S. 63 - 82

Komplexe hydrogeochemisch-genetische Kartierung zur Einschätzung der Salzwassergefährdung pleistozäner und tertiärer Grundwasserleiter im Raum Storkow-Frankfurt (Oder)-Eisenhüttenstadt

Complex hydrogeochemic-genetic mapping for evaluation of the endangerment of pleistocene and tertiary aquifers by saline waters in the region Storkow-Frankfurt (Oder)-Eisenhüttenstadt

GERHARD HOTZAN & THOMAS VOSS

1 Einleitung

Im Bereich des Berliner Urstromtales sind eine Reihe von Standorten mit Vorkommen salinarer Wässer (die sogenannte Binnenversalzung) bis in oberflächennahe Grundwasserleiter (GWL) bekannt. Die Marstall-Wiesen bei Storkow sowie die Luchwiesen bei Philadelphia sind durch ihre Halophyten-Flora berühmt und wurden im Rahmen des EU-Life-Projektes "Binnensalzstellen Brandenburgs" untersucht (HERMSDORF 2010). Sie sollen durch gezielte wasserbauliche und Pflegemaßnahmen erhalten werden. Auch in kommunalen Wasserfassungen (z. B. Briesen, des Weiteren geplant Müllrose südlich des Oder-Spree-Kanals) sind Beeinflussungen der Wasserqualität durch salinare Wässer nachgewiesen worden. Auch diese werden regelmäßig durch die Wasserversorger und die zuständigen Behörden beobachtet.

Die wirtschaftliche und infrastrukturelle Entwicklung der Region unter den Bedingungen des sich vollziehenden Klimawandels (GERSTENGABE et al. 2003) erfordert in zunehmendem Maße die geologische Erkundung einschließlich der Bewertung von Georisiken. Dabei ist u. a. abzuklären, ob ein verstärkter Aufstieg salinarer Tiefenwässer in süßwasserführende GWL erfolgt. Vor diesem Hintergrund kommt der Kenntnis der natürlichen Verbreitung salinarer Wässer in den pleistozänen GWL eine wachsende Bedeutung zu. Im Weiteren sollen die Ergebnisse einer Methodik vorgestellt werden, die es ermöglicht, den Grundwasserchemismus flächendeckend unter genetischen Gesichtspunkten, d. h. den Charakter und Entwicklungsgrad der Grundwässer, darzustellen sowie die Aufstiegsbahnen und die Verbreitung salinarer Wässer in den süßwasserführenden GWL zu verdeutlichen.

2 Datenbasis und geologisch-hydrogeologischer Kenntnisstand

Die Region Ostbrandenburg wurde seit den 1960er Jahren intensiven geologischen Untersuchungsarbeiten unterworfen. Diese Arbeiten verfolgten das Ziel, Lagerstätten von Erdöl/Erdgas sowie Braunkohle, aber auch Grundwasser nachzuweisen. Bei der Suche nach Erdöl-/Erdgaslagerstätten kam ein Methodenkomplex von gravimetrischen und seismischen Messungen sowie Bohrungen bis in die paläozoische Schichtenfolge (Zechstein) einschließlich deren geophysikalischer Vermessung zum Einsatz.

Die Suche und Erkundung von Braunkohlenlagerstätten umfasste sowohl lagerstättenkundliche als auch hydro- und ingenieurgeologische Aspekte. Jede dieser Aufgabenstellungen erforderte einen spezifischen Methodenkomplex. Die Lagerstättenerkundung erfolgte in erster Linie durch Bohrungen bis zur oligozänen Schichtenfolge, die auch geophysikalisch vermessen wurden. Diese Bohrungen dienten einerseits der Schaffung von Aufschlüssen im Rohstoffkörper, aus denen die Teufenlage, Mächtigkeit und lithologische Ausbildung ersichtlich wurden, andererseits aber auch der Entnahme von Probenmaterial, auf dessen Grundlage die qualitative Rohstoffbewertung vorgenommen werden konnte. Die hydrogeologische Erkundung ist ebenfalls mit dem Niederbringen von geophysikalisch vermessenen Bohrungen bis in das Niveau der mesozoischen Schichtenfolge verbunden (Tesch et al. 1983, Tesch et al. 1987, SLAWINSKI 1990, LEU et al. 1991). In den einzelnen GWL wurden Filter installiert und die Bohrungen zu Grundwassermessstellen (GWM) ausgebaut. Die GWM dienten zum einen der teufenorientierten Gewinnung von Grundwasserproben, die im Weiteren chemisch untersucht wurden und zum anderen der Grundwasserstandsmessung und der Darstellung der Grundwasserdynamik. Darüber hinaus wurden an diesen Aufschlüssen Pumpversuche durchgeführt, die der Ermittlung der hydraulischen Kennwerte (Durchlässigkeit, Transmissivität, Speicherkoeffizient) dienten. Im Ergebnis der Auswertung der gewonnenen Daten wurden die hydrodynamischen und hydrochemischen Rahmenbedingungen für den Aufschluss und die Wasserhaltung eines Tagebaus beschrieben.

Die ingenieurgeologischen Aufgabenstellungen beinhalteten in erster Linie die Einschätzung der Standsicherheit von Tagebauaufschlüssen. Das dazu notwendige Probenmaterial wurde in der Regel aus den Bohrungen der Lagerstättenerkundung gewonnen. Die regionale hydrogeologische Erkundung sowie der Nachweis von Grundwasserlagerstätten wurden in der bereits oben beschriebenen Weise praktiziert (KALATZ 1969, Ludwig & Richter 1974, Hannemann, Schulz & Nillert 1976, Hagen, Grohnke & Emshoff 1980, Ehrhardt, Hodan & WILKE 1980, WEBER 1980, LANGKUTSCH & RUSSKOFF 1982, LANGKUTSCH 1985, MEDON et al. 1986, KALATZ & DIETTERLE 1988). Auch hierbei wurden geophysikalisch vermessene Bohrungen niedergebracht, die zu GWM ausgebaut wurden. Diese dienen in erster Linie der Gewinnung von Primärdaten in Bezug auf die Grundwasserdynamik und den -chemismus sowie die hydraulischen Kennwerte der GWL. Im Rahmen der Auswertung der Daten erfolgen zwei- und dreidimensionale geohydraulische Modellrechnungen, mit denen die Strömungsverhältnisse in den Grundwasserleitern simuliert wurden. Auf dieser Grundlage wurden die Einzugsgebiete von Wasserfassungen abgegrenzt und Trinkwasserschutzgebiete festgelegt. Derartige Untersuchungen liegen derzeitig für die kommunalen Wasserfassungen Fürstenwalde/Berkenbrück, Briesen, Eisenhüttenstadt und Müllrose vor (LEH-MANN & SCHÖPFER 2004, FEHLAUER 2002, ZIESCHE, KOHFAL & HECHT 1999, KUHN 1999).

Die Überwachung von Grundwasserständen und des Grundwasserchemismus ist eine ständige Aufgabe der Umweltund Gesundheitsbehörden auf Landes- und Kreisebene sowie der kommunalen Wasserversorger. So betreibt das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg Messstellennetze zur kontinuierlichen Beobachtung der Grundwasserstände und des Grundwasserchemismus. Mit Sondermessnetzen werden geogene salinare Beeinträchtigungen beobachtet (DUSCHER et al. 2009). Durch die kommunalen Wasserversorger wird regelmäßig die Rohwasserqualität in den Wasserfassungen kontrolliert (DINSE & SELICKO 2010).

Im Ergebnis der oben gennannten Untersuchungsarbeiten liegt für das Betrachtungsgebiet ein guter Kenntnisstand bezüglich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse vor.

Im Zeitraum von 1969 bis 1991wurden hunderte, z. T. geophysikalisch vermessene Bohrungen abgeteuft, als GWM ausgebaut und weit über tausend Wasserproben entnommen und analysiert. Die hydrogeochemisch-genetische Bewertung basiert auf diesem Datenmaterial und repräsentiert das oben genannte Zeitintervall. Die Ermittlung der NaCl-Äquivalente der Altbohrungen für das Betrachtungsgebiet erfolgte durch die Fa. Bohrlochmessung-Storkow GmbH. Die Ergebnisse wurden freundlicherweise von der Vattenfall Europe Mining AG zur Verfügung gestellt (Voss & KLINK 2010).

3 Geologisch-hydrogeologische Situation

Die Darstellung der regionalen geologisch-hydrogeologischen Situation des Betrachtungsgebietes, insbesondere die Gliederung der GWL, basiert hauptsächlich auf den Modellvorstellungen von TESCH et al. (1987) und anderen und kann in folgender Weise skizziert werden: Die Verbreitung der Schichtglieder der mesozoischen Schichtenfolge wird durch salinartektonische Salzkissenstrukturen sowie zu den Mitteldeutschen Hauptabbrüchen zählende tektonische Störungen am Südrand der Norddeutsch-Polnischen Senke (die sogenannte Fürstenwalde-Gubener Störungszone) kontrolliert. Als älteste Ablagerungen des mesozoischen Deckgebirges sind unterhalb der unteroligozänen Rupel-Formation Gipsmergel des Keupers verbreitet. Diese sind hauptsächlich auf die Toplage der Salzkissenstruktur Beeskow-Birkholz, aber auch innerhalb des Störungssystems der Fürstenwalde-Gubener-Störungszone konzentriert. An den Flankenbereichen folgen Sandund Tonsteine des Lias. Großflächig sind im Betrachtungsgebiet Kalkmergel der Oberkreide anzutreffen.

Die Schichtglieder der tertiären Schichtenfolge lagern diskordant auf den mesozoischen Sedimenten. Die Schichtenfolge setzt mit schluffigen Feinsanden der Rupel-Basissande der Rupel-Formation ein. Diese bilden einen GWL, der durch die Verbreitung hochmineralisierter salinarer Wässer charakterisiert ist. Darüber folgen als regionaler Grundwasserstauer (GWS) die Schluffe und Tone der Rupel-Formation. Im Hangenden schließen sich daran die schluffigen, z. T. glaukonitführenden Feinsande der Cottbus-Formation des Oberoligozäns an. Diese repräsentieren im Betrachtungsgebiet den tiefsten süßwasserführenden GWL. Darüber folgen die Mittel- bis Grobsande der Möllin-Schichten des Miozäns, die einen weiteren bedeutenden süßwasserführenden GWL darstellen. Häufig sind die GWL der Cottbus-Formation und der Möllin-Schichten hydraulisch verbunden und bilden einen einheitlichen GWL. Zum Hangenden folgen als GWS-Komplex die Flöze des 3. und 4. Miozänen Flözhorizonts, Wechselfolgen von schluffigen Feinsanden und Braunkohlenschluffen der Möllin-Schichten sowie Braunkohlenschluffe der Malliß-Schichten der miozänen Brieske-Formation.

