

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 2	S. 61–72	7 Abb., 2 Tab., 35 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	----------	-------------------------

# Paläohydrogeologische Grundlagen der Entwicklung der Süß-/Salzwassergrenze und der Salzwasseraustritte in Brandenburg

MARTIN HANNEMANN & WALTER SCHIRRMAYER

## 1. Veranlassung

Das Auftreten von Salzwasser (> 1000 mg/l Gesamtsalzgehalt) in Oberflächennähe sowie in quartären und jüngeren tertiären Grundwasserleitern unseres Raumes wurde bereits in historischer Zeit und wird bis heute als Besonderheit und Ausnahme angesehen. Vor allem wegen der Möglichkeit der Kochsalzgewinnung waren oberflächlich auftretende Salzwässer bis zum Ende des 18. Jahrhunderts gern gesehen. Zu einem Problem mit zunehmender Bedeutung für die Wasserversorgung hat sich das Phänomen Salzwasser erst in jüngerer und jüngster Zeit entwickelt, als verschiedentlich konzentrierte Entnahmen von Süßwasser zu einem Ansteigen des Salzgehaltes in den Brunnen führte bzw. als hydrogeologische Untersuchungen auf geogen bedingte Grenzen der Nachweismöglichkeit von Süßwasser stießen. Heute sind alle größeren hydrogeologischen Untersuchungsvorhaben auch mit der Frage nach vorhandenen oder potentiell möglichen Versalzungen verknüpft. Grundwasserversalzungen sind verbreitet zu einem nutzungsbegrenzenden Faktor geworden.

Bisher sind die Forschungen zur Problematik der Salzwasseraustritte über das Registrieren der Süß-/Salzwassergrenze, der wesentlichen Wasserinhaltsstoffe und der Äußerung von Vermutungen über Beziehungen zum Bau des tieferen Untergrundes nur wenig hinausgegangen. Deshalb soll im Folgenden die Rekonstruktion der hydrogeologischen Grundverhältnisse in Raum und Zeit versucht werden, um daraus qualitative Lagerstättenbildungs-, -erhaltungs- und -zerstörungsbedingungen während früherer geologischer Zeitabschnitte an Beispielen aus Brandenburg ableiten zu können.

## 2. Geologischer und hydrogeologischer Überblick

Der tiefere Untergrund Brandenburgs ist charakterisiert durch terrestrisch-limnische Ablagerungen des oberen Rotliegenden und durch besonders mächtige marine Salzablagerungen des Zechsteinmeeres. Darüber folgen Sedimente des Mesozoikums, ebenfalls mit Steinsalzablagerungen bis zum Röt. Insgesamt erreicht diese Folge eine Mächtigkeit von mehr als 5 000 m. Tektonische Bewegungen, vor allem aber halokinetische Fließbewegungen der

Zechsteinsalze, haben dem präkänozoischen Untergrund einen komplizierten Bau verliehen. Besonders im Nordwesten Brandenburgs sind die Zechsteinsalze und ihre Begleitschichten häufig diapirartig aufgewölbt und lagerungsgestört. Die Salzdiapire reichen nachgewiesenermaßen auch bis in die Lockergesteine des Tertiärs und Quartärs und sind hier den Ablaugungen durch strömendes Grundwasser ausgesetzt.

Das Känozoikum lagert in Brandenburg überwiegend auf Sedimenten der Oberkreide (Alb/Cenoman bis Campan) und erreicht gewöhnlich Mächtigkeiten zwischen rund 150 und 250 m im Süden und Osten und mehr als 500 m im Nordwesten. Besonders im Nordwesten gibt es halokinetische Randsenken, in denen känozoische Sedimente mächtiger als 1 000 m sind. Als ältestes Tertiär ist regional begrenzt Eozän erhalten. Gewöhnlich beginnt das Tertiär aber mit der im Durchschnitt 60 m mächtigen Folge von Schluff und Ton, den Rupelsedimenten, an deren Basis verbreitet Rupelbasissande ausgebildet sind. Darauf folgen Ablagerungen des Oberoligozäns und Miozäns (Sande, Schluffe, Braunkohlen). Während Rupelschichten im Süden Brandenburgs fehlen, dann nach Norden schnell mächtig werden, nimmt die Mächtigkeit der Rupelbasissande nach Norden ab (Abb. 1).

Die Mächtigkeit des Quartärs liegt verbreitet zwischen 50 und 100 m, sie erreicht in glazialen Ausräumungszonen rd. 500 m. Besonders in den meist rinnenförmigen Ausräumungszonen ist das Tertiär teilweise völlig abgetragen und die quartären Ablagerungen reichen häufig bis auf das Prätertiär. Sowohl quartäre als auch tertiäre Ablagerungen sind oft tiefreichend glazigen gestört. Oberflächennahe Ablagerungen des Tertiärs stellen verbreitet glaziale Schollen dar. Auch Ablagerungen des Quartärs haben manchmal Schollencharakter, nur ist hier die Beweisführung meist sehr erschwert. Weitere Störungen der Aufeinanderfolge känozoischer Sedimente sind u.a. durch die glazialen Ausräumungszonen bedingt, so daß zwischen den verschiedenen Grundwasserleiterkomplexen (MANHENKE u. a. 1995) vertikal und lateral weitreichende hydraulische Verbindungen bestehen.

Die derzeitige Beschaffenheit des Grundwassers korrespondiert häufig nicht mit der Genese des Grundwasserleiters. Zum Beispiel ist entgegen früheren Annahmen die gesamte

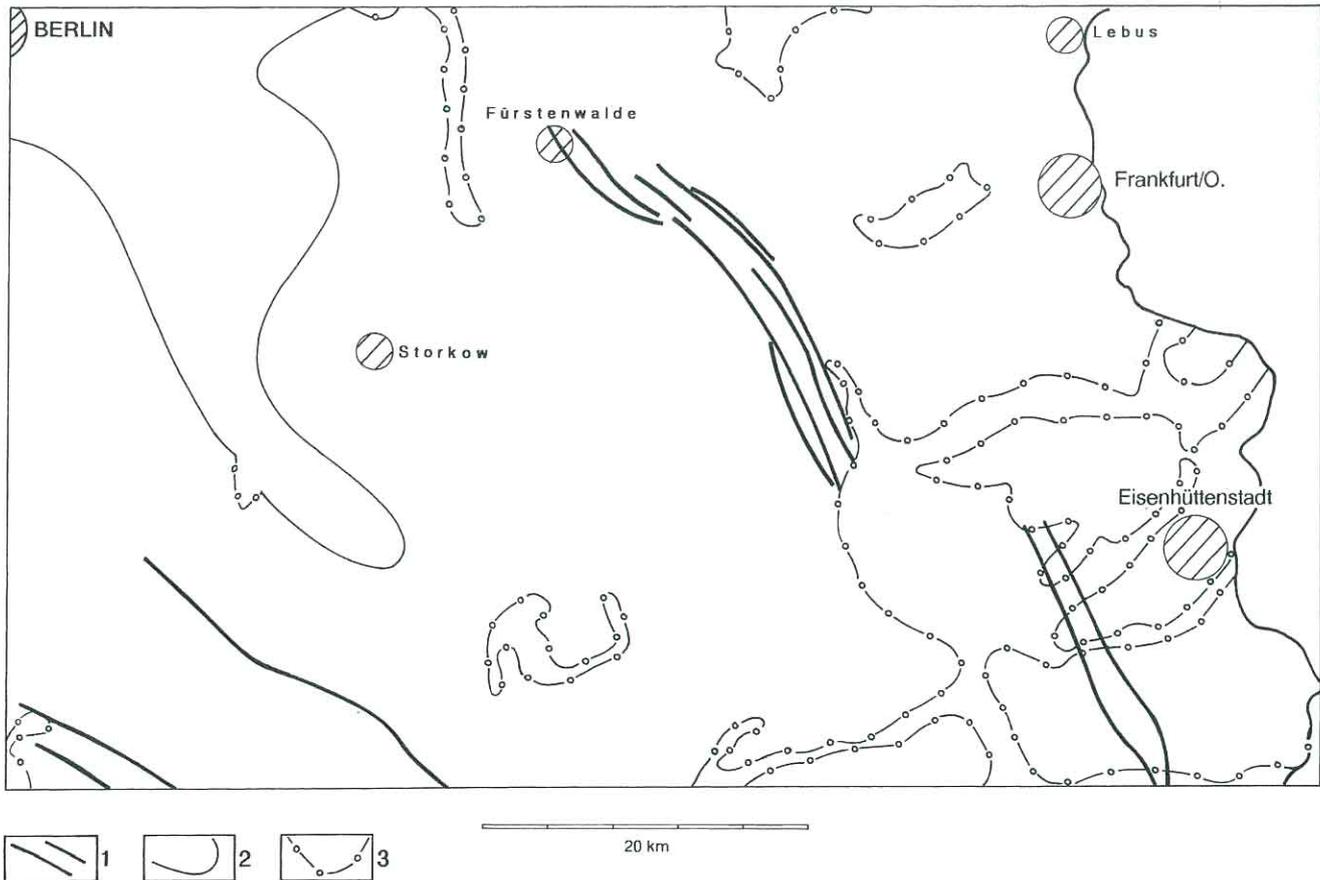


Abb. 1  
 Verbreitung der Rupelbasissande im südöstlichen Brandenburg (nach AHRENS 1989, ergänzt)  
 (1- wesentliche tektonische Störungen, 2- primäre Verbreitung der Rupelbasissande, 3- Fehlstellen in quartären Rinnen)

oberoligozäne bis miozäne Schichtenfolge Brandenburgs mariner Entstehung (AHRENS & LOTSCH 1963). Heute befindet sich in den betreffenden Grundwasserleitern jedoch fast immer Süßwasser. Die Grenze zum Salzwasser im Liegenden wird gewöhnlich von der meist etwa 60 m mächtigen Folge von Rupelschichten gebildet.

