

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Cottbus	27 (2020), 1/2	S. 47–60	10 Abb., 3 Tab., 23 Zit.
------------------------------	---------	----------------	----------	--------------------------

# Geogene Grundwasserversalzung in Berlin

## Geogenic groundwater salinization in Berlin

TIM SCHRAMM & RAINER HERD

### Ausgangssituation

Die geogene Grundwasserversalzung ist in Berlin und im Berliner Umland spätestens seit Anfang des 20. Jahrhunderts aufgrund zunehmender Grundwasserförderung stärker in den Focus gerückt. Sowohl in der Historie als auch aktuell werden Wässer mit weniger als 1000 mg/l Gesamtlösungsinhalt als Süßwasser und mit mehr als 1000 mg/l als Besonderheit und Ausnahme angesehen, insofern sie in oberflächennahen Schichten anzutreffen sind (DAVIS & DE WIEST 1967). Die Süßwasserentnahme führte mancherorts zu einem Ansteigen des Salzgehaltes in den Brunnen der Wasserwerke und wurde somit zum nutzungsbegrenzenden Faktor für die Trinkwassergewinnung (HANNEMANN & SCHIRRMESTER 1998).

Historisch betrachtet sind insbesondere drei Meilensteine festzuhalten, welche die geogene Grundwasserversalzung in Berlin und im Berliner Untergrund behandeln: a) die Hydrogeologische Übersichtskarte der DDR 1:200.000 (bis 1977), b) das Hydrogeologische Kartenwerk der DDR – HK 50 (1979 bis 1984) für den Ostteil Berlins und c) die Bohrprogramme „Nord“ und „Süd“ für den Westteil Berlins (1972 bis 1988). Neben den genannten Kartenwerken wurden zusätzlich, teilweise sehr detaillierte, Untersuchungen für ausgewählte Bereiche vorgenommen. Insgesamt steht bisher aber keine detaillierte gesamtheitliche Darstellung der Versalzungssituation für den Raum Berlin zur Verfügung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, aus den vorliegenden Informationen (Karten und Daten der verschiedenen Untersuchungsprogramme) die salzwasserrelevanten Informationen zu extrahieren, zu validieren und für die Erstellung neuer Karten zu nutzen.

### Geologische und hydrogeologische Situation

Morphologisch kann der Berliner Raum in drei Hochflächen und ein Niederungsgebiet unterteilt werden: die Nauener Platte im Südwesten, die Teltow-Hochfläche im Süden, die Barnim-Hochfläche im Norden und Nordosten sowie das Niederungsgebiet des Warschau–Berliner Urstromtals im zentralen Teil (siehe Abb. 1).

Die Geländehöhen der Hochflächen liegen jeweils zwischen 40 und 70 m NHN (vgl. Abb. 2). Ausgenommen davon sind Bereiche im westlichen Teil der Nauener Platte sowie im Norden und Nordosten der Barnim-Hochfläche.

Von Nordwest- nach Südost-Berlin verläuft das, sich über einen großen Teil des Stadtzentrums erstreckende, Niederungsgebiet des Warschau–Berliner Urstromtals. Es liegt mit einer Geländehöhe von 25 bis 45 m NHN ca. 25 m tiefer als die Hochflächen. Eine lokale Ausnahme bilden hier die höher aufragenden Müggelberge im Südosten. Die Oberflächengestalt des Berliner Raums wurde im Wesentlichen in der letzten Eiszeit, der Weichsel-Kaltzeit, geformt. Im oberflächennahen Untergrund treten die in Tab. 1 aufgeführten stratigraphischen Einheiten des jüngeren Tertiärs und des Quartärs auf.

Die erdzeitlich jüngsten, holozänen Schichten, bestehend aus Torfen, Mudden, Dünen, Flusssanden und anmoorigen Sanden befinden sich hauptsächlich im Warschau–Berliner Urstromtal. Im Liegenden der holozänen Schichten lagern die Schichtfolgen der Weichsel-Kaltzeit und des Weichsel-Spätglazials (GWL 1) mit Schmelzwassersanden, Geschiebelehmen und -mergeln sowie Dünenanden (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2020). Im Liegenden der Weichsel-Schichtfolgen folgen die Schichten der Saale-Kaltzeit (GWL 2) mit Schmelzwassersanden, Geschiebelehmen und -mergeln sowie Beckentonen und -schluffen. Sie sind in Berlin großflächig verbreitet, während die Schichten der Eem-Warmzeit, bestehend aus Torfen, Mudden und anmoorigen Sanden, nur sehr lokal ausgeprägt sind.

Die Ablagerungen der Holstein-Warmzeit im Liegenden bilden einen großräumig aber nicht im gesamten Raum Berlin ausgebildeten Grundwassergeringleiter. Die Oberkante dieser Schichten befindet sich in einer Tiefe von meist –10 m NHN bis +10 m NHN und die Ablagerungen sind in der Regel nicht mächtiger als 30 m. Sie bestehen vorwiegend aus Torfen, Mudden, Tonen und Schluffen mit Schnecken (*Viviparus diluvianus*). Wie in Abb. 3 zu erkennen, sind die

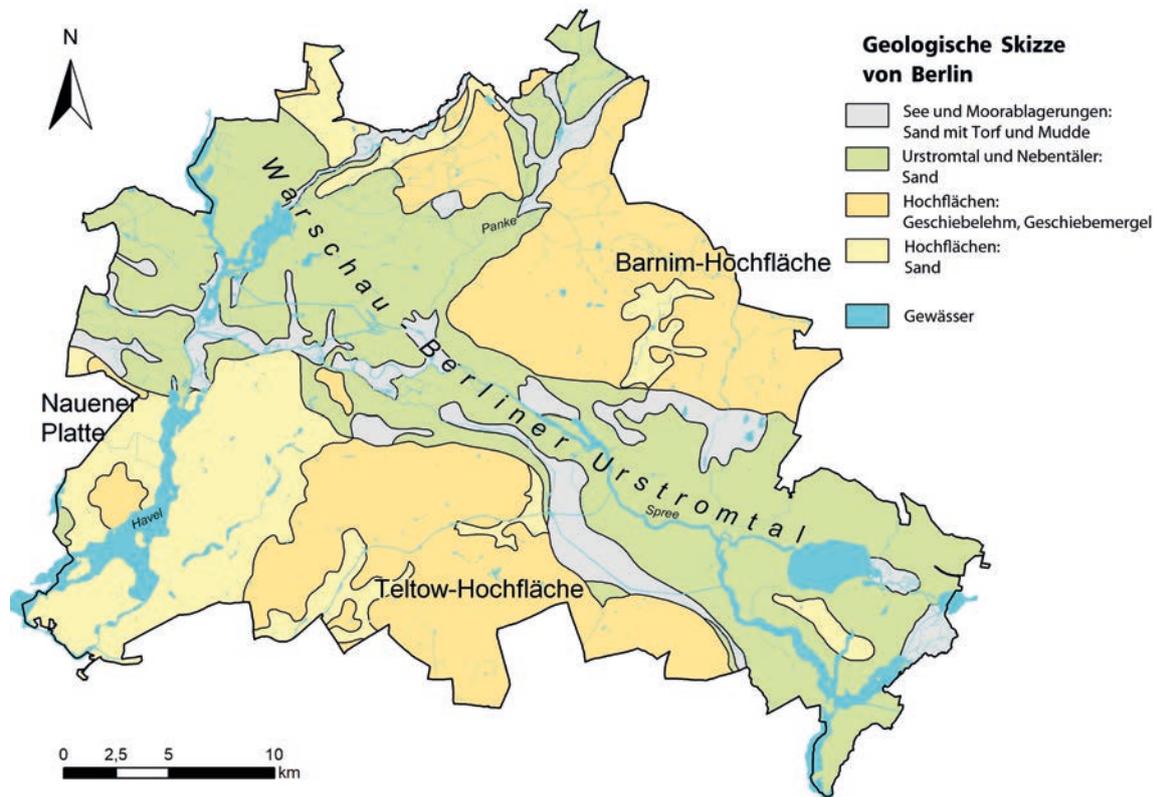


Abb. 1: Geologische Skizze von Berlin mit naturräumlich-geomorphologischer Unterteilung (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2008)  
 Fig. 1: Geological sketch of Berlin with geomorphological subdivision (LANDESGEOLOGIE BERLIN 2008)

