Marine Geohydrologie
– der DGH-Effekt, marine Süßwasserquellen und die Mangroven-Genese (MSKT-Gürteleffekt = Mariner Regenwald) --

mit 7 Abb.

– In memorian an Prof. Dr. K. N. THOMÉ (1920-2019) dem wegführenden Geologen und Glaziologen –

von D. Ortlam*)

Erst-Publikation: 2017 Fassung: 10/2025 (Copyright, alle Rechte vorbehalten)

Bereits im Jahre 1887 entdeckten die beiden holländischen Militäroffiziere **D**RABBE und **G**HIJBEN auf der Suche nach Süßwasser unter der Stadt Amsterdam (Niederlande) das labile Tauchgleichgewicht zwischen dem leichten Süßwasser und dem im tieferen Untergrund vorhandenen schweren Salzwasser der dort unter den Küstendünen ins Binnenland intrudierenden (salzigen) Nordsee. Dieses auf dem bekannten Archimedischen Prinzip (ARCHIMEDES von Syrakus 285-212 v. Chr.) aufbauende System **zweier nicht mischbarer Flüssigkeitsphasen** (= Fluide; Fluid-Stasie) wurde dann vom deutschen Baurat **H**ERZBERG im Jahre 1901 im Bereich aller Ostfriesischen Inseln (Deutsche Nordseeküste) durch zahlreiche hydrogeologische Untersuchungen im Zeitabschnitt 1885 bis 1889 mathematisch-physikalisch genau erfasst ($H_2 = 37 \times H_1$) und beschrieben (Abb. 1). Zu Ehren dieser drei bedeutenden Forschern 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 und 2006a).
Die neueren Erkenntnisse zum weltweiten Erscheinungsbild submariner Süßwasser-Austritte (u. a. POST, GROEN, KOOI, PERSON, GE & EDMUNDS 2013) kommen nun reichlich spät und zeugen nicht gerade von solider Literatur-Recherche vor dem Jahre 2000 in Bezug auf die früheren Entdecker. Aber bekanntlich kam auch Christoph KOLUMBUS nicht als Erst-Entdecker nach Amerika, nachdem bereits die erste Tibetisch-Mongolische Völkerwanderung (ORTLAM 2014) in der letzten Kaltzeit (110.000-15.000a B. P.) bei stark abgesenktem Meeresspiegel (~125m **unter** NN) über die Bering-Straße **und** den Alêuten-Bogen nach (Nord-)Amerika stattfand. Hierbei werden die alte Clovis-These (keine Artefakte älter als 12.000 a) auf dem amerikanischen Kontinent inzwischen „in Grund und Boden gestampft“, da viele ältere Artefakte (>40.000a B. P.) sowohl in Nord- wie in Süd-Amerika aufgefunden und nachgewiesen wurden.

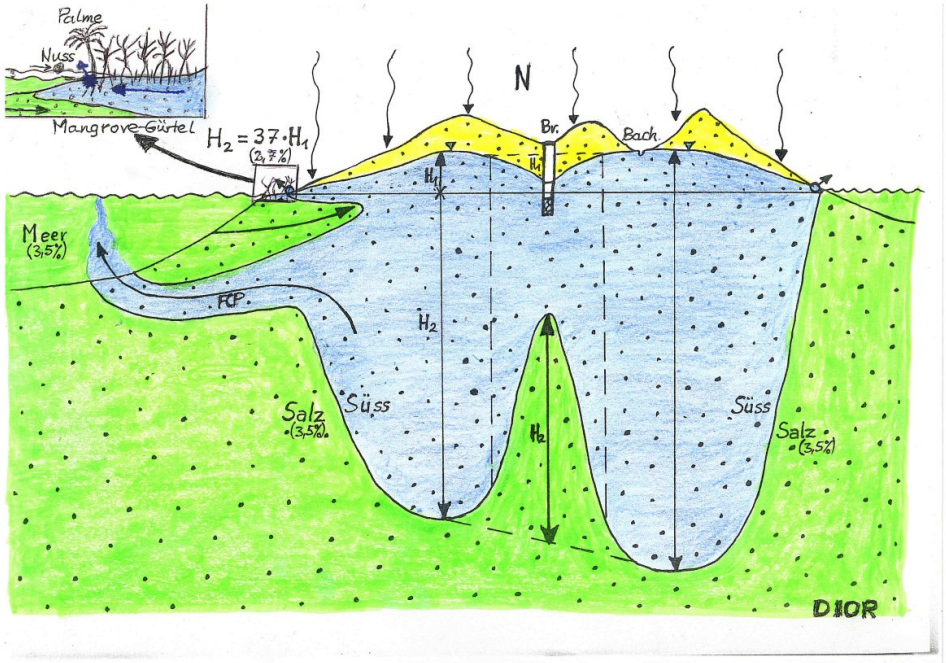

Abb. 1: DGH-Effekt (= Fluid-Stasie) im Bereich einer Insel bzw. eines Kontinents mit typischen Strand-Quellen und der **Mangroven-Genese** (inklusive marinem Palmen-Transfer) sowie einer Süßwasserablaufröhre (= freshwater current pipe, FCP) nach ORTLAM (2000, ergänzt). Mangroven-Genese in flachen, tropischen Küsten-Bereichen mit geringen Grundwasserflurabständen zur Süßwasserversorgung der Pflanzen mit Stelzwurzeln als Brandungsschutz (z. B. Insel Norderney, Insel Kiribati/Pazifik).