Im Liegenden der Rupelschichten treten, bis auf wenige Ausnahmen, Salzwässer (mit meistens etwa 25 g/l NaCl, das sind etwa 17 g/l Chlorid) auf. Oberoligozäne und miozäne Sedimente enthalten regional begrenzt ebenfalls Salzwasser - allerdings in bedeutend niedrigerer Konzentration. Süßwasser (< 1 000 mg/l TDS) sind im allgemeinen auf oberflächennahe quartäre und tertiäre Ablagerungen beschränkt.

Der Gesamtsalzgehalt stellt sich im Grundwasserleiterkomplex Oligozän bis Rät und im Komplex Trias unterschiedlich dar. Beiden ist eine mehr oder weniger kontinuierliche Zunahme mit der Tiefe eigen (Abb. 2).

Die Südgrenze zusammenhängender Salzwasservorkommen im Bereich Zechstein bis Känozoikum verläuft etwa W-E durch das südliche Brandenburg. Sie befindet sich 10 bis 20 km nördlich der Zechsteinverbreitung. In diesem Bereich zeigen die in den mesozoischen bis paläozoischen Ablagerungen enthaltenen Wasser Süßwassereinfluß und sind meist CaSO<sub>4</sub> betont.

### 3. Hydrogeologische Grundverhältnisse in Raum und Zeit

#### 3.1. Paläogeographie und Meeresspiegelschwankungen im Tertiär und Quartär

Die Frage, warum und wann der Wasseraustausch in den heute unter dem Meeresspiegelniveau (!) liegenden oberoligozänen und miozänen Schichten erfolgt ist, kann nur nach Berücksichtigung der paläogeographischen Entwicklung eine Erklärung finden. Grundlagen für die Rekonstruktion der hydrogeologischen Verhältnisse vermitteln die paläogeographische Entwicklung sowie Klima- und Meeresspiegelschwankungen im jüngeren Tertiär und im Quartär.

Lang- und kurzfristige Klima- und Meeresspiegelschwankungen sind im känozoischen Zeitraum am besten für das jüngere Quartär nachgewiesen. Sie sind jedoch keine Besonderheit in der jüngsten Erdgeschichte, sondern mindestens im jüngeren Tertiär und in dem ca. 2,5 Mio. Jahre umfassenden jüngsten Abschnitt der Erdgeschichte, dem Quartär, die Regel (vgl. LUDWIG 1992, BERNER u. a. 1995).

Die Hauptvorflut aller Süßwasser enthaltenden Grundwasserleiter ist das Weltmeer, zu dem auch die Ostsee bzw. deren Vorläufer mindestens seit dem Yoldia-Meer vor ca. 9500 Jahren fast durchgehend eine offene Verbindung hatte.

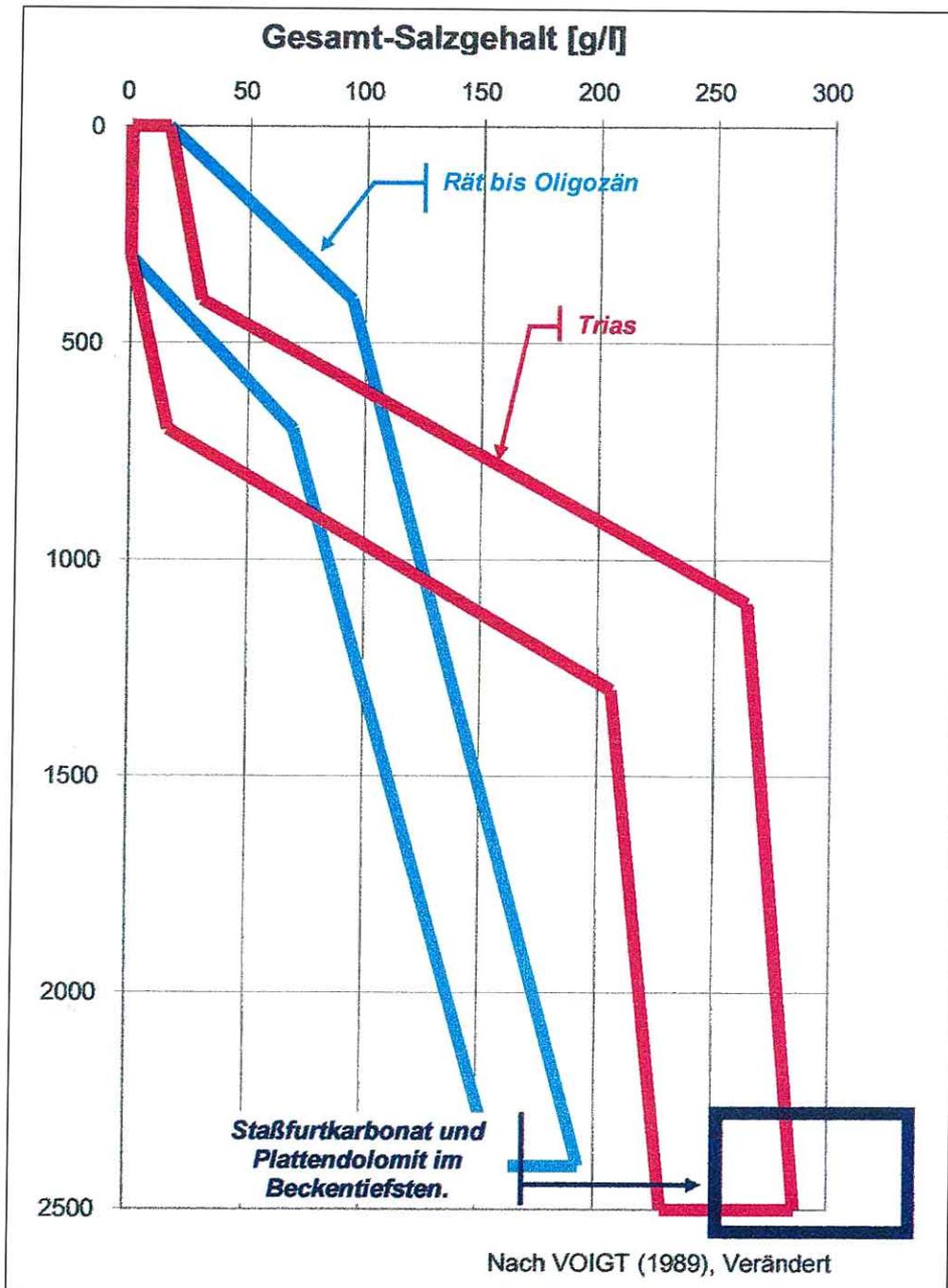


Abb. 2

Veränderung der Gesamtsalzgehalte des Wassers in den Grundwasserkomplexen Zechstein, Trias und Rät bis Oligozän (Daten nach VOIGT 1989)

Der weitaus größte Teil Brandenburgs mit seinen Süßwasser führenden oberoligozänen, miozänen und quartären Grundwasserleitern gehört zum Elbe-Einzugsgebiet mit der Nordsee als Hauptvorflut. Nur der größte Teil der Uckermark, der Ostteil des Barnim und ein schmaler Gebietsstreifen entlang der Oder und Neiße entwässern in die Ostsee.

Es besteht kein Grund zu der Annahme, daß sich die Verhältnisse im jüngeren Weichsel-Kataglazial und im Holozän von den heutigen im Hinblick auf die geographische Lage der Hauptvorflut nennenswert unterscheiden.

