

Spezielle hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsbereich des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt / Nordrhein-Westfalen)¹

Patricia Göbel (Münster) und Wilhelm G. Coldewey (Münster)

Zusammenfassung

Die speziellen hydrogeologischen Untersuchungen im Einzugsbereich des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ zeigen vielfältige Ergebnisse. So sind im Umfeld des Erdfallsees sowohl die Geländeoberfläche als auch eine markante Torflage in Richtung auf den Erdfallsee geneigt. Die Kernbohrung HM-K1 auf der Wiese nördlich des Erdfallsees sollte weitere Erkenntnisse über den Rand der Subrosionszone des Heiligen Feldes liefern; die geohydraulischen und hydrochemischen Bedingungen an der zur Dreifachmessstelle ausgebauten Bohrung ergaben eine hydrochemische Tiefenzonierung innerhalb eines hydraulisch einheitlichen Grundwasserleiters des Quartär. Das Fließgewässer Meerbecke zeigt sowohl zeitlich, als auch räumlich in Fließrichtung einen ständigen Wechsel der Vorflutfunktion. In Abhängigkeit dazu bildet sich streckenweise eine undurchlässigere Kolmationsschicht an der Gewässersohle aus. Die hydrochemischen Verhältnisse am Multilevel-Brunnen ML1 zeigen anhand der Vor-Ort-Parameter signifikante Veränderungen in den vergangenen 13 Jahren. Der Wasserstandsunterschied zwischen den zwei benachbarten Kolken 6 und 7 ist auf hydraulische Verbindungen zu einem - durch eine Torflage getrennten - halbgespannten Grundwasserkörper zurückzuführen.

1 Einleitung

Das Institut für Geologie und Paläontologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster hat seit ca. 100 Jahren eine enge Beziehung zum Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (nachfolgend mit NSG bezeichnet). Den Einbruch des Erdfallsees dokumentierte seinerzeit im Jahre 1913 Prof. Dr. Theodor Wegner (WEGNER 1913a, 1913b), Geologie-Professor aus Münster. Prof. Dr. Franz Lotze, ebenfalls Geologie-Professor in Münster, hat die Erdfallereignisse um das NSG herum in den Nachkriegsjahren auskartiert und geologisch erkundet (LOTZE 1951, 1957). In der jüngeren Vergangenheit wurden im Rahmen eines interdisziplinären Projektes im NSG mit dem Titel „Umwelt als knappes Gut: Die Schadstoffbelastungen im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ und die Möglichkeiten der landschaftsplanerischen Gegensteuerung“ (finanziert durch die VolkswagenStiftung, Hannover, Az: II/71 074 und 074-1) innerhalb der Projektarbeitsgruppe Hydrogeologie von Dr. Mareike Weinert umfangreiche Untersuchungen durchgeführt (WEINERT 1999, WEINERT et al. 1998, 2000; Projektleitung: Prof. Dr. Eckehard P. Löhnert, Hydrogeologie-Professor aus Münster).

¹ Heinz Otto Rehage zum 75. Geburtstag gewidmet.

