komponenten (Keime). Für hydrogeochemisch-genetische Betrachtungen ist in der Regel die Analyse der Hauptionen ausreichend. Dazu zählen folgende Kationen und Anionen: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Darüber hinaus besitzen Verbindungen der N-Gruppe (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+), Fe und Mn sowie UV 254 und DOC als Störkomponenten in der Ionenbilanz bzw. zur Identifikation anthropogener Einflüsse Bedeutung. Äußerst wichtig ist die Einhaltung der Fehlertoleranzen der Analysen. Der relative Fehler der Ionensummenbilanz nach DVWK 128/92 sollte in Abhängigkeit von der Ionenkonzentration nicht mehr als 5 % bzw. 2 % betragen. Unsere Erfahrungen zeigen, dass eine Fehlertoleranz < 2 % einzuhalten ist.

2. Typen und Beispiele für hydrogeochemische Kartenwerke

Die in den Boden gelangenden in der Regel geringmineralisierten Niederschlagswässer erfahren bei der Durchsicke-

rung der Bodenzone im Ergebnis der sich hier vollziehenden Reaktionen (überwiegend Lösungs- und Fällungsreaktionen, Redoxreaktionen sowie Kationenaustauschprozesse einschließlich der sich dabei einstellenden und gegenseitig bedingenden Gleichgewichtszustände) unter Beteiligung gasförmiger, flüssiger und fester Komponenten eine erste hydrochemische Prägung. Der sich dabei ausbildende Grundwasserchemismus ist 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 GWL, als auch vertikal über mehrere GWL hinweg werden diese stofflichen Differenzierungen deutlich. Der Chemismus der Grundwässer vollzieht einen gesetzmäßigen Entwicklungsweg (vgl. HOTZAN 2011), der einerseits an Hand konkreter stofflicher Parameter beobachtet und andererseits durch hydrogeochemische Modelle beschrieben werden kann.

Hydrogeochemische Karten als graphisches Darstellungsmittel müssen dieser Aufgabenstellung gerecht werden. Sie können deshalb in Abhängigkeit von der jeweiligen thematischen Zielstellung in ihrer Darstellungsweise stark variieren. Generell können zwei große Gruppen unterschieden werden – hydrogeochemische Parameterkarten sowie hydrogeochemische Bewertungskarten.

Bei den **hydrogeochemischen Parameterkarten** wird die Variabilität einer einzelnen oder mehrerer Stoffkomponenten in Form von Punkten, Diagrammen oder Isokonten dargestellt. Als Beispiele für derartige Kartenwerke dienen die hydrogeologische Übersichtskarte der DDR i. M. 1 : 200 000 aus dem Jahre 1969 mit Parameterkarten für Chlorid und Gesamthärte (SARATKA & GLÄSSER 1969) sowie das Kartenwerk „Hintergrundwerte Grundwasser“ der BGR Hannover (WAGNER et al. 2009), das Parameterkarten für eine Vielzahl von Hauptionen, Neben- und Spurenstoffen beinhaltet.

Mit den Parameterkarten werden somit überwiegend die quantitativen Aspekte des Grundwasserchemismus verdeutlicht. Genetische Aussagen können durch die Darstellung genetisch relevanter Ionen wie z. B. SO_4^{2-} und Cl^- erzielt werden.

Anspruchsvoller sind die **hydrogeochemischen Bewertungskarten**, die bei der Darstellung in erster Linie qualitative und kausale Aspekte in den Vordergrund rücken. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, hydrogeochemisch-genetische Fragestellungen zu bearbeiten. Während in den Parameterkarten die Variabilität einzelner natürlicher im Grundwasser vorkommender Stoffkomponenten dargestellt wird, so sind es in den Bewertungskarten Einheiten, die auf Grundlage der stofflichen Komponenten nach Berechnungsvorschriften ermittelt werden. Als Klassifizierungsmerkmale können dabei die Dominanz von bestimmten Ionen in der Lösung, genetisch relevante Ionenverhältnisse oder hypothetische Salze dienen. Als historisches Beispiel einer Kartierung dominierender Ionen im Grundwasser dient das Kartenwerk von GLANDER et.al. (1974), das auf der Grundlage der Klassifikation nach ŠCUKAREV (in SYDYKOV & DAVLETGALIEVA 1974) basiert.

3. Methodische Ansätze einer hydrogeochemisch-genetischen Kartierung

3.1 Allgemeine Grundsätze

Der Chemismus des Wassers in einem GWL ist räumlichen, zeitlichen und hydrodynamischen Rahmenbedingungen unterworfen, die bei der Erstellung einer hydrogeochemisch-genetischen Karte zu berücksichtigen sind. Der **räumliche Rahmen** wird durch die Auswahl des zu kartierenden GWL bzw. Grundwasserleiterkomplexes (GWLK; MANHENKE, HANNEMANN & RECHLIN 1995) definiert. In den Lockergesteinsgrundwasserleitern des Norddeutschen Tieflands ist aufgrund der spezifischen Speisungs- und Transportbedingungen auf dem Weg eines Wassertropfens von der Bodenzone bis hin zu den tiefsten bedeckten GWL eine hohe chemische und somit auch eine genetische Variabilität des Grundwasserchemismus gegeben. Hinzu kommen die sich von GWL zu GWL unterscheidenden geohydraulischen Verhältnisse. Eine Vereinheitlichung des Grundwasserchemismus über mehrere GWL hinweg führt zu irreführenden Ergebnissen und ist demzufolge abzulehnen. Stattdessen ist eine grundwasserleiterspezifische Darstellung zu präferieren.

Der für hydrogeochemische Karten vorzuziehende **zeitliche Rahmen** ist durch die Dynamik der Speisungsbedingungen sowie Variationen der hydraulischen Verhältnisse innerhalb der GWL zu begründen. Hydrochemische Karten sollten nach Möglichkeit stichtagskonkret bzw. für einen klar definierten Bearbeitungszeitraum erstellt werden.

Die **hydrodynamischen Rahmenbedingungen** hydrochemischer Karten werden mit der Bewegung des Grundwassers innerhalb von geohydraulisch klar abgrenzbaren Einzugsgebieten vorgegeben. Ausgehend von den Speisungsgebieten, die innerhalb des Einzugsgebietes die höchsten Druckpotentiale aufweisen, bewegt sich das Grundwasser unter stetiger Abnahme der Druckpotentiale über die Transitgebiete zu den Entlastungsgebieten, in denen das Grundwasser durch die Vorfluter aufgenommen wird. Letztere weisen innerhalb des Einzugsgebietes die geringsten Druckpotentiale auf. Hydro-

chemische Karten sollten nach Möglichkeit das vollständige Einzugsgebiet darstellen, um den genetischen Entwicklungsprozess der Grundwässer bzw. die Veränderungen im Grundwasserchemismus zu verdeutlichen.

3.2 Inhaltliche Anforderungen an eine hydrogeochemisch-genetische Kartierung

Der Inhalt hydrogeochemisch-genetischer Karten soll einerseits eine Zustandsbeschreibung des Grundwassers geben, andererseits aber auch Erklärungen dafür liefern, durch welche lithologischen, geologisch-strukturellen und hydrodynamischen Einflüsse dieser Zustand erreicht wird.

Das wichtigste Darstellungselement sind die **hydrochemischen Kartiereinheiten**. In Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung handelt es sich dabei um einzelne durch Wasseranalysen festgestellte Parameter oder aber um nach Berechnungsvorschriften unterschiedlicher Modelle ermittelte Werte. Diese werden als Punkte, Diagramme oder Isokonzen auf einer topographischen Grundlage aufgetragen. Die Extrapolation in die Fläche ist nur bei einer entsprechend hohen Aufschlussdichte sinnvoll. Im gegenteiligen Falle sollte man die Karte auf die Punktdarstellung beschränken.