Die Hauptvorflut - das Weltmeer- unterlag zahlreichen Spiegelschwankungen. In den jüngeren erdgeschichtlichen Perioden, relevant ist hier die Zeit nach der Rupeltransgression (insbesondere das jüngere Tertiär und das Quartär), waren diese Schwankungen zweifellos überwiegend glazialisostatisch und glazialeustatisch begründet. Weitspannige epirogene Bewegungen (überwiegend Abwärtsbewegungen), von denen auch die mitteleuropäische Senke erfaßt war und ist, sowie die noch nicht näher erforschten Verformungen des Geoids (Effekte infolge Wachsens bzw. Schwindens der Eiskalotten im Eiszeitalter und damit einhergehende differen-

ziert wechselnde Belastungen und Entlastungen bestimmter Gebiete) (MÖRNER 1976) ergänzen die zu Meeresspiegelschwankungen führenden Phänomene. Sie komplizieren die Erforschung, dürften jedoch auf Meeresspiegelschwankungen nur einen hier vernachlässigbaren kleinen Einfluß gehabt haben.

### 3.2. Tendenz und Größenordnungen der glazialisostatisch und glazialeustatisch beeinflussten Grundwasserspiegelschwankungen

Mit dem Steigen und Fallen des Meeresspiegels steigt und fällt auch der Grundwasserspiegel. Aus den Werten der Meeresspiegelschwankungen kann auf die Tendenz und - mit Einschränkungen - auf die Größenordnung der

denen Vergletscherungen denjenigen Sedimenten und Marken besondere Beachtung und Wertung zukommen, die auf fossile Grundwasserstände schließen lassen (z. B. holstein- und eemzeitliche Ablagerungen, fossile Böden)

In Abbildung 3 wird versucht, ein Schema der zeitabhängigen Sedimentation und Abtragung sowie der Entwicklung der Grundwasserstände für den brandenburgischen Teil des norddeutschen Tieflandes zu entwerfen. Das Schema enthält vereinfacht dargestellt Grundkenntnisse über die geologische Entwicklung im jüngeren Tertiär und im Quartär, insbesondere in Hinblick auf die Lage und Veränderungen des Meeresspiegels und die Abfolge von Sedimentation und Abtragung. Es soll verdeutlichen, daß es im Laufe des jüngeren Tertiärs und Quartärs - und abhängig von der gla-

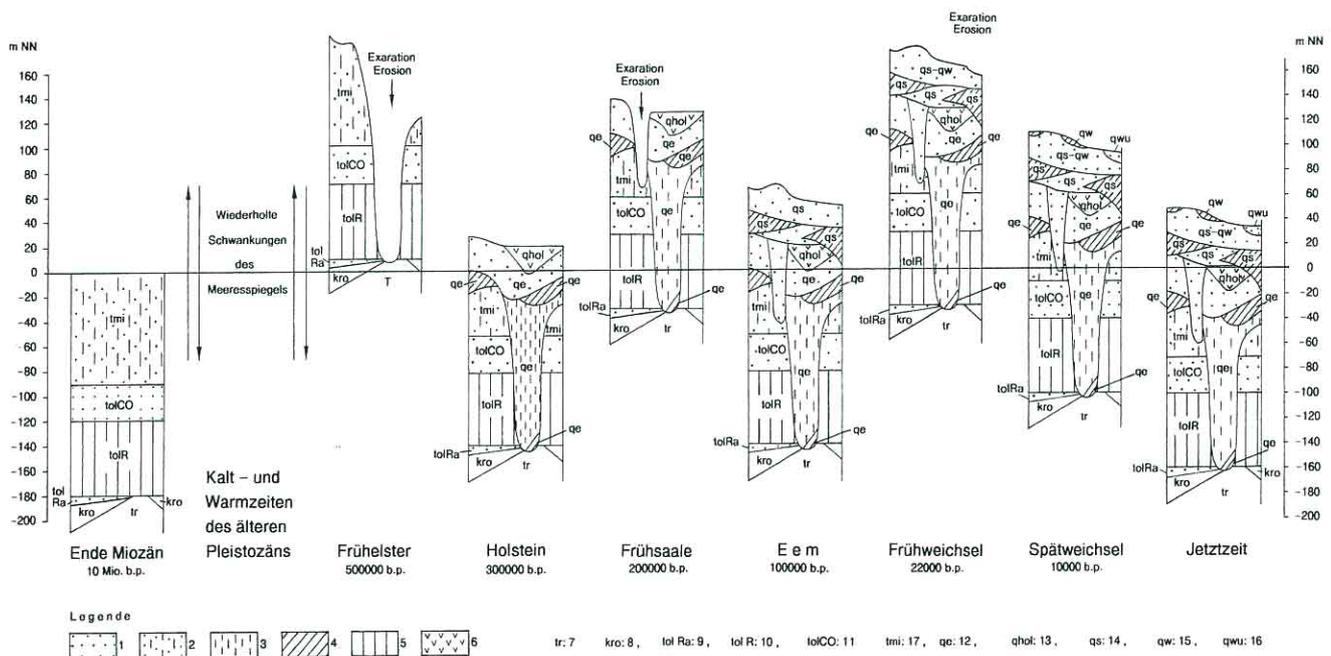


Abb. 3

Schema der zeitabhängigen Sedimentation und Abtragung sowie der Entwicklung der Grundwasserstände im Norddeutschen Tiefland

(1- Sand und Kies, 2- Sand und Schluff, 3- Schluff, 4- Geschiebemergel, 5- Ton, 6- organische Bildungen, 7- Trias, 8- Oberkreide, 9- Rupelbasissand, 10- Rupelton, 11- Cottbuser Schichten, 12- Elsterkaltzeit, 13- Holsteinwarmzeit, 14- Saalekaltzeit, 15- Weichselkaltzeit, 16- Nachschüttbildungen der Weichselkaltzeit, 17- Miozän)

Grundwasserspiegelschwankungen geschlossen werden. Dabei ist die durch das Vordringen und Zurückweichen der Küstenlinie verursachte Verlängerung oder Verkürzung der Fließwege in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Mit einzubeziehen ist auch der Aufbau und die Entwicklung des känozoischen Sedimentkörpers mit seinen Grundwasserleitern in Abhängigkeit von der Zeit und der Lage zum Meeresspiegel. Aufbau und Zerstörung von Sedimentfolgen im Zusammenhang mit den wiederholten Vergletscherungen und die insgesamt positive glaziäre und periglaziäre Sedimentationsbilanz spielen dabei die wesentlichste Rolle. Dabei muß unter den Ablagerungen der verschied-

enzialisostatischen und glazialeustatischen Entwicklung - zu einem mehrfachen Auswechseln von Salz- und Süßwasser mindestens in einem großen Teil der Grundwasserleiter gekommen sein muß. Es ist anzunehmen, daß dieses Auswechseln teils infolge von Kommunikation mit dem Meerwasser und teils infolge von Liegendspeisung erfolgt ist. Voraussetzungen hierfür (hydraulische Verbindungen, wechselnde Druckverhältnisse und Schwankungen in der Grundwasserneubildung) hat es während des zu betrachtenden langen Zeitraumes wiederholt gegeben. Die Prozesse verliefen in langen Zeiträumen - in Jahrzehntausenden. Es ist kaum vorstellbar, daß Barrieren geringer Durchlässigkeit die Auswechslung regional behindern konnten und sich reliktsche Wässer erhalten haben.

### 3.3. Zur Grundwasserneubildung bei Dauerfrostboden

Die Lage der Süß-/Salzwassergrenze wird maßgeblich von der Höhenlage des Grundwasserspiegels und auch von der Höhe der Grundwasserneubildung bestimmt. Letztere ist im Pleistozän in einschneidender Weise vom Vorhandensein oder Fehlen eines Dauerfrostbodens abhängig.

Beobachtungen in rezenten Vereisungsgebieten in Verbindung mit klimatischen Gesetzmäßigkeiten lassen die Schlußfolgerung zu, daß Ana- und Pleniglazialzeiten für Grundwasserneubildungen infolge Auftretens von Dauerfrostboden mindestens überwiegend ausfallen. Auch unter dem Gletscher war das Eis weitflächig "angefroren" und hydraulische Verbindungen zu den Grundwasserleitern damit auf schmelzwasserführende Tunnel beschränkt. In diesen Zeitabschnitten müssen bereits aus Gründen der niedrigen Grundwasserneubildung die Grundwasserstände tiefer gelegen haben.

Die Existenz von Dauerfrostboden ist vor allem von den mehrfachen Klimawechseln im Verlauf der verschiedenen Eiszeiten und Vereisungen (Interglazial-Anaglazial-Pleniglazial-Kataglazial) abhängig. Die Anzahl der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten ist wie die von Vereisungen und Interstadialen nicht endgültig geklärt. Für den Raum Brandenburgs sind mindestens vier Vergletscherungen (Elster, Saale 1, Saale 2, Weichsel) nachgewiesen, weitere sind möglich oder wahrscheinlich. Die Voraussetzungen für langanhaltende Existenz von Dauerfrostboden waren mithin im Pleistozän wiederholt vorhanden und mehrfach war damit in langen Zeitabschnitten die Grundwasserneubildung außerhalb der Eisbedeckung stark reduziert.