Bei einer küstennahen (Nordsee-)Meerwasserkonzentration von 2,7% Gesamtsalz-Gehalt, entsprechend einem spezifischen Gewicht von ~1,027g/cm^3, ergibt sich ein Verhältnis von 1:37, d. h. bei einer natürlichen Süßwasserspiegel-Auflast von 1m +NN resultiert daraus eine Eintauchtiefe der Süßwasserlinse von 37m unter NN. Das bedeutet einen Anstieg der in Porengrundwasserleitern sehr scharf gezogenen Süß-/ Salzwasser-Grenze von 37m nach oben (H2 in Abb. 1) als Folge einer Absenkung des Süßwasserspiegels um nur 1m (z. B. beim Abpumpen, H1 in Abb. 1). Im östlichen Mittelmeer mit seinem höheren Salzgehalt von 3,5% (spezifisches Gewicht von ~1,033g/cm^3) ergäbe sich ein entsprechender Anstieg der **messerscharf ausgebildeten** Süß-/Salzwasser-Grenze um 29m. Eine bisher angenommene Meter-mächtige Diffusionszone (BINOT & WONIK 2005, dort Abb.5; PANTELEIT & HAMMERICH 2005, dort Abb. 1) ist durch die in den Jahren 1979 bis 1982 systematischen hydrochemischen Untersuchungen (u. a. Leitfähigkeit) im Hollerland (Bremen) anhand eines durchgehend verfilterten Peilrohres (mit 20m Tiefe, ORTLAM 1982) eindeutig im Poren-Grundwasserleiter beim jährlichen Niederschlagsgang widerlegt worden. Auch durch andere Beobachtungen von Tauchern in den Zenotes von Yucatan (Mittelamerika) ist die Ausbildung einer Spiegel-artigen, scharfen Halokline (Abb. 7) mit klarem Süßwasser (oben) und gelartigem, leicht trübem Salzwasser (unten, Abb. 7) längst widerlegt (ORTLAM 1982 und 2005). Erst bei einer Konzentration von <1% Salzgehalt erfolgt der Übergang zur Diffusion und der Auflösung der Halokline mit dem DGH-Effekt (ORTLAM 2012, dort Abb. 5).

Bei den neueren genetischen Untersuchungen im karstigen Untergrund der Küsten-Mangroven der Karibischen Insel Kuba wurde sogar festgestellt, dass das endemische, nur im Süßwasser lebende Kuba-Krokodil sich in den Karsthöhlen mit dem aus Mittelamerika eingewanderten Spitz-Krokodil an der schräg einfallenden Halokline im Untergrund trifft, was nicht ohne Folgen einer genetischen Kreuzung geblieben ist: das Kuba-Krokodil enthält zwischenzeitlich bis zu 20% des Gen-Materials des Spitz-Krokodils (ZDF 2021). Die dortige Halokline ist also verantwortlich für die Entstehung einer neuen Art!

Bei Brackwasser-Verhältnissen wie z. B. in der westlichen Ostsee mit etwa 1,4% Gesamtsalzgehalt (spezifisches Gewicht von ~1,013 g/cm^3) würde die Halokline der Süß-/Salzwasser-Grenze aber um 74m 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 scharf getrennten 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 Praxis-nahe Lösung. Wahrscheinlich beginnt der kritische Bereich (= Auflösung der Halokline, Bildung einer Fluid-Stasie) bei einem Gesamtsalzgehalt von ~<1% (spezifisches Gewicht von <1,008 g/cm^3), wobei dann **kein DGH-Effekt** mehr zu beobachten sein wird ORTLAM 2010, siehe dort Abb. 5).