Unverzichtbar bei der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung ist die Darstellung der **Grundwasserdynamik**, aus der die Fließrichtung und indirekt auch die Fließgeschwindigkeit der Grundwässer deutlich werden. Diese erfolgt durch die Darstellung der Grundwasserisohypsen. Daneben sollten auch die hydraulischen Felder von Wassergewinnungsanlagen in die Karte aufgenommen werden. Bei der Erarbeitung hydrogeochemisch-genetischer Karten ist die flächige Kartierung von Geneseklassen nur unter strikter Berücksichtigung der hydrodynamischen Verhältnisse möglich.

In der Darstellung der hydrochemischen Karten sind desweiteren diejenigen **geologisch-strukturellen Elemente** zu berücksichtigen, die Einfluss auf die Speisungsbedingungen eines GWL haben. Dazu zählen „geologische Fenster“, d. h. lithologisch- oder erosionsbedingte Fehlstellen in der Verbreitung der hangenden oder liegenden Deckschichten eines GWL, durch die hydraulische Verbindungen und somit wasserwegsame Bereiche zwischen den GWL geschaffen werden. Einen Sonderfall der „geologischen Fenster“ stellen die pleistozänen Rinnenstrukturen dar. In ihnen werden in Abhängigkeit von der Teufenerstreckung zwei oder mehrere GWL miteinander hydraulisch verbunden. Insbesondere über die mit rolligen Sedimenten ausgefüllten Randbereiche erfolgt in Abhängigkeit von am jeweiligen Standort herrschenden Druckgradienten der Grundwasseraustausch vom Hangenden zum Liegenden oder umgekehrt.

Ein weiteres geologisch-strukturelles Element sind die glazigenen Stauchungsgebiete. Aufgrund der spezifischen Lagerungsverhältnisse mit steil aufgerichteten Schichten bilden sie im Zusammenspiel mit den hydrodynamischen Verhältnissen die Voraussetzungen für einen Grundwasseraustausch zwischen den GWL.

Ähnliches gilt für tektonische Störungen. Diese linearen Elemente weisen eine sehr große Teufenreichweite auf, die bis in die mesozoische oder paläozoische Schichtenfolge reichen kann. Ihre in der Regel mehrphasige Entstehungsgeschichte schuf Internstrukturen, die auch in bindigen Lockergesteinen zu offenen Klüften, d. h. wasserwegsamem Bereichen führten. Damit können sie bei einem entsprechenden hydrodynamischen Potentialgradienten als Aufstiegsbahnen hochmineralisierter Tiefenwässer dienen.

4. Hydrogeochemisch-genetische Kartierung auf der Grundlage des „Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg“

4.1 Grundlagen

Die hydrogeochemisch-genetische Karte auf der Grundlage des „Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg“ (RECHLIN 1997) ist ihrem Charakter nach eine hydrogeochemische Bewertungskarte. Die Kartiereinheiten sind Geneseklassen, die auf der Grundlage des oben angeführten Hydrogeochemischen Genesemodells ermittelt werden. Die Methodik zu ihrer Bestimmung wurde in HOTZAN (2010) und HOTZAN (2011) publiziert. Hervorzuheben ist, dass die Geneseklassen 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 ermittelt werden. Das Verfahren ist konzentrationsunabhängig, d. h. es kann sowohl für hochmineralisierte Salzwässer, als auch für Süßwässer angewendet werden. 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.

Mit GEBAAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) liegt ein Software-Paket 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, wodurch die Bearbeitung auch größerer Datenmengen in einem vertretbaren zeitlichen Rahmen möglich wird.

4.2 Arbeitsschritte bei der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung

Die hydrogeochemisch-genetische Kartierung baut auf dem vorhandenen geologischen und hydrodynamischen Kenntnisstand für die darzustellende Region auf. Die Grundlage bildet das **hydrogeologisch-hydrodynamische Regio-**

nalmmodell (geologisches Strukturmodell sowie Isohypsenpläne für einzelne GWLK bzw. GWL), das im Vorfeld einer Kartierung bekannt sein muss bzw. zu erarbeiten ist. Mit Hilfe des Regionalmodells werden die zu kartierenden GWL bzw. GWLK festgelegt.

Als nächster Schritt wird die **hydrogeochemisch-genetische Aufschlussbewertung** vorgenommen. Die Aufschlusspunkte sowie die aus ihnen gewonnenen Analysen werden den einzelnen GWL-Niveaus zugeordnet. Der Zeitrahmen der Kartierung (Stichtagsmessung oder Zeitintervall) wird festgelegt und die für die Speisung der GWL relevanten Rahmenbedingungen (z. B. meteorologische Daten, Grundwasserneubildung Förderstatistiken von Wasserfassungen, Abflussdaten der Vorfluter) recherchiert.

Im Anschluss daran erfolgt die Auswahl der für die Kartierung zu nutzenden Analysen. Diese beinhaltet zunächst die Plausibilitätsprüfung auf der Grundlage der Ionensummenbilanz (DVWK 128/92). Der relative Fehler sollte bei den in die Kartierung eingehenden Analysen 2 % nicht überschreiten. Liegen für einen Aufschluss Analysenreihen vor, so sind diese hinsichtlich ihrer Homogenität zu prüfen. Bei großer Variabilität des Grundwasserchemismus, der sich auch auf die Geneseklassen auswirken kann, sind die Ursachen zu erforschen.

Die Geneseklassen der Analysen werden auf der Grundlage des Programms GEBAAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) ermittelt. Neben den Lagepunkten der Wasseranalysen im VALJAŠKO-Diagramm (VALJAŠKO 1961) werden dabei die prozentualen Anteile der in der Lösung befindlichen hypothetischen Salze sowie typische Ionenkonzentrationen (NO_3^- , SO_4^{2-} , K^+) berücksichtigt. Ein Beispiel für die Grundwässer der Neubildungsreihe zeigt Abbildung 1.

Im Ergebnis dieser Prüfung ist für einen Aufschlusspunkt **eine repräsentative Analyse** auszuwählen. Diese Auswahl

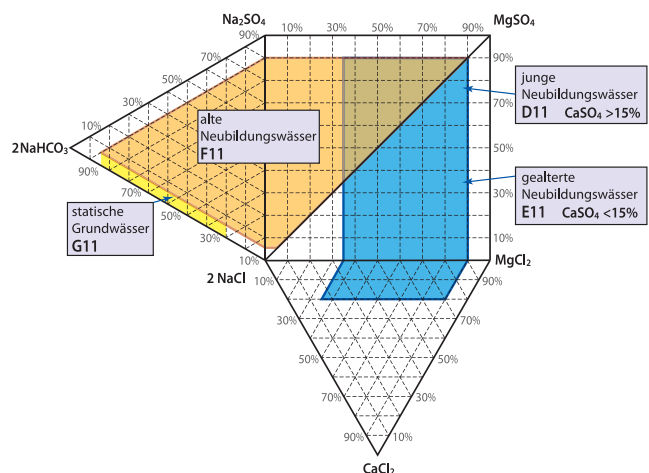


Abb. 1: Lagepunktbereiche und Grenzwerte für hypothetische Salze der Neubildungswässer als Grundlage für die hydrogeochemisch-genetische Klassifizierung

Fig. 1: Range of position and boundary values for hypohetic salts of recharged waters as base for hydrogeochemical-genetic classification

muss unter Berücksichtigung des Zeitfensters der Kartierung sowie des stationären hydrodynamischen Zustandes (keine Analysen aus Förderspitzten von Wasserfassungen) erfolgen.

