

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	24 (2017), 1/2	S. 7–16	5 Abb., 2 Tab., 23 Zit.
------------------------------	---------	----------------	---------	-------------------------

Geogene Versalzung von Grundwasserleitern in Brandenburg

Geogenic salinization in aquifers of Brandenburg

DIETMAR BROSE & ANGELA HERMSDORF

1 Exkurs

Dieser Beitrag gibt eine allgemeine Einführung in die Salz-wasserproblematik im Land Brandenburg und erläutert wichtige geologische Grundlagen sowie die Aufstiegsmechanismen salinärer Tiefenwässer in das Süßwasserstockwerk des norddeutschen Tieflandes. Die in diesem Band folgenden Beiträge befassen sich detailliert mit den Methoden der salinaren Früherkennung, der Beschreibung von Erkundungsmethoden der Süß-/Salzwassergrenze im Untergrund und der Modellierung der Ausbreitung von Salzwasserfahnen sowie den diesbezüglichen Monitoringsystemen im Land.

Das Auftreten von Versalzungserscheinungen in unserer Region wird immer noch als geologische Besonderheit angesehen. Jedoch beschäftigten sich bereits seit dem 19. Jahrhundert Botaniker intensiv mit den an der Erdoberfläche vorkommenden Salzstellen im küstenfernen Bereich des Binnenlandes. Aufmerksam geworden durch die für brandenburgische Verhältnisse untypische Flora, kartierten sie halophytische sowie halophile Pflanzen und untersuchten auch teilweise die Salzgehalte im Boden und im Wasser. Hauptsächlich KLÖDEN (1828) und ASCHERSON (1859) waren im 19. Jahrhundert wegbereitend und bemüht, eine vollständige Erfassung der Salzstellen im Land Brandenburg zu erreichen. Anfang des 20. Jahrhunderts erfolgte durch ASCHERSON (1912) eine weitere Dokumentation, die dann vor allem in den 1960er Jahren und später durch MÜLLER-STOLL & GÖTZ (1962, 1993) erweitert wurde. Aktuell sei auf das EU-LIFE-Projekt (NUL 2010) in Brandenburg verwiesen, welches sich mit den hydrogeologischen, bodenkundlichen und botanischen Grundlagen sowie den Maßnahmen zur Erhaltung oberflächennaher Salzwasseraustritte beschäftigt.

Im genannten EU-LIFE-Projekt ist versucht worden, sich mit der Begrifflichkeit „Versalzung“ auseinander zu setzen (HERMSDORF 2010). Jedoch sind die damaligen diskutierten Ansätze von DAVIS & DE WIEST (1967) sowie GRUBE & WICHMANN (2000) für Brandenburg unpraktikabel. Zum einen kann das Grundwasser bei diesen Festlegungen bereits eine erst schwache geogene Versalzung aufweisen. Zum anderen

ist es für weiterführende Arbeiten wichtig, die Früherkennung der Grundwasserversalzung zu forcieren, um bei unerwünschten Entwicklungen wasserwirtschaftlich entsprechend reagieren zu können. Mittlerweile kann man davon ausgehen, dass sich die ausschließliche Berücksichtigung der Konzentrationsbetrachtungen von Chlorid (Cl⁻) oder auch Sulfat (SO₄²⁻) überholt hat, diese jedoch weiterhin als Orientierungs- oder Schwellenwerte dienen können. Wichtiger sind neben Konzentrationsüberlegungen in der Lösung nunmehr die Bewertung der Anteile hypothetischer Salze hauptsächlich von Natriumchlorid (NaCl) und Kaliumchlorid (KCl) sowie die Betrachtung von Salinarverhältnissen und -koeffizienten wie das Genetische Grundverhältnis (GGV) und der Salinar Matrix Koeffizient (SMK; RECHLIN 2008).

Obwohl die Versalzung durch die NaCl-Wässer in Brandenburg prägend ist, treten auch Calciumsulfat (CaSO₄) beeinflusste Salzwässer wie z. B. im Gebiet des Salzstockes Blankensee in Mittelbrandenburg auf. Eine generelle Ausnahme bilden Wässer mit einem hohen prozentualen Anteil von Calciumchlorid (CaCl₂ > 10 %), mit erhöhtem eigendynamischen Druckpotential (Salzwasserartereser), die direkt aus dem Salzwasserstockwerk aufsteigen (RECHLIN & LEHMANN 1982).

In Brandenburg kann als Indikator für eine geogene Versalzung des Grundwassers die Über- bzw. Unterschreitung der in Tabelle 1 genannten Parameter herangezogen werden. Diese Orientierungswerte beruhen auf langjährigen Erfahrungen mit dem Programm GEBAH (RECHLIN et al. 2010).

Parameter	Wert	Einheit
Cl ⁻	> 15	mg/l
Berechnungssalz NaCl	> 15	%
GGV	< 0,1	-
SMK	≤ 1	-

Tab. 1: Orientierungsanzeiger für salinare Stoffeinträge im Süßwasserstockwerk in Brandenburg

Tab. 1: Indicator of saltwater intrusion of freshwater aquifers

Diese Parameter müssen im Zusammenhang betrachtet werden, die Anwesenheit von „anthropogenen Salzen“, wie Streu- und Siliersalze ist vorher auszuschließen.

2 Hydrogeologische Rahmenbedingungen von geogenen Salzwasserintrusionen in das Süßwasserstockwerk

Geogene Versalzungen in den Süßwasser führenden Grundwasserleitern (GWL) entstehen in Norddeutschland durch die Intrusion von Meerwasser (marine Versalzung) und den Aufstieg von hoch mineralisierten Tiefenwässern und Salzstockablaugungen (geogene Versalzung). Tiefenwasseranstieg und Salzstockablaugungen werden als Binnenversalzung zusammengefasst, die auch für den Brandenburger Raum typisch sind (Abb. 1). Für das Land Brandenburg fungiert hauptsächlich der unteroligozäne Rupelton als Haupttrennhorizont zwischen dem hoch mineralisierten Tiefenwasserstockwerk und den oberflächennahen, Süßwasser führenden Grundwasserleiterkomplexen (GWLK) der tertiären und quartären Lockergesteine (Abb. 1; HERMSDORF 2006). Nur in der Lausitz übernehmen ältere Tonmergelsteine (meist Keuper) diese trennende Funktion. Die Oberfläche des Rupeltons, der durchschnittlich 80–100 m Mächtigkeit erreicht, liegt bei ca. -200 bis -100 m NN. Durch erosive Gletscheraktivitäten bzw. deren Schmelzwässer und/oder halokinetische Bewegungen der Salzstrukturen wurden Schwächezonen bis hin zu Fehlstellen im Rupelton (u. a. LIMBERG et al. 2016) geschaffen, die es ermöglichen, dass die salinaren Tiefenwässer auf Grund ihres Druckgradienten aufsteigen können. Kommen hydraulisch wirksame Vorflutsysteme als Entlastungsgebiete hinzu, kann sogar die Gelän-

doberfläche erreicht werden, wie zahlreiche Binnensalzstellen dokumentieren. Auch die Druckentlastungen durch Wasserwerksbetrieb begünstigen den Aufstieg von geogenen Tiefenwässern in den beeinflussten Einzugsgebietsteilen.