In der nacheiszeitlichen Abschmelzphase lag der Ozeanspiegel bei ~125 m unter NN und stellte somit das allgemeine Welt-Vorflutniveau dar, auf das alle landseitigen Süßwasserzuflüsse ausgerichtet waren (z. B. Bremerhaven-Cuxhavener Rinne mit geophysikalisch erkundeter Basis weit unter 400m -NN nach WIEDERHOLD et al. 2005 im Projekt BURVAL 2006). Der freie Grundwasserabfluss kam aber in den ehemals glazialen Regionen aber erst in Gang, als sich die tief-reichenden Permafrostböden (bis >600m Tiefe in Mitteleuropa; rezent in Sibirien bis 1.600m Tiefe) im frühen Holozän auflösten. Als dies geschah, gab es an den damals tieferliegenden Küstenlinien sowohl Süßwasser-Strand-Quellen (z. B. an Stränden der portugiesischen Algarve bei Olbos de Aqua) als auch Meerwasser-Intrusionen ins Binnenland. Dieser **Fingering-Effekt** (hiermit) setzte sich dann bei sprunghaft weiter steigendem Meeresspiegel fort, unter Beibehaltung der ursprünglichen Austrittsstellen der bisherigen Süßwasserquellen. Hierdurch ergaben sich in den flachen Küstengewässern der Tropen sehr geringe Grundwasserflurabstände (mit Süßwasser-Strand-Quellen, Abb. 1), so dass sich dort Mangrovenwälder mit ihren pfeilartigen Pflanzen-Samen in der Süßwasser-Aureole der Küsten sich zu tiefen Stelzwurzeln und von Seegras-Wiesen und Kelb-Wäldern mit wichtigem Süßwasser-Anschluss ausbilden konnten (**= MSKT**, Mangrove-Seegras-Kelb/Tang-Gürteleffekt, **Mariner Regenwald**, hiermit). Somit bestand die Möglichkeit der notwendigen Süßwasserzufuhr zu den eingebohrten Stech-Samen unter Berücksichtigung der osmotischen Verhältnisse des jeweiligen Untergrundes. Der Seegras-Gürtel und der Kelb/Tang-Wald dienen außerdem dazu, die aus dem Binnenland eingetragenen Kohlenstoffdioxid-haltigen Süßwässer zu neutralisieren, da das Seegras und der Tang des Kelb-Waldes eine dreifache Eigenschaft besitzt, nämlich durch Photosynthese Sauerstoff zu produzieren als auch entsprechende Mengen an Kohlenstoffdioxid zum Wachstum einzulagern. Dabei ist die Tang-Zucht in den

umfangreichen Fjord-Gebieten der Erde zur Nahrungsproduktion (u. a. Norwegen) sehr bedeutend und als Regulator des Säurepegels im Meer zu nutzen. Er dient also der Entsäuerung des Meeres, deren Umsätze bis heute noch der spezifischeren Erforschung in seiner ausgedehnten Vernetzung dienen (Win-Win-Win-Effekte!).

Bisher wird in den hydrologischen Lehrbüchern allgemein davon ausgegangen, dass ~95% des landseitig gebildeten Grundwassers letztendlich über die Flüsse in das Meer abgeleitet werden (u. a. EDMUNDS & MILNE 2001). Dies kann nach meiner Einschätzung zum diskreten submarinen Grundwasser-Transfer an allen Küsten der Erde nicht nachvollzogen werden, viele submarine Süßwasserquellen bisher nur unzureichend erkundet sind. Besonders eindrucksvoll sind natürlich die bekannten submarinen Karstquellen im Mittelmeer als auch an anderen Kalkküsten der Erde, deren submarinem Süßwasser-Eintragpotential sehr groß ist z. B. die Checka-Quellen mit einer jährlichen Süßwassermenge von ~3 Mrd. m³ aus dem Libanongebirge in das östliche Mittelmeer nördlich von Beirut/Libanon (ORTLAM 2006b). Die Kunst ist dabei, diese großen Süßwassereinträge vor der Berührung mit dem Meerwasser und dem eintretenden Venturi-Effekt vor der Vermischung zu bewahren. Die Nutzung submariner Grundwasser-Austritte an Lockergesteinsküsten ist bisher noch nahezu unerforscht, so dass sich der von mir in den 80er Jahren an der Deutschen Nordseeküste (Weser-Elbe) entwickelter Bereich **der submarinen Geohydrologie** weiter dringend erforscht werden sollte, um den wachsenden Trink- und Brauchwasser-Bedarf unserer Erde in Zukunft befriedigen zu können. Fazit: nicht 95% der Süßwasser-Austritte finden über die Flüsse statt, sondern der submarine Süßwasser-Austrag könnte durchaus 30% an den Küsten der Erde betragen. Dies wäre nun umgehend in der Forschung anzugehen, weil süßes Grundwasser unabdingbar zum Leben gebraucht wird ORTLAM 2008).

