

Marine Geohydrologie

– der DGH-Effekt, marine Süßwasserquellen und die Mangroven-Genese --

mit 3 Abb.
von
Ortlam, D.*

Erst-Publikation: 2017 Fassung: 10/2018 (Copyright, alle Rechte vorbehalten)

Bereits im Jahre 1887 entdeckten die beiden Holländer DRABBE und GHIJBEN auf der Suche nach Süßwasser unter Amsterdam (Niederlande) das labile Tauchgleichgewicht zwischen dem leichten Süßwasser und dem im tieferen Untergrund vorhandenen schweren Salzwasser der dort ins Binnenland intrudierenden Nordsee. Dieses auf dem bekannten Archimedischen Prinzip aufbauenden System zweier nicht mischbarer Flüssigkeitsphasen (= Fluide) wurde dann vom Deutschen HERZBERG im Jahre 1901 im Bereich aller Ostfriesischen Inseln (Deutsche Nordseeküste) durch entsprechende hydrogeologische Untersuchungen im Zeitabschnitt 1885-1889 mathematisch-physikalisch genau erfasst ($H_2 = 37 \times H_1$) und beschrieben (Abb. 1). Zu Ehren dieser drei bedeutender Forscher wurde diese **auf der ganzen Welt** zu beobachtende Beziehung als **DGH-Effekt** in die Literatur eingeführt (ORTLAM 1989, ORTLAM & SAUER 1993, 1996, 1999, ORTLAM 2000):