Der glazialeustatische und -isostatisch dirigierte Einfluss der Weltmeere auf die Dynamik und Zusammensetzung des Grundwassers in unserem Raum wurde mit dem o. g. Aufbau terrestrischer Sedimentfolgen zunehmend differenziert und modifiziert. Dem „hydrogeologischen Hauptzyklus“ wurden mächtigkeits-, relief- und stoffabhängige regionale Zyklen zugeordnet oder aufgesetzt (ZIESCHANG 1974). Sie waren und sind nur noch entfernt vom Niveau des Meeresspiegels, dafür aber zunehmend von der Relief- und Vorflutsituation und vom Klima abhängig. Neubildungsgebiete (Druckaufbaugebiete) stehen regionalen Niederungsgebieten (Entlastungszonen) gegenüber. Abhängig von Höhenunterschieden, Lagerungsverhältnissen und geohydraulischen Wirkungskräften können in diesen Entlastungsgebieten ergiebige Grundwasseraustritte oder Liegendspeisungen auftreten. Hierbei kommt der Betrachtung der Grenzfläche zwischen Süß- und Salzwasser und somit dem hydrostatischen Gleichgewicht eine entscheidende Bedeutung zu. BADON-GHYBEN (1889) und HERZBERG (1901; beide in ZIESCHANG 1974) beschrieben damals bereits diesen Zustand quantitativ, so dass die Position der Grenzfläche berechnet werden kann. Dieses sogenannte BGH-Prinzip lässt sich theoretisch zwar berechnen, jedoch nur schwer in die Natur übertragen. Weiterhin wird sich mit diesen hydraulischen Phänomenen in verschiedener Literatur auch bis zur heutigen Zeit beschäftigt (HAN-NEMANN & SCHIRRMESTER 1998, GRUBE et al. 2000), wobei es eine Herausforderung für die hydraulische Modellierung ist, derartige Tiefenwässeraufstiege plausibel nachzuvollziehen.

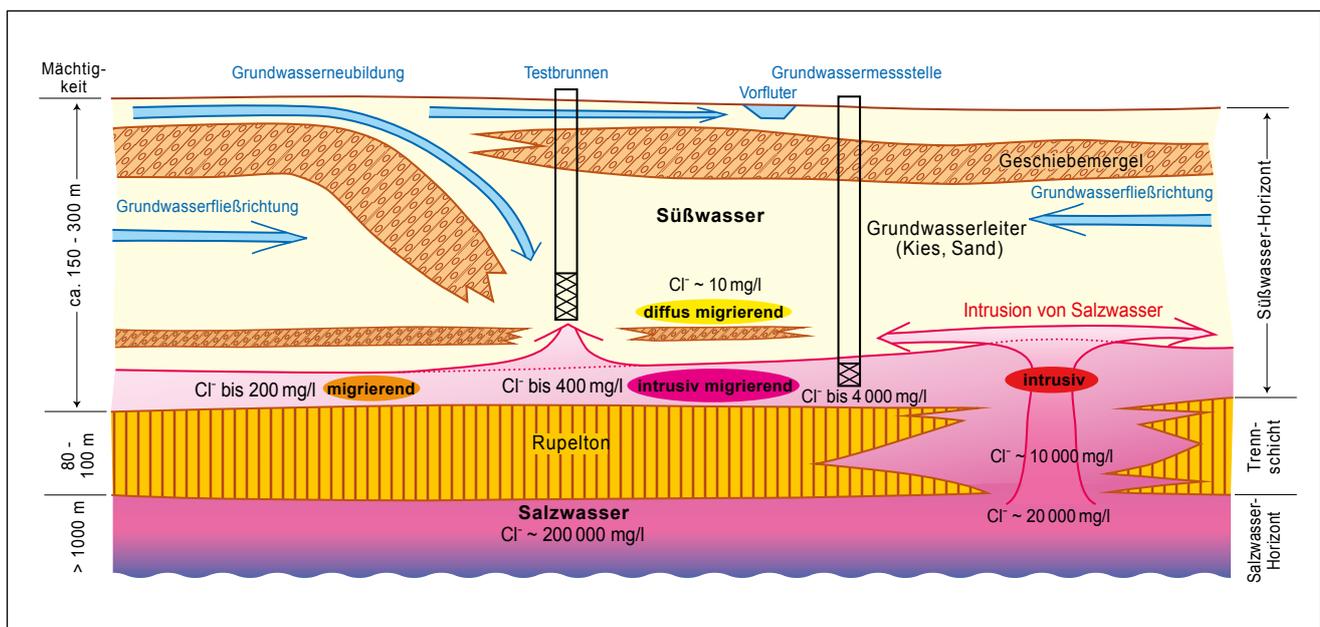


Abb. 1: Prinzipskizze Salzwaterintrusion (Vortrag RECHLIN 2005, leicht verändert nach HERMSDORF 2010 und ergänzt durch BROSE 2017)

Fig. 1: Schematic figure shows the principal process of saltwater intrusion.

So sprechen GRUBE et al. (2000) von Untersuchungen tieferer GWL, die gegenüber genutzten GWL ein sehr hohes Druckpotenzial aufweisen. Sie beschreiben die Dynamik der Süß-/Salzwassergrenze mit den entsprechenden wirksamen Einflussfaktoren, wie u. a. die Nähe zur Salzstruktur, Morphologie, Grundwasserneubildung, Wasserwegsamkeiten und Durchflussmengen. In den damaligen Berechnungen wird bei einem Anstieg oder Absenken des Süßwasserpotenzials um 1 m von einer Erniedrigung bzw. Hebung der Süß-/Salzwassergrenze von 38 m ausgegangen.

Technische Eingriffe, wie Grundwasserabsenkungen sowohl in Brunnen aber auch bei Grundwasserhaltungsmaßnahmen im Rahmen von Bauvorhaben können aufgrund der Druckentlastung im Bereich des Absenkungstrichters, insbesondere im Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche, Änderungen in der Beschaffenheit nach sich ziehen (u. a. Sulfat- und Nitratbelastungen). Diese künstlichen Druckentlastungen können ähnlich wie in Niederungsgebieten in geogenen Schwächezonen den Aufstieg von salinaren Tiefenwässern induzieren, so dass die Süß-/Salzwassergrenze angehoben wird. Bei einer radialsymmetrischen Anströmung findet die maximale Anhebung dieser Grenze direkt unter einem Brunnen statt, da hier die größte Entlastung erfolgt. Es entsteht also unter dem Absenktrichter des Entnahmebrunnens ein sogenannter „Upconing“ (Abb. 2). Aufgrund des niedrigeren hydraulischen Potenzials im Brunnenzentrum strömt das Wasser aus den umliegenden Bereichen in das Brunnenzentrum. Gleichzeitig aber kommt es auch zu einem Aufstieg des tiefergelegenen Salzwassers. Diese Aufwärtsbewegung des Salzwassers lässt sich nur vermeiden, indem ein entsprechendes Gegengewicht zu dem aufgestiegenen Salzwasser aufgebaut wird, z. B. durch

Reinfiltration eines Teilstromes des Förderwassers unterhalb der betroffenen Brunnen.