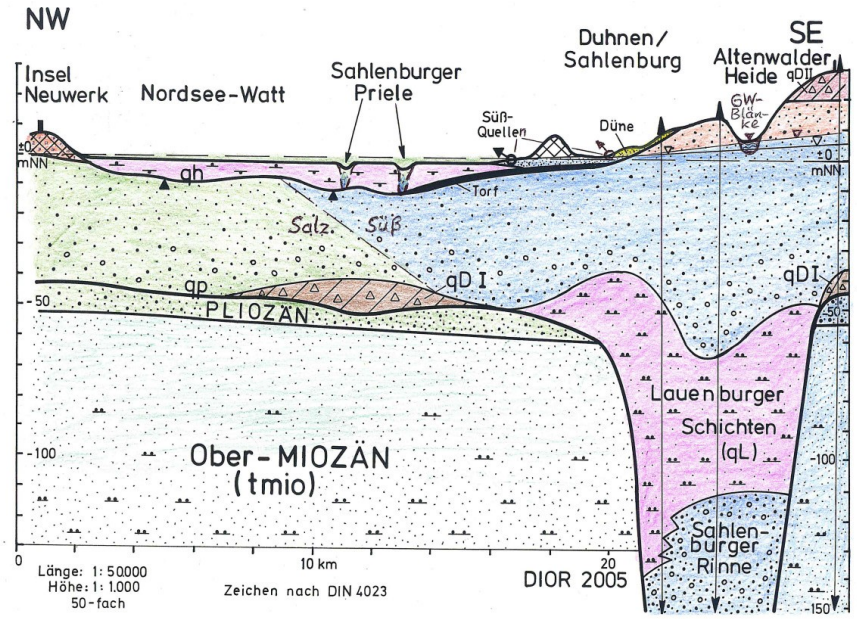

Abb. 2: Hydrogeologischer Schnitt Altenwalder Geest-Duhnen-Insel Neuwerk (Nordseeküste) mit Süßwasserquellen (= freshwater current pipes, FCP nach ORTLAM 2005) und der (vermutlichen) Lage der Halokline Süß-/Salzwasser im Untergrund des Watts zwischen Sahlenburg (Niedersachsen) und der (Geest-)Insel Neuwerk (Freie Hansestadt Hamburg).

Während an Festgesteinsküsten gewaltige, submarine Kluft- und Karstquellen-Süßwasseraustritte 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 auf unserer Erde bisher kaum recherchiert worden. 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 von Cuxhaven (Nordwest-Niedersachsen) bei hohen Grundwasserdruckspiegel-Ständen der direkt angrenzenden (Altenwalder) Geest (= Hohe Lieth) der Fall ist (Abb. 2, SINDOWSKI 1969). Dort gibt es auch eine **einzigartige Grundwasser-Blänke** in Form eines etwa 1 ha großen Teiches (Finken-Moor bzw. FINCK'scher Mummelsee, Abb. 3) im küstennahen WERNER-Wald, dessen Wasserstand um einen Betrag von 1,5m aufgrund von **langjährigen** Grundwasser-Neubildungsraten in der Geest variiert, wie unschwer an den hochliegenden Teich-Brandungskehlen im anstehenden Wurzelwerk der dortigen Kiefern und Birken 0,8m über dem aktuellen Seewasserstand beobachtet werden kann (Abb. 4a und b). Im Juli 2019 konnte ein sehr niedriger Grundwasserstand im maximal 0,8m tiefen See beobachtet werden, so dass der Bewuchs mit gelben sowie – vor allem – mit weißen Seerosen (= Mummeln) optimal ist und z. Zt. die Hälfte der Teich-Fläche einnimmt (Abb. 3). Bereits vor dem Nordsee-Winterdeich kommt es außerdem ~100m unterhalb des FINCK'schen Mummelsees Richtung Sahlenburger Watt bei der Verschneidung von der Topographie mit der vorhandenen Grundwasserdruckspiegel-Fläche zu einzelnen dauerhaften Vernässungsstellen mit Quellaustritten (Abb. 5). Jenseits des Nordsee-Winterdeiches treten dann im Sahlenburger Sandwatt (= Nationalpark Wattenmeer) zahlreiche Süßwasser-Quellaustritte (= onshore freshwater spots, OFS nach ORTLAM 2000 und 2005) auf, deren unterschiedliche Artesität von der Höhe der Grundwasserdruckspiegel-Fläche im Bereich der Altenwalder Geest (= Hohe Lieth) direkt abhängig ist, d. h. hoher Wasserstand im FINCK'schen Mummelsee (= Teil des Nationalparks Wattenmeer) ergibt eine starke Artesität im Sahlenburger Sandwatt mit verstärkten Süßwasser-Quellaustritten (Abb. 2). Daher wäre es zweckmäßig, durch Errichtung eines Wasser-Pegels im FINCK'schen Mummelsee die stets jahreszeitlich und langfristigen Grundwasser-Pegelstände aufzuzeichnen, um ein allgemeines Maß für die Grundwasser-Regeneration im Bereich der Altenwalder Geest abzugeben. Die neueren Forschungsarbeiten (BLINDOW & BALKE 2005) ergaben keine Neuerungen zur Grundwasseroberfläche gegenüber den Darlegungen von SINDOWSKI (1969) sowie einer genaueren Auswertung des FNCK'schen Mummelsees im angrenzenden WERNER-Wald. Die im Jahre 2019 extrem niedrigen Grundwasser-Stände werden sich in der nächsten Dekade nämlich wieder erholen – bedingt durch eine höhere Grundwasser-Neubildungsrate während der (entscheidenden) Winterhalbjahre. Diese Vorgänge ließen sich auch in den 80er Jahren beim Naturschutzgebiet „Eispohl/Katzenpohl“ (Bremen-Nord) beobachten, deren Wasserstände in einem dortigen schwebenden Dünen-Grundwasserleiter ganz von den vadosen Niederschlägen abhängig sind und zeitweise austrocknen können.