Einen weiteren wichtigen süßwasserführenden GWL bilden Fein- und Mittelsande der Malliß-Schichten. Als hangender GWS wirken Braunkohlenschluffe miozänen Alters, die Braunkohlenflöze des 2. Miozänen Flözhorizonts sowie in Abhängigkeit vom Erosionsniveau pleistozäne bindige Sedimente.

In der pleistozänen Schichtenfolge, die sich im Betrachtungsgebiet stark generalisiert in die Ablagerungen der Elster-, Saale- und Weichsel-Kaltzeit sowie der Holstein- und Eem-Warmzeit gliedert, wurden sowohl rollige (Fein-, Mittel- und Grobsande, d. h. GWL) als auch bindige Sedimente (Geschiebemergel, Schluffe, d. h. GWS), akkumuliert. Während der Elster-Kaltzeit wurden die Sedimente der tertiären Schichtenfolge lokal sehr tiefgründig erodiert. Die Exarationsrinnen und -wannen können bis in das Niveau der mesozoischen Schichten reichen. Durch die Akkumulation rolliger Sedimente, insbesondere an den Flanken der Ausräumungszonen, bestehen hydraulische Verbindungen zwischen den einzelnen GWL, über die in Abhängigkeit vom Druckgradienten ein vertikaler Grundwasseraustausch stattfindet. Darüber hinaus können die elsterkaltzeitlichen rolligen Sedimente in Abhängigkeit vom Erosionsniveau mit den tertiären GWL einheitliche GWL bilden, die dann den jeweiligen tertiären GWL zugeordnet werden.

Der saalekaltzeitliche GWL-Komplex weist eine großflächige Verbreitung auf und bildet den bedeckten, hauptsächlich wasserwirtschaftlich genutzten Hauptgrundwasserleiter (HGWL) des Betrachtungsgebietes. Die einzelnen GWL werden im Hangenden und Liegenden von als GWS wirkenden Geschiebemergeln und Schluffen der Weichsel- und Elster-Kaltzeit bzw. der Eem- und Holstein-Warmzeit eingerahmt. Die als GWS fungierenden saaleglazialen Grundmoränen des Drenthe- und Warthe-Stadiums bewirken eine interne Differenzierung des GWL-Komplexes.

Der weichselkaltzeitliche GWL ist als jüngster pleistozäner GWL an der Oberfläche anzutreffen. Das Grundwasser ist ungespannt. Auf den Hochflächen wirken weichsel- und saaleglaziale Grundmoränen als liegende GWS. Im Bereich der Urstromtäler sind diese häufig erodiert. Saale- und weichselkaltzeitliche GWL bilden hier einen einheitlichen GWL-Komplex.

4 Methodik der komplexen hydrogeochemisch-genetischen Kartierung

Die Methodik der hydrogeochemisch-genetischen Kartierung wurde in HOTZAN (2012) beschrieben. Die hydrogeochemisch-genetischen Kartierungseinheiten sind Geneseklassen für süß- und salinare Wässer (vgl. HOTZAN 2010, 2011), die auf der Grundlage der Wasseranalysen unter Zuhilfenahme des Programmpaketes GEBAH 1.1 (RECHLIN et al. 2010) ermittelt werden. Die kartenmäßige Darstellung der Ergebnisse erfolgt grundwasserleiterspezifisch, wobei zunächst die einzelnen Aufschlusspunkte in die Karte übertragen werden und anschließend unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Verhältnisse sowie der geologischstrukturellen und tektonischen Rahmenbedingungen die Extrapolation in die Fläche vorgenommen wird.

5 Methodenkomplex zur Ermittlung der NaCl-Äquivalente in Bohraufschlüssen

Bei der Bestimmung der Grundwassermineralisation mit bohrlochgeophysikalischen Messungen wird der Umstand ausgenutzt, dass der elektrische Widerstand eines vollgesättigten reinen Sandes oder Kieses ohne Schluff- oder Tonbeimengungen im Wesentlichen nur von dessen Porosität, d. h. dem Wasseranteil am Gesamtvolumen und dem Gehalt an gelösten Salzen im Porenwasser abhängt.

Bohrlochgeophysikalische Messverfahren zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Gebirgswiderstandes können hinsichtlich der Art der Erzeugung und Messung der elektrischen Felder im Gebirge in zwei Gruppen unterteilt werden. Bei der ersten Gruppe, welche auch die historisch ältere Messtechnologie darstellt, werden elektrische Ströme galvanisch mittels Elektroden in die Bohrlochumgebung eingespeist. Durch unterschiedliche Anordnungen und Abstände der Potenzial- und Stromelektroden an den Bohrlochmesssonden kann die Eindringtiefe des Stromflusses sowie die vertikale Messauflösung variiert werden. Typische Vertreter dieser Messverfahrensgruppe sind das "Elektro-Log" mit zwei standardisierten Elektrodenabständen (z. B. 16"/64" oder 25 cm/100 cm) (EL-KN/-GN), das "Fokussierte Elektro-Log" (FEL) oder das "Laterolog" (LL) (FRICKE & SCHÖN 1999, HEARST, NELSON & PAILLET 2000). Alle galvanisch angekoppelten Bohrlochmessverfahren benötigen aufgrund ihres Funktionsprinzips im Allgemeinen ein offenes, unverrohrtes Bohrloch, das zudem mit Spülung gefüllt sein muss. Hinsichtlich des Bohrungsausbaus flexibler ist die zweite Gruppe der Messverfahren, bei denen der Stromfluss im Gebirge berührungslos durch elektromagnetische Induktion angeregt und registriert wird ("Induktions-Log" – IL) (FRICKE & SCHÖN 1999, HEARST, NELSON & PAILLET 2000). Elektrisch nicht-leitfähige Ausbaumaterialien, wie z. B. Kunststoffe (PVC-U, HDPE), Keramiken oder Holz (OBO) werden von den elektromagnetischen Wechselfeldern problemlos durchdrungen, so dass mittels IL nicht nur offene Bohrlöcher sondern auch Grundwassermessstellen oder Brunnen, die mit diesen Rohrmaterialien ausgebaut wurden, nachträglich auf die Mineralisation aller durchteuften Aquifere hin untersucht werden können. Ähnlich wie bei der ersten Gruppe wird auch bei den induktiven Verfahren versucht, durch verschiedene Spulenanordnungen, Variation der Sendefrequenzen o. ä. die vertikale Auflösung und die Eindringtiefe zu verbessern.

Wie den meisten Bohrlochmessverfahren ist auch den elektrischen Messungen zu eigen, dass sie als Ergebnis eine kontinuierliche bzw. quasi-kontinuierliche (dicht abgetastete) Funktion des gemessenen physikalischen Parameters – also des spezifischen elektrischen Widerstandes – mit der Tiefe liefern. Hierin ist auch der Hauptvorteil gegenüber Beprobungen aus Grundwassermessstellen zu sehen, welche zwar eine Vollanalyse ermöglichen, jedoch nur für den verfilterten Aquiferbereich repräsentativ sind.

Aufgrund des Einflusses des Bohrlochs und der bohrlochnahen Zone (siehe Abb. 1) wird bei Bohrlochmessungen zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Gesteinswiderstandes nie direkt der wahre Gebirgswiderstand $(R_{t=true"})$ bestimmt, sondern immer ein "scheinbarer" Mischwiderstand (R_{a = ,apparent}.) gemessen, der zusätzlich vom Widerstand der Bohrspülung (R_{m = "mud"}), des Filterkuchens (R_{mc = "mudcake"}), der infiltrierten Zone ($R_{inv=,invaded^{cc}}$), des Übergangsbereiches (R_{trans}) sowie der Ausdehnung dieser Zonen (z. B. Bohrlochradius r_b, Radius der infiltrierten Zone r_{xo}) mit beeinflusst wird. Beim Logging in einer Grundwassermessstelle mit IL hat z. B. die Verfüllung des Ringraumes mit Ton oder Ton-Zement-Suspension einen vergleichbaren modifizierenden Einfluss. Eine der Herausforderungen bei der Bestimmung der Grundwassermineralisation besteht daher darin, aus dem "scheinbaren" Mischwiderstand R auf den tatsächlichen, "wahren" Widerstand des Gebirges zu schließen.

In der Bohrlochgeophysik gab es in der Vergangenheit vielfältige Bestrebungen, um das skizzierte Problem (Bestimmung von R_t aus R_a) für die einzelnen Messverfahren zu lösen. Die diesen Lösungen zugrunde liegende analytische oder numerische Mathematik wurde für eine praxistaugli-



Abb. 1: Schalenmodell der lateralen Verteilung des elektrischen Widerstandes in Bohrlochnähe Fig. 1: Shell model of lateral distribution of near borhole electrical resistance

che Anwendung häufig in Nomogrammen bzw. Korrekturtafeln dargestellt, welche die Transformation von R_a in R_t punktuell oder "blockweise" zusammengefasst aus der Messkurve ermöglichen. Neuere Entwicklungen aus dem Erdöl-/Erdgasbereich erlauben auch die softwaregestützte durchgehend-kontinuierliche Transformation der gesamten Messkurve.

Bei der Komplexauswertung der Alt-Bohrlochmessdaten, welche für diese Arbeit zur Kartierung genutzt wurden, kam für die Bestimmung von R, aus R, in den meisten Fällen die bei der Bohrlochmessung-Storkow GmbH bereits seit langem benutzte Methode der "seitlichen Bohrlochsondierung" zum Einsatz, da diese mit den während der damaligen Messkampagnen eingesetzten elektrischen Bohrlochmessverfahren (häufig EL-KN/EL-GN) optimal korrespondiert. Die Anwendung dieser Methode basiert auf der grafischen Auswertung der numerischen Lösung derjenigen mathematischen Funktion, welche die Abhängigkeit des gemessenen spezifischen elektrischen Widerstandes vom Elektrodenabstand sowie von den Verhältnissen r_b/r_{vo} und R_m/R_{inv} beschreibt. Die Lösungen sind als normierte Kurvenscharen in einzelnen Korrekturtafeln verfügbar. Der Filterkuchen (R_{mc}) und die Übergangszone (R_{trans}) werden bei dieser Korrekturmethode vernachlässigt, d. h. die Situation um das Bohrloch wird zu einem "3-Schalen-Modell" vereinfacht.