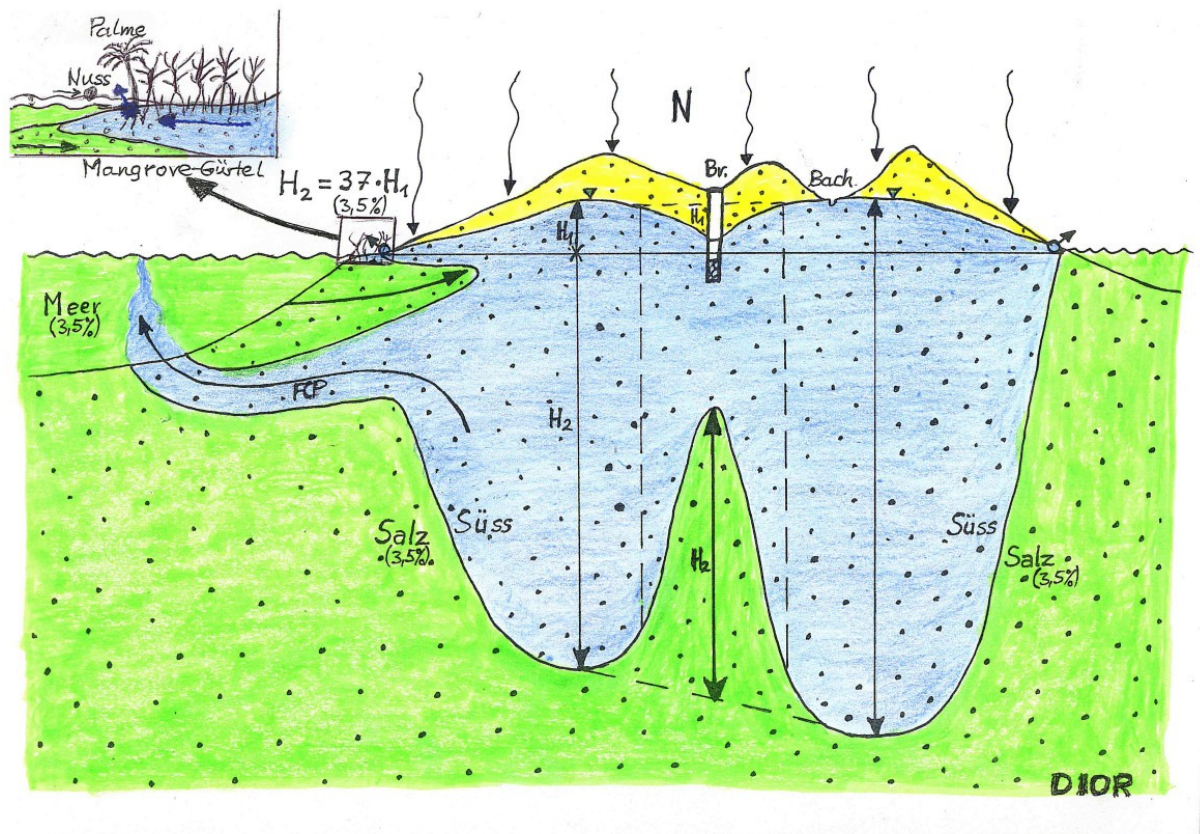


Abb. 1: DGH-Effekt im Bereich einer Insel bzw. einem Kontinent mit typischen Strand-Quellen und **Mangrove-Genese** (inklusive marinem Palmen-Transfer) sowie einer Süßwasserablauffröhre (= freshwater current pipe, FCP) nach ORTLAM (2000, ergänzt). Mangroven-Genese in flachen, tropischen Küstenbereichen mit geringen Grundwasserflurabständen zur Süßwasserversorgung der Pflanzen mit Stelzwurzeln.

Bei einer (Nordsee-)Meerwasserkonzentration von 2,9% Gesamtsalzgehalt, entsprechend einem spezifischen Gewicht von $\sim 1,027\text{g/cm}^3$, ergibt sich ein Verhältnis von 1:37, d. h. bei einer Süßwasserspiegel-Auflast von 1m +NN ergibt eine Eintauchtiefe der Süßwasserlinse von 37m –NN. Das bedeutet ein Anstieg der in Porengrundwasserleitern sehr scharf gezogenen Süß-/ Salzwasser-Grenze von 37m nach oben als Folge einer Absenkung des Süßwasserspiegels um nur 1m. Im östlichen Mittelmeer mit seinem höheren Salzgehalt von 3,5% (spezifisches Gewicht von $\sim 1,033\text{g/cm}^3$) ergäbe sich ein entsprechender Anstieg der Grenze um 30m. Bei Brackwasser-Verhältnissen wie z. B. in der westlichen Ostsee mit etwa 1,4% Gesamtsalzgehalt (spezifisches Gewicht von $\sim 1,013\text{g/cm}^3$) würde die Süß-/Salzwasser-Grenze aber um 75m ansteigen. Dieses Spiel lässt sich aber bei zunehmender Verdünnung der unterliegenden schweren Phase (= Salzwasser-Fluid) nur solange fortsetzen, bis -- bei einsetzender Diffusion und Mischung der beiden Fluid-Phasen -- sich keine scharfe Süß-/Salzwasser-Grenze mehr ausbilden kann, d. h. das Tauchgleichgewicht der beiden Flüssigkeitsphasen kommt dann nicht mehr zum Tragen. Wo genau diese Konzentrationsgrenze zur beginnenden Diffusion liegt, ist bis heute noch nicht endgültig erkundet und harrt immer noch auf eine Lösung. Wahrscheinlich beginnt der kritische Bereich bei einem Gesamtsalzgehalt von $<1\%$ (spezifisches Gewicht von $<1,008\text{g/cm}^3$), wobei dann **kein DGH-Effekt** mehr zu beobachten sein wird.

In der nacheiszeitlichen Abschmelzphase lag der Ozeanspiegel bei $\sim 125\text{m}$ unter NN und stellte somit das allgemeine Welt-Vorflutniveau dar, auf das alle Süßwasserzuflüsse von der Landseite ausgerichtet waren. Der Grundwasserabfluss kam aber in den glazialen Regionen erst in Gang, als sich die tief-reichenden Permafrostböden (bis 600m Tiefe) im frühen Holozän auflösten. Als dies geschah, gab es an den damals tiefer liegenden Küstenlinien sowohl Süßwasser-Strand-Quellen (z. B. an Stränden der portugiesischen Algarve als auch bei Olbos de Aqua) auch Meerwasser-Intrusionen ins Binnenland. Dieser **Fingering-Effekt** (hiermit setzte sich dann bei weiter steigendem Meeresspiegel fort, unter Beibehaltung der Lokationen der bisherigen Süßwasserquellen. Hierdurch ergaben sich in den flachen Küstengewässern der Tropen sehr geringe Grundwasserflurabstände (mit Süßwasser-Strand-Quellen, Abb. 1), so dass sich Mangrovenwälder mit ihren tiefen Stelzwurzeln ausbilden konnten, weil eine Möglichkeit der Süßwasserzufuhr zu den Pflanzen bestand.