Abb. 3: FINCK'scher Mummelsee als Grundwasser-Blänke in einem Trockental im westlichen WERNER-Wald (westlich Cuxhaven) mit ausgedehntem, rezentem Seerosenbestand (= gelbe und weiße Mummeln nach A. SCHNEZLER 1853) bei niedrigem Grundwasserstand (Dürre-Jahre) von z. Zt. (Juli 2019) maximal 0.8m Wasser-Tiefe und maximal 2m Tiefe bei Grundwasser-Hochständen. (Foto: Prof. Dr. D. ORTLAM, Bremen).

Abb. 4 a: FINCK'scher Mummelsee (westlich Cuxhaven) mit der höchsten Grundwasser-Stand-Linie bei den beiden Pfeilen mit optimalem Seerosen-Bestand (= Mummeln nach A. SCHNEZLER 1853). Foto: Prof. Dr. D. ORTLAM (Bremen).

Abb. 4b: Hohlkehle mit höchstem Grundwasserstand (= jeweilige Pfeile unterhalb der Sitzbank siehe auch Abb. 4a), dokumentiert durch die 1m hohe Baumwurzel-Brandungskehle am Ufer (Foto: Prof. Dr. D. ORTLAM, Bremen).

Aufgrund der vorhandenen Topographie im westlichen WERNER-Wald muss von einem **ehemals** Tal-artigen Abfluss-Gerinne zur Entwässerung der Altenwalder Geest zur Nordsee bei einem (ehemals) tiefer-liegenden Meeresspiegel-Stand ausgegangen werden. Die direkte Fortsetzung des FINCK'schen Trockentales nach Nordwesten ergibt nämlich der Beginn zahlreicher großer Watt-Priele wie (von Süden nach Norden) das Arenscher Loch, das südliche Sahlenburger Loch, das nördliche Sahlenburger Loch und das Buchtloch (zur Elbe abgehend, RODEMANN et al. 2005, dort Abb.1). Wahrscheinlich entstand dieses Abfluss-Regime bereits im Post-Glazial vor 6 bis 8 Ka („Atlantikum“) bei höheren Grundwasser-Neubildungsraten mit stärkeren Oberflächen-Abflüssen, die es im Bereich der Altenwalder Geest heute aufgrund der (heute veränderten) meteorologischen Verhältnisse nicht mehr gibt.

In den flachen Küstengebieten der Tropen entwickeln sich aufgrund der niedrigen Grundwasser-Flurabstände durch den DGH-Effekt ausgedehnte Mangroven-Wälder, deren Wurzeln im Süßwasserbereich der Strand-Quellen-Zone liegen (Abb. 1). Diese neuen geochemischen Bedingungen zur Ausbildung der ökologisch bedeutenden Mangroven-Wälder wurde bisher in ihrer Tragweite noch nicht erkannt, weil dazu ein interdisziplinäres Denken erforderlich ist. Außerdem hat sich der seit 1887 bekannte DGH-Effekt noch lange nicht im Binnenland und bei den entsprechenden Fachleuten zur Endlagerung radioaktiver Stoffe herumgesprochen (ORTLAM 2010). Die neuen Erkenntnisse zur Marinen Geohydrologie sind jedoch weltweit gültig und können – richtig genutzt – zur Süßwasserversorgung von Trink- und Brauchwässern – vor allem in tropischen bis ariden Ländern mit deren Küstenbereichen – exploitiert werden und genutzt werden (ORTLAM 2006b).

Abb. 5: Dauerhafte Vernässungs- und Quellaustrittsstelle (= Pfeil; Grundwasser-Blänke) am Dünen-Fuß der seewärtigen Sahlenburger Heide (~100m unterhalb des FINCK'schen Mummelsees) westlich Cuxhaven. Blick nach Nordwesten zur Insel Neuwerk über das Sahlenburger Sandwatt (Horizont) mit lokalen Süßwasser-Spots. (Foto: Prof. Dr. D. ORTLAM, Bremen).

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 (z. B. Dogger-Bank). Letztere werden durch lange Süßwasserablaufröhren (freshwater current pipes, FCP nach ORTLAM 2000, 2001) aus den nahen Geest-Grundwasserleitern gespeist.