Zusätzlich muss für die Anwendung dieser Methode der Bohrlochdurchmesser im durchteuften Aquifer aus einer Kalibermesssung und der spezifische elektrische Widerstand der Bohrspülung bekannt sein. Dieser wird entweder mit einer unabhängigen Salinitätsmessung mittels Bohrlochmesssonde (SAL) bestimmt oder – wie vor 1989 häufiger geschehen – anhand einer Probe aus der Spülgrube ermittelt. Beim letztgenannten Vorgehen wird implizit angenommen, dass sich der Spülungswiderstand im Bohrloch aufgrund der vorangegangenen Zirkulation mit der Tiefe nicht wesentlich ändert.

Der Korrekturalgorithmus der "seitlichen Bohrlochsondierung" kommt blockweise, d. h. in ausreichend mächtigen Aquiferbereichen (> 3 m) mit relativ konstanten Widerstandsmesswerten zum Einsatz, die zudem nach Gamma-Ray-Log weitgehend frei von bindigen Beimengungen sein sollten.

Weitere Bearbeitungsschritte, um aus R_t die Porenwassermineralisation abzuleiten, sind im folgenden Flussdiagramm (siehe Abb. 2) skizziert.

Wie bereits erwähnt, ist neben dem Ionengehalt des Grundwassers natürlich der Volumenanteil des Wassers im stromdurchflossenen Gebirgsabschnitt für den gemessenen elektrischen Widerstand entscheidend. Für die Bestimmung der Porosität der durchteuften Aquifere ist wenigstens eine Gamma-Gamma-Dichte-Messung (GG.D-Log) bzw. als Alternative auch ein Neutron-Neutron-Log (NN) notwendig. Wenn keine GG.D- oder NN-Messung verfügbar ist, dann kann für quartäre und tertiäre Grundwasserleiter häufig mit befriedigender Genauigkeit auf Erfahrungsbzw. Mittelwerte der Porosität innerhalb der jeweiligen geologischen Rahmenbedingungen zurückgegriffen werden. Die Porosität wird mittels eines Zementationsexpo-



Abb. 2: Flussdiagramm für die Bestimmung des NaCl-Äquivalentgehaltes eines Porenwassers aus dem im Bohrloch gemessenen scheinbaren elektrischen Widerstand

Fig. 2: Flow chart to determine NaCl-equivalent-content of void water from apparent electrical resistance measured in the borehole

nenten nach FRICKE & SCHÖN (1999) in den sogenannten Formationsfaktor transformiert. Der bestimmte wahre Gesteinswiderstand geteilt durch den Formationsfaktor ergibt dann den gesuchten spezifischen elektrischen Widerstand der Porenwassers. Diese Gleichung wurde bereits durch ARCHIE (1942) anhand petrophysikalischer Sättigungsversuche an Sandsteinen aufgestellt und ist seitdem vielfach experimentell als hinreichend genaue Näherung bestätigt worden.

Für die Überführung von R_w [Ohm] in einen NaCl-Äquivalentgehalt [mg/l] kann zum Beispiel mit hoher Genauigkeit die Beziehung nach ROSSUM (1975) genutzt werden (aufgeführt in HÖLTING 1992).

In der Bohrlochgeophysik sind NaCl-Äquivalentgehalte ein gängiges Maß zur Charakterisierung der Mineralisation von Porenwässern, da in tieferen salinen Aquiferen diese Ionen häufig den Hauptteil des Lösungsinhalts darstellen. Wenn andere Ionen in erheblichen Mengen vorhanden sind, dann kann durch ihre abweichende Ionenbeweglichkeit in der Lösung der ermittelte NaCl-Äquivalentgehalt etwas niedriger oder höher als der tatsächliche Gesamtsalzgehalt ("Abdampfrückstand") ausfallen.

Erhöhte Schluffgehalte im Sand verfälschen die Mineralisationsbestimmung dahingehend, dass die tatsächliche Aquifermineralisation unter den ermittelten Werten liegt, da Schluff- und Tonmineralien unabhängig von der Grundwassermineralisation den elektrischen Widerstand des Gesteins herabsetzen. Dieser Fehler ist bei sehr gering mineralisierten Wässern am höchsten, bei hoher Grundwassermineralisation dagegen entsprechend kleiner, da in diesem Fall der Hauptanteil an der elektrischen Leitung durch die im Porenwasser gelösten Ionen übernommen wird.

Im letzten Schritt der Ermittlung von NaCl-Äquivalentgehalten muss noch der Einfluss der Temperatur auf die Ionenbeweglichkeit und damit auf den elektrischen Widerstand des Wassers berücksichtigt werden, was mit tabellierten Temperaturkorrekturfaktoren erfolgen kann (z. B. nach WAGNER 1980). Die Temperatur im Aquifer sollte aus Temperatur-Logs (TEMP) bekannt sein. Allerdings erfolgen in der Praxis bei einer Aufschlussbohrung im Lockergestein die bohrlochgeophysikalischen Messungen direkt nach Abschluss der Bohrarbeiten, um die Standsicherheit des Bohrlochs nicht zu gefährden. Daher ist die dann gemessene Temperatur im Bohrloch meistens noch durch den Einfluss der Spülungszirkulation gestört. In diesen Fällen ist es günstiger, auf einen mittleren geothermischen Gradienten zurückzugreifen (z. B. 10 °C nahe der Geländeoberfläche +3 °C/100 m).

Grundwassermessstellen werden aus Kostengründen nur in ausgewählten GWL errichtet. Bei der geophysikalischen Vermessung der Bohrungen werden dagegen Daten aus allen durchteuften GWL gewonnen. Durch den unterschiedlichen Mineralisationsgrad bedingt, bestehen signifikante Unterschiede zwischen salinaren erdalkalisierten ("Intrusionswässer") und alkalisierten Wässern ("Aufsüßungswässer") sowie den salinar beeinflussten und gering mineralisierten Süßwässern. Die ermittelten NaCl-Äquivalente der angetroffenen Grundwässer sind mit spezifischen Geneseklassen korrelierbar. Geophysikalisch vermessene Bohrungen, aus denen Grundwasserproben entnommen und analysiert wurden, dienen dabei als Etalon. Durch die Nutzung dieser Daten kann die Aufschlussdichte im Untersuchungsraum deutlich gesteigert werden.

Im Ergebnis der Auswertung der Daten der bohrlochgeophysikalisch vermessenen Bohrungen und der aus ihnen entnommenen Wasserproben wurde für das Betrachtungsgebiet die folgende Klasseneinteilung herausgearbeitet (Tab. 1): 6. Ergebnisse der hydrogeochemisch-genetischen Komplexkartierung

6.1 GWL der Rupel-Basissande und hydraulisch verbundener mesozoischer Aquifere

Der großflächig verbreitete GWL der Rupel-Basissande lagert unter dem regionalen GWS des Rupeltons und bildet den höchsten GWL des "Salzwasserstockwerks" (vgl. HOTZAN 2010). Die Grundwasserdynamik in diesem GWL weist deutliche Differenzierungen auf. Die höchsten Druckpotenziale (ca. +47,0 bis +58,0 m NHN) sind im Bereich der Lebuser und Fünfeichener Hochflächen sowie dem Rauen-Pfaffendorfer Stauchungskomplex anzutreffen. Die Entlastungsbereiche Odertal, Spreetal sowie das Berliner Urstromtal werden als Depressionen (ca. +36,0 bis +38,0 m NHN) im Isohypsenbild deutlich. Als markantes tektonisches Strukturelement quert die Fürstenwalde-Gubener-Störungszone als nördlichstes Element der Mitteldeutschen Hauptabbrüche das Betrachtungsgebiet in NW-SE-Richtung. Die Störungszone wurde mehrphasig im Zeitraum Mesozoikum-Känozoikum beansprucht (AUTORENKOLLEKTIV 2010) und besteht aus einem Bündel von Einzelstörungen an denen vertikale und dextrale Bewegungen stattfanden. Die kumulativen Versatzbeträge umfassen wenige hundert Meter. Im Bereich der Störungszone sind Schichten des Keuper und Lias mit dem diesem GWL hydraulisch verbunden. Am Streitberg, südöstlich von Fürstenwalde, wurde eine Scholle der Leine-Folge des Zechsteins (Anhydrit, Steinsalz) bis in das Niveau der Möllin-Schichten gehoben. Markante Salzkissenstrukturen befinden sich bei Beeskow-Birkholz sowie Spreenhagen. In den Kernbereichen lagert der GWL der Rupel-Basissande auf den Sedimenten von Lias und Keuper. In den elsterglazial angelegten Rinnen und Ausräumungszonen wurden lokal die tertiären Schichten einschließlich der Tone der Rupel-Formation (regionaler GWS) erodiert. Somit sind im Niveau der Rupel-Basissande auch elsterkaltzeitliche rollige Sedimente anzutreffen.