### 3.4. Grundwasserstandsschwankungen im jüngeren Quartär

Die prinzipiellen Grundwasserstandsschwankungen sind beispielgebend für das jüngere Tertiär und das gesamte Quartär am besten von dem jüngsten Abschnitt, d. h. von der Zeit des dauerfrostfreien jüngeren Weichsel-Kataglazials bis zur Jetztzeit abzuleiten. Für diese Zeit sind die klimatischen Abläufe und Meereswasserstände noch am besten bekannt. Dabei und bei den Versuchen zur Verallgemeinerung kann es natürlich lediglich um die Ermittlung hydrogeologischer Grundverhältnisse gehen. Die Beziehungen sind komplizierter und die Betrachtungen und Folgerungen nur zur Feststellung von Tendenzen und Größenordnungen geeignet. Für die Zeit des dauerfrostfreien jüngeren Weichsel-Kataglazials bis zur Jetztzeit sind in der südlichen Nordsee und in der südwestlichen Ostsee acht Meeresspiegeloszillationen von der Yoldia-Stufe bis zur Limnaea-Stufe durch entsprechende Terrassen eindeutig repräsentiert (KOLP 1979, 1980, 1981). Bei Bezug auf die isostatische Nulllinie ergibt sich infolge der gegenwärtigen Tiefenlage submariner Uferterrassen für das Ende der Yoldia-Phase (rd. 9500 b.p.) eine Meeresspiegellage von - 67,5 m NN (Abb. 4). In den jüngeren weichselzeitlichen Anaglazialzeiten und den Pleniglazialzeiten muß der Meeresspiegel noch bedeutend tiefer gelegen haben. In der Literatur wird meist auf Tiefen zwischen - 100 bis - 130 m NN geschlossen (LONG u. a. 1988, STREIF 1991).

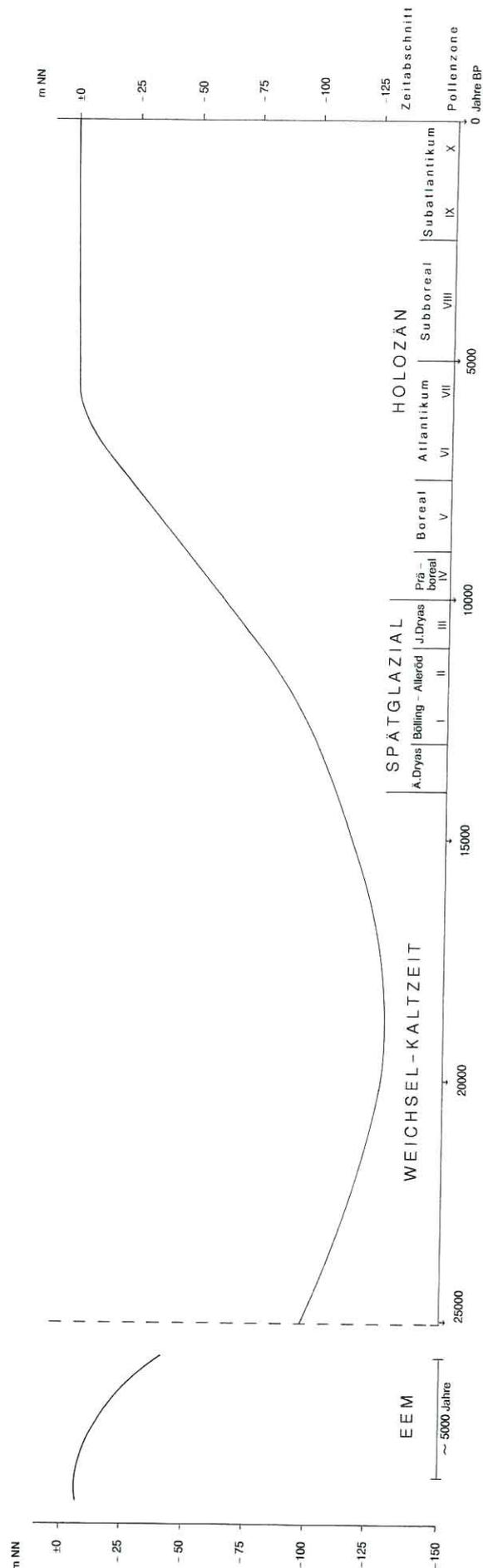


Abb. 4 Zeit-/Tiefendiagramm des Meeresspiegelanstiegs in Nord- und Ostsee

Bei der Rekonstruktion der fossilen Grundwasserstände im Gebiet des Norddeutschen Tieflandes kann man von der nachgewiesenen Meeresspiegel-Mindesterniedrigung (rd. 67,5 m; direkter Nachweis im Gebiet unserer Hauptvorfluter Oder und Elbe) sowie den erwähnten interglazialen Binnenseesedimenten und Böden ausgehen und dazu die rezenten Fließgefälle zum Hauptvorfluter zu Grunde legen. Als Ergebnis erhält man zeitabhängige Grundwasserstände, aus denen auf erdgeschichtliche GW-Mindestschwankungen geschlossen werden kann.

### 3.5. Großräumige Bewegungen der Süß-/Salzwassergrenze

Bis in das jüngere Tertiär hinein war das Norddeutsche Tiefland einschließlich des größten Teils des Landes Brandenburg dem Weltmeer zugehörig oder mit dem Weltmeer randlich verbunden. Die im Tertiär gebildeten marinen und brakigen Grundwasserleiter enthielten primär Salzwasser (Sedimentationswasser). Im brandenburgischen Raum sind es vor allem

- die miozänen Quarzsande (Mölliner Schichten, Mittenwalder Schichten),
- die oberoligozänen Glimmersande (Cottbusser Schichten)
- und die Rupelbasissande.

Mit den im jüngeren Tertiär einsetzenden und im Quartär dann besonders wirksamen Klimaänderungen kam es zur Sedimentation terrestrischer Sedimente und zur Entwicklung völlig neuer hydrogeologischer Verhältnisse. Die mehrfachen Vergletscherungen insbesondere Skandinaviens, und die gletschergeprägte Sedimentation glazialer Ablagerungen auch in unserem Raum gingen mit glazialeustatischen Meeresspiegelabsenkungen und glazialisostatischen Hebungen einher. Sie bewirkten mehrfach sich wiederholende Sedimentationsfolgen -Interglazial-Anaglazial-Pleniglazial-Kataglazial- und ein mehrfaches Auf und Ab des Meeresspiegels etwa in den im Schema (Abb. 3) genannten bzw. dargestellten Größenordnungen. Glazialeustatische und glazialisostatische Meeresspiegeländerungen überlagerten sich.

Es ist damit zu rechnen, daß der Austrieb der marinen Sedimentationswässer aus den tertiären Aquiferen schon frühzeitig, d. h. in Kaltzeiten des älteren Quartärs erfolgte. Für die Betrachtung des derzeitigen hydrogeologischen Zustandes in unserem Raum ist es dabei relativ belanglos, ob der Austrieb schon bei der ersten großen pleistozänen Kaltzeit oder ob er etappenweise im Gefolge mehrerer Kaltzeiten erfolgte. Bedeutsam ist dagegen, daß mit dem von Vereisung zu Vereisung zunehmenden Aufbau des pleistozänen Sedimentkörpers auch ein zunehmend mächtiger, mit Süßwasser erfüllter Bereich sich ausbilden konnte. Im einzelnen wurde der Mechanismus der Wasserspiegelbewegungen beachtlich durch die klimatisch und regional differenzierten Unterschiede in der Grundwasserneubildung bestimmt.

Der glazialeustatisch und glazialisostatisch dirigierte Einfluß des Weltmeeres auf die Dynamik und Zusammensetzung des Grundwassers in unserem Raum wurde mit dem Aufbau der

terrestrischen Sedimentfolge zunehmend differenziert und modifiziert. Dem "hydrogeologischen Hauptzyklus" wurden mächtigkeits-, relief- und stoffabhängig "regionale hydrogeologische Zyklen" zugeordnet oder aufgesetzt. Sie waren und sind nur noch entfernt vom Niveau des Meeresspiegels, dafür aber zunehmend von den regionalen Verhältnissen, insbesondere der Stoff-, Relief- und Vorflutersituation und vom Klima abhängig. Druckaufbaugebieten/Neubildungsgebieten stehen regional Senken/Entlastungszonen gegenüber. So ein regionaler hydrogeologischer Zyklus ist in Brandenburg beispielsweise mit dem etwa NW-SE über das Gebiet Berlins verlaufenden und durch das Baruther-, Berliner- und Eberswalder Urstromtal grob umrissenen Grundwasseraustritts-/Aussickerungsgebieten vorgegeben. Zugehörige regionale Neubildungsgebiete bilden die Höhen der Pommerschen Randlage im Nordosten und der Fläming im Südwesten; lokal aber auch Grundmoränenplatten im westlichen Brandenburg sowie weiter östlich der Barnim und der Teltow.