Während an Festgesteinsküsten gewaltige, submarine Kluft- und Karstquellen-Austritte seit langem, z. B. im Mittelmeer-Raum, bekannt sind (SCHWERDTFEGER 1981, SAAD et al. 2005, MOOSDORF et al. 2015) und z. T. genutzt werden, sind die submarinen Quellaustritte an Lockergesteinsküsten bisher kaum recherchiert. Im Bereich der deutschen Nordseeküste sind solche strandnahen Süßwasserquellen bei direktem Geest-Kontakt mit der Küste vor allem bei Ebbe zu beobachten, wie dies vor allem bei Duhnen-Sahlenburg westlich Cuxhaven bei hohen Grundwasserspiegelständen der direkt angrenzenden (Altenwalder) Geest der Fall ist (Abb. 2).

In den flachen Küstengebieten der Tropen entwickeln sich aufgrund der niedrigen Grundwasser-Flurabstände durch den DGH-Effekt ausgedehnte Mangroven-Wälder, der Wurzeln im Süßwasserbereich der Strand-Quellen liegen (Abb. 1). Diese wichtigen geochemischen Bedingungen zur Ausbildung der ökologisch bedeutenden Mangroven-Wälder wurde bisher in ihrer Tragweite noch nicht erkannt, weil dazu ein interdisziplinäres Denken erforderlich ist und der DGH-Effekt sich noch lange nicht herumgesprochen hat.