Der Grundwasserchemismus in diesem GWL wird durch halitische und sulfatische salinare Wässer dominiert (siehe Abb. 3). Im nördlichen Teil des Betrachtungsgebietes sind die Wässer überwiegend als erdalkalisierte Formationswässer I (Geneseklasse H321) einzustufen. Lithologisch kontrolliert

0 – 400 mg/l NaCl-Äquivalent	geringmineralisierte Süßwässer sowie schwach salinar beeinflusste Wässer unterschiedlicher Geneseklassen (Geneseklassen D11, E11, F11, G11, D31, E31, F31, G31)
400 – 1 000 mg/l NaCl-Äquivalent	salinar beeinflusste Wässer unterschiedlicher Geneseklassen (Geneseklassen D31, E31, F31, G31) sowie geringmineralisierte salinare Aussüßungswässer (Geneseklassen I312, I33)
1 000 – 4 500 mg/l NaCl-Äquivalent	salinare Aussüßungswässer (Geneseklassen I312, I33)
4 500 – 15 000 mg/l NaCl-Äquivalent	salinare erdalkalisierte Wässer, salinare gealterte erdalkalisierte Wässer, salinare Formationswässer I (Geneseklassen I313, I32, H321)
> 15 000 mg/l NaCl-Äquivalent	salinare erdalkalisierte Wässer, salinare gealterte erdalkalisierte Wässer, salinare Ablaugungswässer und salinare erdalkalisierte Ablaugungswässer (Geneseklassen I313, I32, I311, H311, H313)

 Tab. 1:
 Zuordnung von NaCl-Äquivalent-Klassen zu hydrogeochemischen Geneseklassen

 Tab. 1:
 Asignment of NaCl-equivalent-classes to the genetic classes



Abb. 3: Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Rupel-Basissande sowie hydraulisch verbundener mesozoischer Aquifere (Signaturen siehe Legende)

Fig. 3: Hydrogeochemic-genetic overview of the base-rupelian aquifer and hydraulic connected mesozoic aquifers (signatures see legend)

durch die Ausbissbereiche der Keuper- und Lias-Schichten sind im Bereich der Fürstenwalde-Gubener-Störungszone und im Umfeld der Salzkissenstruktur Spreenhagen salinare erdalkalisierte Ablaugungswässer (Geneseklasse H313) verbreitet. Die Wässer dieser Geneseklasse sind im Vergleich zur Klasse H321 durch erhöhte SO42-Konzentrationen charakterisiert (CaSO₄ > 1 %), die ihre Ursache in der Ablaugung gipsführender Sedimente des Keupers haben. Im Bereich der Struktur Streitberg sind salinare Ablaugungswässer der Geneseklasse H311 anzutreffen. Die SO₄²⁻-Konzentrationen bis über 500 mg/l und Cl-Konzentrationen bis 18 000 mg/l sind als Ergebnis der Ablaugung der Evaporite der Leine-Folge zu sehen. Durch Isotopenuntersuchungen (87Sr/86Sr) (TRET-TIN, HAASE & HABEDANK 1990) konnte die zechsteinzeitliche Quelle der Mineralisation dieser Wässer im Vergleich zu den unteroligozänen sowie mesozoischen Formationswässern belegt werden. Der Nachweis der Durchlässigkeit der Fürstenwalde-Gubener Störungszone für hochmineralisierte altmesozoische Wässer ist durch diese Untersuchungen prinzipiell möglich, konnte aber aufgrund fehlender Proben nicht erbracht werden.

Der südliche und östliche Teil des Betrachtungsgebietes wird von alkalisierten Ablaugungswässern der Geneseklasse H312 dominiert. Hier befinden sich die geohydraulischen

Toplagen der Hochflächenbereiche. Über elsterglaziale Exarationszonen können bei abwärts gerichtetem Druckpotenzialgradienten Neubildungswässer bis in das Niveau des Salzwasserstockwerkes gelangen und zu einer Aufsüßung ("Aussüßungszone", vgl. HOTZAN 2010) führen. Die hier verbreiteten salinaren Wässer weisen eine deutlich geringere Mineralisation im Vergleich zu den erdalkalisierten Formationswässern I auf, die in der Regel 2 - 3 g/l nicht übersteigt. Im unmittelbaren Umfeld der einspeisenden Rinnenstrukturen können sogar Süßwässer der Geneseklassen F11 und G11 (alte Neubildungs- und statische Grundwässer) angetroffen werden, so z. B. südlich der Ortslagen Heinersdorf, Beeskow und Fünfeichen. Der Übergang von den Neubildungs- zu den salinaren Formationswässern vollzieht sich allmählich, wobei sich in lateraler Richtung bei stetig steigenden Cl--Konzentrationen eine typische Zonalität von Geneseklassen ausbildet. Im Gebiet südlich Heinersdorf ist der Bereich der alten Neubildungswässer (Geneseklasse F11) von einer Zone salinar beeinflusster statischer Wässer (Geneseklasse G31) umgeben. Daran schließen sich salinare Regenerationswässer (Geneseklasse H33) an, die anschließend von den salinaren Formationswässern I (Geneseklasse H321) abgelöst werden. Im Bereich der Fünfeichener Hochfläche sowie des Rauen-Pfaffendorfer Stauchungskomplexes wird eine analoge Zonalität beobachtet. Auch hier können im Umfeld der einspeisenden Rinnen alte Neubildungswässer der Geneseklasse F11 beobachtet werden. Diese sind von einem Saum salinar beeinflusster alter Neubildungswässer (Geneseklassen F31, G31) umgeben, der aufgrund des geringeren Konzentrationsgefälles großflächiger ausgebildet ist. Daran schließen sich die salinaren alkalisierten Ablaugungswässer der Geneseklasse H312 an.

Aufgrund der begrenzten Zahl beprobter Aufschlüsse im GWL der Rupel-Basissande sind Zusatzinformationen zur Kartierung der Geneseareale sehr willkommen. Die geophysikalische Vermessung der Bohraufschlüsse und die anschließende Nachinterpretation zur Ermittlung der NaCl-Äquivalente liefern diese Daten. Durch den unterschiedlichen Mineralisationsgrad bedingt, bestehen signifikante Unterschiede zwischen den salinaren erdalkalisierten Ablaugungs-/ Formationswässern und den salinaren alkalisierten Ablaugungswässern ("Aufsüßungswässern") sowie den salinar beeinflussten und gering mineralisierten Süßwässern, die die Möglichkeit einer aufschlusskonkreten empirischen Zuordnung der ermittelten NaCl-Äquivalente zu Geneseklassen bietet. Dadurch werden zusätzliche Stützstellen für die Kartierung der Geneseareale geschaffen und die Aufschlussdichte im Betrachtungsgebiet erheblich erhöht.

6.2 GWL der Cottbus-Formation und elsterkaltzeitliche Analoge

Der GWL der Cottbus-Formation bildet den tiefsten süßwasserführenden GWL des Betrachtungsgebietes. Aufgrund seiner lithologischen Ausbildung (glimmerführende, schluffige Feinsande) ist er wasserwirtschaftlich nicht nutzbar.

Die Grundwasserdynamik zeigt Analogien zum Salzwasserstockwerk. Auch hier weisen die Hochflächenbereiche die höchsten Druckpotenziale auf. Die Grundwasserfließrichtung ist zu den Niederungsbereichen orientiert.

Im GWL der Cottbus-Formation sind ursächlich Süßwässer der Neubildungsreihe verbreitet (siehe Abb. 4). Diese alten Neubildungs- bzw. statischen Wässer sind vorwiegend den Geneseklassen F11 und G11 zuzuordnen und zeigen den langen Entwicklungsweg, das hohe Alter sowie die austauscharmen geohydraulischen Verhältnisse an. Glazigene Stauchungen der pleistozänen Schichtenfolgen, die bis in das Niveau des GWL hinab reichen, sind insbesondere auf die Hochflächenbereiche konzentriert. Sie ermöglichen in Abhängigkeit von den standortkonkreten Druckpotenzialgradienten den schnelleren Zutritt jüngerer Neubildungswässer in das Niveau des GWL. In Bezug auf die Geneseklassen zeigen sich diese Prozesse durch die Verbreitung alter Neubildungswässer der Geneseklasse F11.



Abb. 4: Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Cottbus-Formation sowie elsterkaltzeitlicher Analoge (Signaturen siehe Legende)

Fig. 4: Hydrogeochemical-genetic overview of the aquifer of Cottbus-formation and analogons of the Elsterian (signatures see legend)

Die Sedimente der Cottbus-Formation werden von einem System elsterglazialer Rinnen durchzogen, deren Flankenbereiche mit rolligen Sedimenten ausgefüllt sind. Besonders hervorzuheben sind hier die Eberswalde-Storkow-Rinne, die sich mit meridionaler Orientierung am westlichen Rand des Betrachtungsgebietes erstreckt, die Briesener Rinne, die Neubrück-Merzer Rinne sowie die Exarationszone westlich der Ortslage Eisenhüttenstadt. Lokal ist in diesen Rinnen der regionale GWS der Rupel-Formation erodiert, so dass bei entsprechendem Druckpotenzial der im Salzwasserstockwerk verbreiteten hochmineralisierten Wässer ein Übertritt in die GWL des Süßwasserstockwerks möglich wird.

Auch tektonische Strukturelemente können als Aufstiegsbahnen salinarer Wässer dienen. Die Fürstenwalde-Gubener Störungszone als markantestes tektonisches Element durchschlägt die Rogahn- und Sülstorf-Schichten der Cottbus-Formation. Die an dieser Störungzone erfolgten vertikalen und lateralen Bewegungen schufen Scherbahnen und damit Wasserwegsamkeiten, die bei aufwärts gerichtetem Druckgradienten den Übertritt salinarer Wässer aus dem Salzwasserstockwerk in das Süßwasserstockwerk ermöglichen.

Bei der Intrusion hochmineralisierter salinarer Wässer in süßwasserführende GWL bilden sich vorwiegend im Ergebnis von Kationenaustauschprozessen spezifische Geneseklassen heraus. Salinare erdalkalisierte und salinare gealterte erdalkalisierte Wässer der Geneseklassen I313 und I32 sind als salinare Intrusionswässer zu interpretieren, die im Umfeld der Aufstiegsbereiche konzentriert sind. Bei einem hohen Druckpotenzial und großen Mengen aufdringender Salzwässer können sich "Salzwasserströme" (HOTZAN 2010) ausbilden und unter Berücksichtigung von Grundwasserdynamik bzw. der Morphologie des Liegendstauers und dem Schwerkraftgesetz im GWL bewegen (z. B. aus der Briesener Rinne östlich der Ortslage Fürstenwalde sowie entlang der Fürstenwalde-Gubener Störungszone). Die Menge der in einen süßwasserführenden GWL intrudierenden hochmineralisierten salinaren Wässer wird durch geologischstrukturelle sowie hydrodynamische Rahmenbedingungen limitiert. Da im GWL überwiegend geringmineralisierte Süßwässer verbreitet sind, erfolgt die Aufsüßung der intrudierten Wässer. Im Ergebnis von Kationenaustauschprozessen bilden sich alkalisierte salinare Wässer (Geneseklasse I312), deren Gesamtmineralisation weniger als 30 % der Ausgangsmineralisation erreicht. Diese Wässer werden mit dem Grundwasserstrom im GWL verteilt und zu den Entlastungszonen transportiert. Die salinaren Wässer werden von einem Saum salinar beeinflusster alter Neubildungs- bzw. statischer Wässer (Geneseklassen F31, G31) umgeben, die allmählich in die unbeeinflussten Süßwässer (Geneseklassen F11, G11) übergehen.