Abhängig von Höhenunterschieden, Lagerungsverhältnissen und geohydraulischen Wirkungskräften konnten und können in Grundwasseraustritts-/Aussickerungsgebieten ergiebige Grundwasseraustritte oder Liegendspeisungen auftreten. Von der Lage der Neubildungs- und Grundwasseraustritts-/Aussickerungsgebiete sowie den großräumigen hydrogeologischen Druckdifferenzen ist es abhängig, ob Salzwässer aufsteigen können.

## 4. Genese der Salzwässer

### 4.1. Salzwässer im prätertiären Untergrund

Nach der Entstehung des festländischen Infiltrationsraumes im Verlauf des Tertiärs und Quartärs (Abb. 3) hat sich die Grundwassersituation abhängig von dem geologischen Aufbau und den hydrogenetischen Voraussetzungen entwickelt. Austrieb und Infiltration von Wässern wechselten im brandenburgischen Raum mehrfach, so daß damit zu rechnen ist, daß die Sedimentationswässer im Hangenden der mitteloligozänen Rupelschichten vollständig ersetzt worden sind.

Von grundlegender Bedeutung für junge (rezente) Versalzungen sind die in den Sedimenten des prätertiären Untergrundes enthaltenen syngenetischen Sedimentationswässer, deren Salzgehalte sich nach LEHMANN (1974) in folgenden Konzentrationen (Gesamtmineralisation) bewegen:

Tab. 1 Mittlere Salzkonzentrationen im Mesozoikum

Unterkreide	ca. 130 g/l
Malm	130-150 g/l
Dogger	ca. 150 g/l
Lias	130-160 g/l
Rät	160-180 g/l

Neben Gemeinsamkeiten gibt es zwischen diesen Wässern deutliche hydrochemische Unterschiede.

Insbesondere geologische und hydrogeologische Erkundungen in den letzten vier Jahrzehnten haben ergeben, daß der unter den känozoischen Lockersedimenten folgende prätertiäre Untergrund sich durch komplizierte Schichtenfolgen und vor allem durch komplizierte Tektonik mit z. T. erheblichen Versatzbeträgen auszeichnet. Strukturen und Strukturzonen mit Randsenken und zum Teil mit Salzdiapieren aus Zechsteinsalzen haben einen wechsellagernden Aufbau zur Folge. Über schräg- und steilstehenden Schichten kommunizieren ältere Sedimente mit diskordant auflagernden Ablagerungen. Neue Schichtenverbindungen wurden auch durch tektonische und halokinetische Störungen geschaffen. Alle diese Prozesse erzeugen hydraulische Verbindungen, die bei Vorhandensein entsprechender Druckpotentiale den Übertritt von Wasser von einem Grundwasserleiter in einen anderen ermögli-

#### 4.2. Salzwasser in Rupelbasissanden

Rupelbasissande sind in Brandenburg lückenhaft, aber weit verbreitet (s. Abb. 1). Sie liegen meist direkt auf Prätertiär und bedecken dieses diskordant in einer Mächtigkeit von durchschnittlich 5 m. Diese meist feinen Sande bilden ein eigenständiges Grundwasserstockwerk mit einer relativ ausgeglichenen Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen  $5 \cdot 10^{-5}$  und  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s (TESCH 1987). Die hydrogeologische Bedeutung der Rupelbasissande liegt in ihrer weitgehend söhligigen Lage und den hydraulischen Verbindungen zu mineralisierten Wässern im Prätertiär einerseits und zu süßwasserführenden Grundwasserleitern des Känozoikums andererseits. Über quartäre Ausräumungszonen (HANNEMANN 1964), in denen pleistozäne Sande oftmals direkt auf prä-

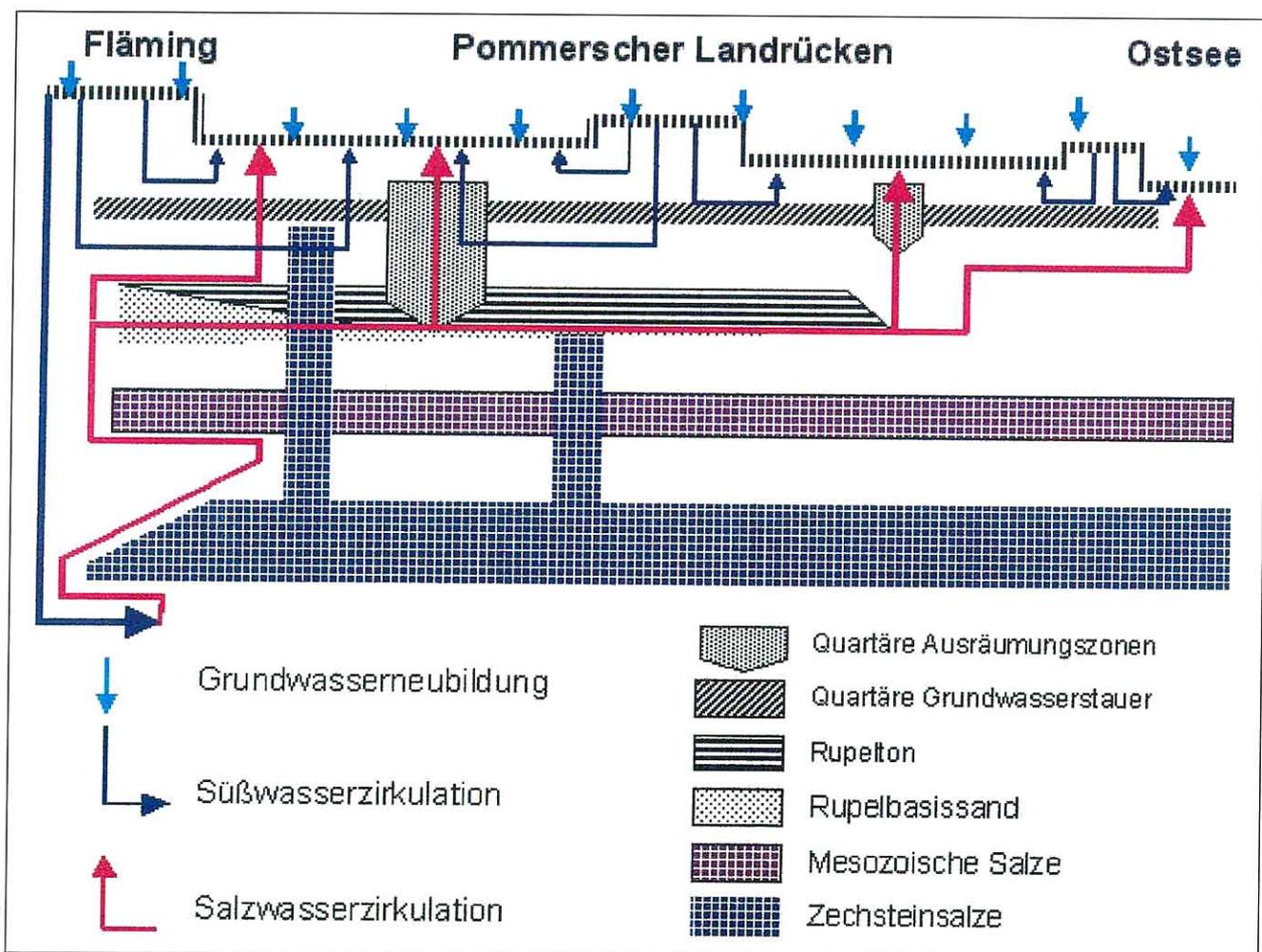


Abb. 5  
Hydrodynamisches Modell der Nordostdeutschen Senke (nach ZIESCHANG 1974)

chen. Über häufig treppenartige Wege wurden und werden Auf- und Abstiege verschiedener Mineralwässer möglich. Tektonisch gestörte Gebiete sind in Brandenburg sehr verbreitet. Bei Überlagerung durch Rupelbasissande oder durch Sande in pleistozänen Ausräumungszonen ist das Eindringen hochmineralisierter Wässer aus dem Prätertiär in Schichten des Tertiärs und Quartärs möglich.

tertiären Sedimenten lagern, und über wendeltreppenartige Verbindungen können Salzwasseraufstiege bis in Oberflächennähe und auch bis an die Geländeoberfläche erfolgen. Die Aufstiege sind möglich, weil die pleistozänen Ablagerungen Brandenburgs sich durch häufige Fazieswechsel, durch tiefgreifende Erosionen und glazigene Ausräumungen sowie durch tiefreichende glazigene Schichtstörungen aus-

zeichnen und es damit Kommunikationen zwischen den Grundwasserleitern gibt. Die Speisung der Rupelbasissande kann somit über drei Wege erfolgen:

- flächenhaft oder über Störungen aus permeablen Liegendschichten des Prätertiärs,
- horizontal aus entfernt gelegenen Einzugsgebieten,
- flächen- oder linienhaft aus Hangendschichten über „geologische Fenster“ unterschiedlicher Genese; aus Störungen oder über fazielle Differenzierungen der Hangendstauer.