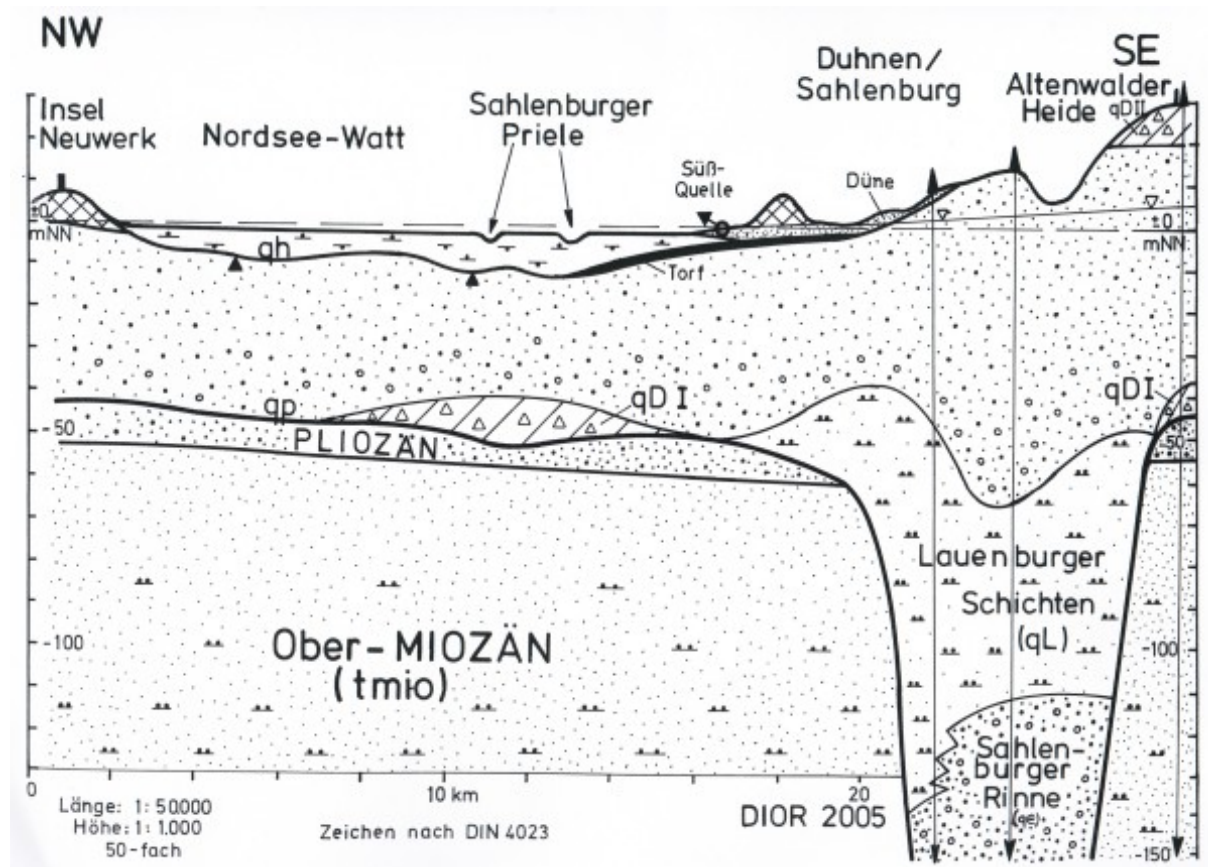


Abb. 2: Hydrogeologischer Schnitt Altenwalder Geest-Duhnen-Insel Neuwerk mit Süßwasserablauffröhren (= freshwater current pipes, FCP) nach ORTLAM (2005).

Dabei entstehen in den strandnahen Dünensanden regelrechte Süßwasser-Eruptionskrater und -rinnen – unter Freilegung von etwaigen Schlick-Auflagerungen durch den starken artesischen Quell-Auftrieb. Diese flachen Süßwasserquellen (= onshore freshwater spots, OFS nach ORTLAM 2000) sind in ihrer Genese jünger einzustufen als die wesentlich älteren und tiefer liegenden, marinen Süßwasserquellen (= submarine freshwater spots, SFS, hiermit) am Grunde der heutigen Nordsee. Letztere werden durch lange Süßwasserablauffröhren (freshwater current pipes, FCP nach ORTLAM 2000, 2001) aus den nahen Geest-Grundwasserleitern gespeist. Eine solche Süßwasserablauffröhre mit einer in den 80er Jahren getesteten Förder-Kapazität von $>1 \text{ Mio m}^3/\text{a}$ inmitten von intrudiertem Nordseewasser wurde im Fischereihafen von Bremerhaven Mitte der 80er Jahre entdeckt (Abb. 3).