Auf der Fünfeichener Hochfläche, westlich der Ortslage Eisenhüttenstadt, ist entlang der Fürstenwalde-Gubener Störungszone die Intrusion salinarer Wässer noch als "Salzwasserfahne" (vgl. HOTZAN 2010) feststellbar.

Eine hydrochemische Besonderheit kann im Bereich der Beeskower Platte beobachtet werden. Im Kernbereich der Salzkissenstruktur Beeskow-Birkholz sind gipsführende Sedimente des Keupers verbreitet. Eine quartäre Rinnenstruktur hat den Rupelton erodiert und Wasserwegsamkeiten geschaffen. Bei einem abwärts gerichteten Druckpotenzialgradienten erfolgt die Einspeisung von Neubildungswässern bis in das Niveau der Rupel-Basissande. Im Ergebnis von Lösungsprozessen werden die Wässer mit SO_4^{2-} , Cl- sowie Erdalkali-Ionen angereichert. Die Wässer sind formal den jungen salinar beeinflussten Neubildungswässern zuzuordnen (Geneseklasse D31). Da das SO_4^{2-} aber seinen Ursprung in den Keuper-Schichten hat, handelt es sich bei diesen Wässern um verdünnte salinare Ablaugungswässer. Durch Diffusionsvorgänge können diese Wässer bis in die Niveaus der tertiären GWL gelangen und werden dort mit dem Grundwasserstrom in Richtung der Entlastungsbereiche transportiert.

6.3 GWL der Möllin-Schichten der Spremberg-Formation und elsterkaltzeitliche Analoge

Der GWL der Möllin-Schichten der Spremberg-Formation stellt den wasserwirtschaftlich bedeutendsten süßwasserführenden GWL der tertiären Schichtenfolge dar. Kommunale Wasserfassungen, wie z. B. Fürstenwalde-Mittelgestell, Bad Saarow-Pieskow, Lindenberg und Lebus gewinnen Grundwasser aus diesem GWL.

Die Grundwasserdynamik ist analog der des GWL der Cottbus-Formation. Auch in diesem GWL sind ursächlich geringmineralisierte Neubildungswässer verbreitet. Diese sind überwiegend den Geneseklassen F11, bei stagnierenden Austauschverhältnissen lokal auch G11, zuzuordnen. Innerhalb der glazigenen Stauchungsgebiete können aufgrund der geringeren Verweilzeiten gealterte Neubildungswässer der Geneseklasse E11 auftreten (siehe Abb. 5).

Die bereits oben beschriebenen elsterglazialen Rinnensysteme sowie die Fürstenwalde-Gubener Störungszone als tektonisches Strukturelement wirken auch im GWL der Möllin-Schichten als Aufstiegswege der hochmineralisierten salinaren Wässer. Die unmittelbaren Intrusionsbereiche sind relativ kleinflächig und durch die Verbreitung salinarer erdalkalisierter sowie gealterter salinarer erdalkalisierter Wässer der Geneseklassen I313 und I32 charakterisiert. Aufgrund der geringen intrudierten Wassermengen bilden sich keine "Salzwasserströme", sondern "Salzwasserfahnen" (vgl. HOTZAN 2010) aus. Die Aussüßung der salinaren Wässer zeigt sich in der Ausbildung von Arealen der alkalisierten salinaren Wässer der Geneseklasse I312. Die Aussüßungswässer werden ausgehend von den Aufstiegsbahnen mit dem Grundwasserstrom im GWL verbreitet. Sie sind im Vergleich zum unterlagernden GWL der Cottbus-Formation kleinflächiger und auf das Umfeld der Eberswalde-Storkower, der Briesener und Neubrück-Merzer Rinnen sowie die Fürstenwalde-Gubener Störungszone konzentriert. Die salinaren Wässer werden auch in diesem GWL von einem Saum salinar beeinflusster alter Neubildungs- bzw. statischer Wässer (Geneseklassen F31, G31) umgeben, die allmählich in die unbeeinflussten Süßwässer (Geneseklassen F11, G11) übergehen. Die Areale dieser Geneseklassen sind im Vergleich zum unterlagernden GWL der Cottbus-Formation großflächiger ausgebildet.

 Abb. 5: Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Möllin-Schichten der Spremberg-Formation sowie elsterkaltzeitlicher Analoge (Signaturen siehe Legende)
 Eig. 5: Undrogeochemisch genetische genetische genetische GMöllin, Schichten of Spremberg formation and analogou

Fig. 5: Hydrogeochemical-genetic overview of the aquifer of Möllin-Schichten of Spremberg-formation and analogons of the Elsterian (signatures see legend)

Hydrochemisch auffällig ist das Umfeld des Leisten-Diapirs Streitberg südöstlich der Ortslage Fürstenwalde. Hier sind Anhydrite der Leine-Serie im Niveau des GWL der Möllin-Schichten verbreitet. Die im Umfeld des Diapirs beobachteten salinaren Ablaugungswässer der Geneseklasse I311 erreichen SO_4^{2-} -Konzentrationen bis 4 800 mg/l.

Auf der Fünfeichener Hochfläche, westlich der Ortslage Eisenhüttenstadt, ist entlang der Fürstenwalde-Gubener Störungszone die Intrusion salinarer Wässer noch als "Salzwasserfahne" (vgl. HOTZAN 2010) feststellbar. Im Bereich der Beeskower Platte werden auch in diesem GWL die bereits oben beschriebenen verdünnten Ablaugungswässer beobachtet.

In den Brunnen der kommunalen Wasserfassungen werden alte Neubildungswässer der Geneseklasse F11 gefördert. Die Grundwässer sind in den Wasserkreislauf integriert. Damit ist belegt, dass es sich bei diesen Grundwässern um dynamische, sich erneuernde Vorräte handelt.

6.4 GWL der Malliß-Schichten der Brieske-Formation und der Elster-Kaltzeit

Der hier betrachtete GWL-Komplex der Malliß-Schichten der Brieske-Formation bildet keinen einheitlichen großflächig verbreiteten GWL, sondern ist aufgesplittet in einzelne GWL mit begrenzter lateraler Verbreitung und stark variierender Mächtigkeit. Diese bestehen aus mehr oder weniger schluffigen Feinsanden. Die wasserwirtschaftliche Bedeutung dieser GWL ist aufgrund der ungünstigen lithologischen Ausbildung gering. Im Bereich von pleistozänen Ausräumungszonen können GWL der Elster-Kaltzeit hydraulisch mit den GWL der Malliß-Schichten verbunden sein. Die k_f-Werte dieser glazifluviatilen Sedimente sind im Vergleich zu den Sedimenten der Malliß-Schichten günstiger, so dass Brunnen kommunaler Wasserfassungen (WF) in diesem GWL errichtet wurden (z. B. WF Beeskow, WF Rautenkranz).

Die Grundwasserdynamik ist analog der der unterlagernden tertiären GWL, wobei auch hier die höchsten Potenziale im Bereich der Hochflächen und die niedrigsten im Bereich der Flusstäler beobachtet werden.

Auch in diesem GWL-Komplex sind ursächlich geringmineralisierte Neubildungswässer anzutreffen. Dabei handelt es sich überwiegend um alte Neubildungswässer der Geneseklasse F11, bei stagnierenden Austauschverhältnissen lokal auch um statische Wässer der Geneseklasse G11. Innerhalb der glazigenen Stauchungsgebiete sind aufgrund der geringeren Verweilzeiten Areale mit jungen und gealterten Neubildungswässern der Geneseklassen D11, D21 sowie E11 verbreitet (siehe Abb. 6).

Abb. 6: Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Malliß-Schichten der Brieske-Formation sowie der Elster-Kaltzeit (Signaturen siehe Legende)

Fig. 6: Hydrogeochemical-genetic overview of the aquifer of Malliß-Schichten of Brieske-formation and Elsterian Glacial (signatures see legend)

Die elsterglazialen Rinnensysteme sowie die Fürstenwalde-Gubener Störungszone als tektonisches Strukturelement wirken auch in den GWL der Malliß-Schichten als Aufstiegsbahnen hochmineralisierter salinarer Wässer. Neben kleinflächigen Intrusionsbereichen entlang der Fürstenwalde-Gubener Störungszone kommt es auch ausgehend von der Briesener Rinne zur Ausbildung eines "Salzwasserstromes" (vgl. HOTZAN 2010). Die Areale der salinaren Intrusionswässer sind wiederum durch die Verbreitung salinarer erdalkalisierter sowie gealterter salinarer erdalkalisierter Wässer der Geneseklassen I313 und I32 charakterisiert. Im GWL erfolgt die Aussüßung der intrudierten salinaren Wässer, die in der Ausbildung von Arealen mit alkalisierten salinaren Wässern der Geneseklasse I312 zum Ausdruck kommt. Die Aussüßungswässer werden mit dem Grundwasserstrom im GWL verbreitet, wobei die NaCl-Konzentration sich auf dem Fließweg kontinuierlich verringert. Die Verbreitungsareale der salinaren Aussüßungswässer sind im Vergleich zum unterlagernden GWL der Möllin-Schichten kleinflächiger und auf das Umfeld der Briesener und Neubrück-Merzer Rinnen sowie der Fürstenwalde-Gubener Störungszone konzentriert. Die salinaren Wässer werden auch in diesem GWL-Komplex von einem Saum salinar beeinflusster alter Neubildungs- bzw. statischer Wässer (Geneseklassen F31, G31) umgeben, die unter weiterer Verringerung der NaCl-Konzentration in die unbeeinflussten Süßwässer (Geneseklassen F11, G11) übergehen. Auf der Fünfeichener Hochfläche ist entlang der Fürstenwalde-Gubener Störungszone sowie im Bereich der Eberswalde-Storkow-Rinne die Intrusion salinarer Wässer noch als "Salzwasserfahne" (vgl. HOTZAN 2010) feststellbar. Diese zeichnet sich durch Areale salinar beeinflusster Neubildungswässer und statischer Wässer der Geneseklassen E31, F31 und G31ab.