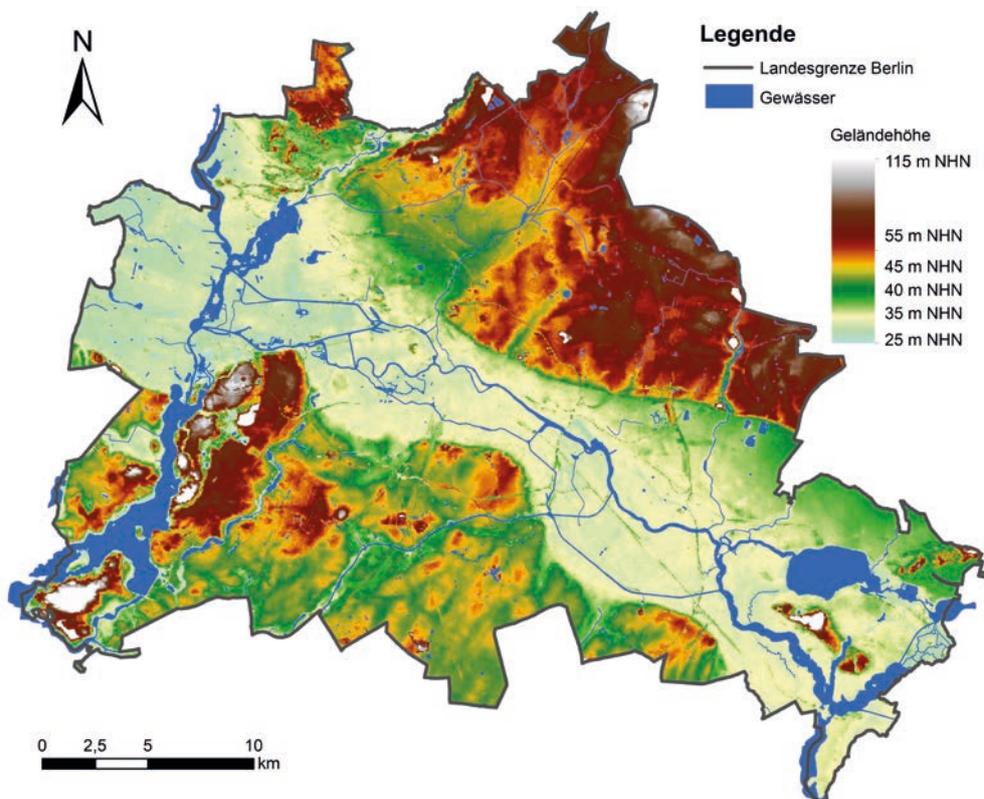


Abb. 2: Geländehöhen von Berlin mit Darstellung der Gewässer; Datenbasis: Digitales Geländemodell 50 (GEOPORTAL BERLIN 2018)  
 Fig. 2: Terrain heights of Berlin with water bodies; database: digital terrain model 50 (GEOPORTAL BERLIN 2018)

Periode	Epoche	Stufe	Hydrostratigraphie	Typische Ablagerungen
Quartär	Holozän		GWL 1	Dünen, Fluss- und anmoorige Sande
	Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit	GWL 1	Schmelzwassersande
			GWGL	Geschiebelehm-/mergel
		Saale-Kaltzeit	GWL 2	Schmelzwassersande
		Holstein-Warmzeit	GWGL	Torfe, Mudden, Tone und Schluffe
	Elster-Kaltzeit	GWL 3	Schmelzwassersande	
Tertiär	Miozän		GWGL	Braunkohlentone und -schluffe
			GWL 4	Sande
	(Ober-) Oligozän	Cottbus-Formation	GWL 4	Feinsande
	(Unter-) Oligozän	Rupelton-Formation	GWGL	Ton teilweise mit Septarien

Tab. 1: Auszug aus der schematischen Gliederung des Quartärs und Tertiärs mit hydrostratigraphischer Einordnung basierend auf LIMBERG et al. (2007), STD (2016) und LIMBERG & THIERBACH (2002);  
 GWL – Grundwasserleiter; GWGL – Grundwassergeringleiter

Tab. 1: Extract from the schematic structure of the Quaternary and Tertiary with hydrostratigraphic classification based on LIMBERG et al. (2007), STD (2016) and LIMBERG & THIERBACH (2002); GWL – aquifer; GWGL – aquiclude

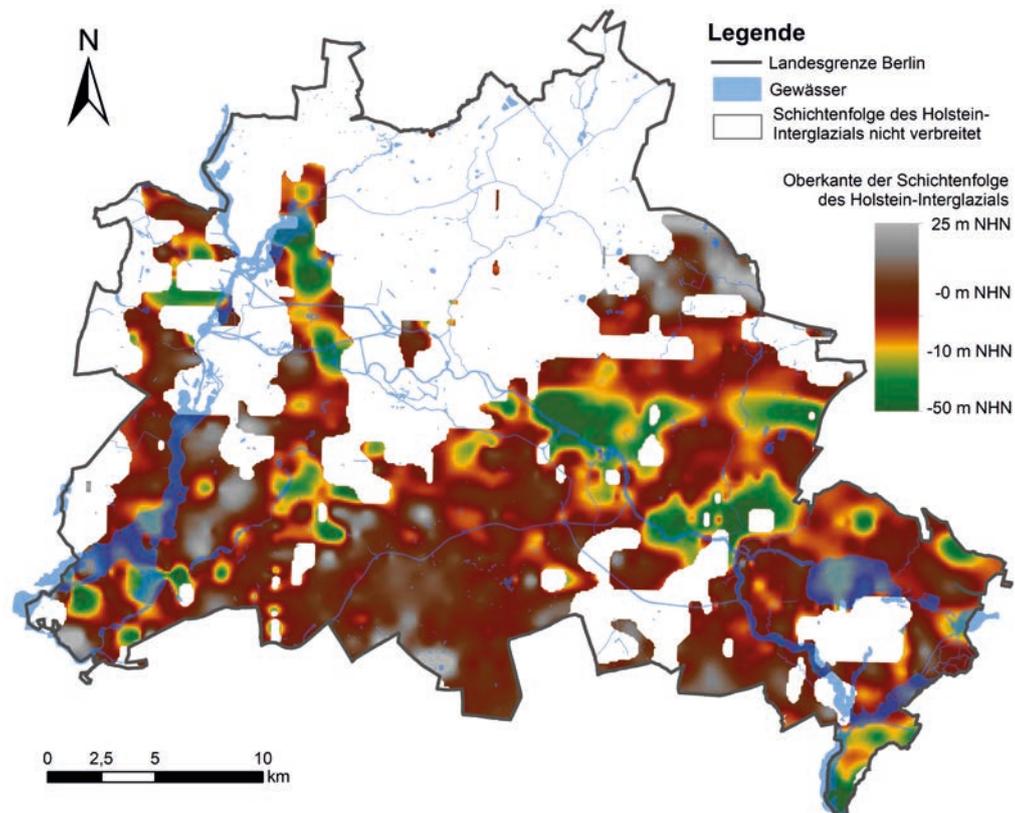


Abb. 3: Lage der Oberkante und Verbreitung der Schichtfolge des Holstein-Interglazials; generiert aus Daten der LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020)

Fig. 3: Position of the upper edge and distribution of the Holstein interglacial strata generated from LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) data

Schichtfolgen des Holstein-Interglazials hauptsächlich im Süden verbreitet. Sie nehmen teilweise eine Barrierefunktion ein, indem sie den Hauptgrundwasserleiter (GWL 2) vor der Intrusion von Wässern aus den im Liegenden folgenden GWL 3 und GWL 4 schützen (LIMBERG & THIERBACH 2002).

Im Liegenden der Schichtfolgen des Holstein-Interglazials folgen hauptsächlich grundwasserleitende Ablagerungen des älteren Pleistozäns, der Elster Kaltzeit mit Schmelzwassersanden, sowie grundwasserhemmende Geschiebelehm-/mergel, Beckentone und -schluffe. Im Liegenden folgen die Ablagerungen des Miozäns (Sande, Schluffe und Braunkohlen) und des Oberoligozäns (schluffige Feinsande). Sie stellen die Grundwasserleiter GWL 3 und GWL 4 dar. Die Unterkante der elsterzeitlichen Ablagerungen stellt im Raum Berlin gleichzeitig die Grenze zwischen Tertiär und Quartär (Quartärbasis) dar.

Von besonderer Bedeutung für die Salzwasserdynamik ist der im Liegenden der oberoligozänen Schichten anzutreffende Rupelton. Für die hydrogeologische Situation stellt der Rupelton in der Regel die entscheidende Barriere zwischen dem nutzbaren Süßwasserstockwerk (GWL 1 bis GWL 4)

und dem Salzwasserstockwerk (GWL 5) dar (vgl. LIMBERG & THIERBACH 2002). Der Rupelton ist ein in ganz Norddeutschland ausgebildetes vollmarines Sediment aus dem Unteroligozän, dessen Oberkante aufgrund der Salztektonik in Berlin in unterschiedlichen Höhen anzutreffen ist. In der Regel liegt sie in einer Tiefe von  $-200$  bis  $-50$  m NHN, im Nordwesten taucht sie bis auf  $-500$  m NHN ab, im Norden dagegen liegt sie höher und bei Lübars tritt sie sogar an die Oberfläche (siehe Abb. 5). Dort, wo diese Barriere aufgrund der Ausräumung durch Elster-kaltzeitliche Exarations- und subglaziale Erosionsrinnen nicht mehr vorhanden ist, besteht bei entsprechenden Druckverhältnissen, die Möglichkeit des Aufstiegs von hochmineralisierten Tiefenwässern aus dem Salzwasserstockwerk. Die Ausräumungstiefe dieser Elster-kaltzeitlichen Rinnen kann mehr als 100 m erreichen (vgl. Abb. 4). Durch Grundwasserförderung im näheren Umfeld von Fehlstellen im Rupelton (Rupeltonfenster) wird dieser Effekt verstärkt (LIMBERG et al. 2016). In Bereichen, in denen er nicht erodiert wurde, erreicht er Mächtigkeiten zwischen 70 und 100 m. In LIMBERG et al. (2016, S. 11) ist die Lage und Ausbreitung bekannter Rupeltonfenster in Berlin beschrieben. Die Lage der fünf bisher bekannten Fenster ist in Abb. 5 zu erkennen.