In den Rupelbasissanden treffen das prätertiäre und das känozoische Fließgeschehen aufeinander. Daraus und aus räumlich unterschiedlichen und zeitlich wechselnden hydrostatischen Potentialen resultieren hydrodynamische und hydrogeochemische Austauschvorgänge, die letztlich Mischungen zwischen den Wässern unterschiedlicher Herkunft bewirken. So entstanden genetisch uneinheitliche Anomalien. Nach den vorliegenden Ergebnissen ( insbesondere nach TESCH 1987 aus dem Raum des südöstlichen Brandenburg) sind der Chemismus und die Mineralisation der Wässer unterschiedlich, eine Beobachtung, die allein auf Grund der anzunehmenden Vermischungen nicht überraschend ist. Es ist zu erwarten,

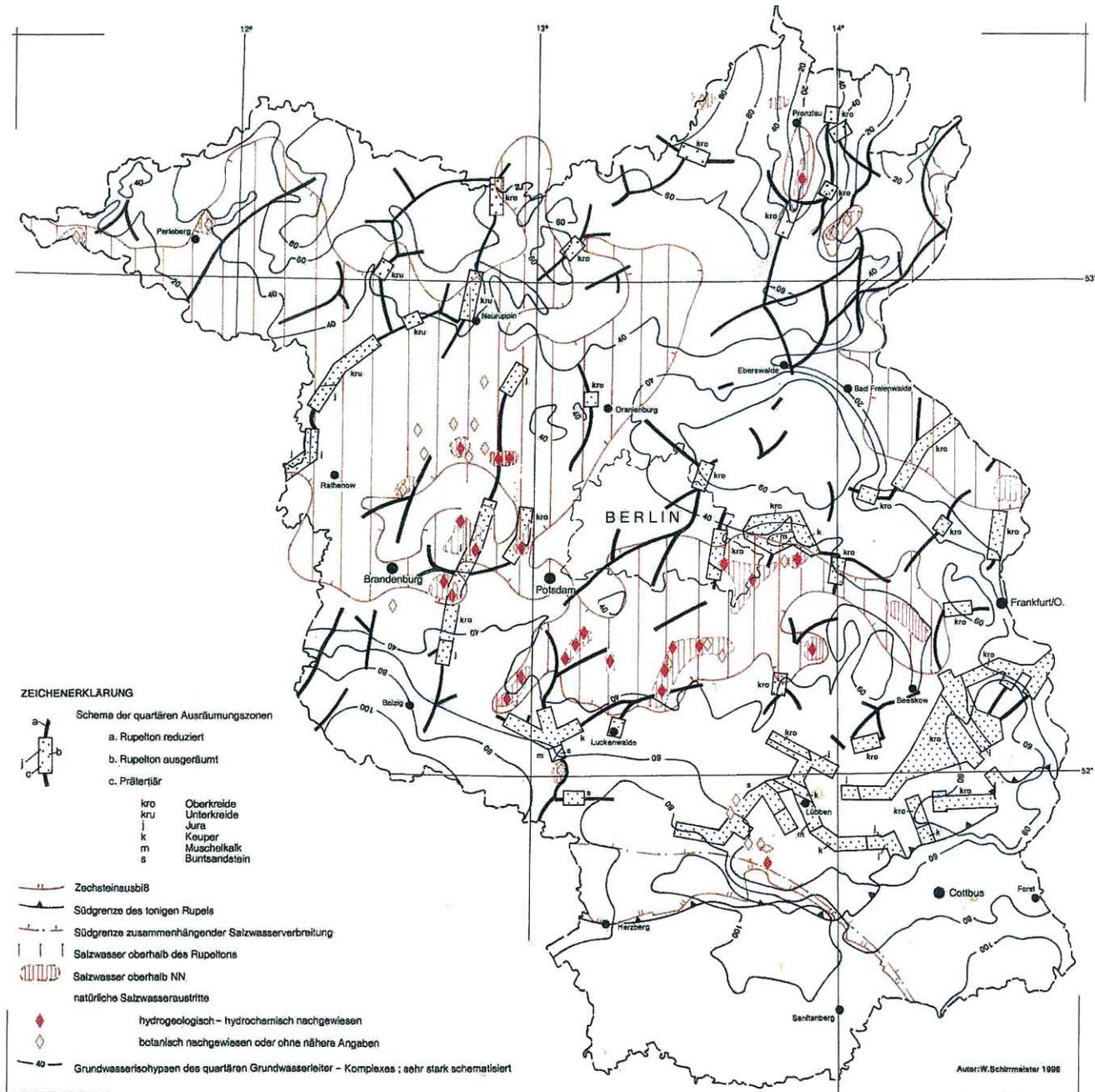


Abb. 6  
Versalzungen und Salzwasseraustritte in Brandenburg

daß die Grundwässer aus den prätertiären Sedimenten in lokal unterschiedlichem Maße vertreten sind und daß auch die Vermischung mit Infiltrationswässern aus dem Känozoikum unterschiedlich intensiv erfolgt ist. Nur so ist die aus Isotopenuntersuchungen belegte Altersdifferenzierung verständlich (sehr jung bis präweichselkaltzeitlich; GELLERMANN 1986, 1987 und TRETIN et al. 1990, 1997). Das berechnete mittlere Alter liegt bei >10 000 Jahren, die festgestellten Salzgehalte schwanken zwischen 8 und 38 g/l (TESCH 1987).

### 4.3. Derzeitige Lage der Süß-Salzwassergrenze

Die Tiefenlage der Süß-Salzwassergrenze wird durch die Wechselwirkung von geologischen Bedingungen und hydrodynamischen Verhältnissen -positive oder negative Differenzen zwischen den Druckpotentialen des Süß- und Salzwassers, lokale Absenkungen des Süßwassers an Vorflutern oder bei Wasserentnahmen- bestimmt. Regional ist sie deutlich mit der Höhe des Grundwasserspiegels korreliert (Abb. 6). Im Norden des Landes, am Südrand des Mecklenburgischen Landrückens in der Prignitz und auf der Ruppiner Platte befindet sie sich unterhalb -200 m NN, wenn der Wasserspiegel des Hauptgrundwasserleiters höher als 60 m NN liegt. Diese für Brandenburg besonders hohe Mächtigkeit der Süßwasserschicht wird auch im Fläming erreicht; meist liegt die Süß-/Salzwassergrenze bei etwa -100 m NN. Hier manifestiert sich der Ausläufer des Speisungsgebietes für tiefe Grundwasserleiter, welches in Polen, im Zentrum der Alimentation für die Norddeutsch-Polnische Senke, Süßwassermächtigkeiten über 1400 m erzeugt. Ähnliche Bedingungen wie im Fläming liegen im Hochbarnim südlich Bad Freienwalde vor.

Damit sind auch flächenhafte Versalzungen oberhalb des Rupeltones hydrodynamisch bestimmt. Sie treten nur in Gebieten auf, in denen der Wasserspiegel des bestimmenden hydrogeologischen Komplexes deutlich unter 60 m NN liegt.

### 4.4. Salzwasseraustritte

Die Lage der Salzwasseraustritte ist vielfach sehr labil. Gewässerregulierungen, aber auch schon jahreszeitliche Schwankungen der Niederschlagshöhen und damit auch des Grundwasserspiegels können bedeutende laterale Verlagerungen verursachen. Bei ortsstabiler Lage der Salzwasseraustritte siedeln sich häufig salzliebende und salztolerante Pflanzen an.

Die wesentlichen Salzwasseraustritte Brandenburgs sind in der Abbildung 6 dargestellt worden. Umfangreiche und ausführliche Darstellungen - meist im Zusammenhang mit floristischen Arbeiten - findet man bei MÜLLER-STOLL (1962 und 1993) sowie bei HUCKE (1922).

## 5. Hydrochemie der Salzwässer

### 5.1. Abhängigkeiten von der Tiefenlage und der hydrodynamischen Position

Die Salzkonzentration und Zusammensetzung der im tieferen Untergrund (Zechstein, Trias und Rät bis Oligozän) vor-

handenen Sole sind sowohl von der Tiefenlage (s. Abb. 2) als auch von der hydrodynamischen Position zum Infiltrationsgebiet abhängig (Abb. 6).

Außerhalb des von der Infiltration beeinflussten Randbereiches überschreiten die NaCl-Gehalte in den reliktschen Wässern des Zechsteins die Aufällungsgrenze von Steinsalz bedeutend. Ursache darauf sind hohe Gehalte an Ca- und Mg-Chlorid. Auch das Wasser in den Sedimenten der Trias stellt sich als salinares Reliktwasser dar. Ein Hinweis darauf sind die erniedrigten rNa/rCl- (< 0,8) und hohe Br Cl-Koeffizienten.