3 Hydrogeochemisch-genetische Bewertungsmethoden zur Früherkennung von Salzwasserintrusionen

Insbesondere für die Früherkennung der Versalzungsmechanismen im Süßwasserstockwerk wurde beginnend im damaligen Landesamt für Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) das Genesemodell entwickelt (RECHLIN 1997), dessen Arbeiten im jetzigen Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) kontinuierlich fortgeführt werden. Voraussetzung für eine frühzeitige Identifizierung von Anteilen salinärer Wässer ist die konzentrationsunabhängige Betrachtung des Grundwassers, um auch schon in geringen Mineralisationsbereichen (< 300 mg/l) etwaige Aufsalzungserscheinungen im süßwasserführenden Grundwasser ermitteln und gegebenenfalls rechtzeitig Abwehrmaßnahmen entwickeln zu können.

Die Grundlage für die Entwicklung des Genesemodells bildete das Geochemische Typendiagramm von VALJAŠKO u. a. (1961), das ursprünglich für die Bewertung hochkonzentrierter Lösungen und den aus ihrer Eindunstung entstehenden Salzgesteinen entwickelt wurde. Dies geschah in der damaligen Sowjetunion vor dem Hintergrund der Untersuchungsarbeiten für die Kalisalz erkundung. Die erfolgreiche Anwendung des Verfahrens auf das geringer mineralisierte Süßwasserstockwerk erfolgte durch RECHLIN etwa ab 1980. So konnte mit dem VALJAŠKO-Konzept auf der Grundlage genauer Kenntnisse der hydrogeologischen Verhältnisse

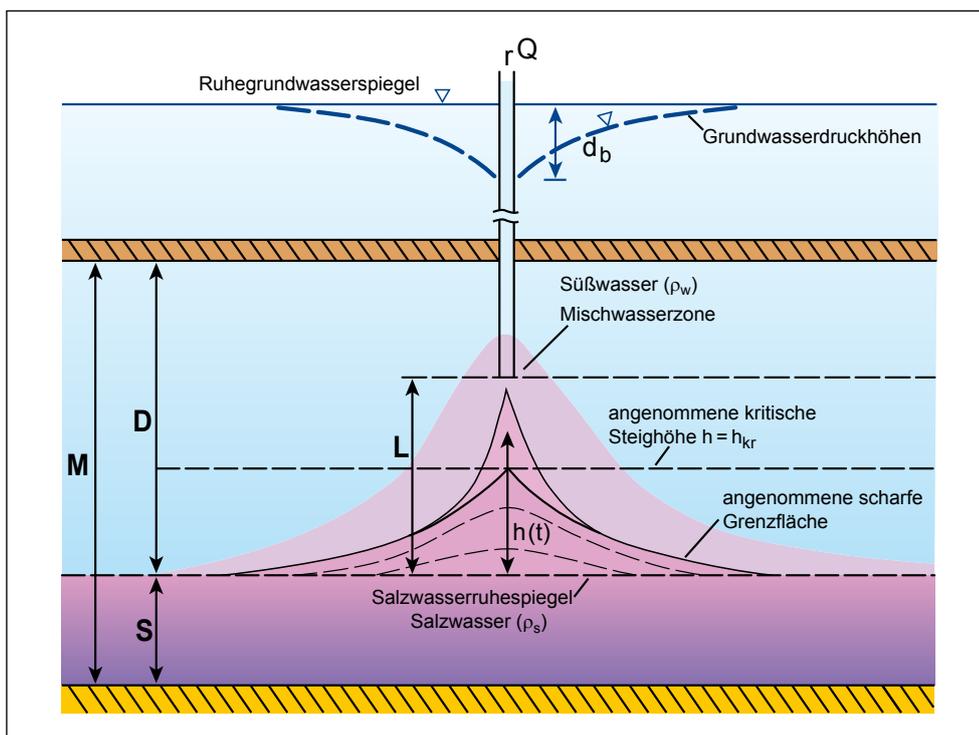


Abb. 2:
Salzwasseraufstieg unter einem Vertikalbrunnen (nach PANTELEIT 2004)
 M – Mächtigkeit der Grundwasserleiterkomplexe (GWLK) gesamt in m;
 S – Mächtigkeit des Salzwasser beeinflussten Grundwassers in m;
 D – Mächtigkeit des unbeeinflussten Grundwassers in m;
 L – Abstand Salzwasserspiegel – Unterkante Filterrohr in m;
 r^Q – geförderte Menge in Zeiteinheit;
 d_b – Absenkungstrichter in m;
 $h(t)$ – Anstieg des Salzwasserspiegels in Zeiteinheit

Fig. 2:
Saltwater upconing beneath a pumping well (after PANTELEIT 2004)

der Einzugsgebiete untersuchter Wasserwerke eine deutlich bessere Beurteilung der hydrogeochemischen Situation und daraus abgeleiteter Speisungsanteile der Grundwasservorkommen erreicht werden. Im Ergebnis dessen erfolgte die Erarbeitung erster Grundsätze der Betriebsweise von salinar gefährdeten Wasserwerken und deren Test in der Praxis (RECHLIN 1987).

Die Anwendbarkeit dieser Herangehensweise wurde 1986 letztendlich durch die Erarbeitung eines Förderregimes für das durch Salzwasserintrusion im Jahre 1983 in Teilen nicht mehr förderfähige Wasserwerk (WW) Potsdam „Leipziger Straße“ nachgewiesen. Durch die genetische Identifizierung der nutzbaren Süßwasseranteile aus aktueller Grundwasserneubildung und des Ufer- und Seebodenfiltrats sowie der statischen nicht oder nur noch eingeschränkt am Wasserkreislauf teilnehmenden Grundwasservorkommen konnte der Einfluss der salinaren Wässer auf den genutzten Hauptgrundwasserleiter auch bei großer Verdünnung schon sicher beurteilt werden. Auf dieser Grundlage wurde der Weiterbetrieb dieses WW sogar mit Steigerung der Bedarfsspitzen ohne wesentliche qualitative Beeinträchtigungen gesichert (RECHLIN 1987). Aufbauend auf diese sehr positiven Ergebnisse erfolgte die Weiterentwicklung zum Genesemodell, das nunmehr grundwassergenetische Indikatoren auf der Basis von hypothetischen Berechnungssalzen nutzt.

Die nach der LBGR-Nomenklatur (MANHENKE et al. 1995) ausgehaltenen GWLK weisen entsprechend der geologischen Lagerungsverhältnisse typische Ionenzusammensetzungen der Wässer auf, mit deren Hilfe eine genetische Typisierung vorgenommen werden kann. Im Genesemodell erfolgt eine Berechnung der in dissoziierter Form vorliegenden Hauptinhaltsstoffe des Grundwassers im Lockergestein (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe/Mn (gelöst), Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- sowie der N-Komponenten) zu hypothetischen Salzen entsprechend der Löslichkeit ihrer Ionenverbindungen. Neben der Konzentrationsunabhängigkeit liegt der Vorteil der Methodik darin, dass für die Berechnungen im Wesentlichen die nach den jeweils geltenden gesetzlichen Vorschriften ohnehin zu erhebenden o. g. Hauptparameter für die Grundwasseranalytik verwendet werden. Für eine sichere genetische Interpretation müssen allerdings generell sehr hohe Genauigkeitsanforderungen an die Analytik [Abweichung der Ionenbilanz (e) i. d. R. $\leq 1\%$] gewährleistet werden, die in der Laborpraxis auch im Routinebetrieb nachweislich sichergestellt werden können. Insbesondere bei Gesamtmineralisationen $< 300 \text{ mg/l}$ ist die Einhaltung dieser Prämisse unverzichtbar.