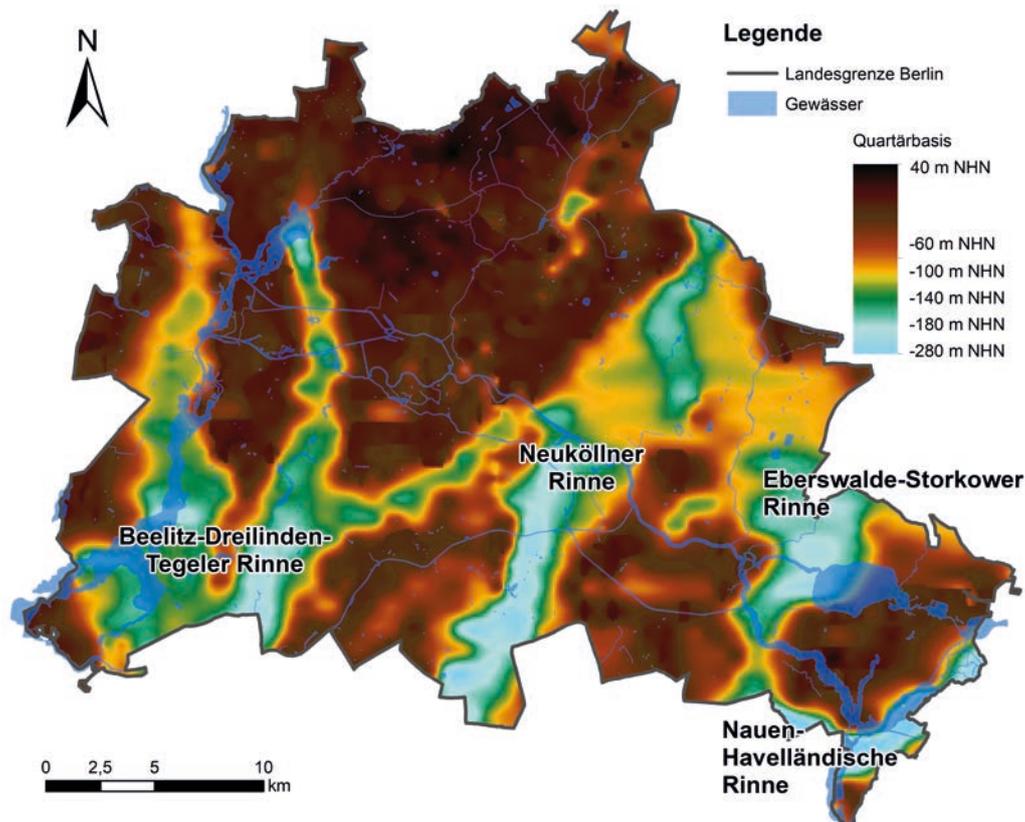


Abb. 4: Lage der Grenzfläche Tertiär/Quartär (Quartärbasis); Datengrundlage bereitgestellt von U. Hörmann (Landesgeologie Berlin, Bearbeitungsstand: 30.11.2017; Benennung der Rinnen: STACKEBRANDT et al. (2010) und WASCINSKI (1993)

Fig. 4: Position of the tertiary / quaternary interface (quaternary base); Data basis provided by U. Hörmann (Landesgeologie Berlin, processing status: November 30<sup>th</sup>, 2017); designation of erosion channels: STACKEBRANDT et al. (2010) and WASCINSKI (1993)

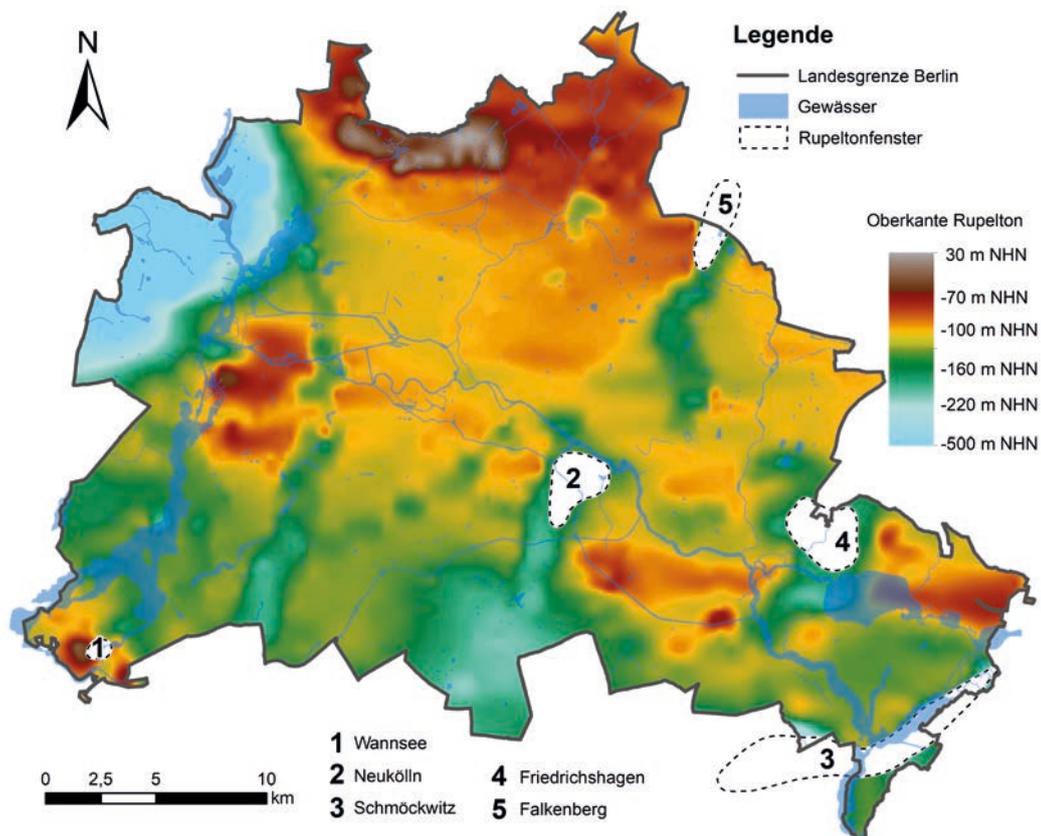


Abb. 5: Oberkante des Rupeltons sowie Lage und Benennung der Rupeltonfenster generiert aus LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) und LIMBERG (2016)

Fig. 5: Upper edge of the Rupelian clay as well as position and name of Rupelian clay windows generated from LANDESGEOLOGIE BERLIN (2020) and LIMBERG (2016)

**Definition der Süß-/Salzwassergrenze**

Geogen versalzene Grundwässer weisen in der Regel hohe Konzentrationen der Ionen Na<sup>+</sup> und Cl<sup>-</sup> auf. Daher eignet sich eine NaCl-Konzentration von mehr als 1000 mg/l (vgl. Tab. 2) als Indikator für eine geogene Grundwasserversalzung. Entsprechend der molaren Massenverteilung entspricht dies einer Clorid-Konzentration von 607 mg/l (GLANDER et al. 1973). Neben der Verwendung der NaCl-Konzentration als Indikator für die Bestimmung der Süß-/

Salzwassergrenze eignet sich auch die elektrische Leitfähigkeit als Parameter, welcher z. B. direkt über eine Leitfähigkeitsmesssonde an einem Kabellichtlot gemessen wird oder indirekt über eine geophysikalische Bohrlochmessung als Porenfluidleitfähigkeit berechnet werden kann. Die Verhältnisbeziehung des spezifischen elektrischen Widerstandes zur Ionenkonzentration einer reinen NaCl-Lösung ist in FRICKE & SCHÖN (1999) dargestellt. Im Falle der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit aus bohrlochgeophysikalischen oder oberflächengeophysikalischen Messungen,

Methodik	Bezug	Parameter	Grenze
direkt gemessen	Grundwasser im Filterbereich	spezifische elektrische Leitfähigkeit	≥ 2000 µS/cm
		NaCl-Konzentration	≥ 1000 mg/l
		Cl-Konzentration	≥ 607 mg/l
	anstehendes Gebirge (Gestein + Porenfluid) im sandigen Aquifer	spezifischer elektrischer Widerstand	≤ 20 Ωm
berechnet	Porenfluid im sandigen Aquifer	spezifische elektrische Leitfähigkeit	≥ 2000 µS/cm

Tab. 2: Verwendete Grenzen der geogenen Grundwasserversalzung (Süß-/Salzwassergrenze)  
 Tab. 2: Applied limits of geogenic groundwater salinization (freshwater/saltwater boundary)

z. B. mit Methoden der Geoelektrik und der Elektromagnetik, werden Gebirgsleitfähigkeiten (elektrischer Widerstand von Gestein plus Porenfluid) gemessen. In einem sandigen Aquifer entspricht eine Gebirgsleitfähigkeit von  $20 \Omega\text{m}$  einer NaCl-Äquivalentkonzentration von  $1000 \text{ mg/l}$  (GUTIERREZ 2015). Jedes Verfahren hat seine Vor- und Nachteile. In hydrochemischen Analysen werden in der Regel auch die Konzentrationen der Hauptionen  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  und  $\text{HCO}_3^-$  bestimmt, welche sich gut dazu eignen, mögliche andere Versalzungsursachen in Betracht zu ziehen bzw. auszuschließen. Die geogene Grundwasserversalzung ist deutlich von anthropogenen Einflussfaktoren zu differenzieren, die in Berlin in oberflächennahen Grundwässern beispielsweise für eine Erhöhung der Gehalte an Natrium, Chlorid sowie Calcium und Sulfat von Bedeutung sein können. Bedeutende anthropogene Ursachen sind z. B. langfristiger Salzeintrag (z. B. durch flächendeckende Bauschutt- und Trümmerverkipfung infolge des Zweiten Weltkrieges oder durch Streusalz) oder die fast 100-jährige Abwasserverrieselung an der Peripherie von Berlin. Um das Auftreten einer geogenen Grundwasserversalzung charakterisieren zu können, wurde die Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) ermittelt.