Das Wasser im Komplex Rät bis Oligozän ist durch Infiltration und Ablaugung geprägt. Die als typische Beispiele dargestellten Wasseranalysen aus dem Bereich Jura und Unterkreide sind reine NaCl-Ablaugungswässer. Bei einem Gesamtsalzgehalt über 100 g/l liegen die Erdalkalichloride bei etwa 5 g/l. Die um die Jahrhundertwende im Berliner Stadtgebiet bei ungefähr 500 m erschlossenen Solen sind fast reine NaCl-Solen mit Gehalten zwischen 25 und 30 g/kg. Entsprechend liegen alle diese Wässer im hydrochemischen Genesemodell der Wässer (RECHLIN 1997) am NaCl-Pol (Abb. 7), was die Interpretation als Ablaugungswasser bestätigt.

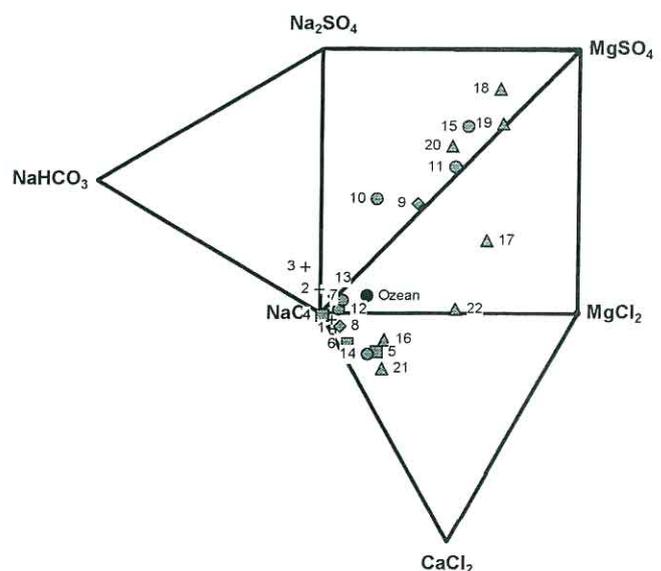


Abb. 7

Salzwasseraustritte in Brandenburg im Genesemodell (1-3- Bohrungen, 4- Sperenberger See, 5- Storkow, 6- Trechwitz 1, 7- Nauen, 8- Uetz, 9- Deetz, 10- Schiaß, 11- Sperenberger See 2, 12- Salzbrunn, 13- Gröben 1, 14- Trechwitz 2, 15- Gröben 2, 16- Tremsdorf, 17- Päwesin, 18- Grösinsee, 19- Mittenwalde, 20- Trechwitz 2, 21- Dabendorf, 22- Blankensee)

Das versalzene Grundwasser in den jüngeren känozoischen Sedimenten (Oberes Oligozän, Miozän und Quartär) schließt sich in den Ionenrelationen den des unterlagernden Komplexes an; allerdings sind die absoluten Salzgehalte häufig geringer. Mischungen mit Süßwasser und Austauschreaktionen machen sich verstärkt bemerkbar.

## 5.2. Hydrochemische Klassifizierung

Die Vielgestaltigkeit der Zusammensetzung der Salzwässer ist für das känozoische Stockwerk typisch. In der Klassifizierung nach den relativen Gehalten der Hauptkomponenten wechseln sie von der Na-Cl-Klasse (Gröben M8) über Zumischungen von Sulfat und Calcium in unterschiedlichem Ausmaß (Uetz - Trechwitz 13 - Storkow Luch -Deetz - Gröben M10) zur Ca-SO<sub>4</sub>-Klasse (Grössinsee). Am Ende weist die Analyse von der Salzstelle Blankensee einen nur geringen NaCl-Anteil auf und das Wasser ist zur Ca-HCO<sub>3</sub>-Klasse zu rechnen. Diese Relationen können zu falschen Schlußfolgerungen Anlaß geben. Zum Beispiel hat die Wasseranalyse "Sperenberg See 2" (Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>) nur einen Sulfatanteil von etwa 18%, genau soviel wie Karbonat vorhanden ist; aber das Wasser ist mit Gips gesättigt. Dagegen hat die sichere Ca-SO<sub>4</sub>-Klasse "Grössinsee 2" eine Gipssättigung von nicht einmal 10 %!

Die hier dargestellten Analysenergebnisse geben nur einen kleinen Teil der Untersuchungen an Salzwasseraustritten wieder. Ein Vergleich der exemplarisch aufgeführten verschiedenen Ergebnisse von ein und demselben Salzwasseraustritt lassen bedeutende Unterschiede erkennen.

## 5.3. Zur Genese der Salzwässer

Es zeigt sich, das Salzwasser mit Gesamtsalzgehalten unter 5 g/l kaum noch für die hydrogeochemisch-genetische Typisierung eines Salzwasseraustritts geeignet sind, weil Verzerrungen der Wasserzusammensetzung durch Wiederauflösung von ausgefallten Salzen (hauptsächlich Gips aber auch Kalk) entstehen.

Tab. 2 Variabilität der Grundwasserqualität in Salzwasseraustritten

	TDS [mg/l]	Gips- sättigung	Haupt bestandteile
Trechwitz 13/79	11700	-0,4	Na-(Ca)-Cl-(SO <sub>4</sub> )
Trechwitz 06/74	1500	-0,4	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
Gröben M8	8100	-1,2	Na-Cl
Gröben M10	3100	0,2	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>

Diese Feststellung wird belegt durch die Auswertung von über 150 Wasseranalysen aus Salzwasseraustritten in Mittelbrandenburg. Primär belegen die Analysenpunkte große Teile des Genesemodells und die unterschiedlichsten Typen sind zu erkennen. Reduziert man sie aber auf Analysen mit einem Gesamtsalzgehalt über 5 g/l, so konzentrieren sie sich auf den NaCl-Pol (Abb. 7), was nach der Ableitung der Genese des Salzwassers auch zu erwarten war.

## 6. Bewertung und Schlußfolgerungen

Die Herkunft des geogen bedingten Salzwassers ist vor allem im tieferen, prätertiären Untergrund zu suchen. Nach zahlreichen hydrochemischen Untersuchungen handelt es sich

entweder um fast reine Natriumchlorid-Ablaugungswässer, die aus der Auflösung mesozoischer und paläozoischer Steinsalzablagerungen stammen, oder um hochkonzentrierte Restlösungen, die im Zusammenhang mit der Ausfällung von Steinsalz aus dem Meerwasser entstanden sind. Reliktische syngenetische Salzwässer aus den marinen Sedimenten des Oligozäns und Miozäns sind entweder nicht mehr vorhanden oder wurden noch nicht erkannt. Wässer vom Typ "Meerwasser" sind zumindest in den Grundwasserleitern nicht vorhanden.

Trotz geringer Durchlässigkeit in den wasserführenden Schichten und hoher Dichte des Wassers fließen auch die hochkonzentrierten Solen, wenn Druckdifferenzen vorliegen. Grundsätzlich bewegen und bewegten sie sich in Richtung auf den Hauptvorfluter, das Weltmeer. Diese Hauptvorflut unterlag in der Erdgeschichte zahlreichen Höhengschwankungen. In den jüngeren erdgeschichtlichen Perioden - insbesondere im Quartär - waren diese Schwankungen überwiegend glazialisostatisch und glazialeustatisch begründet (s. Abb. 3). Weitspannige epirogene Bewegungen, überwiegend Abwärtsbewegungen, von denen auch die Mitteleuropäische Senke erfaßt war und ist, überlagern die Meeresspiegelschwankungen und damit die Bewegung des Salzwassers im Untergrund.

Mit dem wiederholten Steigen und Fallen des Meeresspiegels, insbesondere im Verlauf des Pleistozäns, veränderte sich auch der Grundwasserspiegel in angrenzenden Gebieten. Aus den nachgewiesenen Meeresspiegelschwankungen kann auf die Tendenz und mit Einschränkungen auch auf die Größenordnung von Grundwasserspiegelschwankungen geschlossen werden. Diese über lange Zeiträume - in Jahrzehntausendenverlaufenden Prozesse haben immer wieder zu Störungen des hydrodynamischen Gleichgewichts in den Grundwasserkomplexen zwischen Süß- und Salzwasser geführt. Bei der Herstellung eines neuen hydrodynamischen Gleichgewichts muß es mehrfach zu einem vertikalen Austausch zwischen Salz- und Süßwasser und zu lateralem Transport in unterschiedliche Richtungen gekommen sein. Der laterale Transport war sicherlich unterschiedlich weitreichend und der Wasseraustausch unterschiedlich vollkommen.