Die Genese Klasse der Analyse wird anschließend mit dem nach der Legende zuzuordnenden Symbol in die jeweilige Karte des GWL eingetragen.

Der nächste Arbeitsschritt beinhaltet die **Erstellung hydrogeochemischer Schnitte**. Diese beruhen auf dem geologischen Strukturmodell und sollten nach Möglichkeit in Grundwasserfließrichtung das gesamte Einzugsgebiet von den Speisungs- über die Transit- bis zu den Entlastungsbereichen erfassen. In die Schnitte sind alle zu kartierenden GWL einer Region aufzunehmen.

Die Schnittdarstellung sollte zunächst alle geologisch-strukturellen und lithologischen Merkmale der GWL und der Grundwasserhemmer beinhalten. Diese wird durch die Bohraufschlüsse mit ihren Filterlagen sowie den ermittelten Genese Klassen ergänzt. Durch die Verbindung der Flächen mit gleichen Genese Klassen werden deren Verbreitungsareale verdeutlicht. So wird es möglich, die natürlichen lateralen und vertikalen Entwicklungstendenzen des Grundwasserchemismus zu verdeutlichen sowie Anomalien, die durch den Zutritt von Wässern aus dem Hangenden oder Liegenden entstehen, zu erkennen. Schichtungen von Wässern unterschiedlicher Genese innerhalb eines GWL sowie vertikale und laterale Zonalitäten im Umfeld von Salzwasserintrusionen werden erst im Schnittbild deutlich (siehe Abb. 2).

Im Anschluss an diese Vorarbeiten erfolgt die eigentliche **Erstellung der hydrogeochemisch-genetischen Karte**. Für die Lockergesteinsgrundwasserleiter in Brandenburg hat sich die folgende Horizontgliederung bewährt:

- weichselkaltzeitliche bis holozäne GWL,
- saalekaltzeitliche GWL,
- elsterkaltzeitliche und hydraulisch verbundene miozäne GWL (Obere und Untere Briesker Schichten),
- miozäne GWL (Cottbuser Folge bis Mittenwalder Schichten) und hydraulisch verbundene elsterkaltzeitliche GWL sowie
- oligozäne („Rupel-Basissande“) und hydraulisch verbundene elsterkaltzeitliche und mesozoische GWL im Liegenden der Rupel-Folge.

Die Genese Klassen der den einzelnen GWL zugeordneten Analysen werden mit Symbolen entsprechend Legende in die jeweilige Karte des GWL eingetragen. Anschließend erfolgt die Darstellung der Grundwasserdynamik durch einen GWL-spezifischen Isohypsenplan, der durch die Einzugsgebiete von Wasserfassungen ergänzt wird.

Die für Wasserwegsamkeiten zwischen den einzelnen GWL relevanten geologischen Strukturelemente (Fehlstellen in den hangenden und liegenden Grundwasserhemmern, pleistozäne Rinnenstrukturen, glazigene Stauchungsgebiete, tektonische Störungen) werden ergänzt. In Abhängigkeit von der Aufschlussdichte wird die hydrogeochemisch-genetische Karte als Punkt- oder Flächenkarte gefertigt. Ein Beispiel für eine Übersichtskarte als Punktkarte zeigt Abbildung 3.

Die Abgrenzung der hydrogeochemisch-genetischen Flächenelemente wird unter Berücksichtigung der Grundwasserfließrichtung (Grundwasserdynamik) vorgenommen. Die geologischen Strukturelemente wirken als Begrenzungselemente. Die unterstromige Begrenzung der Genese Flächen erfolgt unter Berücksichtigung der Punktformationen. Ein Beispiel für eine derartige Karte zeigt Abbildung 4.

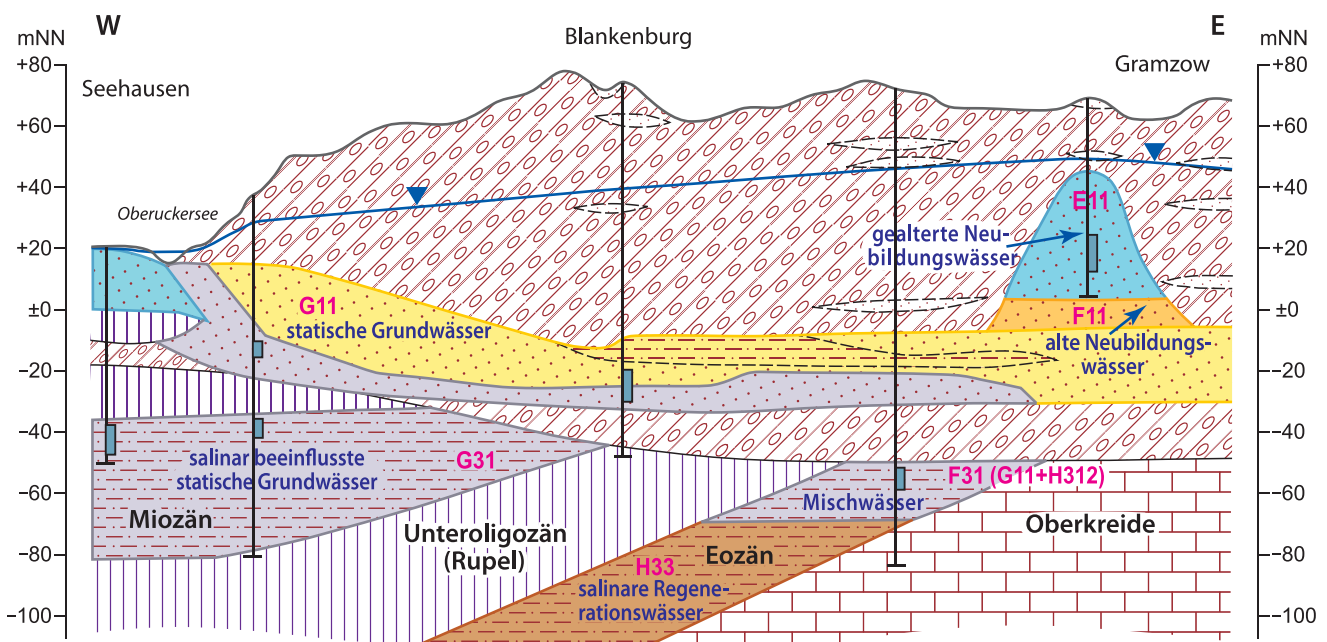


Abb. 2: Hydrogeochemisch-genetischer Schnitt durch ein Einzugsgebiet (geologischer Schnitt aus ZACHOW & LÖFFLER 1985)
Fig. 2: Hydrogeochemical-genetic intersection through a watershed (geological section from ZACHOW & LÖFFLER 1985)