Auch in diesem GWL-Komplex wird im Bereich der Beeskower Platte ein Areal mit den oben beschriebenen sulfatreichen verdünnten Ablaugungswässern (Geneseklassen D31, E31) beobachtet, das sich ausgehend von der elsterglazialen Rinnenstruktur in südöstliche Richtung zur Spreeniederung erstreckt. Es befindet sich innerhalb des hydraulischen Feldes der Wasserfassung Beeskow. In Abhängigkeit von der Anströmrichtung werden in den Brunnen die verdünnten Ablaugungswässer der Geneseklasse D31, aber auch gealterte und alte Neubildungswässer (Geneseklassen E11, F11) gewonnen.

6.5 GWL der Saale-Kaltzeit

Der GWL der Saale-Kaltzeit bildet den weitestgehend bedeckten HGWL des Betrachtungsgebietes. Er ist großflächig ausgebildet und erreicht erhebliche Mächtigkeiten bis über 50 m. Zahlreiche Brunnen kommunaler Wasserfassungen fördern aus diesem GWL. Die Grundwasserdynamik zeichnet den geologischen Bauplan nach. Die höchsten Druckpotenziale sind in den glazial angelegten Hochflächenbereichen, die niedrigsten Potenziale in den Niederungsbereichen anzutreffen.

Aus hydrogeochemisch-genetischer Sicht wird der Grundwasserchemismus einerseits durch die Grundwasserneubildungsprozesse, andererseits aber auch durch die Liegendspeisung geprägt. Diese Prozesse werden in der Ausbildung von geologisch-strukturell und hydrodynamisch kontrollierten Verbreitungsarealen der spezifischen Geneseklassen deutlich.

Die Neubildungsprozesse sind insbesondere in den Hochflächenbereichen wirksam (siehe Abb. 7). In den glazigen gestörten Bereichen sind die Verweilzeiten des Grundwassers im GWL am kürzesten. Demzufolge sind hier große Areale mit jungen z. T. anthropogen beeinflussten Neubildungswässern (Geneseklassen D11, D21) verbreitet. Bei längeren Verweilzeiten und zunehmendem Entwicklungsgrad der Wässer bilden sich in Grundwasserfließrichtung Areale mit gealterten und alten Neubildungswässern aus (Geneseklassen E11, E21, F11). Diese werden in den Entlastungsgebieten von den Vorflutern aufgenommen. Im Bereich des Berliner Urstromtales sind im Ergebnis der Grundwasserneubildung im Niveau des saalekaltzeitlichen GWL gealterte Neubildungswässer der Geneseklassen E11 und E21 verbreitet.

Von den pleistozänen Rinnen sind nur noch die Flankenbereiche der Briesener und der Neubrück-Merzer Rinnen als Aufstiegsbahnen statischer und hochmineralisierter salinarer Wässer wirksam. Der Zentralbereich der Briesener Rinne ist mit einem mächtigen saaleglazialen Geschiebemergelpaket plombiert. Als Liegendspeisung dringen hier hauptsächlich statische Grundwässer der Geneseklasse G11 aus den tertiären GWL auf und werden in südwestliche Richtung zum Vorfluter transportiert. Neben den statischen Wässern gelangen auch salinare Wässer der Geneseklasse 132 in den saalekaltzeitlichen GWL. Bei deren Aussüßung entstehen salinare Wässer der Geneseklassen I312 und I33 sowie salinar beeinflusste Wässer der Geneseklasse F31. In Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Rinnenrandes und der Menge der intrudierten salinaren Wässer kommt es zur Ausbildung von "Salzwasserströmen" bzw. "-fahnen" (vgl. Hotzan 2010).

Die Fürstenwalde-Gubener Störungszone als bedeutendes regionales tektonisches Strukturelement war während der Saale-Kaltzeit möglicherweise noch als Bewegungsbahn (glazialisostatische Störungsreaktivierung) aktiv (AUTO-RENKOLLEKTIV 2010, STACKEBRANDT 2010) und somit als Aufstiegsbahn salinarer Wässer wirksam. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Struktur und den damit in Zu-

Abb. 7:Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Saale-Kaltzeit (Signaturen siehe Legende)Fig. 7:Hydrogeochemical-genetic overview of the aquifer of Saalian glacial (signatures see legend)

sammenhang stehenden geringen intrudierten Salzwassermengen, bilden sich insbesondere südöstlich der Ortslage Fürstenwalde, ausgehend von den Intrusionsbereichen Fahnen salinar beeinflusster Süßwässer (Geneseklassen E31, F31), die sich in Richtung der Vorfluter bewegen.

Besondere Beachtung verdient ein Gebiet nahe der Ortslage Neubrück. Hier wird die Fürstenwalde-Gubener Störungszone von der bis in das Niveau der Rupel-Basissande reichenden Neubrück-Merzer Rinne gequert. Darüber hinaus befindet sich dieser Bereich in der Spreeniederung, d. h. innerhalb einer hydrodynamischen Depression. Das Druckpotenzial im GWL der Rupel-Basissande liegt ca. 5 m über dem des saalekaltzeitlichen GWL. Damit liegen alle Voraussetzungen für eine Intrusion hochmineralisierter salinarer Wässer vor. Diese erfolgt mit hoher Intensität. Hydrochemisch-genetisch zeigen sich die intrudierten salinaren Wässer in der Ausbildung eines Areals von erdalkalisierten salinaren Wässern der Geneseklasse I313. Am Kontakt zu den im GWL verbreiteten Neubildungswässern bildet sich ein Saum mit alkalisierten salinaren Wässern (Geneseklasse I312) sowie mit steigender Aussüßung auch salinar beeinflussten Neubildungswässern (Geneseklassen E31, F31). Der größte Teil der Salzwässer wird vom Vorfluter, der Spree, aufgenommen, so dass das Geneseareal in westlicher Richtung eine begrenzte Verbreitung aufweist. Ein Teil der intrudierten Salzwässer bewegt sich aufgrund der höheren Dichte unter Wirkung der Morphologie des Liegendstauers (Senken im Grundwasserstauerkomplex) und dem Schwerkraftgesetz an der Sohle des GWL auch entgegen der Grundwasserfließrichtung. Die regionale Grundwasserscheide zwischen Elbe und Oder wird dabei überwunden und es bildet sich ein "Salzwasserstrom" (vgl. HOTZAN 2010) aus, der sich in östliche Richtung bewegt. Im Kernbereich sind salinare erdalkalisierte bzw. gealterte salinare erdalkalisierte Wässer der Geneseklassen I313 und I32 verbreitet. Mit der Aussüßung zu den Flanken und zum Hangenden hin bilden sich salinare Regenerationswässer der Geneseklassen I312 und I33 sowie salinar beeinflusste Neubildungswässer (Geneseklassen F31, D31). Der "Salzwasserstrom" kann auf einer horizontalen Entfernung von ca. 6 km verfolgt werden und wird westlich der Ortslage Müllrose vom Vorfluter, dem Oder-Spree-Kanal, aufgenommen.

In den Auebereichen des Odertals sind anthropogen beeinflusste Uferfiltratwässer der Geneseklasse B21 verbreitet. Es handelt sich hierbei um Infiltrationswässer der Oder, die der eingedeichte Fluss in den GWL einspeist und die von den als Vorfluter dienenden Grabensystemen aufgenommen werden. Die größten kommunalen Wasserfassungen im saalekaltzeitlichen GWL befinden sich an den Rändern der Hochflächen. Der saalekaltzeitliche GWL ist hier häufig mit dem überlagernden weichselkaltzeitlichen GWL (WF Fürstenwalde, WF Berkenbrück), z. T. auch noch mit dem elsterkaltzeitlichen GWL (WF Rautenkranz) hydraulisch verbunden. Hydrogeochemisch-genetisch werden in den Brunnen junge bzw. gealterte Neubildungswässer der Geneseklassen D21, D11, E11 sowie E21 gewonnen. Diese repräsentieren einerseits den Abfluss der bedeckten GWL der Hochflächenbereiche, andererseits aber auch die junge Grundwasserneubildung in den Talbereichen.

6.6 GWL der Weichsel-Kaltzeit

Der GWL der Weichsel-Kaltzeit stellt den stratigraphisch jüngsten süßwasserführenden GWL des Betrachtungsgebietes dar. Seine Mächtigkeit liegt bei ca. 10,0 - 30,0 m und er besteht überwiegend aus glazifluviatilen Fein-, Mittel- und Grobsanden. Der GWL ist insbesondere in den Niederungsbereichen großflächig verbreitet und bildet hier bei erosionsbedingtem Fehlen der liegenden GWS zusammen mit dem saalekaltzeitlichen GWL einen bis ca. 50 m mächtigen einheitlichen GWL-Komplex. Im Bereich des Odertales werden die weichselglazialen Sedimente von fluviatilen holozänen Sanden überlagert. Bei der Darstellung werden letztere mit dem weichselglazialen GWL zu einem einheitlichen GWL zusammengefasst. Auf den pleistozänen Hochflächen ist der weichselkaltzeitliche GWL nur lückenhaft und mit relativ geringer Mächtigkeit verbreitet. Er weist generell eine ungespannte Grundwasserführung auf. Die Grundwasserdynamik ist analog der des saalekaltzeitlichen GWL. Die Brunnen kommunaler Wasserfassungen, wie z. B. Briesen, Müllrose, Rautenkranz und Pohlitz sind in diesem GWL verfiltert.