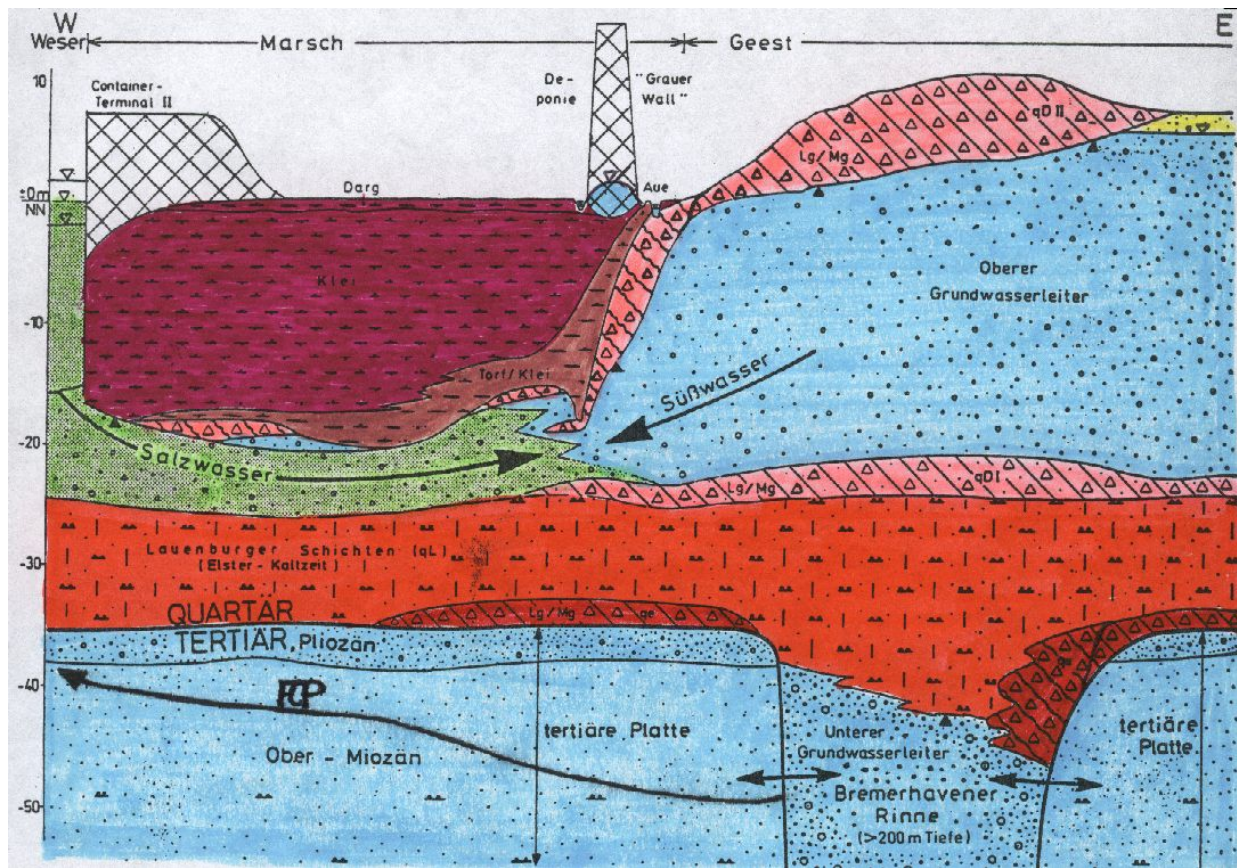


Abb. 3. Halbschematisches hydrogeologisches Profil Bremerhaven mit Salzwasser-Intrusion im oberen Grundwasserleiter (grün) und einer Süßwasserablaufzöhre (= freshwater current pipe, FCP) im unteren Grundwasserleiter (blau); Bereich des Fischereihafens (St. Petrus-Brunnen) nach ORTLAM (2006).

Diese Entdeckung ließ auf ein großräumig angelegtes **Fingering-System** (hiermit an der Deutschen Nordseeküste zwischen landseitig intrudierendem Nordseewasser und der gegenläufigen Bewegung des zur Nordsee auslaufenden Geest-Grundwassers schließen. Einige (warme) marine Süßwasserquellen wurden danach auf Infrarotfotos der DLR (Oberpfaffenhofen) in der winterlich-kalten Nordsee bereits ausgemacht. Eine genaue Lokalisation mit einem Schiff z. B. im Bereich der Dogger-Bank steht aber noch aus. Der Name „Dogger-Bank“ beruht auf den dort häufig im Winter auftretenden Nebel-Bänken (Dugg = Nebel) – verursacht durch die warmen ($\sim 9^\circ \text{C}$) submarinen Süßwasserquellen.

Auch im Bereich der westlichen Ostsee konnten bereits submarine Süßwasserquellen z. B. in der Eckernförder Bucht nachgewiesen werden (BOHRMANN & SAUTER 1999, SCHLÜTER et al. 2004). Dabei wurden mit Hilfe von Unterwasserfahrzeugen bis zu 300m lange Süßwasseraustrittsstellen erkundet (= pockmarks nach BOHRMANN & SAUTER 1999), die i. d. R. mit Methan-Emanationen verbunden sind. Der berechnete Süßwasser-Eintrag bewegt sich zwischen 4 Mio und 57 Mio m^3/a , wobei der letzte Wert in Bezug auf die Größe der landseitigen Grundwasserneubildung wahrscheinlich zu hoch gegriffen scheint und entsprechend überprüft werden sollte.