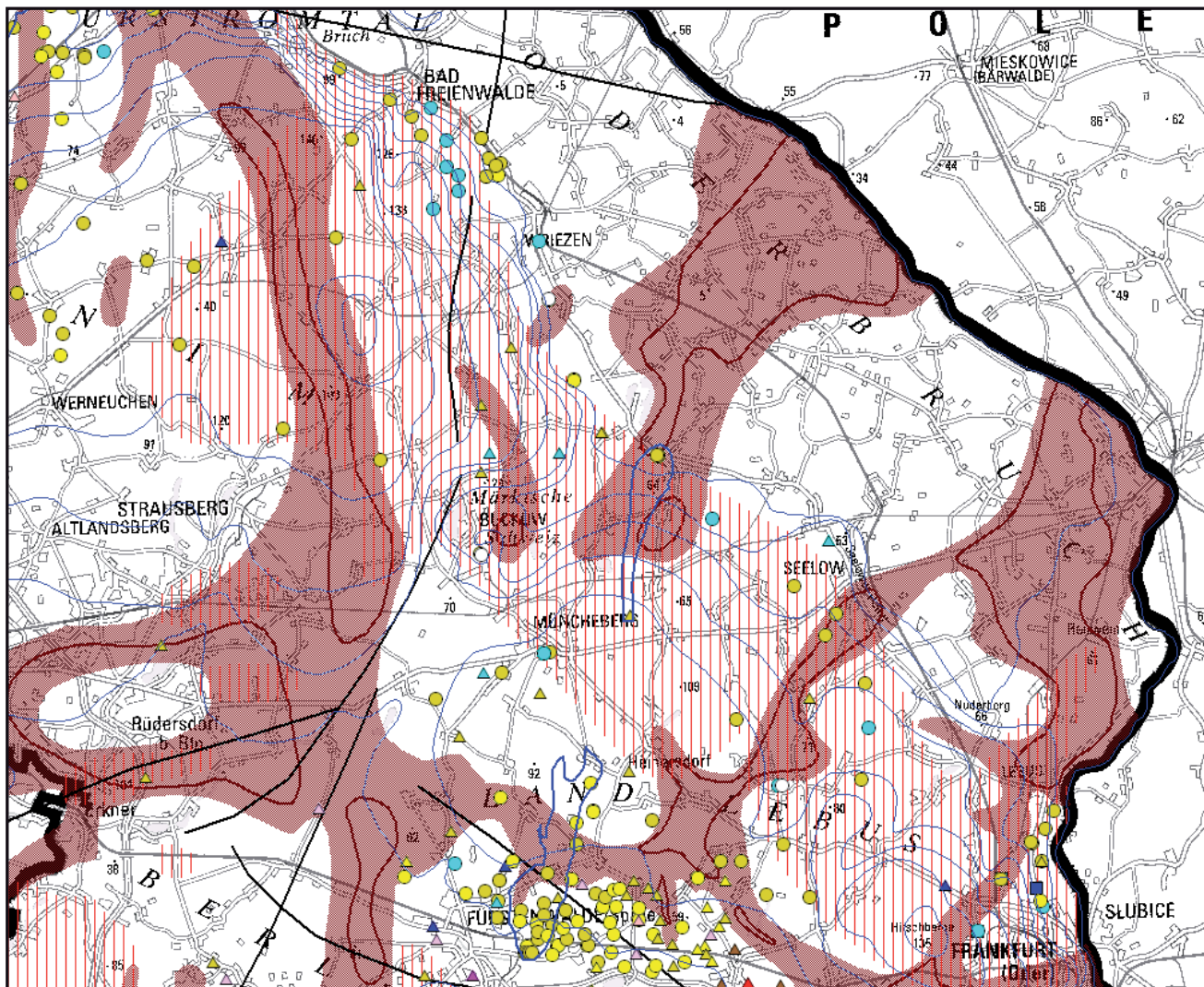


Abb. 3: Ausschnitt aus einer hydrogeochemisch-genetischen Übersichtskarte (Punktkarte) i. M. 1 : 200 000 für den tiefliegenden bedeckten Grundwasserleiterkomplex (GWLK 3 nach MANHENKE, HANNEMANN & RECHLIN 1995), Legende siehe Anhang

Fig. 3: Detail of a hydrogeochemical-genetic overview (point map) of the deeper covered aquifer complex 3 (after MANHENKE, HANNEMANN & RECHLIN 1995), legend see appendix

Bei mächtigen GWL können in Abhängigkeit von den Speisungsbedingungen (z. B. Altersschichtung in unbedeckten GWL, Intrusion von salinaren Wässern aus dem Liegenden und deren Verbreitung in Form von Salzwasserströmen oder -fahnen) in der Vertikalen verschiedene Geneseklassen verbreitet sein. In diesem Falle sind in der GWL-Karte die Geneseklassen in zwei Ebenen darzustellen. Der Liegendbereich wird durch eine Schraffursignatur (siehe Legende im Anhang) verdeutlicht.

Für die hydrogeochemisch-genetische Karte ist ein **Erläuterungstext** zu fertigen. Dieser sollte in erster Linie die grundwasserleiterspezifische Beschreibung des Entwicklungszustandes der Grundwässer auf ihrem Weg von den Speisungs- über die Transit- bis zu den Entlastungsbereichen beinhalten. Auf Besonderheiten des Entwicklungszustandes, der seine Ursachen in Hangend- oder Liegendspeisungsprozessen haben kann, ist hinzuweisen. Insbesondere

Aufmerksamkeit ist den geogenen Versalzungsprozessen zu schenken. Als Resümee ist eine Bewertung des Geschütztheitsgrades der Grundwässer im jeweiligen GWL vorzunehmen.

4.3. Inhaltliche Aussagen der hydrogeochemisch-genetische Karte

Die auf der Grundlage des Hydrogeochemischen Genesemodells ermittelten Geneseklassen, die als Kartiereinheiten die Grundlage der hydrogeochemisch-genetischen Karte bilden, sind zwar theoretisch abgeleitete Kategorien, jedoch besitzen sie aufgrund der Berücksichtigung der auf den Grundwasserchemismus einwirkenden Prozesse einen hohen Realitätsbezug. Mit diesen Geneseklassen wird der **Entwicklungszustand (Reifegrad) eines Grundwassers** auf