Eine solche Süßwasserablaufröhre mit einer in den 80er Jahren getesteten Förder-Kapazität von >1 Mio m^3/a inmitten von intrudierendem Nordseewasser wurde im Fischereihafen von Bremerhaven Mitte entdeckt („Petrus-Brunnen“, Abb. 6) per Zufall entdeckt. 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, ohne Vermischung dieser beiden gegenläufigen Fluide.

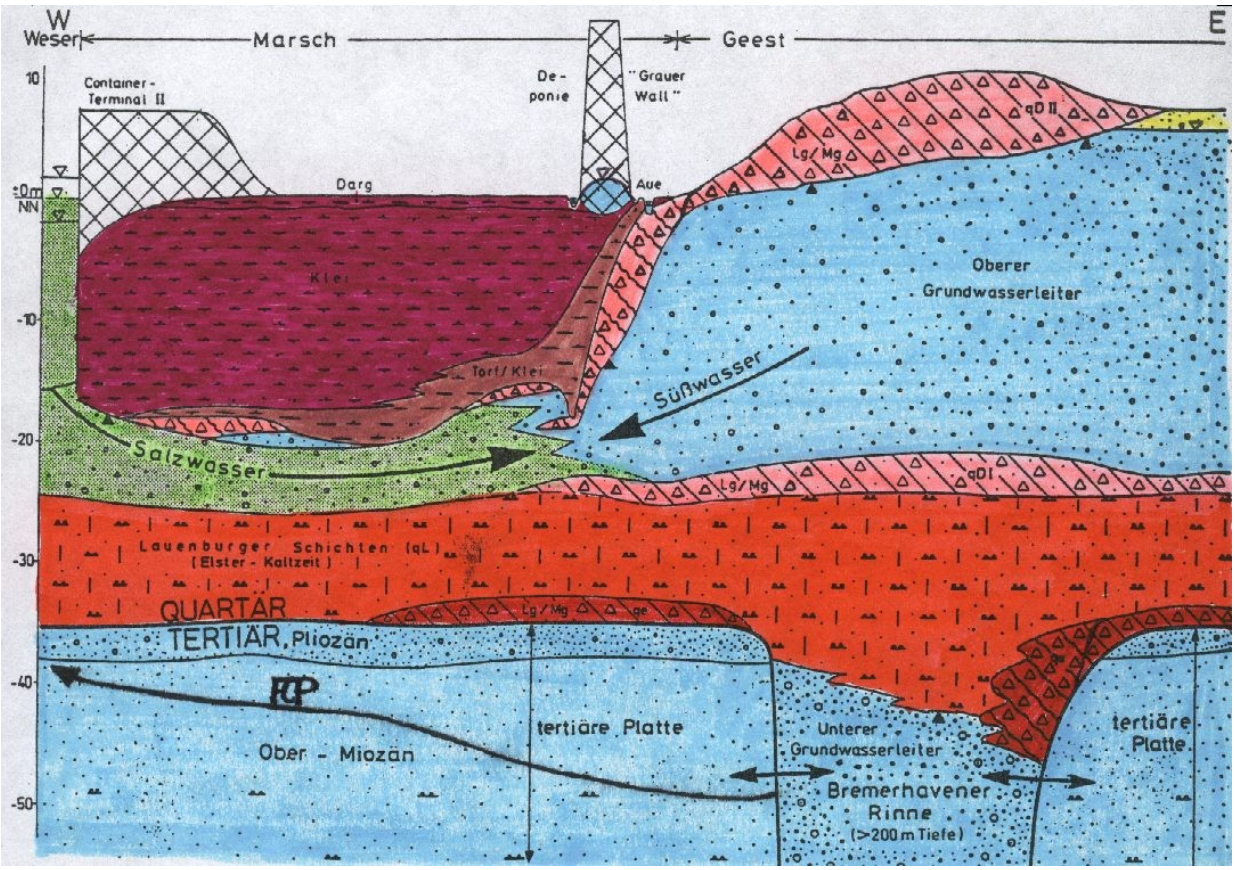

Abb. 6. Halbschematisches hydrogeologisches Profil Bremerhaven mit Salzwasser-Intrusion im oberen Grundwasserleiter (grün) und einer Süßwasserablaufröhre (= freshwater current pipe, FCP) im unteren Grundwasserleiter (blau); Bereich des Fischereihafens (St. Petrus-Brunnen) nach ORTLAM (2006).

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 den Austritt der warmen (~9° C) submarinen landseitigen Süßwasserquellen in der dort flachen Nordsee mit entsprechender Nebelbildung in der Atmosphäre.