Die in den bisherigen hydrologischen Lehrbüchern vertretene Ansicht, dass >90% des landseitig gebildeten Süßwassers über die Flusssysteme in die Meere verbracht

werden, entspricht sehr wahrscheinlich nicht den hydrogeologischen Realitäten an den verschiedenen Fest- und Lockergesteinsküsten unserer Erde. Es ist mit einem erheblich höheren submarinen Süßwasser-Austrag von >30% zu rechnen, der allerdings noch im Rahmen des neuen Fachgebietes „**Marine Geohydrologie**“ (= Lehre von allen submarinen Süßwassertransfers) zu erforschen ist. Dabei sollte diese Erkundung vor allem in den semiariden bis ariden und tropischen Küstenabschnitten unserer Erde zukünftig eine bedeutende Rolle spielen, um neue Grundwasser-Ressourcen für die Nutzung von Trink- und Brauchwasser zu erschließen (u. a. MOOSDORF et al. 2015): ein wichtiger Beitrag zur Friedensforschung unter dem Aspekt der zunehmenden Weltbevölkerung und den zunehmenden Verteilungskämpfen nach Süßwasser z. B. im Nahen Osten.

Schrifttum

- BOHRMANN, G. & SAUTER, E. J. (1999): Süße Quellen in der Ostsee. – GEO, **1999/9**:158-162.
- DRABBE, J. & GHIJBEN, W. B. (1887): Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam. – Tijdschr. v. h. kon. Inst. v. Ing., **1888/89**:8-22.
- EDMUNDS, W. M. & MILNE, C. J. (2001): Paleowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene. – Geol. Soc. Spec. Publ. **189**, 344 S..
- HERZBERG, A. (1901): Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. – Schilling's Journal f. Gasbeleuchtung u. verwandte Beleuchtungsarten sowie für Wasserversorgung, **44/45**:815-819/842-844.
- MOOSDORF, N., STIEGLITZ, T., WASKA, H., DÜRR, H. H. & HARTMANN, J. (2015): Submarine groundwater discharge from tropical islands: a review. – Grundwasser, Ztschr. Fachsekt. Hydrogeologie, (**2015**) **20**: 53-67, 4 figs., (Springer) Berlin, Heidelberg.
- ORTLAM, D. (1989): Geologie, Schwermetalle und Salzwasserfronten im Untergrund von Bremen und ihre Auswirkungen. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1989/8**:489-512.
- ORTLAM, D. (2000): Bewirtschaftung mariner Süßwasserquellen. – gwf Wasser-Abwasser, **141/12**:865-873.
- ORTLAM, D. (2001): Geowissenschaftliche Erkenntnisse über den Untergrund Bremerhavens in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung. – Brem. Jb., **80**:181-197.
- ORTLAM, D. (2006): Die Bedeutung des DGH-Effekts und die Nutzung mariner Süßwasserquellen (Mangroven-Genese und „Alte Sau“). – 24 S., 10 Abb., Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).
- ORTLAM, D. & SAUER, M. (1993): Atlas der Geochemischen Grundwasserkartierung Bremen und Erläuterungen. – 29 S., 60 Ktn.
- ORTLAM, D. & SAUER, M. (1999): Geochemische Grundwasser-Kartierung in einem urbanem Raum am Beispiel der Stadt Bremen. – Arbeitsh. Wasser, 1999/1:1-26, 24 Ktn. (eingestampft vom NLFb).
- ORTLAM, D. & SAUER, M. (1996): Geogene and anthropogene salinization phenomenons in the groundwater of Bremen (Northern Germany). – SWIM 1996, SGU-Rapp. o. medd., **87**:207-216.
- SCHLÜTER, M., & SAUTER, E. J., ANDERSEN, C. E. & DAHLGAARD, H., DANDO, P. R. (2004): Spatial distribution and budget for submarine groundwater discharge in Eckernförde Bay (Western Baltic Sea). – Limnol. Oceanogr., **2004**:45-55.

- SAAD, Z., KAZPARD, V., SLIM, K. & MROUEH, M. (2005): A hydrochemical and isotopic study of submarine fresh water along the coast in Lebanon. – Journ. of Environmental Hydrology, **13** (2005),
- SCHWERDTFEGER, B. C. (1981): On the occurrence of submarine fresh-water discharges. – Geol. Jb. **C 29**:231-240, 4 figs., SWIM 1979 Hannover.
- SONREL, L. (1880): Le fond de la mer. – 4. Aufl., 320 S., Paris.

=====

* **Adresse des Autors und Copyright:** Dir. und Prof. Dr. Dieter ORTLAM, P.O.B. 102701, D-28027 Bremen.