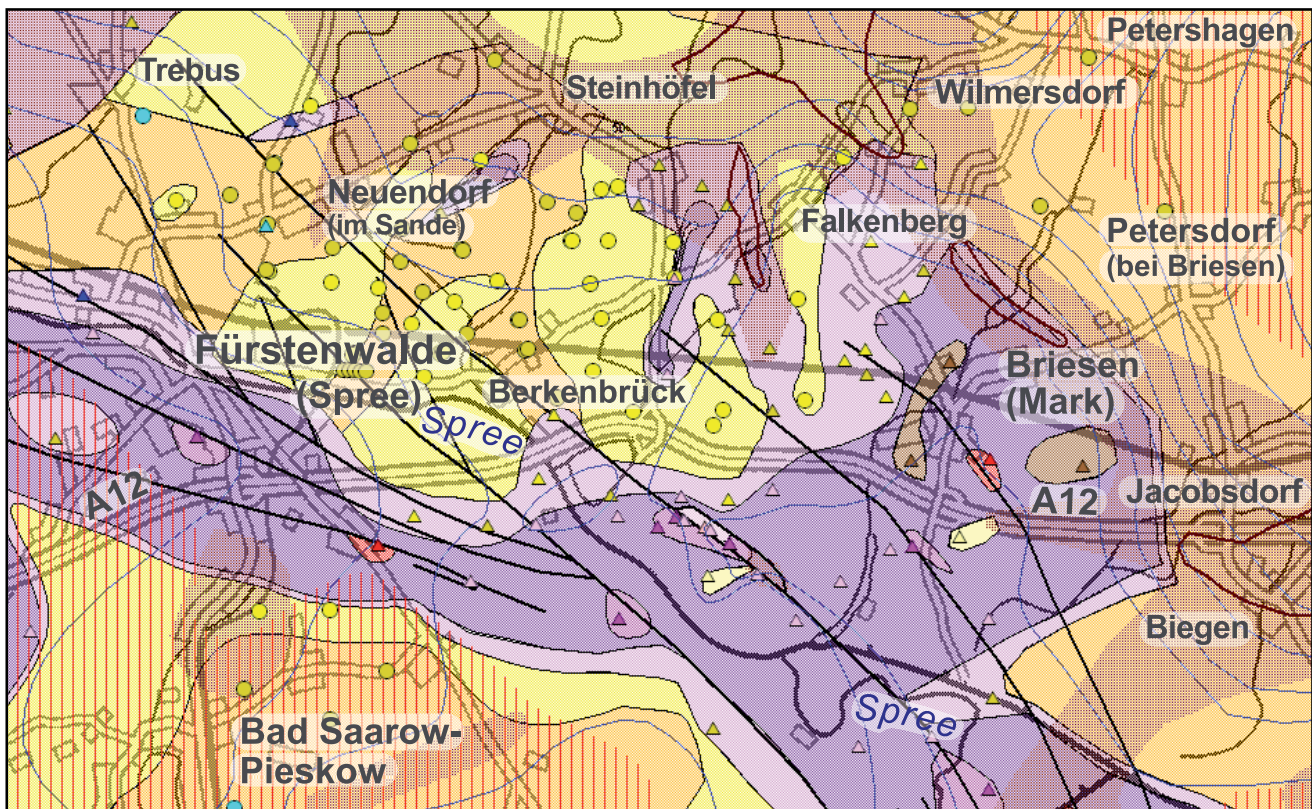


Abb. 4: Ausschnitt aus einer hydrogeochemisch-genetischen Detailkarte für einen miozänen Grundwasserleiter (GWLK 3 nach MANHENKE, HANNEMANN & RECHLIN 1995), Legende siehe Anhang

Fig. 4: Detail of a hydrogeochemical-genetic overview (point map) of a miocene aquifer (after MANHENKE, HANNEMANN & RECHLIN 1995), legend see appendix

seinem Weg durch ein Grundwassereinzugsgebiet von den Speisungs-, über die Transitgebiete bis zu den Entlastungsgebieten beschrieben. Im Idealfall wird in Grundwasserfließrichtung angefangen bei den jungen Neubildungswässern (Genese Klasse D11) über die gealterten (Genese Klasse E11) und alten Neubildungswässer (Genese Klasse F11) bis hin zu den statischen Wässern (Genese Klasse G11) der Reifeprozess des Grundwassers und somit auch das zunehmende Alter deutlich. Aufgrund der begrenzten lateralen Erstreckung der Einzugsgebiete ist der Entwicklungszyklus häufig nicht vollständig ausgebildet. Die Entwicklung endet im Bereich der Entlastungsgebiete dann bereits bei den gealterten bzw. den alten Neubildungswässern.

Neben der lateralen Entwicklung („Alterung“) innerhalb eines GWL lassen sich diese Prozesse auch in der Vertikalen über mehrere GWL hinweg beobachten. Die Speisung der tiefen bedeckten GWL erfolgt über „geologische Fenster“ oder analog wirkende geologische Strukturelemente. Auf seinem Weg in die Tiefe durchläuft das Grundwasser den bereits oben beschriebenen Entwicklungsprozess, so dass in den tiefen bedeckten GWL bereits gealterte oder alte Neubildungswässer ankommen. Die laterale Entwicklung in Fließrichtung setzt sich dann in der oben beschriebenen Art und Weise fort. In der Realität existieren nur wenige Bereiche, in denen sich der Grundwasserchemismus ungestört entwickeln kann. Normal sind Störeinflüsse, die

ihre Ursache im Zufließen von Grundwässern mit abweichendem Chemismus aus dem Hangenden oder Liegenden haben.

Die wichtigste **Beeinflussung aus dem Hangenden** besteht im Zutritt jüngerer Grundwässer mit höheren Sulfat- und niedrigeren Hydrogenkarbonatkonzentrationen. Die Reaktionsgleichgewichte stellen sich neu ein und es entstehen Mischwässer mit einem von der normalen Entwicklungsreihe abweichenden Chemismus. Im VALJAŠKO-Diagramm zeigen die daraus resultierenden Lagepunktverschiebungen die jüngeren Wässer an. Häufig sind die aus dem Hangenden zufließenden Wässer anthropogen beeinflusst und bringen zusätzliche SO_4^{2-} -, Cl^- -, K^+ - und z. T. auch NO_3^- -Ionen in das Grundwasser ein. In Abhängigkeit von deren Konzentration können selbständige Genese Klassen [anthropogen beeinflusste junge (Genese Klasse D21), gealterte (Genese Klasse E21) und alte (Genese Klasse F21)] Neubildungswässer unterschieden werden oder aber es entstehen Mischwässer mit atypischen Lagepunkten im Vergleich zum regionalen Umfeld.

Eine **Beeinflussung des Grundwasserchemismus aus dem Liegenden** kann einerseits durch ältere Neubildungswässer, andererseits aber auch durch die Intrusion hochmineralisierter salinärer Tiefenwässer erfolgen. Das Aufdringen dieser Wässer erfolgt unter der Voraussetzung des Vorhandenseins wasserwegsamere Bereiche zwischen den GWL sowie dem Vorliegen eines aufwärts gerichteten Druckgradienten.

Die **älteren Neubildungswässer** sind im Vergleich zum regionalen Background durch geringere Sulfat- und höhere Hydrogenkarbonatkonzentrationen charakterisiert. Auch in diesem Falle stellen sich nach einem Zutritt dieser Wässer in hangende GWL die Reaktionsgleichgewichte neu ein und es entstehen Mischwässer, die im VALJAŠKO-Diagramm einen höheren Entwicklungsgrad zeigen. In Abhängigkeit von der Menge der aufdringenden Wässer im Verhältnis zu den sich im GWL lateral bewegenden Wässern sind Änderungen der Genese Klasse bzw. nur Lagepunktverschiebungen innerhalb einer Genese Klasse möglich (vgl. Abb. 5).

Bei den **salinaren Wässern** muss eine deutliche Trennung zwischen dem Salz- und dem Süßwasserstockwerk gezogen werden, die jeweils durch spezifische Genese Klassen charakterisiert sind (vgl. HOTZAN 2010). Der wichtigste Unterschied zwischen diesen Bereichen besteht darin, dass im Salzwaterstockwerk die Austauschplätze der Sediment-

matrix überwiegend mit Na^+ -Ionen und im Süßwaterstockwerk mit Ca^{2+} -Ionen besetzt sind (VOIGT 1990) und es somit in Wechselwirkung mit dem Grundwasser zu unterschiedlichen Austauschreaktionen kommen kann.