## Datenherkunft und Datenbearbeitung

### Untersuchungen des VEB Hydrogeologie und des Zentralen Geologischen Instituts

In den Dokumenten waren sowohl Informationen aus geophysikalischen Messungen (BURDE & VOLKMER 1977, KABOTH et al. 1988) als auch hydrochemische Analysedaten vorhanden. Geoelektrische Sondierungen wurden im Südosten Berlins, südlich des Müggelsees, vorgenommen, während hydrochemische Datensätze sowohl aus Berlin Lichtenberg (BOSSE et al. 1989), Buch (HAGEN & KRÜGER 1975) und Mitte (KNIESEL 1985) dokumentiert sind. Darüber hinaus wurden auch Daten aus Sonderprogrammen, z. B. zur Erkundung tiefer Grundwasserleiter (GRUS et al. 1983) einbezogen. Gesondert von den Untersuchungen des VEB Hydrogeologie Nordhausen wurde vom Zentralen Geologischen Institut (ZGI) der Nordosten (ZIESCHANG & REISS 1978) und der Südosten Berlins (ZIESCHANG & JAHNKE 1978) untersucht, auch diese Daten wurden verwendet.

Um für den gesamten Raum Berlin Aussagen treffen zu können, wurden die zur Verfügung stehenden Daten aus dem Osten und Südosten Berlins digitalisiert. Bei der Datenaufbereitung wurden zunächst die Analysedaten den entsprechenden Messstellennummern der Landesgeologie zugeordnet. Anschließend wurden spezifische elektrische

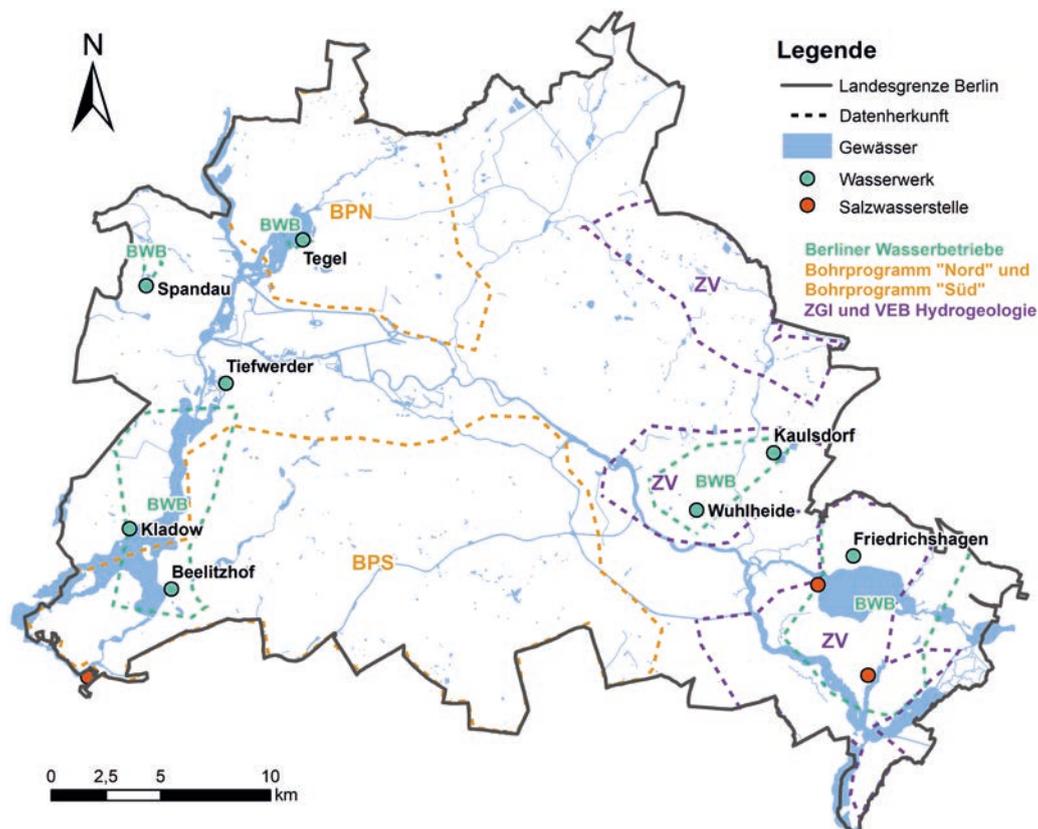


Abb. 6: Abdeckungsbereiche ausgewählter Messprogramme und Lage aktiver Wasserwerke

Fig. 6: Areal coverage of selected investigation programs and location of active waterworks

Leitfähigkeiten für 25 °C berechnet. Da aktuell gemessene Werte üblicherweise auf 25 °C bezogen werden, wurden lediglich die Werte mit diesem Bezug verwendet. Darüber hinaus wurden die Nachweisgrenzen überprüft und dort, wo es erforderlich war einige Formatierungen geändert, sodass die Daten für die Auswertung in der geologischen Datenbanksoftware GeODin, der Programmierplattform RStudio, basierend auf der Programmiersprache R, sowie der Geoinformationssoftware ArcGIS verwendet werden konnten. Bevor die Daten verwendet wurden, fand außerdem eine Prüfung auf Übereinstimmung der Einheiten und gegebenenfalls eine Umrechnung statt, um die Vergleichbarkeit mit den anderen zur Verfügung stehenden Daten gewährleisten zu können.

### **Bohrprogramm Nord und Bohrprogramm Süd**

Über die bisher genannten Datengrundlagen hinaus wurde auf die Daten des Bohrprogramms Nord (BPN) und des Bohrprogramms Süd (BPS) zurückgegriffen. Für den Westen Berlins bestand nicht zuletzt aufgrund seiner Insellage bis 1989 das Problem eines unausgeglichenen Grundwasserhaushalts. Seit Ende der 60er Jahre wurde teilweise über lange Zeit bedeutend mehr Grundwasser entnommen, als auf natürlichem Wege neugebildet werden konnte. Zur Lösung dieses Defizits gab es bereits zu jener Zeit Anlagen zur künstlichen Anreicherung des Grundwassers mit Oberflächenwasser. Ziel der Bohrprogramme war daher die Erkundung des Berliner Untergrundes bis zum Rupelton im Hinblick auf Entlastungsmöglichkeiten, um damit Lösungen für das Grundwasserhaushaltsdefizit zu liefern (VOGT 1988).

Das Bohrprogramm Nord wurde in den Jahren 1972 bis 1975 in den Bezirken Reinickendorf und Wedding durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 21.000 Bohrmeter abgeteuft und 197 Messstellen errichtet (vgl. Tab. 3). Im Bohrprogramm Süd, das sich über die südlichen Bezirke Berlins, Wilmersdorf, Schöneberg, Kreuzberg, Neukölln, Tempelhof und Steglitz erstreckte, wurden von 1977 bis 1988 weitere 66.000 Bohrmeter an insgesamt 254 Messstellen abgeteuft. Alle Bohrungen beider Bohrprogramme wurden auch geophysikalisch vermessen. Ab 1990 war geplant, das Bohrprogramm „Mitte“ durchzuführen (VOGT 1988), welches allerdings aufgrund der Deutschen Einheit im Jahre 1990 nicht mehr stattfand. Die meisten der Messstellen aus den beiden Bohrprogrammen werden bis heute genutzt. Die Lage der Untersuchungsgebiete der beiden Bohrprogramme ist in Abb. 6 dargestellt.

Um die Süß-/Salzwassergrenze möglichst exakt bestimmen zu können, wurde der Bestand an bohrlochgeophysikalischen Messungen aufbereitet. So konnten die Ergebnisse der Bohrlochgeophysik aus den Bohrprogrammen Nord und Süd verwendet werden. Im Rahmen der Bohrprogramme im Westen Berlins wurden in der Regel noch in den offenen Bohrungen elektrische Widerstände, das Eigenpotential und die Gammastrahlung (Gamma-ray) über die gesamte Tiefe

gemessen. An den Messstellen des Bohrprogramms Nord wurde bis 1996 nachträglich mittels bohrlochgeophysikalischer Methoden eine Ausbauekontrolle vorgenommen, bei der in der Regel bereits die Porenwassermineralisation im umgebenden Gebirge bestimmt wurde. Die Daten wurden analog zu den Daten des VEB Hydrogeologie und des ZGI aufbereitet.

### **Dokumentierte Salzwasseraustritte**

In der Vergangenheit wurden für Berlin und Brandenburg mehrfach Salzwasserstellen durch Salzwasseraustritte oder durch Salzwasserflora dokumentiert. Drei der in Berlin oder in unmittelbarer Nähe zur Landesgrenze befindliche Salzwasserstellen aus STACKEBRANDT et al. (2010) wurden berücksichtigt (vgl. Abb. 6). Für diese Salzwasserstellen wurde als Süß-/Salzwassergrenze die Geländeoberkante eingesetzt.

### **Messungen der Berliner Landesgeologie**

#### **Grundwassergütemessnetz**

Im Rahmen des Grundwassergütemessnetzes der Berliner Landesgeologie (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz) werden seit 1998 halbjährig, vorrangig im Hauptgrundwasserleiter (GWL 2) verfilterte, Grundwassermessstellen beprobt. Die Analysen enthalten unter anderem Angaben zur Konzentration an  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  sowie zur spezifischen elektrischen Leitfähigkeit. Aktuell sind 210 Messstellen im Grundwassergütemessnetz enthalten.

#### **Datenbank der Berliner Landesgeologie**

In der Datenbank der Berliner Landesgeologie sind Messdaten zu Konzentration an  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  und zur spezifischen elektrischen Leitfähigkeit vorhanden, die teilweise aus unregelmäßigen und teilweise aus Messungen in regelmäßigen Abständen stammen. Viele der Vor-Ort-Messungen enthalten vorrangig Informationen zur elektrischen Leitfähigkeit. In den Labor-Datensätzen sind zusätzlich auch Ionenanalysen vorhanden. Die verwendeten Leitfähigkeiten stammen zumeist aus den Laboranalysen. Waren dazu keine Daten vorhanden, wurden die Daten aus der Vor-Ort-Messung herangezogen.