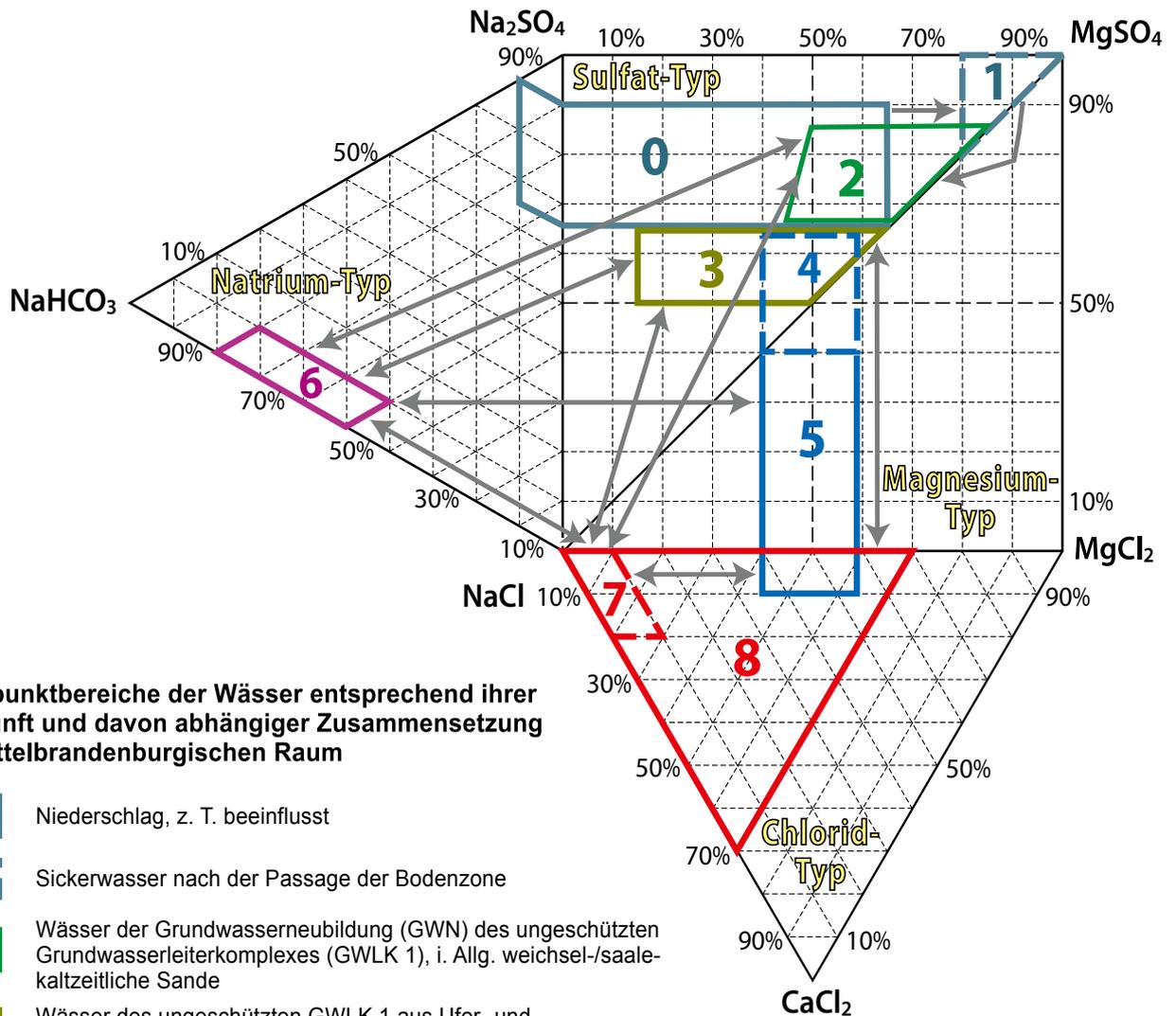
Die Zuordnung der Wässer zu genetischen Grundtypen (Abb. 3) erfolgt nach den Verhältnissen der Moläquivalente der Karbonat- und Sulfationen zu den Moläquivalenten der Calcium- und Magnesiumionen. Eine ausführliche Beschreibung der Grundtypen (Natrium-, Sulfat-, Magnesium- und Chlorid-Typ) sowie der Berechnungsmatrix der Lagepunkte im Typendiagramm nach VALJAŠHKO u. a. (1961) findet sich in RECHLIN (1997). Die Eckpunkte des Diagramms werden durch die jeweils leichtlöslichen Salze des entsprechenden

Grundtyps gekennzeichnet, aus deren prozentuaem Verhältnis zueinander der Lagepunkt in diesem resultiert. Da das Verhältnis dieser Salze je nach Zusammensetzung der Wässer variieren kann, kommen verschiedene Lagepunkte in diesem Diagramm zustande, die somit unterschiedlichen empirisch ermittelten Speisungsanteilen zugeordnet werden können. Den gemeinsamen Eckpunkt aller Grundtypen bildet das Salz NaCl . Dieser Eckpunkt erlangt somit die entscheidende Bedeutung bei der Bewertung der Intensität der salinaren Stoffeinträge.

Mit dem Genesemodell nach RECHLIN ist es möglich, die Herkunft der Grundwässer im Lockergestein zu identifizieren, weiterhin können unter Berücksichtigung des Grundwasserfließgeschehens indirekt Aussagen zu den geologischen Lagerungsverhältnissen und daraus ableitbar zum Geschütztheitsgrad der Grundwasserleiter auch zwischen einzelnen Bohraufschlüssen bei geringer Erkundungsdichte getroffen werden (Abb. 4).