Die im Süßwaterstockwerk verbreiteten salinaren Wässer haben ihren Ursprung im „Salzwaterstockwerk“, d. h. in den Aquiferen, die im Liegenden des als regionaler Grundwasserhemmer wirkenden „Rupeltons“ verbreitet sind. Ihr Aufstieg in das Niveau des Süßwaterstockwerks ist an das gleichzeitige Vorliegen geologisch-struktureller (wasserwegsame Bereiche wie z. B. Randbereiche pleistozäner Rinnen, tektonische Störungen u. a.) und hydrodynamischer (aufwärts gerichteter Potentialgradient) Bedingungen geknüpft. Die Menge der aufdringenden salinaren Wässer variiert in Abhängigkeit von der Druckpotentialdifferenz zwischen den liegenden und hangenden GWL, der flächenmäßigen Ausdehnung der wasserwegsame Bereiche sowie

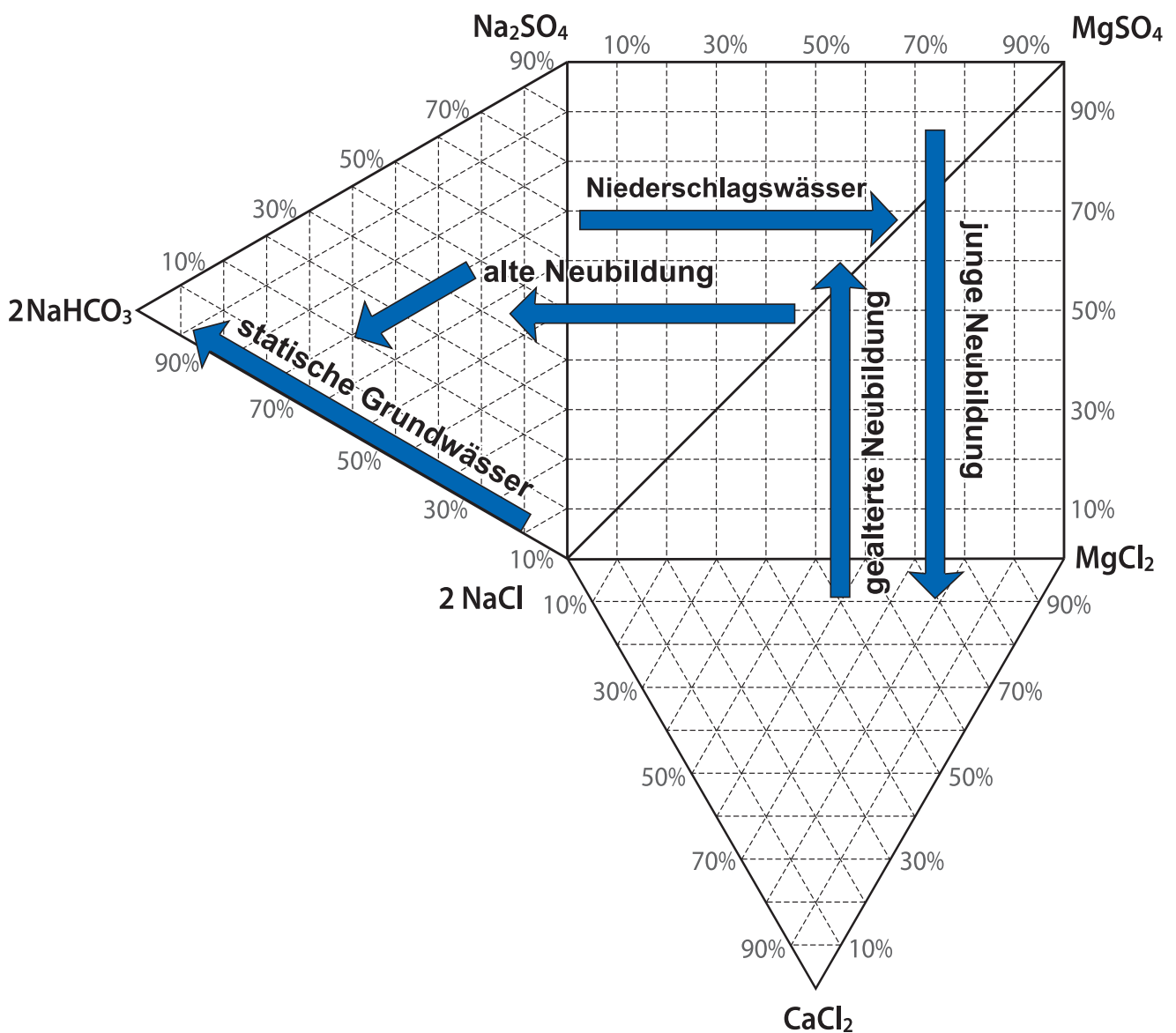


Abb. 5: Lagepunktentwicklungsweg neubildungsbürtiger Grundwässer im VALJAŠKO-Diagramm (aus HOTZAN 2011)
 Fig. 5: Path of development of rechargemental groundwaters in the VALJAŠKO-diagram (HOTZAN 2011)

deren lithologische Ausbildung. Bei Intrusion großer Salzwassermengen kann sich ein „Salzwasserstrom“ ausbilden. Bei geringeren Mengen kommt es zur Ausbildung einer „Salzwasserfahne“ (vgl. HOTZAN 2010). Diese Salzwasserkörper sind durch einen spezifischen zonalen Aufbau, der sich in einer gesetzmäßigen Abfolge der Geneseklassen äußert, charakterisiert. Die Kenntnis der Internstrukturen gestattet es, auf der Grundlage des hydrogeochemisch-genetischen Kartenwerks die Aufstiegs- und Migrationsbahnen salinärer Wässer zu identifizieren und zu verfolgen. Damit wird es möglich, Gefährdungen frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Auch im Niveau des „Salzwasserstockwerks“ kann eine hydrogeochemisch-genetische Karte einen erheblichen Kenntnisgewinn ermöglichen. Insbesondere der direkt unter den bindigen Rupelschichten lagernde Aquifer der Rupelbassissande kann bei abwärts gerichtetem Druckpotentialgradienten (z. B. Salzkissenstrukturen im Bereich von Grundwasserscheiden) erhebliche Beeinflussungen durch das Eindringen von Süßwässern aufweisen. Im Ergebnis dieser Prozesse können Süßwässer bis in diese tiefen bedeckten GWL angetroffen werden.

Darüber hinaus entstehen durch die Lösung sulfatischer und chloridischer Salze aus der Sedimentmatrix spezifische Geneseklassen (Geneseklassen H311, H312, H313), deren Verbreitung mit dem lithologischen Bauplan der kartierten Region korreliert werden kann.

4.4. Grenzen der Aussagefähigkeit und zu beachtende Probleme

Das vorgestellte Kartenwerk liefert in erster Linie qualitative Aussagen bezüglich des Entwicklungsgrades des Grundwassers. Quantitative Aussagen sind nur durch eine Kombination mit Parameterkarten möglich. Dazu existiert eine Reihe von Möglichkeiten. Bei Verwendung eines Geographischen Informationssystems (ArcView, ArcGIS) können die in die Modellrechnung eingegangenen stofflichen Parameter aufschlusskonkret visualisiert werden. Für genetisch relevante Ionen (z. B. SO_4^{2-} , Cl^-) können Isokonzentrationen die hydrogeochemisch-genetischen Karten ergänzen.

Der hydrochemisch-genetische Zustand des Grundwassers ist nur für ein begrenztes Zeitintervall (Stichtagsmessung) korrekt darstellbar. Jede Änderung der hydrodynamischen Verhältnisse bzw. der Speisungsbedingungen kann zur Änderung der Verbreitungsareale der Geneseklassen führen. Die Kartierung sollte deshalb in entsprechenden Zeitschritten wiederholt bzw. aktualisiert werden.

Bei der Unterscheidung der Geneseklassen ist eine bestimmte Subjektivität nicht vollständig auszuschließen. Dies betrifft insbesondere Wässer, die anthropogene Stoffeinträge durch SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ -Ionen erfahren haben. In Abhängigkeit von der Konzentration dieser Ionen im Grundwasser kann es zu Unsicherheiten bei der Bestimmung der Gene-

seklassen kommen (anthropogen beeinflusste oder unbeinflusste Grundwässer). Eindeutig anthropogen beeinflusst sind diejenigen Grundwässer, bei denen die NO_3^- -Konzentration 5 mg/l übersteigt.