Der Bestand an Laboranalysedaten für tiefe Messstellen war auf wenige Einzelmessungen beschränkt. Der Grund dafür ist, dass für eine Vielzahl von Anfragen und Problemstellungen mit Grundwasserbezug die Beschaffenheit von oberflächennahem Grundwasser von vorrangiger Bedeutung ist. Letztlich war es aufgrund dieser Ausgangssituation erforderlich, auf ältere Datenbestände zurückzugreifen.

## Salinitätsprogramm

Ab 2013 wurden von der Berliner Landesgeologie und den Berliner Wasserbetrieben im Rahmen des Salinitätsprogramms jährlich an ausgewählten Messstellen Messungen vorgenommen und teilweise wiederholt, um die zeitliche Entwicklung der Gesamtmineralisation abzubilden. Genutzt wird dabei insbesondere ein Induktionslog. Mittels entsprechender Gleichungen wird damit in sandigen Partien der Grundwasserleiter die Porenwassermineralisation als NaCl-Äquivalentkonzentration bestimmt. Um die Bohrlochgeophysikergenergebnisse der Landesgeologie mit den Daten aus anderen Quellen (z. B. BWB) vergleichen zu können, wurden die im Auftrag der Landesgeologie berechneten NaCl-Äquivalentkonzentrationen jeweils mit dem Faktor 1:2 (mg/l:µS/cm) in spezifische elektrische Leitfähigkeiten umgerechnet.

Sowohl für die Anwendbarkeit des Induktionslogs als auch des Widerstandslogs müssen bestimmte Kriterien bezogen auf das Ausbaumaterial der Messstellenverrohrung und dem Bohrl Lochdurchmesser erfüllt sein. Da insbesondere in den östlich gelegenen Bezirken Berlins oft Metall im Ausbau verwendet wurde, sind dort die für die Bestimmung der Porenwassermineralisation besonders wichtigen Induktions- und Widerstandsmessungen oft nicht anwendbar. Die Gesamtzahl der Untersuchungen, die im Rahmen des Salinitätsprogramms durch die Berliner Landesgeologie vorgenommen wurden, liegt aktuell bei 60 an 35 Messstellen.

## Leitfähigkeitsmessungen im Rahmen des Temperaturmessprogramms

2015 wurden von der Berliner Landesgeologie an 106 Messstellen Temperaturdaten erfasst. Der Hintergrund des Temperaturmessprogramms war die Absicht, mit Hilfe der Daten Temperaturkarten für die Tiefen 20 m, 40 m, 60 m, 80 m und 100 m unter Geländeoberkante (GOK) zu erstellen (LIMBERG et al. 2016). Neben der Grundwassertemperatur wurde dabei bis zu einer maximalen Tiefe von 150 m und im Abstand von 20 m zusätzlich die spezifische elektrische Leitfähigkeit innerhalb der Messstelle aufgezeichnet. Durch die Tiefeneinschränkung lassen sich für Messstellen mit Tiefen von mehr als 150 m keine Aussage über die spezifische elektrische Leitfähigkeit im Filterbereich treffen. Anhand durchgeführter Messungen wurde deutlich, dass die Leitfähigkeiten im Filterbereich teilweise stark von den gemessenen Leitfähigkeiten oberhalb des Filterbereichs abweichen (SCHRAMM 2018). Die Messstellen der Landesgeologie erreichen eine Tiefe von bis zu 380 m. Wurden entsprechend des beschriebenen Falls erhöhte spezifische elektrische Leitfähigkeiten an einer tiefen Messstelle festgestellt, lässt dies die Vermutung zu, dass auch im Filterbereich mit einer erhöhten Mineralisation zu rechnen ist. Diese Messstellen wurden teilweise im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit erneut vermessen.

Die Daten aus den Messungen von 2015 wurden jeweils darauf geprüft, ob Messungen direkt aus dem Filterbereich der jeweiligen Messstellen vorhanden und daher für die weitere Auswertung verwendbar sind. Als Toleranzwert wurde ein Abstand von einem Meter zum Filterbereich noch als genügend präzise angenommen. Daraus folgte, dass sich lediglich 28 % der Leitfähigkeitsdaten verwenden ließen. 22 der 105 Datensätze beziehen sich auf Messstellen mit einem Filterbereich tiefer –150 m NHN.

## Datenbestand der Berliner Wasserbetriebe

Die Berliner Wasserbetriebe (BWB) verfügen über einen umfangreichen Datenbestand an hydrochemischen Analysen. Die Nutzung der Daten der BWB im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde auf Messstellen, die tiefer als –50 m NHN reichen, beschränkt. Im Rahmen des Ressourcenmanagements der Berliner Wasserbetriebe werden ebenfalls bohrlochgeophysikalische Untersuchungen beauftragt, anhand derer die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Porenfluids berechnet wird.

Insgesamt standen für die Auswertung aus dem Datenbestand der Berliner Wasserbetriebe 5.775 Messdaten zur elektrischen Leitfähigkeit im Filterbereich und 5.402 hydrochemische Analysen zur Verfügung (vgl. Tab. 3). Bei den Datensätzen mussten vereinzelt Einheiten umgerechnet werden. Die von den Wasserbetrieben verwalteten Daten beziehen sich in der Regel auf Förderbrunnen sowie BWB-eigene Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet der Wasserwerksgalerien. Insofern für die BWB-Messstellen bereits eigene Messstellennummern der Landesgeologie vergeben sind, wurden im Sinne einer besseren Verwertbarkeit (z. B. für Zeitreihen) einheitlich die Messstellennummern der Landesgeologie verwendet und die Daten untereinander abgeglichen, um Dopplungen auszuschließen.

## Messprogramm elektrische Leitfähigkeit

Zur weiteren Verdichtung der Daten sind im Zeitraum von 2017 bis 2018 mehr als 300 Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt worden. Dafür wurden Messstellen innerhalb Berlins gezielt ausgewählt. An 45 Messstellen wurden zusätzlich Tiefenprofile erstellt. Elektrische Leitfähigkeit und Temperatur wurden hier für die gesamte Messstellentiefe im Abstand von einem Meter aufgenommen. Im Anschluss wurde jeweils der Durchschnitt aus dem Filterbereich der Messstelle berechnet und in dieser Form in die nachfolgende Interpretation einbezogen. Die gemessenen Leitfähigkeiten wurden anschließend auf 25 °C korrigiert (Details siehe SCHRAMM 2018).

Im Bereich der Galerien des WW Beelitzhof (Lage siehe Abb. 6) wurden teilweise Versalzungserscheinungen über dem Holstein-Interglazial angetroffen. Allerdings war in diesem Bereich zunächst nicht eindeutig belegbar, ob die Versalzung dort tatsächlich geogenen Ursprungs ist. Zur

Datenherkunft	Grundwasser im Filterbereich		Bohrlochgeophysik im sandigen Aquifer		Oberfl. Geoph.	
	NaCl-Konz.	Leitfähigkeit		Widerstand		
	Analytik und/oder Vor-Ort-Messung		berechnete Porenfluid-Leitfähigkeit	Widerstandslog	Sondierungen	
Senat	1.920 (10.268)	2.130 (11.520)		35 (60)	-	-
BWB	479 (5.402)	499 (5.775)		13 (37)	-	-
VEB HGN & ZGI	688 (2.538)	780 (2.443)		29 (42)	1	103
BPN & BPS	451 (451)	451 (451)		82 (82)	53	-
Temperaturmessnetz	-	29 (103*)		-	-	-
Salzwasseraustritte	3**	-		-	-	-
eigene Messungen	-	294 (393)		-	-	3
<b>Insgesamt</b>	<b>1.987 (18.662)</b>	<b>2.197 (20.611)</b>		<b>159 (221)</b>	<b>54</b>	<b>106</b>
verwendet	<b>186</b>		<b>138</b>	<b>54</b>	<b>106</b>	

Tab. 3: Ausgewertete Daten; Standorte (Einzelmessungen), \* - verwendbar gegenüber insgesamt verfügbar, \*\* - genaue NaCl-Konzentration nicht bekannt

Tab. 3: Used data; locations (single measurements), \* - utilizable vs. available, \*\* - exact NaCl-concentration unknown

Detektion der Lage der Süß-/Salzwassergrenze relativ zur Lage der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials wurden daher linienhafte oberflächengeophysikalische Untersuchungen mittels geoelektrischer Widerstandstomographie und Elektromagnetik durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen deuten darauf hin, dass die erhöhten NaCl-Konzentrationen eher auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sind (z. B. Streusalzeinsatz) (SCHRAMM 2018).

Für die Auswertung im Rahmen der Arbeit stehen nach der Einbeziehung von Altdaten insgesamt mehr als 18.000 hydrochemische Analysen zur Verfügung (vgl. Tab. 3).

### Nutzung geologischer Profilschnitte der Landesgeologie

Als Basis für die Verknüpfung der geologischen Schnitte mit den hydrochemischen Informationen wurden zunächst die geologischen Schnitte der Landesgeologie verwendet, die anhand vorhandener Bohrdaten erstellt wurden. Für den gesamten Raum Berlin stehen im Abstand von einem Kilometer Ost-West-Schnitte und im Abstand von fünf Kilometern Nord-Süd-Schnitte zur Verfügung. Die geologischen Profilschnitte wurden mit Hilfe der Programmiersprache R mit der NaCl-Konzentration und den Daten zur elektrischen Leitfähigkeit verknüpft. Die Anbindung der hydrochemischen Kennwerte an die geologischen Profilschnitte wurde für den gesamten Raum Berlin vorgenommen. In den Profilschnitten wurden sowohl die Messungen aus Messstellen bzw. Brunnen im Filterbereich berücksichtigt als auch die Porenwassermineralisationen aus

den bohrlochgeophysikalischen Messungen. Insgesamt wurden diese Berechnungen für 43 geologische Schnitte erstellt.