Schlußfolgernd ist festzustellen, daß eine Bewertung von Versalzungen nur im Kontext von hydrogeologischen und hydrochemischen, und im Falle einer Grundwassernutzung, von wasserwirtschaftlichen Bedingungen möglich ist. Noch stärker gilt diese Restriktion für die Prognose einer Versalzung. Hier sind nicht nur die nachgewiesenen oder möglichen Salzwasseraufstiege aus unterschiedlichen Tiefen, sondern auch die vielfältigen Vermischungsmöglichkeiten in die Betrachtungen einzubeziehen. Ein wesentlicher Bereich für Mischung und lateralen Transport ist durch die in Brandenburg und darüber hinaus weit verbreiteten sandigen Partien im Liegenden der Rupelschichten (meist Rupelbasissande) gegeben. Eine Einschätzung der Entwicklung von Versalzungen (hydrochemische und hydrodynamische Beurteilung mit Prognose) kann nur bei ausreichend bekannten Randbedingungen zum Erfolg führen. Bei komplizierten Verhältnissen wird häufig eine Mengen- und Gütemodellierung erforderlich sein.

## Zusammenfassung

Es werden die enge Beziehung zwischen der Genese der Salzwässer im Untergrund Brandenburgs, insbesondere zur paläogeographischen Entwicklung und den Meeresspiegelschwankungen seit dem mittleren Tertiär (Rupel), und die derzeitigen Salzwasseraustritte analysiert und dargestellt.

## Summary

The close relation are analysed and described between the origin of the salt-water in the subsoil of Brandenburg, particularly of the paleogeographical evolution and the changes of the sea level since the Middle Tertiary (Rupelian), and the current salt-water springs.

## Literatur

- AHRENS, H. et al. (1989): Projekt regionale Suche Braunkohle Frankfurt/O.-Wellnitz. - Zentr. Geolog. Inst., Berlin (Unveröff.).
- AHRENS, H. & D. LOTSCH (1963): Marines Miozän in Südostbrandenburg. - Z. angew. Geol., **9**, 3, S. 135-137, Berlin
- BEHRKE, K. E. & H.-J. STREIF (1980): Kriterien zu Meeresspiegel- und darauf bezogene Grundwasserabsenkungen. - Eiszeitalter und Gegenwart **30**, S. 153-160, Hannover.
- BERNER, W. et al. (1995): Klimaänderungen in geologischer Zeit. - Z. angew. Geol., **41**, 2, S. 69-82, Berlin.
- FRÄNZLE, O. (1988): Glaziäre, periglaziäre und marine Reliefentwicklung im nördlichen Schleswig-Holstein. - Schr. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein, **58**, S. 1-30, Kiel.
- GELLERMANN, R. (1986) [Erg. 1987]: Bericht über isotopenhydrogeologische Untersuchungen im Objekt Fürstenwalde. BA Freiberg JSFG Isotopenhydrogeologie, 16 S., Freiberg (Unveröff.).
- GLANDER, H. & W. SCHIRRMEISTER (1975): Erfassung und Darstellung der oberen Mineralwassergrenzfläche. - Z. angew. Geol., **21**, 7, Berlin.
- HAHN, J. (1982): Hydrochemische Probleme (Versalzung) bei natürlichen Grundwässern in Niedersachsen. - In: Anthropogene Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit in Niedersachsen, Veröff. Inst. f. Stadtwesen TU Braunschweig, **34**, Braunschweig.
- HANISCH, J. (1980): Neue Meeresspiegeldaten aus dem Raum Wangerooge. - Eiszeitalter und Gegenwart, **30**, S. 221-228, Hannover.
- HANNAPPEL, S. & H.-J. VOIGT (1995): Regionale Bezugseinheiten zur Interpretation des hydrochemischen Status der Porenquifere im Lockergesteinsbereich, Beispiel Brandenburg. - Z. angew. Geol., **41**, 2, S. 127-133, Berlin.
- HANNEMANN, M. (1964): Quartärbasis und älteres Quartär in Ostbrandenburg. - Z. angew. Geol., **10**, 7, S. 370-376, Berlin.
- (1995): Über Intensität und Verbreitung glazigener Lageungsstörungen im tiefen Quartär und Tertiär Brandenburgs. - Brandenburgische Geowiss. Beitr., **2**, 1, S. 51-59, Kleinmachnow.
- HUCKE, K. (1922): Geologie von Brandenburg. - Stuttgart (Encke).
- KLUG, H. (1980): Der Anstieg des Ostseespiegels im deutschen Küstenraum seit dem Mittelatlantikum. - Eiszeitalter und Gegenwart, **30**, S. 237-252, Hannover.
- KOLP, O. (1979): Eustatische und isostatische Veränderungen des südlichen Ostseeraumes im Holozän. - Peterm. Geogr. Mitt., **123**, 3, S. 177-187, Gotha/ Leipzig.
- (1981): Die Bedeutung der isostatischen Kippbewegungen für die Entwicklung der südlichen Ostseeküste. - Z. geol. Wiss., **9**, 1, S. 7-22, Berlin.
- KRAUSCH, H.-D. & W. SCHIRRMEISTER (1995): Salzstellen südlich Berlins. - In: Exkursionsführer zur INQUA 1995 Berlin, **4**, München
- LEHMANN, H.-W. (1974): Geochemie und Genesis der Tiefenwässer in der Nordostdeutschen Senke. - Z. angew. Geol., **20**, 11, S. 502-509, Berlin.
- LONG, D. et al. (1988): The sedimentary record of climatic variation in the southern North Sea. - Phil. Trans. R. Sc., **318**, S. 523-537, London.
- LUDWIG, A. O. (1992): Vorkänozoische Kälteperioden im Vergleich mit der känozoischen Kälteperiode. - Z. geol. Wiss., **20**, 5/6, 493-503, Berlin.
- MANHENKE, V., HANNEMANN, M. & B. RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. - Brandenburgische Geowiss. Beitr., **2**, 1, S.12, Kleinmachnow.
- MÖRNER, N. A. (1976): Eustasy and Geoid Changes. - J. Geol., **84**, 2, 123-151, Chicago.
- MÜLLER-STOLL, W. R. & H.-G. GÖTZ (1962): Die märkischen Salzstellen und ihre Salzflora in Vergangenheit und Gegenwart. - Wiss. Z. Päd. Hochsch. Potsdam, math. Naturwiss. Reihe, **7**, 1/2, Potsdam.
- (1993): Vegetationskarten von Salzstellen Brandenburgs. - Verh. Bot. Ver. Berlin-Brandenburg, **126**, 5, Berlin.
- RECHLIN, B. (1997): Zur Anwendung des Hydrochemischen Genesemodells der Wässer in Grundwasserleiterkomplexen des Landes Brandenburg (mittelbrandenburgischer Raum, Stand April 1997). - Brandenburgische Geowiss. Beitr., **4**, 1, Kleinmachnow.
- SCHIRRMEISTER, W. & H.-J. VOIGT (1978): The boundary between fresh- and saltwater in saliferous sedimentary basins. - Anal. Inst. Geol. Hungar., **65**, 1-4, Budapest.
- SCHMITT, K. (1994): Hydrogeochemische und hydraulische Untersuchungen von stark mineralisiertem Grundwasser an Beispielen nördlich Treuenbrietzen. - (Dipl.-Arbeit), Inst. für Geol. Paläont. TU Berlin, Berlin.
- STACKEBRANDT, W., EHMKE, G., & V. MANHENKE (Hrsg.) (1997): Atlas zur Geologie von Brandenburg. - 80 S., 22 Kt., LGRB Kleinmachnow.
- STREIF, H.-J. (1991): Zum Ausmaß und Ablauf eustatischer Meeresspiegelschwankungen im südlichen Nordseegebiet seit Beginn des letzten Interglazials. In FRENZEL: Klimageschichtliche Probleme der letzten 130 000 Jahre. - S. 231- 249, Stuttgart u. New York (Gustav Fischer)
- TESCH, J. et al. (1987): Hydrogeologischer Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsberechnung, VE 1987. - VEB Hydrogeologie, BT Berlin, 2321 S., Berlin (Unveröff.).

- TRETTIN, R., HAASE, G. & M. HABERDANK (1990):  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Untersuchungen an Grundwässern des Berliner Urstromtales. - *Isotopenpraxis*, **26**, 12, S. 595-598, Berlin.
- TRETTIN, R., HILLER, A., WOLF, M., DEIBEL, K. & W. GLÄßER (1997): Isotopenanalytische Charakterisierung tiefliegender Grundwässer im Raum der Fürstenwalde-Gubener Störungzone. - *Z. Grundwasser*, **2**, 2, S. 65- 76, Berlin/ Heidelberg.
- VOIGT, H.-J.(1989): *Hydrogeochemie*. - Leipzig (VEB Dtsch. Verl. Grundstoffind.)
- ZIESCHANG, J. (1968): Zur Verbreitung der Mineralwässer in der Deutschen Demokratischen Republik. - *Z. angew. Geol.*, **14**, 9, Berlin.
- (1974): Ergebnisse und Tendenzen hydrogeologischer Forschungen in der DDR. - *Z. angew. Geol.* **20**, 10, Berlin.

Anschrift der Autoren:

Dr. Martin Hannemann  
Gernotstr. 4  
10365 Berlin

Walter Schirrmeister  
Zechliner Str. 24  
13055 Berlin