Aus hydrogeochemisch-genetischer Sicht dominieren in diesem GWL junge, z. T. anthropogen beeinflusste Neubildungswässer der Geneseklassen D11 und D21 (siehe Abb. 8). In den als Entlastungszonen wirkenden Niederungsbereichen mit einer großen Mächtigkeit des GWL kann eine Zonalität des Grundwasserchemismus beobachtet werden. In der Karte wird die hydrogeochemisch-genetische Charakteristik des Liegendbereiches des GWL schraffiert dargestellt. Während im oberflächennahen Bereich junge Neubildungswässer angetroffen werden, finden sich zum Liegenden des GWL hin gealterte Neubildungswässer der Geneseklasse E11. Daneben werden auch Wässer beobachtet, die ihren Ursprung in einer Liegendspeisung haben. Die an den Rändern der Briesener und Neubrück-Merzer Rinnen aufsteigenden Wässer gelangen aufgrund des im weichselkaltzeitlichen GWL herrschenden geringeren hydrodynamischen Druckpotenzials bis in Oberflächennähe. Es dominieren dabei statische Wässer, die sich im Ergebnis von Mischungen mit jüngeren, d. h. sulfatreicheren Wässern, in Wässern der Geneseklasse F11 manifestieren. Von besonderem Interesse sind die salinaren Wässer, die aus der Briesener Rinne aufsteigen und sich an der Sohle des saale- bis weichselkaltzeitlichen GWL-Komplexes als "Salzwasserströme" in südwestliche Richtung zum Vorfluter (siehe oben saalekaltzeitlicher GWL) bewegen. Durch die hydraulische Entlastungswirkung der als Vorfluter fungierenden Spree werden sie angehoben und durch diese aufgenommen. Im unmittelbaren Uferbereich zeigt sich im weichselkaltzeitlichen GWL ein Saum von salinar beeinflussten Wässern der Geneseklasse F31. Im Brunnen 1 der Spreebogenfassung Briesen werden aufgrund des geringen Ionenaustauschpotenzials der Sedimentmatrix salinare Gleichgewichtswässer der Geneseklasse I34 gefördert.

Ein ähnliches Bild zeigt sich im Bereich der Neubrück-Merzer Rinne. Es wirkt hier das gleiche Prinzip der Entlas-

Abb. 8:Hydrogeochemisch-genetische Übersichtskarte für den GWL der Weichsel-Kaltzeit (Signaturen siehe Legende)Fig. 8:Hydrogeochemical-genetic overview of the aquifer of Weichselian glacial (signatures see legend)

tung der Salzwässer. Im weichselkaltzeitlichen GWL sind in unmittelbarer Nähe zum Vorfluter (Spree) kleinflächige Areale mit salinaren Intrusionswässern der Geneseklassen I313 und I32 verbreitet. Im Liegenden des GWL wird der aus der Rinne aufsteigende "Salzwasserstrom" (vgl. Hotz-AN 2010) durch ein Areal mit salinar beeinflussten Neubildungswässern der Geneseklassen F31, E31 sowie D31 deutlich. Diese repräsentieren den hangenden Aussüßungsbereich des "Salzwasserstromes".

Hydrogeochemisch-genetisch bemerkenswert ist ein Gebiet im Bereich des Rauen-Pfaffendorfer Stauchungskomplexes bei der Ortsschaft Langewahl. Hier sind an der Oberfläche Schollen pyritführender miozäner Sedimente verbreitet. Bei der Verwitterung des Pyrits in der Aerationszone und der Auswaschung der Verwitterungsprodukte mit den Sickerwässern erfolgt eine Anreicherung der Grundwässer mit Fe²⁺- und SO₄²⁻-Ionen bei drastischer Absenkung des pH-Wertes. Diese im Abstrom von Kippenbereichen des Braunkohlenbergbaus in der Lausitz weit verbreiteten Wässer sind hier rein geogen und werden der Geneseklasse D32, d. h. den jungen Neubildungswässern mit geogener Beeinflussung durch Pyritverwitterung zugeordnet.

Auch im weichselkaltzeitlichen GWL zeigen sich in den Auebereichen des Odertales anthropogen beeinflusste Uferfiltratwässer der Geneseklasse B21. Ihre genetische Deutung wurde bereits beim saalekaltzeitlichen GWL beschrieben.

Die Brunnen der kommunalen Wasserfassungen befinden sich ebenfalls an den Rändern der pleistozänen Hochflächen und sind im Berliner Urstromtal konzentriert. In den Wasserfassungen Müllrose, Rautenkranz und Pohlitz werden anthropogen beeinflusste und unbeeinflusste junge und gealterte Neubildungswässer der Geneseklassen D21, D11 und E11 gewonnen. Sie repräsentieren die aktuelle Grundwasserneubildung in den Niederungsbereichen sowie den Abfluss aus den hydraulisch angeschlossenen bedeckten saalekaltzeitlichen GWL der Hochflächenbereiche.

Eine Besonderheit stellt die Wasserfassung Briesen dar. Hier wurden stromoberhalb der Brunnengalerie Sickerbecken errichtet, in denen Oberflächenwasser aus der Spree versickert wird. Nach einer Bodenpassage werden diese Wässer dann wieder gewonnen. Diese anthropogen beeinflussten Uferfiltratwässer der Geneseklasse B21 heben sich deutlich von den umgebenden jungen, unbeeinflussten Neubildungswässern der Geneseklasse D11 ab. Die Uferfiltratwässer werden nicht vollständig wiedergewonnen. Insbesondere südlich, westlich und östlich der Fassungstrasse werden Areale mit gealterten anthropogen beeinflussten Uferfiltratwässern der Geneseklasse C21 beobachtet.

Zusammenfassung

Im Beitrag werden die praktischen Ergebnisse einer Methodik vorgestellt, die es ermöglicht, den Grundwasserchemismus grundwasserleiterspezifisch flächendeckend unter genetischen Gesichtspunkten darzustellen. Dabei werden der Charakter und der Entwicklungsgrad der Grundwässer in den einzelnen GWL deutlich. Auf dieser Grundlage gelingt es, die Speisungsbedingungen in den GWL zu rekonstruieren, den Geschütztheitsgrad des Grundwassers einzuschätzen sowie Aufstiegsbahnen und die Verbreitung salinarer Wässer in den süßwasserführenden GWL zu verdeutlichen. Geophysikalisch vermessene Bohrungen sind ein wichtiges Hilfsmittel bei der Komplexinterpretation. Die aus den Bohrlochmessungen ermittelten NaCl-Äquivalente können mit hinreichender Genauigkeit spezifischen Geneseklassen zugeordnet werden. Sie liefern zusätzliche Stützstellen für die Kartierung der Geneseareale. Die genetische Kartierung des Grundwasserchemismus stellt eine Momentaufnahme in einem dynamischen System dar. Änderungen der Grundwasserdynamik z. B. im Ergebnis des Klimawandels oder durch anthropogene Eingriffe können zu Veränderungen der Speisungsbedingungen in den GWL führen. Ein kontinuierliches Monitoring des Grundwasserchemismus in wasserwirtschaftlich sensiblen Bereichen wird deshalb dringend empfohlen.

Im Beitrag wird deutlich, dass im östlichen Teil des Berliner Urstromtales eine massive geogene Beeinflussung der süßwasserführenden GWL durch intrudierte salinare Wässer besteht. Aufgrund der hier herrschenden geologischstrukturellen und hydrodynamischen Rahmenbedingungen betrifft der Salzwasseraufstieg alle GWL von der Cottbus-Formation bis zur Weichsel-Kaltzeit. Hauptaufstiegsbahnen sind dabei glazigene Rinnen (insbesondere die Briesener und die Neubrück-Merzer Rinne) sowie die Fürstenwalde-Gubener Störungszone.

Die Ausbreitungskinematik der salinaren Wässer in den GWL kann mit der hydrogeochemisch-genetischen Komplexkartierung visualisiert und gefährdete Bereiche (z. B. Einzugsgebiete kommunaler Wasserfassungen) erkannt werden.

Resume

Practical results are presented of a method which area-wide displays groundwater chemism attached to specific aquifers by genetic aspects. This spells out character and grade of development of waters in the different aquifers. On this base successfully can be reconstructed terms of supply, estimated grade of vulnerability and detect upcoming and distribution of saltwater into sweet-water aquifers.

Boreholes with geophysical logging give important aid for complex interpretations. NaCl-equivalents detected from boreholes can be allocated to specific genetic classes sufficient exactly. They serve as additional supporting points for mapping of genetic areas. Genetical mapping of groundwater chemism represents a snapshot of dynamic system. Changes in groundwater dynamic for instance by climatic change or anthropogenic impacts can change conditions of supply in the aquifers. Steadily monitoring of groundwater chemism sensitive areas therefor is essential.

This paper shows, that there is a massive geogene impact of intruding saline waters into sweet water aquifers of the eastern part of the Berlin ice-marginal valley. Because of the geological structure and hydrodynamic conditions here the salinar upcoming hits all aquifers from Cottbus formation up to Weichselian. As main paths function glacial gorges (especially Briesen and Neubrück-Merzen gorge) and the Fürstenwalde-Guben fault zone. Geochemical-genetic complex mapping make visible the kinematic of distribution of saline waters in the aquifers and detect endangered areas (like catchment areas of municipal water plants).

Literatur

- ARCHIE G. E. (1942): The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. – Petroleum Transactions of AIME **146**, 1, S. 54 – 62, New York
- AUTORENKOLLEKTIV (2010): Die geologische Entwicklung der Lausitz. – 198 S., Cottbus (Vattenfall Europe Mining AG)
- DUSCHER, K., REJMAN-RASINKA, E., REINHARDT, S. & A. HERMSDORF (2009): Auswertung und Fortschreibung der Konzeption des Messnetzes "Geogene Grundwasserversalzung" in Brandenburg. – Bericht HYDOR Consult GmbH, 83 S., 12 Anl., Berlin (unveröff.)
- DINSE, S. & A. SELICKO (2010): Belastungsrelevante Parameter in Rohwasserproben von Wasserwerken im Land Brandenburg. – GCI GmbH, 59 S., 2 Anh., Königs Wusterhausen
- EHRHARDT, K.-H., HODAN, S. & U. WILKE (1980): Hydrogeologischer Ergebnisbericht Detailerkundung Eisenhüttenstadt. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, 101 S., 8 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- FEHLAUER, P. (2002): Fachgutachten zur Bemessung der Schutzzonen für das Wasserschutzgebiet Briesen. – AKS GmbH Frankfurt (Oder), 49 S., 12 Anl., Frankfurt (Oder) (unveröff.)
- FRICKE S. & J. SCHÖN (1999): Praktische Bohrlochgeophysik. – 254 S., Stuttgart (Enke)
- GERSTENGABE, F.-W., BADECK, F, HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M. SUCKOW, F., WECH-SUNG, F. & P. C. WERNER (2003): PIK-Report Nr. 85 – Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forstwirtschaft- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – PIK-Studie, 96 S., Potsdam