Für die Beurteilung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze wurden alle erstellten Profilschnitte einzeln geprüft. Lagen mehrere Parameter zur Beurteilung der Süß-/Salzwassergrenze an einer Grundwassermessstelle vor und war anhand eines Parameters die Süß-/Salzwassergrenze überschritten, wurden alle verfügbaren Parameter auf Konsistenz geprüft. Die Ergebnisse wurden gemeinsam in einer Tabelle zusammengeführt. Zur Ermittlung der exakten Lage der Süß-/Salzwassergrenze an Lokationen mit bohrlochgeophysikalischen Daten wurden Messstellensteckbriefe genutzt.

### Messstellensteckbriefe (Komplexdiagrammdarstellungen)

Für alle Messstellen im Raum Berlin mit Informationen zur Porenwassermineralisation aus Geophysikmessungen über die Tiefe, wurden Komplexdiagrammdarstellungen der jeweiligen Messstellen erstellt. Dabei wurden diverse Informationen einander in grafischer Form gegenübergestellt, aus der Bohrlochgeophysik die elektrische Gebirgsleitfähigkeit über die Tiefe, die berechneten Porenwassermineralisationen und die Süß-/Salzwassergrenze bei 2000 µS/cm sowie der elektrische Gebirgswiderstands und die Süß-/Salzwassergrenze bei 20 Ωm. Im Filterbereich wurde die zuletzt gemessene elektrische Leitfähigkeit aufgetragen und parallel die Entwicklung der Leitfähigkeit über die Zeit sowie ein Balkendiagramm der

chemischen Zusammensetzung des Grundwassers (Konzentrationen von  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}_{\text{ges}}$ ,  $\text{Br}^-$ ) dargestellt. Insgesamt wurden für 241 Messstellen Komplexdiagrammdarstellungen erstellt. Die automatisierte Erstellung der Komplexdarstellung und damit zusammenhängende Vorberechnungen wurden in R vorgenommen.

### Kartenerstellung

Zur Darstellung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze sind vier Karten mit jeweils verschiedenen geographischen und geologischen Bezügen dargestellt: Normalhöhennull (NHN), Geländeoberkante (GOK), Höhengniveau der Rupeltonoberkante und Oberkante des Holstein-Interglazials. Die Berechnungen der Süß-/Salzwassergrenze wurden anhand der Tiefenangaben aus den Messpunkten mit „Ordinary Kriging“ und unter Zuhilfenahme eines exponentiellen Variogramm-Modells in R durchgeführt.

Da wo es erforderlich war, um natürliche Ausbreitungsprozesse nachzubilden, wurden, insbesondere im Bereich des Urstromtals, Hilfspunkte gesetzt. Bei ca. einem Drittel der Messpunkte lagen lediglich Daten aus dem Filterbereich vor. Dort wo nur hydrochemische Analysen aus dem Filterbereich vorhanden waren, wurde, falls die Messstelle Salzwasser aufwies, die Filteroberkante als Süß-/Salzwassergrenze

eingesetzt. Dies kann allerdings dazu führen, dass die Süß-/Salzwassergrenze insbesondere dort, wo sie nur anhand der Messungen aus dem Filterbereich von Messstellen angetroffen bzw. überschritten wurde, tatsächlich höher liegt als in den Karten angegeben. Auf eine Extrapolation für den Fall, dass gemessene Leitfähigkeiten höher als  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  waren, wurde bewusst verzichtet, um ausschließlich Bereiche mit nachgewiesener Versalzung darzustellen.

Gemäß dem Fall, dass die Versalzungsgrenze an einem Messpunkt über dem Rupelton nicht angetroffen wurde, wurde die Rupeltonunterkante als Tiefe der Versalzungsgrenze eingesetzt. Die Einordnung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze bezogen auf die Geologie erfolgte entsprechend der in Abb. 5 und Abb. 3 dargestellten Daten. Für Salzwasser-  
austritte wurde die Geländehöhe eingesetzt. Falls zwei oder mehr Messstellen in unmittelbarer Nähe zueinander liegen (ca. 50 m) wurde nach Prüfung jene Messstelle als Datenpunkt erhalten, bei der die Versalzungsgrenze höher liegt. Zur räumlichen Zuordnung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze wurden den Karten jeweils die Gewässerkonturen hinterlegt.

Anhand der Karte der Lage der Süß-/Salzwassergrenze in Abb. 7 werden fünf Bereiche mit Versalzungserscheinungen oberhalb von  $-100 \text{ m NHN}$  deutlich. Die Hochlage im Norden ist lediglich begründet durch eine Hochlage des Rupeltons (vgl. Abb. 5).

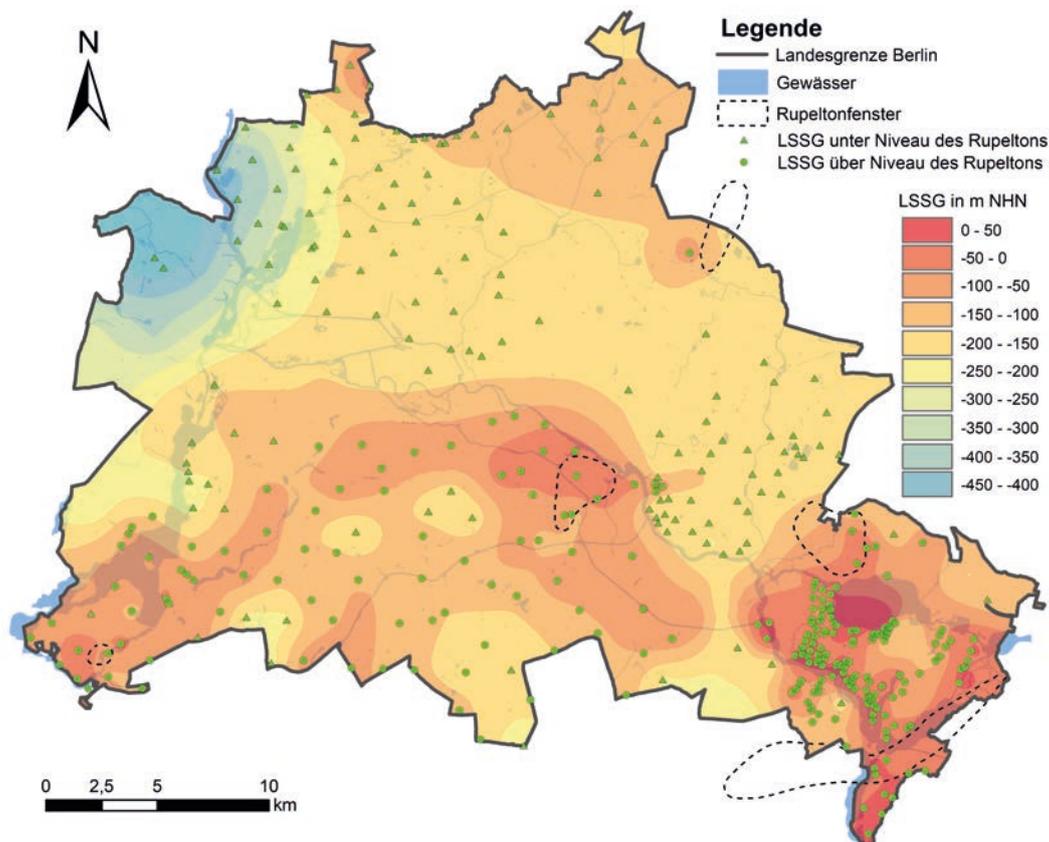


Abb. 7: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zu Normalhöhennull (NHN)

Fig. 7: Position of the freshwater/saltwater boundary (LSSG) above sea level (NHN)

Der Südosten Berlins wurde in der Vergangenheit sehr detailliert in Hinblick auf geogene Versalzungserscheinungen untersucht, wodurch die Datenpunktdichte, vorrangig aus geoelektrischen Punktsondierungen, sehr hoch ist. In diesem Bereich (südlich von Müggelheim) wurde außerdem eine lokale Salzwasseranomalie an der Erdoberfläche festgestellt. In der Umgebung des Wasserwerks Friedrichshagen liegt die Versalzungsgrenze tiefer und teilweise wurde dort über dem Rupelton keine Versalzung angetroffen (vgl. Abb. 9). Südwestlich, südlich und westlich des Müggelsees und nahe der südöstlichen Landesgrenze zu Brandenburg liegt die Versalzungsgrenze über  $-50$  m NHN. Teilweise wurden dort in unmittelbarer Nähe zum Wiesengraben und östlich von Köpenick sogar Versalzungen festgestellt, die höher als  $0$  m NHN liegen. Dies trifft auch für einen Bereich südwestlich des Müggelsees sowie einen Bereich bei Rauchfangswerder an der Berliner Landesgrenze zu.

Ein weiterer Bereich mit einer erhöht liegenden Versalzungsgrenze befindet sich rund um das Neuköllner Fenster im Zentrum Berlins. In diesem Bereich reicht die Versalzung großflächig bis oberhalb von  $-100$  m NHN und in unmittelbarer Nähe zum Neuköllner Fenster bis über  $-50$  m NHN.

Der letzte große Bereich mit flächendeckender Versalzung, teilweise bis auf über  $-50$  m NHN, liegt im Südwesten und zieht sich in Richtung Stadtzentrum. Am südwestlichen

Ende ist der Anstieg der Versalzungshöhe in unmittelbarer Nähe zum Fenster Wannsee anzutreffen.