Als weiteres Problem, auf das das vorgestellte Genesemodell keine gesicherten Antworten geben kann, stellt die Frage dar, ob Sulfateinträge in das Grundwasser und die dadurch beeinflussten Geneseklassen einen geogenen oder anthropogenen Hintergrund haben. Insbesondere in Niederungsgebieten, die gleichzeitig Entlastungsbereiche darstellen, treffen mehrere potentielle Sulfatquellen zusammen. Häufig stellen die Niederungen landwirtschaftliche Nutzflächen dar, die intensiv bewirtschaftet werden. Im Ergebnis der Düngung kommt es zu Sulfateinträgen in das Grundwasser. Ebenso führt die Zersetzung organischer Substanzen in der Aerationzone, die in den Niederungen weit verbreitet ist (z. B. Degradation von Mooren) zur Freisetzung von SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ -Ionen. Sulfate können ihre Quelle aber auch in hochmineralisierten Tiefenwässern haben, die im Ergebnis der Ablaugung von Gips/Anhydrit aus den mesozoischen oder paläozoischen Schichtenfolgen mit Sulfat-Ionen angereichert werden und in den Entlastungsbereichen bis in die oberflächennahen GWL aufsteigen können. Die Klärung dieser speziellen Sachverhalte ist Isotopenuntersuchungen vorbehalten.

Zur Gewährleistung der Übersichtlichkeit in der Kartendarstellung und der Verdeutlichung grundlegender Entwicklungstendenzen wurden die Geneseklassen der Neubildungsreihe auf vier Klassen beschränkt (junge, gealterte und alte Neubildungs- sowie statische Wässer). Mit dieser relativ groben Klasseneinteilung kann der Entwicklungszustand des Grundwassers mit hinreichender Genauigkeit abgebildet werden, wobei neben den Lagepunkten im VALJAŠKO-Diagramm das Vorhandensein bzw. das Fehlen von bestimmten hypothetischen Sulfatsalzen als Entscheidungskriterium herangezogen wird. Aus der Lagepunktverteilung innerhalb einer Geneseklasse sind unter Berücksichtigung des Entwicklungsschemas der Geneseklassen (HOTZAN 2011) zusätzliche Informationen bezüglich des Entwicklungsgrades eines Grundwassers ablesbar. Derartige Detailbetrachtungen sind bei großmaßstäbigen Arbeiten, wie z. B. die Kartierung eines einzelnen Grundwassereinzugsgebietes sinnvoll.

Bei GWL mit einer großen Mächtigkeit können in der Vertikalen Wässer verbreitet sein, die unterschiedlichen Geneseklassen zuzuordnen sind (z. B. bei unbedeckten GWL im Hangendbereich junge Neubildungswässer und im Liegendbereich gealterte Neubildungswässer, bei bedeckten GWL im Hangendbereich statische Wässer und im Liegendbereich salinar beeinflusste statische Wässer). Die Lage der Filterstrecke einer Grundwassermessstelle kann somit einen entscheidenden Einfluss auf die Aussage einer Karte haben. Im Rahmen der Bearbeitung ist deshalb eine kritische Prüfung und Wertung der Ergebnisse aus Messstellen angezeigt. Ähnliches gilt für Brunnen – durch deren hydraulische Wirkung (Absenkungstrichter) können Grundwässer

sowohl aus den Hangend-, als auch aus den Liegendbereichen eines GWL herangezogen werden. Die Filterlage repräsentiert in diesem Fall nicht die ursprünglich im GWL verbreitete Genese Klasse.

Zusammenfassung

Mit dem hydrogeochemisch-genetischen Kartenwerk auf der Grundlage des „Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg“ eröffnet sich die Möglichkeit, **qualitativ den stofflichen Entwicklungsprozess von Neubildungswässern** innerhalb eines GWL, aber auch über mehrere GWL hinweg, beginnend von den Speisungs-, über die Transit- bis zu den Entlastungsgebieten, darzustellen. Veränderungen in den Speisungsbedingungen, die sich in Stoffzufuhren aus dem Hangenden oder Liegenden ausdrücken, führen zu Beeinflussungen des Entwicklungsprozesses und finden in der Karte ihren Niederschlag. Somit ergibt sich die Möglichkeit, den **Geschütztheitsgrad eines GWL indirekt zu bewerten** sowie Fehlstellen in den hangenden oder liegenden Deckschichten eines GWL nachzuweisen. Diese Informationen sind nicht nur auf einen einzelnen Aufschluss bezogen, sondern repräsentieren einen größeren Bereich innerhalb eines Einzugsgebietes.

Das vorgestellte hydrogeochemisch-genetische Kartenwerk kann einen wesentlichen Beitrag zur **Einschätzung der Gefährdung von Wasserfassungen durch aufsteigende salinare Wässer** sowie beim Monitoring des Süßwasserstockwerks im Umfeld von Untergrundspeichern leisten. Auf der Grundlage des hydrogeochemisch-genetischen Kartenwerks sind die Aufstiegs- und Migrationsbahnen salinärer Wässer identifiziert und verfolgbar. Damit wird es möglich, Gefährdungen frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Summary

Hydrogeochemical-genetic map series based upon the “Hydrogeochemical Genesis Model of Groundwaters in the Aquifer Complexes of Brandenburg” make it possible to depict qualitatively the substantial development of recharged groundwater through multiple aquifers starting in recharging areas throughout transit areas to the areas of discharge. Changes of the conditions of supply that occur in substantial intake from above or bottom influence this process of development and are shown in this map. Thus there is the possibility to evaluate the degree of protection (or vulnerability) of an aquifer as well as to detect lacks in above or bottom covering layers. These information not only refer to a single point but represent a larger zone within a watershed.

The presented hydrogeochemical-genetic mapping may provide a contribution to evaluate endangerment of groundwater capture by uprising saline waters as well as to moni-

tor aquifers surround underground storage structures. On the base of hydrogeochemical-genetic mapping pathways of uprising and migration of saline waters can be identified and trailed. Thus it becomes possible early to discover endangerments and to initiate counteraction.

Literatur

- DVWK Regeln zur Wasserwirtschaft 128/1992: Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben. – 36 S., Hamburg, Berlin (Paul Parey)
- GLANDER, H., SCHIRRMAYER, W. & J. ZIESCHANG (Red.) (1974): Hydrogeologische Übersichtskarte der DDR 1 : 200 000/Hydrogeochemische Rayonierung und Gesamtmineralisation des Süßwasserbereiches/Obere Mineralwassergrenzfläche (Süß-/Salzwassergrenze). – Zentrales Geologisches Institut (Hrsg.), Berlin
- HÖLTING, B. (1992): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 415 S., Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag)
- HOTZAN, G. (2010): Genetische Grundwassertypen der Binnenversalzung, ihre Klassifizierung und Erscheinungsformen. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **17**, S. 39 – 53, Cottbus
- 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**, S. 77 – 91, Cottbus
- JORDAN, H. & H. - J. WEDER (Hrsg.) (1988): Hydrogeologie. – 444 S., Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie)
- MANHENKE, V., HANNEMANN, M. & B. RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **2**, 1, S. 12, Kleinmachnow
- MATTHES, G. (1994): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – 499 S., Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger)
- 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, Kleinmachnow
- RECHLIN, B., HOFFKNECHT, A., SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen

-
- SARATKA, J. & H. GLÄSSER (1969): Hydrogeologische Übersichtskarte der Deutschen Demokratischen Republik 1 : 200000/Hydrochemische Karten Chloride und Gesamthärte. – Zentrales Geologisches Institut (Hrsg.), Berlin
- SYDYKOV, Z. S. & K. M. DAVLETGALIEVA (1974): Gidrokimičeskie klassifikacii i grafiki (Hydrochemische Klassifikationen und Diagramme). – 137 S., Alma-Ata (Izd. Nauka)
- VALJAŠKO, M. G. (1961): Geochemie der Halokinese. – In: Sb. Tr. geol. Fakut. Moskau, Isdat. mosk. Univ. (russ.)
- VOIGT, H.-J. (1990): Hydrogeochemie - Eine Einführung in die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers. – 310 S., Heidelberg, Berlin (Springer)
- WAGNER, F., BEER, A., BROSE, D., BUDZIAK, D., CLOS, P., DREHER, T., FRITSCHKE, 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“. – 21 S., BGR, Hannover
- ZACHOW, G. & H. LÖFFLER (1985): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsnachweis Blankenburg 1983. – VEB Hydrogeologie, BT Schwerin, 71 S., 8 Anl., Schwerin (unveröff.)