Auch im Bereich der westlichen Ostsee konnten bereits submarine Süßwasser-Quellen 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 Entdeckung und Kartierung der Bremerhavener Rinne mit ihren einzelnen Verzweigungen erfolgte bereits im Jahre 1974 durch eine intensive Aufschluss-

Bohrkampagne der Stadtwerke Bremerhaven (heute: Tochter der Stadtwerke Bremen/EWE Oldenburg), um den ungünstigen geochemischen Bedingungen (erhöhte Gehalte an Eisen, Mangan und Nitraten u. a.) im oberen Grundwasser-Stockwerk in das zweite tiefere Grundwasser-Stockwerk zu entfliehen. Meine umfangreichen geowissenschaftlichen Untersuchungen dieser jungfräulichen Lagerstätte (14C-Alter: ~6.000a B. P. Nach Prof. Dr. M. GEYH, Hannover) führte dann gleichzeitig zur Entdeckung der nach Norden weiterführenden Cuxhavener Rinne, deren Tiefgang heute durch geophysikalische Erkundung bei ~>400m -NN liegen dürfte (BURVAL Working Group 2006). Die Bedeutung dieser pleistozänen Rinnensysteme wurde aber bereits frühzeitig erkannt (ORTLAM 1970, 1991, ORTLAM & VIERHUFF 1978), drang aber leider nicht zu den geophysikalischen Bearbeitern der GGA (Hannover) vor. Für die Erschließung des Wasserwerkes „Nordheide“ in der (westlich gelegenen) Wintermoorer und in der (östlich gelegenen) Hanstedter Rinne wurden diese durch die Hamburger Wasserwerke bereits Ende der 60er Jahre mit 15 Mio m³/a Förderung genutzt.

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 geohydrologischen Realitäten an den verschiedenen Fest- und Lockergesteinsküsten unserer Erde. Es ist mit einem erheblich höheren submarinen Süßwasser-Austrages von >30% zu rechnen, der allerdings noch im Rahmen des neuen Fachgebietes **„Marine Geohydrologie“** (= Lehre von allen submarinen Süßwassertransfers vom Lande ins Meer) 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.

Abb. 7: Ansicht einer waagerechten messerscharfen Halokline (Mitte) in einer küstennahen Senotes auf der Halbinsel Yucatan (Mexico) mit gelartigem Salzwasser im tieferen Teil (unten) und kristallklarem Süßwasser im höheren Teil (BBC 2017).

Schrifttum

BBC (2017): Wildes Mexico. – Der Regenwald der Maya. – TV-Dokumentation Victoria BROMLEY, London.
BLINDOW, N. & BALKE, J. (2005): GPR-Messungen zur Bestimmung der Grundwasseroberfläche im Bereich des Geestrückens südlich von Cuxhaven. – Z. Angew. Geol., **1/2005:**39-44, 8 Abb., (Schweizerbart) Stuttgart.
BOHRMANN; G. & SAUTER; E. J. (1999): Süße Quellen in der Ostsee. – GEO, **1999**/9:158-162.
BURVAL Working Group (2006): Groundwater Resources in Buried Valleys – A Challenge for Geosciences. – 303 S., 190 figs., (Bonifatius) Hannover.
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, 2 plates, Amsterdam/Leiden.
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**:815-819 und **45:** 842-844, Berlin.
MOOSDORF, N., STIEGLITZ, T., WASKA, H., DÜRR, H. H. & HARTMANN, J. (2015): Submarine groundwater discharge from tropical islands: a review. – Grundwasser, Zeitschr. Fachsekt. Hydogeologie, **(2015) 20**: 53-67, 4 figs., (Springer) Berlin, Heidelberg.
ORTLAM, D. (1970): Der Aufbau pleistozäner Rinnen in der Lüneburger Heide. – Vortrag DEUQUA-Tg. Kiel 1970, Eiszeitalter u. Gegenwart, **21:**185-186, Öhringen.
ORTLAM, D. (1982): Durchführung hydrogeologisch-hydrochemischer Untersuchungen für den Bereich Horn-Lehe-West (Bremen; DGH-Effekt). – In: Landschaftsökologische Untersuchungen für den Bereich Horn-Lehe-West, Senator f. d. Bauwesen, Bremen.
ORTLAM, D. (1991): Quaternary channels and their importance in applied geology. – Abstracts XIII. INQUA-Congress, p. 262, Beijing.
ORTLAM, D. (1989): Geologie, Schwermetalle und Salzwasserfronten im Untergrund von Bremen und ihre Auswirkungen. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1989**/8:489-512, 11 Abb., 3 Tab., Stuttgart.
ORTLAM, D. (2000): Bewirtschaftung mariner Süßwasserquellen. – gwf Wasser-Abwasser, **141**/12:865-873, 10 Abb., (Oldenbourg) München.
ORTLAM, D. (2001): Geowissenschaftliche Erkenntnisse über den Untergrund Bremerhavens in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung. – Brem. Jb., **80**:181-197, 9 Abb., Bremen.
ORTLAM, D. (2005): Marine Geohydrologie – DGH-Effekt und marine Süßwasserquellen (Beispiele an Nord- und Ostsee). – Vortrag u. Tgbd. 72. Tg. ARGE Norddeutscher Geologen, Lübeck, **Mai 2005:**49-51, 3 Abb., (LANU) Flintbek.
ORTLAM, D. (2006a): 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. (2006b): Bewirtschaftung mariner Süßwasserquellen zur Entwicklungshilfe und ein Modell zur ökologischen/Ökonomischen Regeneration des Toten Meeres mit Energiegewinnung. – 19 S., 3 Abb., Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).