Im Nordwesten Berlins taucht die Süß-/Salzwassergrenze deutlich ab, da der Rupelton dort tiefer liegt als im übrigen Stadtgebiet. Generell wird deutlich, dass Versalzungserscheinungen insbesondere in Bereichen nahe der Rupeltonfenster auftreten, eine Ausnahme stellt das Fenster im Nordosten bei Falkenberg dar.

Die Darstellung der Lage der Süß-/Salzwassergrenze mit dem Bezug zur Geländeoberkante (Abb. 8) weist zwangsläufig große Ähnlichkeit zu Abb. 7 auf. Beide Darstellungen unterscheiden sich im Gebiet um Ruhleben, östlich der Havel, und im Bereich des Düppeler Forsts, südlich der Havel, aufgrund der deutlichen Erhöhung des Geländes. Des Weiteren sind die Bereiche des Urstromtals in denen die Lage der Süß-/Salzwassergrenze flacher als  $150$  m unter GOK liegt größer als die vergleichbaren Bereiche  $-150$  bis  $-100$  m NHN (vgl. Abb. 8).

Anhand von Abb. 9 werden drei große Bereiche mit Versalzungserscheinungen oberhalb des Höhengniveaus des Rupeltons deutlich: a) Bereich Südost (Fenster Friedrichshagen und Fenster Schmöckwitz) mit Versalzungen teilweise bis an die Erdoberfläche b) Bereich Südwest (Fenster Wannsee), und c) Bereich Zentrum ausstrahlend nach

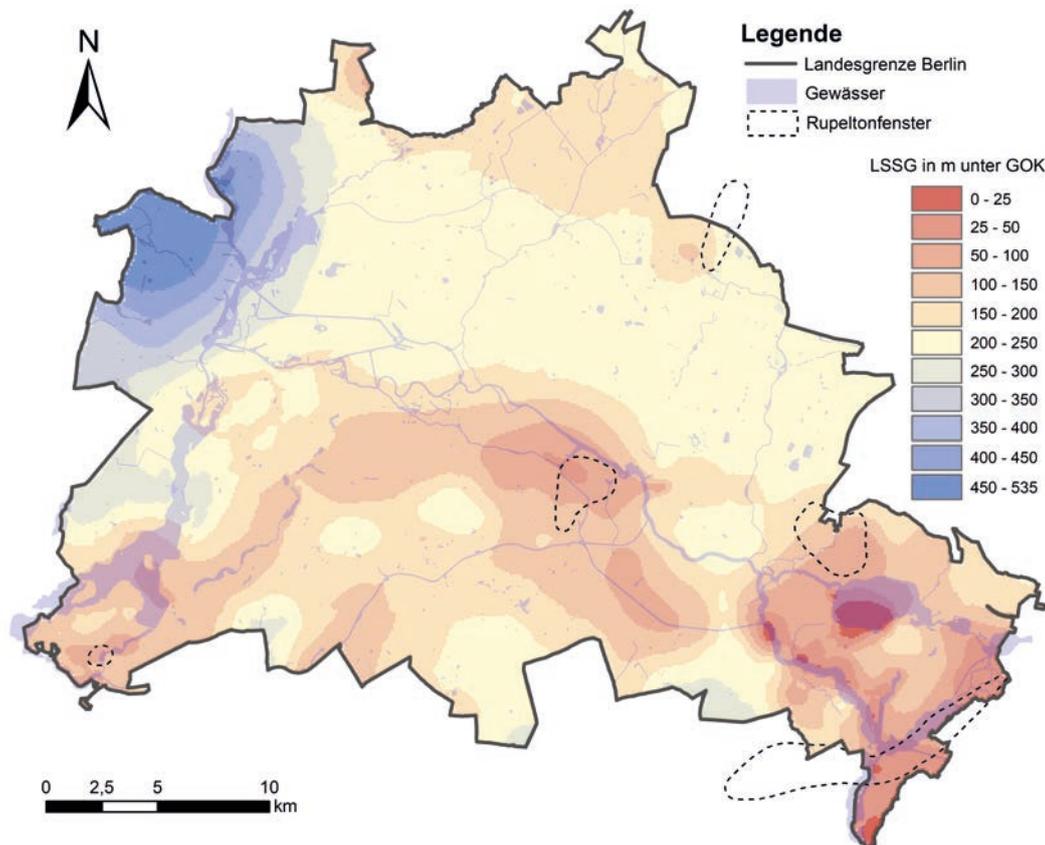


Abb. 8: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zur Geländeoberkante (GOK)  
 Fig. 8: Location of the freshwater/saltwater boundary (LSSG) relative to ground level (GOK)

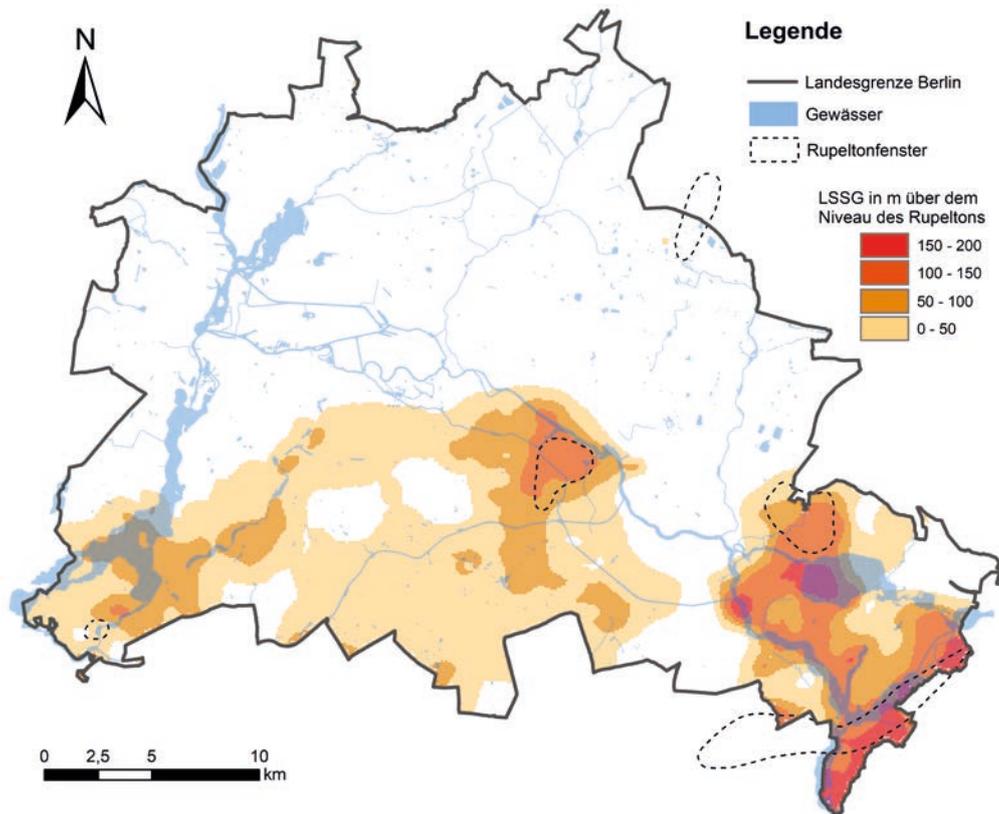


Abb. 9: Lage der Süß-/Salzwassergrenze relativ zum Höhenniveau des Rupeltons (Oberkante)  
 Fig. 9: Position of the freshwater/saltwater boundary relative to the level of the Rupelian clay (upper edge)

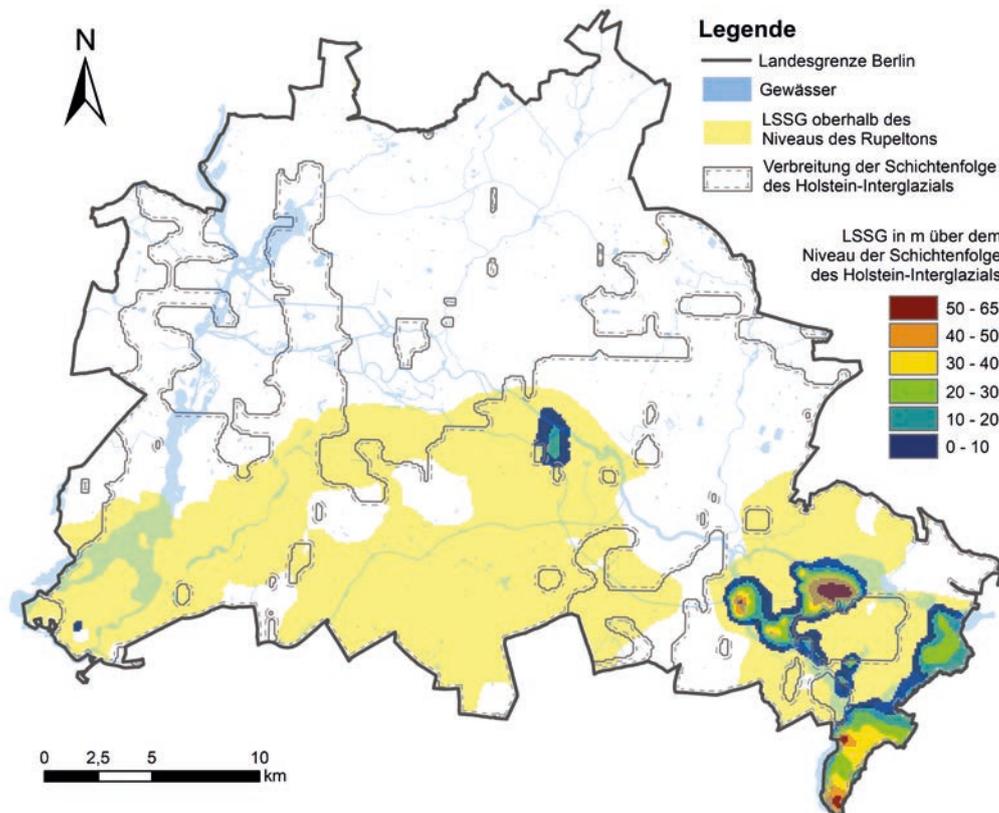


Abb. 10: Lage der Süß-/Salzwassergrenze (LSSG) relativ zum Höhenniveau der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials (Oberkante)  
 Fig. 10: Location of the freshwater/saltwater boundary relative to the level of the Holstein interglacial strata (upper edge)

Süden (Fenster Neukölln). Des Weiteren ist bei Falkenberg/Wartenberg kleinräumig eine Versalzung oberhalb des Höhenniveaus des Rupeltons anzutreffen.