Der GWLK 1 wird durch neubildungsgeprägte Wässer charakterisiert, die Sulfat angereichert sind (bestimmend ist das hypothetische Salz CaSO_4), entsprechend des Auftretens auch der leichter löslichen Sulfat-Salze Na_2SO_4 und MgSO_4 werden diese Wässer im Genesemodell dem Sulfat-Typ zugeordnet. Auf seiner Passage durch den Untergrund unterliegt das Grundwasser vielfältigen hydrogeochemischen Prozessen. Im Ergebnis dessen seien beispielhaft die Kalium-Sorption, Sulfat-Reduktion und die Anreicherung der Erdalkalien Calcium und Magnesium (Kationenaustauschprozesse) genannt, die das Auftreten bestimmter hypothetischer Salze bedingen. Die so „gealterten“ Wässer sind vor allem durch das Salz $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ gekennzeichnet und befinden sich im Genesemodell entweder im Magnesium-Typ (Erdalkalisierung bedingt das Auftreten des Salzes MgCl_2) bzw. im Natrium-Typ (Sulfatreduktion mit zunehmender Abnahme von CaSO_4 und das gemeinsame Auftreten der Salze Na_2SO_4 sowie NaHCO_3). Diese Wässer finden sich vor allem im Liegenden des GWLK 1 sowie im GWLK 2 (Abb. 4). Grundwässer der GWLK 2 und GWLK 3, die durch mächtige bindige Deckschichten abgeschirmt sind und nicht mehr dem aktuellen Wasserkreislauf unterliegen, sind dagegen nahezu sulfatfrei. In diesen meist statischen i. d. R. sehr gering mineralisierten Grundwässern werden die Kationen vollständig durch Hydrogenkarbonat aufgebraucht (Auftreten von NaHCO_3). Bei fehlendem Sulfat befinden sich die Lagepunktbereiche dieser Wässer auf der NaHCO_3 - NaCl -Achse des Natrium-Typs im Genesemodell.

Angemerkt werden muss, dass Wässer mit massiven anthropogenen Stoffeinträgen in nahezu allen Grundtypen des Genesemodells auftreten können, wobei hier die Lagepunktbereiche von Süßwasservorkommen im Chlorid-Typ (charakteristisch für das Salzwasserstockwerk) erste diesbezügliche Hinweise liefern können. Deshalb ist bei der hydrogeochemisch-genetischen Bewertung der Grundwasservorkommen eine Recherche der Flächennutzung im Einzugsgebiet unter Einbeziehung der geologischen Lagerungsverhältnisse unabdingbar.



Lagepunktbereiche der Wässer entsprechend ihrer Herkunft und davon abhängiger Zusammensetzung im Mittelbrandenburgischen Raum

- 0 Niederschlag, z. T. beeinflusst
 - 1 Sickerwasser nach der Passage der Bodenzone
 - 2 Wässer der Grundwasserneubildung (GWN) des ungeschützten Grundwasserleiterkomplexes (GWLK 1), i. Allg. weichsel-/saalekaltzeitliche Sande
 - 3 Wässer des ungeschützten GWLK 1 aus Ufer- und Seebodenfiltrat
 - 4 Wässer im Liegenden des GWLK 1 bzw. im Bereich hydrogeologischer Fenster zwischen GWLK 1 und GWLK 2
 - 5 Wässer mit längeren Aufenthaltszeiten ("ältere GWN") des geschützten GWLK 2
i. Allg. saalekaltzeitliche Sande
 - 6 gut geschützte Wässer des GWLK 3 ohne bzw. nur mit geringen Anteilen von GWN
i. Allg. elsterkaltzeitliche und tertiäre Sande
 - 7 sehr gut geschützte, hoch mineralisierte Wässer des Tiefenwasserstockwerks (TWS 1)
i. Allg. Rupelbasissande, Aquifere von Kreide, Jura, Trias
 - 8 sehr gut geschützte, hoch mineralisierte Wässer des TWS 2, i. Allg. intrasalinare Restlaugen des Röt, Zechstein
- ↔ Entwicklungen der Lagepunkte auf dem Transportweg der Wässer nach ihrer Herkunft bzw. den Lagerungsverhältnissen

Abb. 3: Hydrogeochemisches Genesemodell der Grundwasserleiter des Landes Brandenburg (nach RECHLIN 1997)
 Fig. 3: Hydrogeochemical Genesis Model of aquifers of Brandenburg (after RECHLIN 1997)

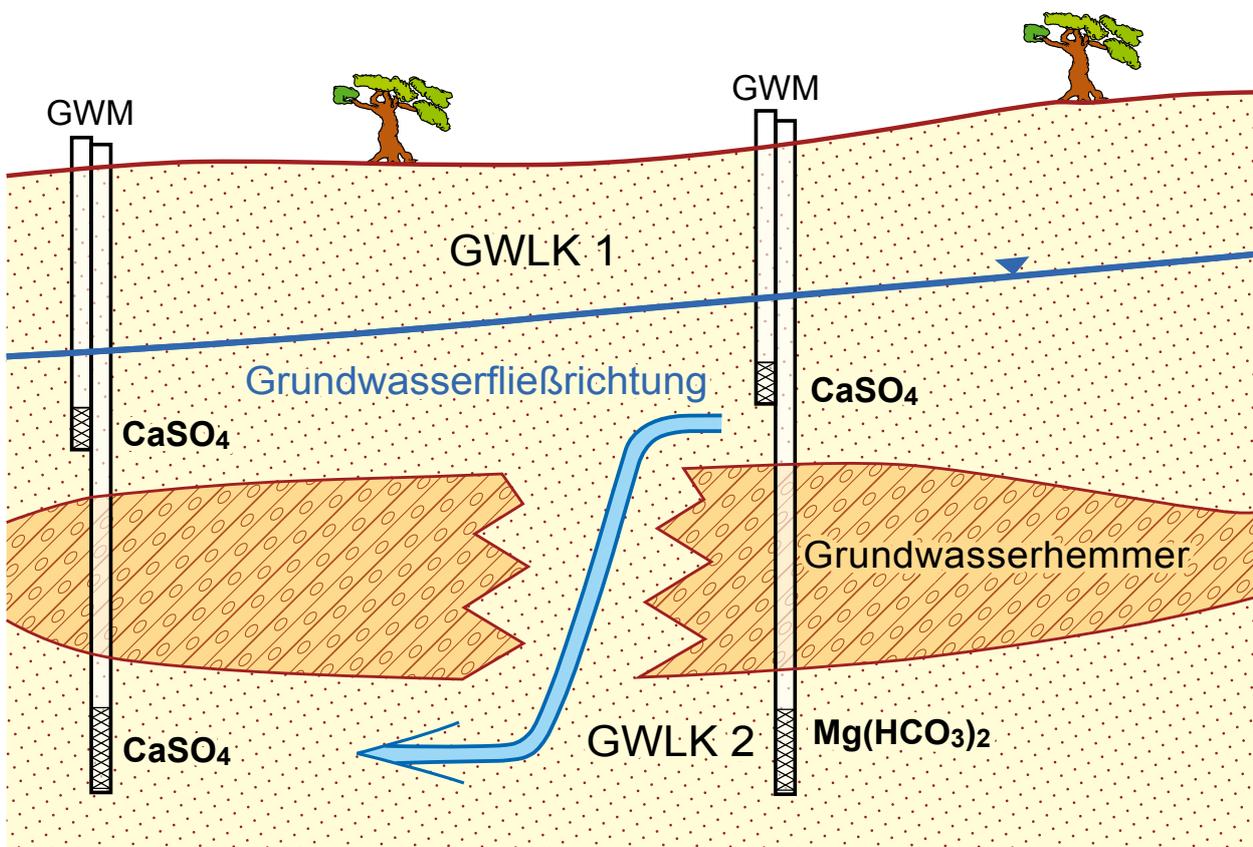
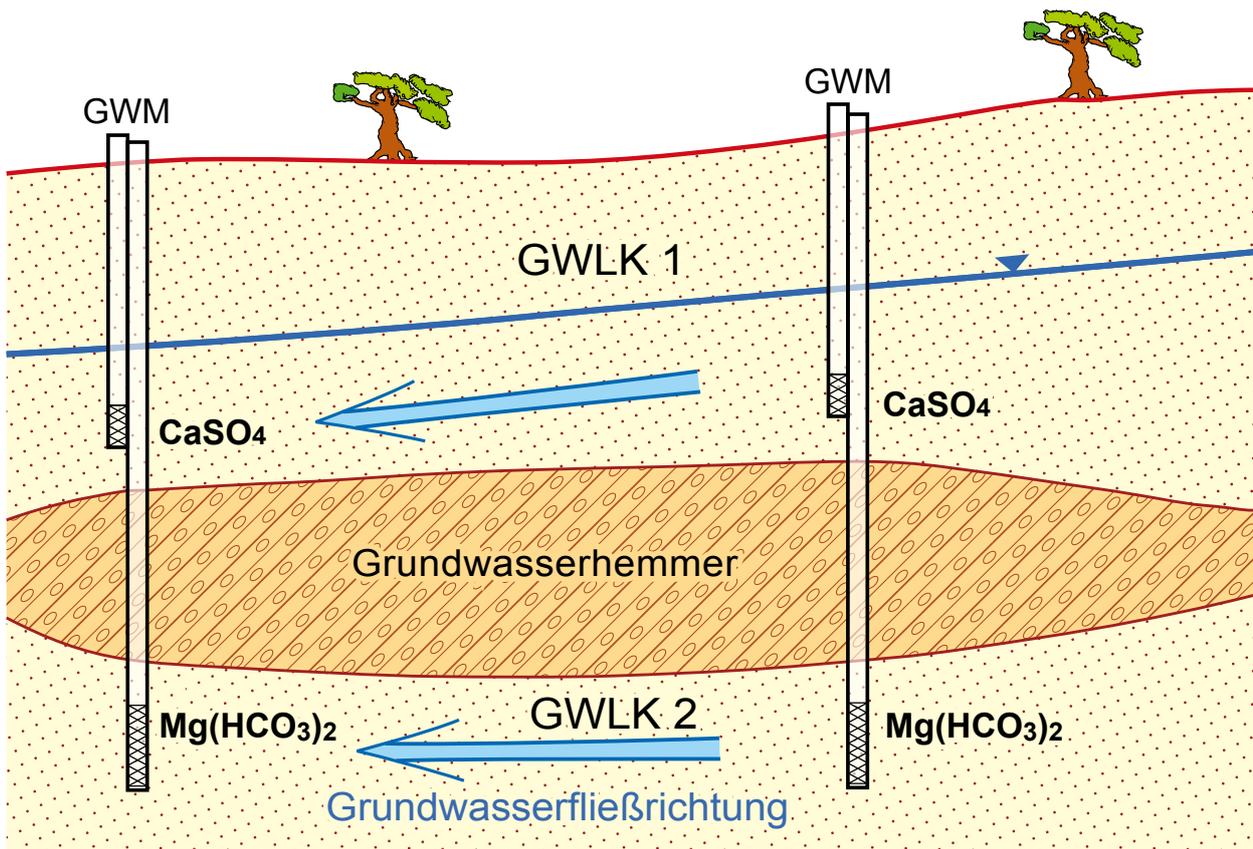