ORTLAM, D. (2008): Punt und Ophir, das sagenhafte Goldland des Altertums. – Die acht kategorischen Umwelt-V's etc. – 36 S., 10 Abb., Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).
ORTLAM, D. (2012): Pleistozäne Rinnen und der DGH-Effekt. – Warum Gorleben die falsche Wahl war. – 59 S., 23 Abb., 1 Tab., Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).
ORTLAM, D. 2014): Der Untergang Hattusas und des Hethiter-Reiches (~2000-1200 v. Chr.) und seine möglichen Ursachen. – Neue Überlegungen zur Keltischen und Tibetisch-Mongolischen Völkerwanderung, zu den Amazonen, zu den Etruskern und zum Ende der Bronzezeit. Brachten die Seevölker (Kelten) die Demokratie nach Griechenland? – 16 S., 3 Abb., Internet-Publikation unter www.dr-ortlam.de (mit laufenden Ergänzungen).
ORTLAM, D. & SAUER, M. (1993): Atlas (Chloride, Sulfate, Gesamt-Härte, Gesamt-Eisen, Magnesium) der Geochemischen Grundwasserkartierung Bremen und Erläuterungen. – 29 S., 60 Ktn.
ORTLAM, D. & SAUER, M. (1999): Geochemische Grundwasser-Kartierung (Nitrate), in einem urbanem Raum am Beispiel der Stadt Bremen. – Arbeitsh. Wasser, **1999**/1:1-26, 24 Ktn. **(zwischenzeitlich eigenmächtig eingestampft von der BGR/ N.L.f.B.-Redaktion, Hannover, ohne Wissen der Autoren).**
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, 11 figs., Stockholm.
ORTLAM, D. & VIERHUFF, H. (1978): Aspekte zur Geologie des höheren Känozoikums zwischen Elbe und Weser/Aller. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1978**,7:408-426, 7 Abb., 1 Tab., Stuttgart.
PANTELEIT, B. (2003): Geochemische Prozesse in der Salz-/Süßwasser Übergangszone. – Dissertation, Berichte aus d. FB Geowissenschaften Universität Bremen, **Nr. 225**, 100 S., Bremen.
PANTELEIT, B. & HAMMERICH, Th. (2005): Hydrochemische Charakteristiken und Prozesse im Küstenbereich bei Cuxhaven. – Z. Angew. Geol., **1/2005:**60-67, 7 Abb., 1 Tab., (Schweizerbart) Stuttgart.
POST, V. E. A., GROEN, J., KOOI, H., PERSON, M., GE, S. & EDMUNDS, M. (2013): Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. – Nature, **504:**71-78, 3 figs., 1 tab., London.
RODEMANN, H., BROST, E., SCHÜNEMANN, J., NOELL, U., SIEMON, B. & BINOT, F. (2005): Gleichstromgeoelektrische Untersuchungen eines mit aeromagnetischen Messungen kartierten Süßwasservorkommens im Sahlenburger Watt unter Berücksichtigung von Äquivalenzfällen und 2D/3D-Modellrechnungen. – Z. Angew. Geol., **1/2005:**45-53, 8 Abb., 2 Tab., (Schweizerbart) Stuttgart.
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. & ROUEH, M. (2005): A hydrochemical and isotopic study of submarine fresh water along the coast in Lebanon. – Journ. of Environmental Hydrology,**13** (2005).
SCHNEZLER, A. (1853): Die Lilien im Mummelsee. – Badisches Sagenbuch. – 2. Abt.: Von der Ortenau bis zur Maingegend. – Leipzig 1976 (Nachdruck).
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.
SINDOWSKI, K.-H. (1969) : Geologische Karte mit Erläuterungen zu GK 25 Cuxhaven (Nr. 2118). – Geolog. Karte von Niedersachsen (N.L.f.B.) Hannover.
THOMÈ, K. N. (1997): Einführung in die Quartärgeologie. – 228 S., 205 Abb., 3 Tab., (Schweizerbart) Stuttgart.
WIEDERHOLD, H., GABRIEL, G. & GRINAT, M. (2005) : Geophysikalische Erkundung der Bremerhaven-Cuxhavener Rinne im Umfeld der Forschungsbohrung Cuxhaven. – Z. Angew. Geol., **1/2005:**28-38, 9 Abb., (Schweizerbart) Stuttgart.
ZDF (2021): Wunder der Erde – Kuba. – TV-Dokumentation, Mainz.

==========

***) Adresse des Autors und Copyright:** Dir. und Prof. Dr. Dieter ORTLAM, Hardenbergstr. 103; D-28201 Bremen.