In dem großflächigen Bereich im Norden und Nordwesten wurden Zunahmen in der Porenwassermineralisationen dicht über dem Rupelton festgestellt, allerdings liegen diese im Bereich zwischen 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und damit unterhalb der hier verwendeten Definition der Süß-/Salzwassergrenze.

Im Bereich südlich des Müggelsees ist an vielen Stellen eine Versalzung oberhalb des Höhenniveaus der Schichtfolge des Holstein-Interglazials anzutreffen, wie aus Abb. 10 deutlich wird. Außerdem wurden auch im Bereich des Rupelton-Fensters Wannsee versalzene Grundwässer oberhalb der Schichtfolge des Holstein-Interglazials angetroffen. Etwas außerhalb der Landesgrenze, in Richtung Potsdam, wurde außerdem ein Salzwasseraustritt dokumentiert. Auch nahe dem Rupeltonfenster Neukölln, wurde an drei Messpunkten eine Versalzung oberhalb der Schichten des Holstein-Interglazials festgestellt.

### Zusammenfassung

Mit den dargestellten Karten stehen nach umfangreicher Datenauswertung detaillierte Informationen zur Lage der Süß-/Salzwassergrenze erstmals für den gesamten Raum Berlin zur Verfügung. Die Lage der Süß-/Salzwassergrenze ist damit besser prognostizierbar als dies anhand bisher verfügbarer Karten möglich war. Versalzungserscheinungen oberhalb des Höhenniveaus des Rupeltons sind vorrangig im Süden Berlins anzutreffen, besonders im Bereich des Fensters Neukölln im Zentrum Berlins, im Südosten zwischen dem Müggelsee und dem Fenster Schmöckwitz sowie ausgehend vom Fenster Wannsee in Richtung Stadtzentrum. Großflächig ausgeprägte Versalzungserscheinungen bis oberhalb der Schichtenfolge des Holstein-Interglazials sind zumeist begrenzt auf den östlichen Bereich des Warschau-Berliner Urstromtals.

### Summary

With the maps shown, detailed information on the position of the freshwater / saltwater boundary for the entire Berlin area is available for the first time after extensive data analysis. The freshwater / saltwater boundary can thus be predicted much better than using previously available maps. Salinization phenomena above the level of the Rupelian clay are primarily to be found in the south of Berlin, especially in the area around the Neukölln window in the center of Berlin, in the southeast between lake Müggelsee and the Schmöckwitz window as well as starting from the Wannsee window towards the city center. Large areas of salinization above the succession of the Holstein interglacial strata are mostly limited to the eastern area of the Warsaw-Berlin glacial valley.

### Danksagung

Besonderer Dank gebührt den Mitarbeitern der Berliner Landesgeologie (insbesondere A. Limberg, A. Kolberg und U. Hörmann), der Berliner Wasserbetriebe (insbesondere L. Paul und Dr. G. Lorenzen) sowie Prof. Dr. H.-J. Voigt (BTU Cottbus - Senftenberg) für die großzügige Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit.

### Literatur

- BOSSE, R., DIETTERLE, J., HAGEN, H.-H., SIEDLER, U., GROHNKE, C. & MÜLLER, M. (1989): Aufschlussakte Hydrogeologische Detailerkundung Berlin Lichtenberg. Berlin (VEB WAB Berlin), unveröffentlicht
- BURDE, B. & VOLKMER, E. (1977): Zusammenfassender Ergebnisbericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen in den hydrogeologischen Erkundungsbohrungen der Objekte Hy\_Berlin/1972 und Hy\_BLN\_Müggelsee/1976. Storkow (VEB Geophysik), unveröffentlicht
- DAVIS, S. N. & DE WIEST, R. J. M. (1967): Hydrogeology. 2. Aufl., 463 S., New York (Wiley)
- FRICKE, S. & SCHÖN, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik. Stuttgart (Enke)
- GEOPORTAL BERLIN (2018): ATKIS ®DGM - Digitales Geländemodell. [fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp), Stand: 15.12.2015, Letzter Zugriff: 04.05.2018
- GRUS, K., BEDNEL, R. & KNIESEL, J. (1983): Ergebnisbericht Tiefe Grundwasserleiter Berlin. Potsdam (Wasserwirtschaftsdirection Oder-Havel), unveröffentlicht
- GUTIERREZ, J.-P. (2015): Entwicklung von elektrischen Widerstandsmodellen des geologischen Untergrundes anhand von Bohrlochmessdaten sowie Vergleich mit geoelektrischen und elektromagnetischen Oberflächenmessungen. Projektarbeit, Cottbus (Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg), unveröffentlicht
- HAGEN, H.-H. & KRÜGER, R. (1975): Ergebnisbericht Berlin - Buch 1974. Cottbus (Wasserwirtschaftsdirection Spree - Oder – Neiße), unveröffentlicht
- HANNEMANN, M. & SCHIRRMEISTER, W. (1998): Paläohydrogeologische Grundlagen der Entwicklung der Süß-/Salzwassergrenze und der Salzwasseraustritte in Brandenburg. Brandenburg. geowiss. Beitr. 5, 2/2, S. 61–72, Cottbus
- KABOTH, T., DIETTERLE, J., HAGEN, H.-H. & SIEDLER, U. (1988): Aufschlussakte Hydrogeologische Detailerkundung SAM Berlin. Berlin (Wasserwirtschaftsdirection Berlin), unveröffentlicht

- KNIESEL, J. (1985): Abbruchdokumentation Berlin Mitte 1984, Berlin (VEB Hydrogeologie), unveröffentlicht
- LANDESGEOLOGIE BERLIN (SENATSVORWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ) (2020): Geologisches Landesmodell für das Quartär und Tertiär. berlin.geo-3d.de/berlin3d/portal/, Letzter Zugriff: 22.09.2020
- LANDESGEOLOGIE BERLIN (SENATSVORWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ) (2008): Verkehr und Klimaschutz – Wasser und Geologie. www.berlin.de/senvvk/umwelt/wasser/geologie/. Letzter Zugriff am: 22.09.2020
- LIMBERG, A., JONAS, O. & KOLBERG, A. (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, Cottbus
- LIMBERG, A., DARKOW, P., FAENSEN-THIEBES, A., FRITZTAUTE, B., GÜNTHER, M., HÄNEL, K., HÖRMANN, U., JAHN, D., KÖHLER, A., KRÜGER, E., MAY, S., NAUMANN, J. & WAGNER, M. (2007): Grundwasser in Berlin - Vorkommen. Nutzung. Schutz. Gefährdung. Berlin (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz)
- LIMBERG, A. & THIERBACH, J. (2002): Hydrostratigraphie von Berlin - Korrelation mit dem Norddeutschen Gliederungsschema. Brandenburg. geowiss. Beitr. 9, 1/2, S. 65–68, Cottbus
- SCHRAMM, T. (2018): Grundwasserversalzung im Raum Berlin – Eine Gefährdung für die Trinkwasserversorgung?. Masterarbeit, Cottbus (Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg), unveröffentlicht
- SDT 2016 (DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION) (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016. Potsdam (GeoForschungsZentrum)
- STACKEBRANDT, W., MANHENKE, V. & SONNTAG, A. (2010): Atlas zur Geologie von Brandenburg im Maßstab 1:1.000.000. 4. aktualisierte Auflage, Cottbus (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg)
- VOGT, D. (1988): Erforschung des tieferen Untergrundes von Berlin (West) - hier: Bohrprogramme "Nord", "Süd" und "Mitte" - Anlage 1. Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz), unveröffentlicht
- WASCINSKI, F. (1993): Lage der Süß-/Salzwassergrenze im Bereich der Neuköllner Rinne. Diplomarbeit, Berlin (Freie Universität Berlin - Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik - Fachrichtung Rohstoff und Umweltgeologie), unveröffentlicht
- ZIESCHANG, J. & REISS, G. (1978): Zwischenbericht Regimentsuntersuchungen Hydrogeologie - Anhang 1: Objekt Berlin Nordost. Bernau (Zentrales Geologisches Institut), unveröffentlicht
- ZIESCHANG, J. & JAHNKE, G. (1978): Zwischenbericht Regimentsuntersuchungen Hydrogeologie - Anhang 2: Objekt Berlin Südost. Bernau (Zentrales Geologisches Institut), unveröffentlicht

**Anschrift der Autoren:**

M. Sc. Tim Schramm  
 Badstraße 54  
 13357 Berlin  
 tim.schramm@posteo.de

Prof. Dr. Rainer Herd  
 Lehrstuhl Rohstoff- und Ressourcenwirtschaft  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus –  
 Senftenberg  
 Platz der Deutschen Einheit 1  
 03046 Cottbus  
 herd@b-tu.de