Anschrift des Autors:

Gehard Hotzan
Landesamt für Bergbau, Geologie
Und Rohstoffe Brandenburg
Inselstr. 26
03036 Cottbus
gerhard.hotzan@lbgr.brandenburg.de


Legende zur hydrogeochemisch-genetischen Karte

hydrogeochemisch-genetische Charakteristik von Einzelaufschlüssen


Symbol Geneseklasse Bezeichnung


junge Uferfiltratwässer

junge, unbeeinflusste Uferfiltratwässer

 B11 junge Uferfiltratwässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung

junge Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung

 B21 junge Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung


 B22 junge Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung durch bergbauliche und industrielle Nutzung

junge Uferfiltratwässer mit geogener Beeinflussung


 B31 junge Uferfiltratwässer mit geogen-salinärer Überprägung


gealterte Uferfiltratwässer

gealterte, unbeeinflusste Uferfiltratwässer

 C11 gealterte Uferfiltratwässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung

gealterte Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung

 C21 gealterte Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung


 C22 gealterte Uferfiltratwässer mit anthropogener Beeinflussung durch bergbauliche und industrielle Nutzung

gealterte Uferfiltratwässer mit geogener Beeinflussung




 C31 gealterte Uferfiltratwässer mit geogen-salinärer Überprägung

junge Neubildungswässer





junge, unbeeinflusste Neubildungswässer

 D11 junge Neubildungswässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung

junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung


-  D21 junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung
-  D22 junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch bergbauliche und industrielle Nutzung
-  D24 junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch Deponien

junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung




-  D31 junge Neubildungswässer mit geogen-salinärer Beeinflussung
-  D32 junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch Pyritverwitterung
-  D33 junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch holozäne anmoorige Sedimente
-  D34 junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch „sauren Regen“ (Versauerung)

gealterte Neubildungswässer


gealterte, unbeeinflusste Neubildungswässer

-  E11 gealterte Neubildungswässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung

gealterte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung

-  E21 gealterte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung
-  E22 gealterte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch bergbauliche und industrielle Nutzung
-  E24 gealterte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch Deponien

gealterte Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung

-  E31 gealterte Neubildungswässer mit geogen-salinärer Beeinflussung

alte Neubildungswässer**alte, unbeeinflusste Neubildungswässer**

- F11 alte Neubildungswässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung

alte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung

- F21 alte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung

alte Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung

- ▲ F31 alte Neubildungswässer mit geogen-salinärer Beeinflussung

statische Grundwässer**statische, unbeeinflusste Grundwässer**

- G11 statische Grundwässer, unbeeinflusst

statische Grundwässer mit geogener Beeinflussung




- ▲ G31 statische Grundwässer mit geogen-salinärer Beeinflussung

salinare Grundwässer des Süßwasserstockwerks

- ▲ I311 saline Ablaugungswässer
- ▲ I312 saline alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)
- ▲ I313 saline erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)
- ▲ I32 saline gealterte erdalkalisierte Wässer (gealterte saline Intrusion)
- ▲ I33 saline gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)
- ▲ I34 saline Gleichgewichtswässer

salinare Grundwässer des Salzwasserstockwerks

- ▲ H311 saline Ablaugungswässer
- ▲ H312 saline alkalisierte Ablaugungswässer
- ▲ H313 saline erdalkalisierte Ablaugungswässer
- ▲ H314 saline reduzierte Wässer
- ▲ H321 erdalkalisierte Formationswässer I


-  H322 erdalkalisierte Formationswässer II
-  H323 erdalkalisierte Formationswässer III
-  H33 salinare Regenerationswässer

hydrogeochemisch-genetische Charakteristik von Flächen

Hangendbereich eines Grundwasserleiters

Symbol Geneseklasse Bezeichnung


junge Uferfiltratwässer

 B11, B21, B22 junge Uferfiltratwässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung


gealterte Uferfiltratwässer

 C11, C21, C22 gealterte Uferfiltratwässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung


junge Neubildungswässer

 D11, D21, D22, D24 junge Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung


junge Grundwasserneubildungswässer mit geogener Beeinflussung

 D32 junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch Pyritverwitterung

gealterte Neubildungswässer

 E11, E21, E24 gealterte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung


alte Neubildungswässer

 F11, F21 alte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung






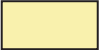
statische Grundwässer

	G11	statische Grundwässer, unbeeinflusst
---	-----	--------------------------------------









Grundwässer mit geogen-salinärer Beeinflussung

	B31, C31, D31, E31, F31, G31	junge und gealterte Uferfiltratwässer, junge, gealterte und alte Neubildungswässer, sowie statische Grundwässer mit geogen-salinärer Beeinflussung
---	------------------------------	--


salinare Grundwässer**salinare Grundwässer des Süßwasserstockwerks**

	I311	salinare Ablaugungswässer
	I312	salinare alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)
	I313	salinare erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)
	I32	salinare gealterte erdalkalisierte Wässer (gealterte salinare Intrusion)
	I33	salinare gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)
	I34	salinare Gleichgewichtswässer

salinare Grundwässer des Salzwasserstockwerks

	H311	salinare Ablaugungswässer
	H312	salinare alkalisierte Ablaugungswässer
	H313	salinare erdalkalisierte Ablaugungswässer
	H314	salinare reduzierte Wässer
	H321	erdalkalisierte Formationswässer I
	H322	erdalkalisierte Formationswässer II
	H323	erdalkalisierte Formationswässer III
	H33	salinare Regenerationswässer

Liegendbereich eines Grundwasserleiters**gealterte Neubildungswässer**

	E11, E21, E24	gealterte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung
---	---------------	--

alte Neubildungswässer



F11, F21

alte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung

statische Grundwässer



G11

statische Grundwässer, unbeeinflusst

Grundwässer mit geogen-salinärer Beeinflussung



B31, C31, D31, E31, F31, G31

junge und gealterte Uferfiltratwässer, junge, gealterte und alte Neubildungswässer, sowie statische Grundwässer mit geogen-salinärer Beeinflussung

salinare Grundwässer des Süßwasserstockwerks



I311

salinare Ablaugungswässer



I312

salinare alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)



I313

salinare erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)



I32

salinare gealterte erdalkalisierte Wässer (gealterte saline Intrusion)



I33

salinare gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)



I34

salinare Gleichgewichtswässer

Grundwasserdynamik



Isohypsen der Grundwasseroberfläche



Unterirdische Einzugsgebiete von Wasserfassungen

geologische Strukturelemente



Fehlstellen von Grundwasserhemmerkomplexen im Hangenden des GWL



Fehlstellen von Grundwasserhemmerkomplexen im Liegenden des GWL



pleistozäne Rinnenstrukturen



glazigene Stauchungsgebiete



tektonische Störungen