- HAGEN, H.-H., GROHNKE, C. & B. EMSHOFF (1980): Ergebnisbericht über die im Jahr 1979 80 durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungsarbeiten zu den am WW-Standort I Frankfurt(Oder) gewinnbaren GW-Vorräten.
 Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 125 S., 12 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- HANNEMANN, M., SCHÜTT, E. & P. NILLERT (1976): Hydrogeologischer Ergebnisbericht Briesen 1972/73. – VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 100 S., 15 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- HEARST J. R., NELSON P. H. & F. L. PAILLET (2000): Well logging for physical properties: A handbook for geophysicists, geologists, and engineers. 2nd ed., 492 S., Hoboken (John Wiley & Sons)
- HERMSDORF, A. (2010): Überblick über die Grundwasserversalzungen im Land Brandenburg und ihre Spezifikation für die Binnensalzstellen. – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg **19**, 1/2, S. 9 – 15, Potsdam
- HOTZAN, G. (2010): Genetische Grundwassertypen der Binnenversalzung, ihre Klassifizierung und Erscheinungsformen. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. **17**, 1/2, 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, 1/2, S. 77 – 91, Cottbus
- 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, Cottbus
- Hölting, B. (1992): Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 4. überarbeitete Auflage, 415 S., Stuttgart (Enke)
- KALATZ, R. (1969): Ergebnisbericht über hydrogeologische Untersuchungsarbeiten Objekt Lieberose 1969. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 25 S., 11 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- KALATZ, R. & J. DIETTERLE (1988): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit GW-Vorratsnachweis Müllrose 1988. –
 Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 40 S., 10 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- KUHN, B. (1999): Fachgutachten zur Bemessung der Schutzzonen für das Wasserschutzgebiet Müllrose. – AKS GmbH Frankfurt(Oder), 50 S., 11 Anl., Frankfurt (Oder) (unveröff.)

- LANGKUTSCH, U. & R. RUSSKOFF (1982): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsnachweis VE Lebus 1979-81. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 57 S., 16 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- LANGKUTSCH, U. (1985): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsnachweis Storkow 1984. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 46 S., 8 Anl., Nordhausen (unveröff.)
- LEHMANN, G. & C. SCHÖPFER (2004): Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Fürstenwalde. – BCE GmbH Koblenz, 40 S., 10 Anl., Koblenz (unveröff.)
- LEU, J., DANN, T., FISCHER, U., SEEGER, J. & R. MÜLLER (1991): Dokumentationsbericht – Tiefe geschützte Grundwasserleiter Berlin-Ost. – Bericht GFE GmbH, Filiale Schwerin, 959 S., Schwerin (unveröff.)
- LUDWIG, G. & A. RICHTER (1974): Hydrogeologischer Ergebnisbericht Bad Saarow 1973. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 85 S., 11 Anl., Berlin (unveröff.)
- MANHENKE, V., HANNEMANN, M. & B.RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiter-komplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Brandenburg. Geowiss. Beitr. 2, 1, S. 12, Kleinmachnow
- MEDON, G., MÜLLER, A., GRAETZ, D. & U. LANGKUTSCH (1986): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit GW- Vorratsnachweis Beeskow 1984. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 40 S., 10 Anlagen, Berlin (unveröff.)
- RECHLIN, B., A. HOFFKNECHT, SCHOLZ, H. & A. HELMS (2010): Genetische Bewertung von Analysen der Hydrosphäre. – Software LBGR/GCI, Cottbus, Königs Wusterhausen
- ROSSUM, J. R. (1975): Checking the accuracy of water analysis through the use of conductivity. J. Americ. Water Works Assoc. **67**, S. 204 205, Washington D. C.
- SLAWINSKI, G. (1990): SVZ Abbruchakte Braunkohlesuchbohrungen Objekt Berlin Ost II 1990. – GFE GmbH, Filiale Berlin, 56 S., Berlin (unveröff.)
- STACKEBRANDT, W. (Hrsg.) (2010): Atlas zur Geologie von Brandenburg (1: 1 000 000). – Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Cottbus
- TESCH, J., SCHÜTT, E., KNISPEL, H., KRÜGER, W., WIEDWALD, M. & E. SCHWALBE (1983): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit GW-Vorratsnachweis Fürstenwalde 1983. – Bericht VEB Hydrogeologie, BT Berlin, 269 S., 13 Anl., Berlin (unveröff.)

- TESCH, J., BURMANN, G., SCHWAMM, G. & P. NILLERT (1987): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit Vorratsberechnung VE Fürstenwalde. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Berlin, 309 S., 12 Anl., 36 Anhänge, Berlin (unveröff.)
- TRETTIN, R., HAASE, G. & M. HABEDANK (1990): ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr-Untersuchungen an Grundwässern des Berliner Urstromtales. – Isotopenpraxis **26**, 12, S. 595 – 598, Berlin (Akademie)
- Voss, T. & W. KLINK (2010): Interpretationsbericht zur Komplexauswertung von Alt-Bohrlochmessdaten im Bereich des Erlaubnisfeldes Beeskow-Birkholz. – Bericht Bohrlochmessung Storkow GmbH i. A. der Vattenfall Europe Mining AG, 42 S., Storkow (unveröff.)
- WAGNER, R. (1980): Temperaturkorrekturfaktoren für die elektrische Leitfähigkeit von natürlichen Wässern. – Z. Wasser Abwasser Forsch. 13, 2, S. 62 – 65, Weinheim
- WEBER, W. (1980): Hydrogeologischer Ergebnisbericht Vorerkundung Friedland-NL. 1978-80. – Bericht VEB Hydrogeologie Nordhausen, BT Torgau, 122 S., 9 Anl., Torgau (unveröff.)
- ZIESCHE, M., KOHFAL, K. & A. HECHT (1999): Hydrogeologisches Gutachten zur Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Eisenhüttenstadt (Pohlitz und Rautenkranz). – GCI mbH, 53 S., 7 Anl., Königs Wusterhausen (unveröff.)

Anschrift der Autoren:

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

Thomas Voß Bohrlochmessung-Storkow GmbH Schützenstraße 33 15859 Storkow voss@blm-storkow.de

Legende zur hydrogeochemisch-genetischen Karte

hydrogeochemisch-genetische Charakteristik von Einzelaufschlüssen

Symbol Geneseklasse Bezeichnung

junge Uferfiltratwässer

```
junge, unbeeinflusste Uferfiltratwässer
```

\bigcirc	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
-----	---

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

junge Neubildungswässer

junge, unbeeinflusste Neubildungswässer

	D11	junge Neubildungswässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener
-	5	Beeinflussung

junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung

D21	junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch landwirtschaftliche und urbane Nutzung
D24	junge Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch Deponien

junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung

	D31	junge Neubildungswässer mit geogen-salinarer Beeinflussung
	D32	junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch Pyritverwitterung
Δ	D34	junge Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung durch $\ensuremath{\tt ,}$ sauren Regen" (Versauerung)

gealterte Neubildungswässer

gealterte, unbeeinflusste Neubildungswässer

ightarrow	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
E24	gealterte Neubildungswässer mit anthropogener Beeinflussung durch Deponien

gealterte Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung

E31	gealterte Neubildungswässer mit geogen-salinare Beeinflussung
	Decliniussung

alte Neubildungswässer

alte, unbeeinflusste Neubildungswässer

•	F11	alte Neubildungswässer ohne bzw. mit diffuser anthropogener Beeinflussung
---	-----	--

alte Neubildungswässer mit geogener Beeinflussung

▲ F31 alte Neubildungswässer mit geogen-salinarer Beeinflussung

statische Grundwässer		
statische, unbeeinflusste Grundwässer		
0	G11	statische Grundwässer, unbeeinflusst
statische G	rundwässer i	nit geogener Beeinflussung
	G31	statische Grundwässer mit geogen-salinarer Beeinflussung
salinare Gr	undwässer de	es Süßwasserstockwerks
	1311	salinare Ablaugungswässer
	1312	salinare alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)
	1313	salinare erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)
	132	salinare gealterte erdalkalisierte Wässer (gealterte salinare Intrusion)
	133	salinare gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)
	134	salinare Gleichgewichtswässer
salinare Gr	undwässer de	es 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

hydrogeochemisch-genetische Charakteristik von Flächen

Hangendbereich eines Grundwasserleiters

Symbol Geneseklasse Bezeichnung

junge Uferfiltratwässer

junge Uferfiltratwässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung

junge Neubildungswässer

junge Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung

gealterte Neubildungswässer

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

alte Neubildungswässer

alte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung

statische Grundwässer

G11

statische Grundwässer, unbeeinflusst

B31, C31, D31, E31, Grundwässer mit geogen-salinarer Beeinflussung

Grundwässer mit geogen-salinarer Beeinflussung

F31, G31

salinare Grundwässer

salinare Grundwässer des Süßwasserstockwerks

I311 salinare Ablaugungswässer

- 1312 salinare alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)
- I313 salinare erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)

133 salinare gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)

134 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

alte Neubildungswässer ohne und mit anthropogener Beeinflussung

statische Grundwässer

G11 statische Grundwässer, unbeeinflusst

Grundwässer mit geogen-salinarer Beeinflussung

B31, C31, D31, E31, Grundwässer mit geogen-salinarer Beeinflussung F31, G31

salinare Grundwässer des Süßwasserstockwerks

1311	salinare Ablaugungswässer
1312	salinare alkalisierte Wässer (Aufsüßungswässer)
1313	salinare erdalkalisierte Wässer (salinare Intrusion)
132	salinare gealterte erdalkalisierte Wässer (gealterte salinare Intrusion)
133	salinare gealterte alkalisierte Wässer (gealterte Aufsüßungswässer)
134	salinare Gleichgewichtswässer

Grundwasserdynamik

- Isohypsen der Grundwasseroberfläche
- Unterirdische Einzugsgebiete von Wasserfassungen

geologische Strukturelemente

- Fehlstellen von Grundwasserhemmerkomplexen im Liegenden des GWL
- pleistozäne Rinnenstrukturen
- Rupelfehlstellen
- glazigene Stauchungsgebiete
- tektonische Störungen

geophysikalische Interpretation von Bohraufschlüssen

 bis 400 mg/l NaCl- Äquivalent

 400 - 1000 mg/l NaCl- Äquivalent

 1000 - 4500 mg/l NaCl- Äquivalent

 4500 - 15000 mg/l NaCl- Äquivalent

 15000 - 90000 mg/l NaCl- Äquivalent