Abb. 4: Möglichkeiten der genetischen Identifizierung der Speisungsbedingungen von GWLK;
 GWM = Grundwassermessstelle, GWLK = Grundwasserleiterkomplex

Fig. 4: Possibilities of genetic identification of origin of groundwater in aquifers

HERMSDORF (2010) weist auf die Klärungsmöglichkeit der Verbreitung von hydraulisch wirksamen Transportbahnen im Grundwasserleiter hin.

Das Lagepunkt-konzept nach VALJAŠKO u. a. (1961) wurde durch RECHLIN (2008) um das GGV und SMK erweitert, die unabhängig von der Konzentration und der geochemischen Typisierung im Zusammenhang betrachtet eine sichere Trennung von salinar und nicht salinar beeinflussten Wässern ermöglichen. Sie bilden damit für die Bewertung von Wässern in Hinsicht auf die Identifizierung und Zuordnung salinärer Stoffeinträge die wichtigsten Koeffizienten. Ihre Darstellung erfolgt weiterhin in einem modifizierten VALJAŠKO-Diagramm, das als praxisnahe Grundlage für die Interpretation der Berechnungsergebnisse herangezogen werden kann. Anhand der Matrixkombination von Lagepunkt und GGV erfolgt darüber hinaus eine Klassifizierung des Intrusionspotenzials einer Salzwasserfahne und Charakterisierung ihrer Mobilität von diffus-migrierend nach migrierend über intrusiv-migrierend bis hin zu intrusiv (Abb. 1).

Die Früherkennung geogener Salzwasserintrusionen spielt insbesondere für die Sicherstellung der Versorgung von qualitätsgerechtem Trinkwasser eine entscheidende Rolle.

Die Herleitungen des Genesemodells finden sich in der Programmierung der anwenderorientierten Software GEBAH (RECHLIN et al. 2010) wieder, die seit 2011 durch die Firma GCI GmbH im Auftrag des LBGR vertrieben und in diesem Band im Beitrag von D. BROSE näher erläutert wird. Für die Praxis steht somit eine effektive Überwachungsmethode bei der Bewirtschaftung der Grundwasserlagerstätten zur Verfügung.

4 Einsatz von GEBAH bei großen Datenmengen für die Identifizierung salinärer Wässer

Im Rahmen der fortlaufenden Bewertung der Rohwasserbeschaffenheit der WW im Land Brandenburg, welche seit 2003 durch das jetzige Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU) durchgeführt wird, konnte erstmals 2013 eine Auswertung von Massendaten mit der Software GEBAH erfolgen. Insbesondere im Teilprojekt 8a (HYDOR 2015) wurde sich intensiv mit den Versalzungen in den Brunnen von WW auseinandergesetzt.

Mit GEBAH können für die Auswertung von Versalzungsercheinungen Felder zur „Anwesenheit salinärer Wässer vom Halit-Typ in der Lösung“ und „Intrusionspotenzial salinärer Wässer vom Halit-Typ“ selektiert werden, die eine Einstufung zur Intensität einer salinaren Beeinflussung der Grundwässer in den Brunnen oder Grundwassermessstellen (GWM) zulassen. Mit Hilfe des GGV, das bei nicht eindeutigen Fällen hinzugezogen wurde, konnte im Ergebnis dieser Auswertung eine fünfstufige Klassifizierung entwickelt werden, um die Daten der über 5 500 Analysen effizienter handhaben zu können (Tab. 2).

Aufgrund der Inhomogenität der Anzahl der Analysen pro WW (zwischen 1 und 50), die nach eingehender Fehlerbetrachtung und Selektion ($e = < 5\%$) zur Verfügung standen, musste noch eine weitere praktikable Abschätzung für die konkrete Einstufung gefunden werden. Es wurden sechs Klassen gebildet, wobei die Klassen 1 und 2 auf geogen salinare Einflüsse bzw. derartige Hinweise schließen ließen. Die $\geq 10\%$ Anteile dieser Analysen pro WW waren ausschlaggebend für die Einstufung einer Versalzung oder Anzeichen einer Versalzung. Zusammenfassend leitete sich aus diesen Rahmenbedingungen das in Abbildung 5 dargestellte Fließschema ab.

Anwesenheit salinärer Wässer vom Halit-Typ in der Lösung	Intrusionspotenzial salinärer Wässer vom Halit-Typ	GGV	Fünfstufige Ergebnis-Klassifizierung
ja	mittel, hoch, sehr hoch	n. b.	geogen-salinar beeinflusst
wahrscheinlich; möglich	gering, sehr gering	n. b.	Hinweise auf geogen-salinare Beeinflussung
n. b.	gering, sehr gering	0,05–0,1	
n. b.	gering sehr gering	> 0,1	nicht geogen-salinar beeinflusst
nein; unwahrscheinlich	ohne	n. b.	
keine Berechnung möglich	keine Berechnung möglich	n. b.	bisher keine Bewertung möglich, weitere Untersuchungen notwendig
alle anderen Fälle		n. b.	Widerspruch in Anwesenheit salinärer Wässer und Intrusionspotential

Tab. 2: Fünfstufige, analysenbezogene Klassifizierung der GEBAH-Ergebnisse (HYDOR 2015); „n. b.“ = nicht berücksichtigt

Tab. 2: Five-step analytical classification of results from GEBAH model (HYDOR 2015); „n.b.“ = not included

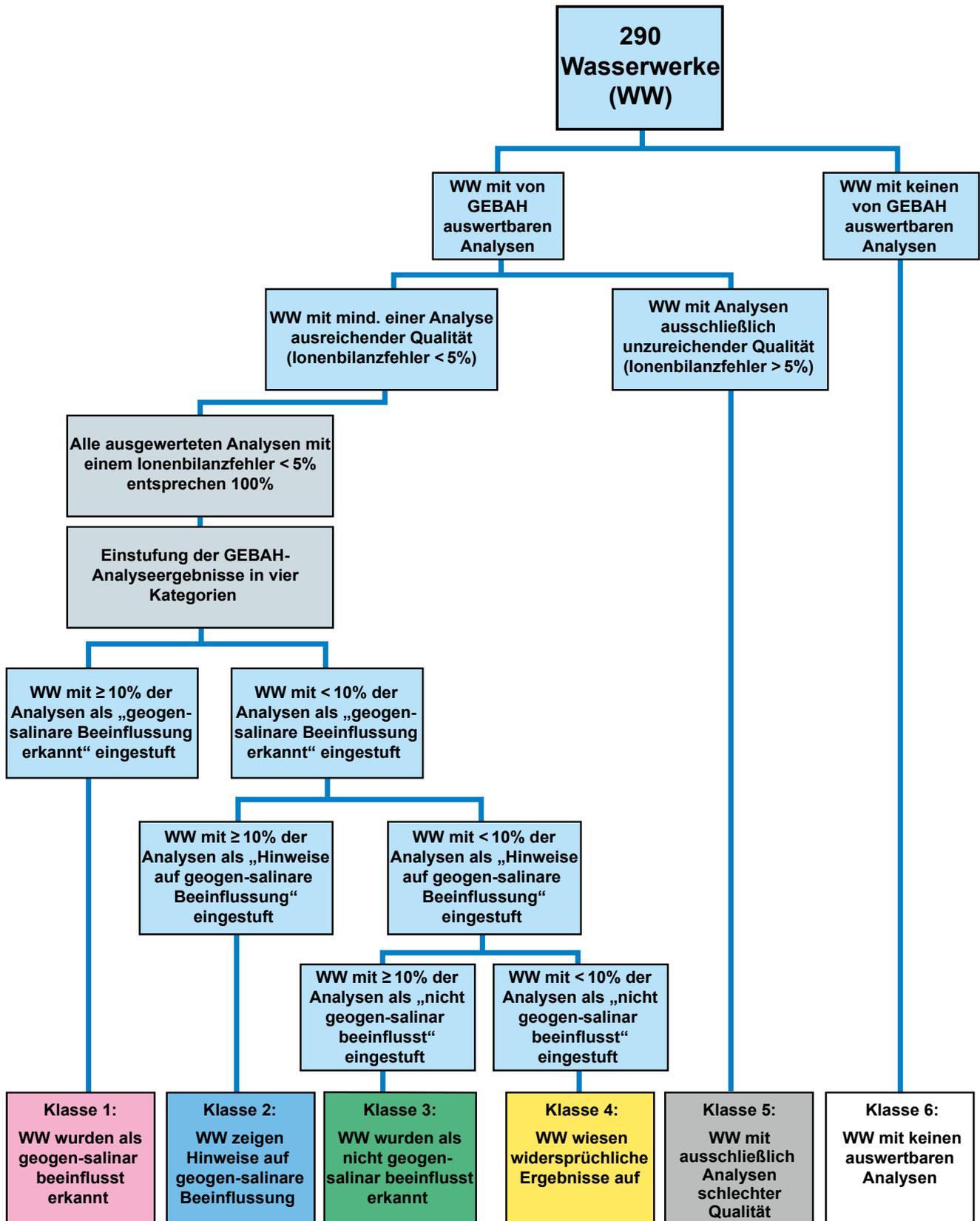


Abb. 5: Fließdiagramm zur Ausweisung der Salzwassereinflüsse für die Wasserwerke (HYDOR 2015)

Fig. 5: Flow chart for the identification of saltwater influences for waterworks (HYDOR 2015)

Insgesamt konnten so ca. 290 der derzeit 435 WW hydrogeochemisch-genetisch mit GEBAH bewertet werden. Von diesen 290 ließen sich 54 % (über 150 WW) den Klassen 1–2 zuordnen, konkret gehören 59 WW der Klasse 1 also „geogen salinar beeinflusst“ an. Die rein schematische Herangehensweise birgt natürlich auch Fehler in sich. So wurde davon ausgegangen, dass die im GEBAH für Versalzung herangezogenen Felder „Anwesenheit salinärer Wässer vom Halit-Typ in der Lösung“ und „Intrusionspotenzial salinärer Wässer vom Halit-Typ“ abhängig von einander auftreten. War dies nicht der Fall, wurde diese Analyse in die Klasse 4 als Widerspruch deklariert. Im Anschluss an diesen Bericht konnten in Zusammenarbeit mit dem LBGR durch Recherche der hydrogeologischen Verhältnisse diese Widersprüche geklärt werden.

Die hier vorgestellte Methode soll einen pragmatischen Lösungsansatz für die Auswertung von vielen Analysen (z. B. > 5 000 Datensätze) aufzeigen, der mit Hilfe des Salinarfeldes in GEBAH gut unterlegt werden konnte. In der nächsten Bewertung der WW hinsichtlich salinärer Einflüsse soll die hier beschriebene Methodik noch weiter verfeinert werden. Neben der Beobachtung der geogenen Beeinflussung von Brunnen oder des Einzugsgebietes von WW werden im Land auch verschiedene Grundwassermonitoringsysteme durch die Nutzung vorhandener aber auch den Neubau von GWM an exponierten Standorten betrieben. Das LBGR arbeitet weiterhin an der Ertüchtigung von Methoden zur Früherkennung etwaiger Salzwasseraufstiegsbahnen aus dem Liegenden in süßwasserführende Horizonte, das betrifft insbesondere den tieferen quartären (saale- oder elsterkaltzeitliche GWL) und tertiären Untergrund. Beispielhaft seien hier die GWM mit Mehrfachausbau Spreenhagen, Biegenbrück und Müllrose (vgl. auch den Beitrag BEDNORZ & BROSE in diesem Band) genannt. Das LfU errichtete 2005 (HANNAPPEL et al. 2007) ein Monitoring zur Beobachtung möglicher Salzwasseraufstiege im wasserwirtschaftlich relevanten Hauptgrundwasserleiter, für die erstmalig Ergebnisse in HERMSDORF & PYRITZ (s. Beitrag in diesem Band) vorgestellt werden.

Danksagung

Für die freundliche Durchsicht des Manuskriptes bedanken wir uns bei Herrn Berthold Rechlin, Potsdam.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag gibt einen Überblick zur geogenen Binnenversalzung im Land Brandenburg und die ablaufenden Prozesse und Möglichkeiten der hydrogeochemisch-genetischen Identifizierung von Salzwasseraufstiegsbahnen. Diese Erkenntnisse sollen in Zusammenhang mit den folgenden Beiträgen letztendlich dazu dienen, vor allem bei salinärer Beeinflussung von Wasserfassungsstandorten entsprechend frühzeitig durch die Optimierung/Anpassung der Fahrweise

und Standorte von Brunnengalerien/Einzelbrunnen reagieren und gegensteuern zu können.

Summary

This paper provides an overview about the geogenic inland salinization happening in Brandenburg and introduces the relevant processes and opportunities for the hydrochemical-genetic identification of flow paths with rising saltwater. Those insights, in combination with further contributions are finally supposed to allow the detection of saline impacts on water catchment areas to react with premature optimization/adjustments in the operation mode of well galleries/single wells and to take suitable counter-measures.

Literatur

- ASCHERSON, P. (1859): Die Salzstellen der Mark Brandenburg, in ihrer Flora nachgewiesen. – Zeitschr. Dt. geolog. Ges. **11**, S. 90–100, 1 Karte
- ASCHERSON, P. (1912): Verzeichnis der in ihrer Flora bekannten Salzstellen der Provinz Brandenburg. – Jb. preuß. geol. Landesanst. **32**, S.494–496
- DAVIS, S. N. & R. J. M. DE WIEST (1967): Hydrogeology. – 2. Aufl., 463 S., New York i. e. (Wiley)
- GRUBE, A., WICHMANN, K., HAHN, J. & K. NACHTIGALL (2000): Geogene Grundwasserversalzung in den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. – Veröff. aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Bd. 9, 203 S.
- HANNAPPEL, S., RIETZ, C., KOSECK, R., POHL, S., HOTZAN, G. & A. HERMSDORF (2007): Aufbau des Sondermessnetzes Geogene Grundwasserversalzung in Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **14**, 1, S. 5–14
- HANNEMANN, M. & W. SCHIRRMESTER (1998): Paläohydrogeologische Grundlagen der Entwicklung der Süß-/Salzwassergrenze und Salzwasseraustritte in Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **5**, 2, S. 61–72
- HERMSDORF, A. (2006): Überblick zur Grundwasserversalzung im Land Brandenburg. – Bericht Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, 12 S., Kleinmachnow (unveröff.)
- HERMSDORF, A. (2010): Überblick über die Grundwasserversalzung im Land Brandenburg und ihre Spezifikation für die Binnensalzstellen. – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg **19**, 1/2, S. 9–15
- HYDOR (2015): Erfassung belastungsrelevanter Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Branden-

- burg. – Bericht zum Teilprojekt 8a, Zeitraum 2011–2013, 87 S., Berlin (unveröff.)
- KLÖDEN, K. F. (1828): Beiträge zur mineralogischen und geognostischen Kenntnis der Mark Brandenburg 1–5. – Programm zur Prüfung der Zöglinge der Gewerbeschule, 90 S., Berlin
- LIMBERG, A., JONAS, O. & A. KOLBERG (2016): Detektion möglicher Fehlstellen im Rupelton durch Messung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit in tiefen Grundwassermessstellen im Land Berlin. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **23**, 1/2, S. 11–15
- MANHENKE, V., HANNEMANN, M. & B. RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr. **1**, S. 12
- MÜLLER-STOLL, W. R. & H. G. GÖTZ (1962): Die Märkischen Salzstellen und ihre Flora in Vergangenheit und Gegenwart – Wiss. Z. Päd. Hochschule Potsdam, Math-naturwiss. R **7**, 1/2, S. 243–296
- MÜLLER-STOLL, W. R. & H. G. GÖTZ (1993): Vegetationskarten von Salzstellen Brandenburgs. – Verh. Bot. Ver. Berlin-Brandenburg **126**, S. 5–24
- NUL (2010): Binnensalzstellen in Brandenburg. – Natur- und Landschaftspflege in Brandenburg, Beiträge zu Ökologie, Natur- und Gewässerschutz **19**, 1/2, 119 S.
- PANTELEIT, B. (2004): Geochemische Prozesse in der Salz-Süßwasserübergangszone. – Berichte FB Geowissenschaften der Universität Bremen **225**, 128 S.
- RECHLIN, B. & LEHMANN, H.-W. (1982): Bericht zu den geologischen und hydrogeochemischen Verhältnissen im Raum Potsdam-Stahnsdorf-Saarmund unter besonderer Berücksichtigung der Nutheniederung südöstlich von Potsdam. – Bericht Rat des Bezirkes Potsdam, Abt. Geologie, 89 Bl., Potsdam (unveröff.)
- RECHLIN, B. (1987): Bericht zu den Untersuchungsergebnissen der hydrochemischen Entwicklung der Brunnengalerien des Wasserwerkes II „Potsdam-Leipziger Straße“ des VEB WAB Potsdam zur Ermittlung von Förderraten als Voraussetzung von Bewirtschaftungsvarianten. – Bericht Rat des Bezirkes Potsdam, Abt. Geologie, 20 Bl., Potsdam (unveröff.)
- RECHLIN, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrogeochemischen Genesemodells der Wässer in den Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). – Brandenburg. geowiss. Beitr. **4**, 1, 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, Izdat. Mosk. Univ. (russ.)
- ZIESCHANG, J. (1974): Ergebnisse und Tendenzen hydrogeologischer Forschung in der DDR. – Z. angew. Geol. **20**, 10, S. 452–457

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Dietmar Brose
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Brandenburg
Dezernat Hydrogeologie
Inselstraße 26
03046 Cottbus
dietmar.brose@lbgr.brandenburg.de

Dipl.-Geol. Angela Hermsdorf
Landesamt für Umwelt Brandenburg
Ref. W15 Altlasten, Bodenschutz, Grundwassergüte
Postfach 60 10 61
14410 Potsdam
angela.hermsdorf@lfu.brandenburg.de