Aufbauend auf diesen Untersuchungen werden seit dem Jahr 2000 zu Beginn des jeweiligen Sommersemesters zwei Lehrveranstaltungen im NSG von der Abteilung Angewandte Geologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster angeboten. Im „Hydrogeologischen Gerätepraktikum“ erlernen die Studierenden an einem Wochenende jeweils im April/Mai den Umgang mit hydrogeologischen Feldgeräten. Dabei werden folgende Lehreinheiten bearbeitet: Messung des Grundwasserstandes, Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen, Messung des Abflusses an der Meerbecke, Untersuchung der Vor-Ort-Parameter am Multilevelbrunnen ML1, Untersuchung des Durchlässigkeitsbeiwerts auf der Attermeyerwiese mit Hilfe eines Kurzzeitpumpversuchs an der Grundwassermessstelle (nachfolgend mit GWM bezeichnet) GWM 14 und eines Doppelringinfiltrometer-Versuchs. Im daran anschließenden „Hydrogeologischen Geländepraktikum“ (meistens in der Pfingstwoche) wird dieses Wissen durch die gleichen Studierenden im Rahmen einer fünftägigen Kartierübung in der Fläche umgesetzt. Das Kartiergebiet der einzelnen drei bis vierköpfigen Arbeitsgruppen umfasst das gesamte Einzugsgebiet der Meerbecke oder Teile dessen. Im Jahre 2001 haben zwei Diplomanden die Umgebung des Erdfallsees (nachfolgend mit EFS) mittels Rammkernsondierungen und geophysikalischen Untersuchungen detailliert aufgenommen (ALI 2002, TSEGAYE 2002). Im Jahr 2003 wurde nördlich des EFS die Dreifachmessstelle HM-K1 errichtet. Im Jahr 2004 wurden die geohydraulischen Grundwasserverhältnisse im Umfeld des Großen Heiligen Meeres (nachfolgend mit GHM bezeichnet) im Rahmen einer Diplomarbeit und -kartierung untersucht (PIETZSCH 2004). Zuletzt wurden die geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse im Umfeld der Dreifachmessstelle HM-K1 im Rahmen einer Bachelorarbeit untersucht (GEUKING 2008).

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, vereinzelte Ergebnisse der jährlichen Lehrveranstaltungen sowie der speziellen hydrogeologischen Untersuchungen zu nennen, mögliche hydrogeologische Veränderungen und neue Erkenntnisse zu erläutern und weiteres Untersuchungspotenzial im NSG aufzuzeigen.

2 Untersuchungsgebiet

Das NSG „Heiliges Meer“, als Teil des Untersuchungsgebietes befindet sich an der Nordwestgrenze Nordrhein-Westfalens zu Niedersachsen, 30 km westnordwestlich von Osnabrück, an der Landstraße L 504 Ibbenbüren – Lingen/Ems (TK 25, Blatt 3611 Hopsten). Das NSG erstreckt sich über die Grundkarten-Blätter GK 3611/17; der weitere Einzugsbereich des NSG erstreckt sich über die Grundkarten-Blätter GK 3611/10-11, GK 3611/16-18, GK 3611/22-24, GK 3611/28-29 sowie GK 3612/6+11. Dieser Bereich ist politisch den Gemeinden Hopsten und Recke im Kreis Steinfurt, Regierungsbezirk Münster/Westfalen, zugeordnet.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich vom nordwestlichen Rand der südöstlich gelegenen herzynisch (SE-NW) streichenden Ibbenbürener Karbonscholle mit Höhen um +70 m NN, über die mesozoischen Gesteine der Randzone mit einzelnen, gegeneinander verkippten und nach NW einfallenden Schollen entlang des Verlaufes des Mittellandkanals (MLK-km 8,0 bis MLK-km 12,0) bis in den südlichen Bereich der Norddeutschen Tiefebene (+42 m NN bis +45 m NN). Das NSG ist gekennzeichnet durch eine Überdeckung von pleistozänen Sanden des Quartär. Weitere Hinweise zur geologischen, stra-

tigraphischen und tektonischen Situation finden sich in THIERMANN (1975) und DÖLLING & STRITZKE (2009).

Die Entwicklung und besondere Bedeutung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des NSG insbesondere im Umfeld der Fließ- und Stillgewässer beschreibt WEINERT (1999) und WEINERT et al. (1998, 2000). In der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes stellen sich weitere komplexe Verhältnisse im Wechselspiel der Festgesteine, der Randverwerfungen, der Steinbruchbetriebe und des Kanalbauwerkes ein. Hier findet sich in den Festgesteinen des Zechstein und Karbon, neben lokalen Quellaustritten, ein komplexer hydrogeologischer Stockwerksbau mit weitreichenden Absenkungstrichtern im Umfeld der Steinbruchbetriebe. Die im Folgenden aufgeführten Untersuchungen beziehen sich nur auf das engere NSG „Heiliges Meer“, wie in der nachfolgenden Abbildung 1 mit der Lage der Messpunkte im Untersuchungszeitraum von WEINERT et al. (2000) dargestellt.

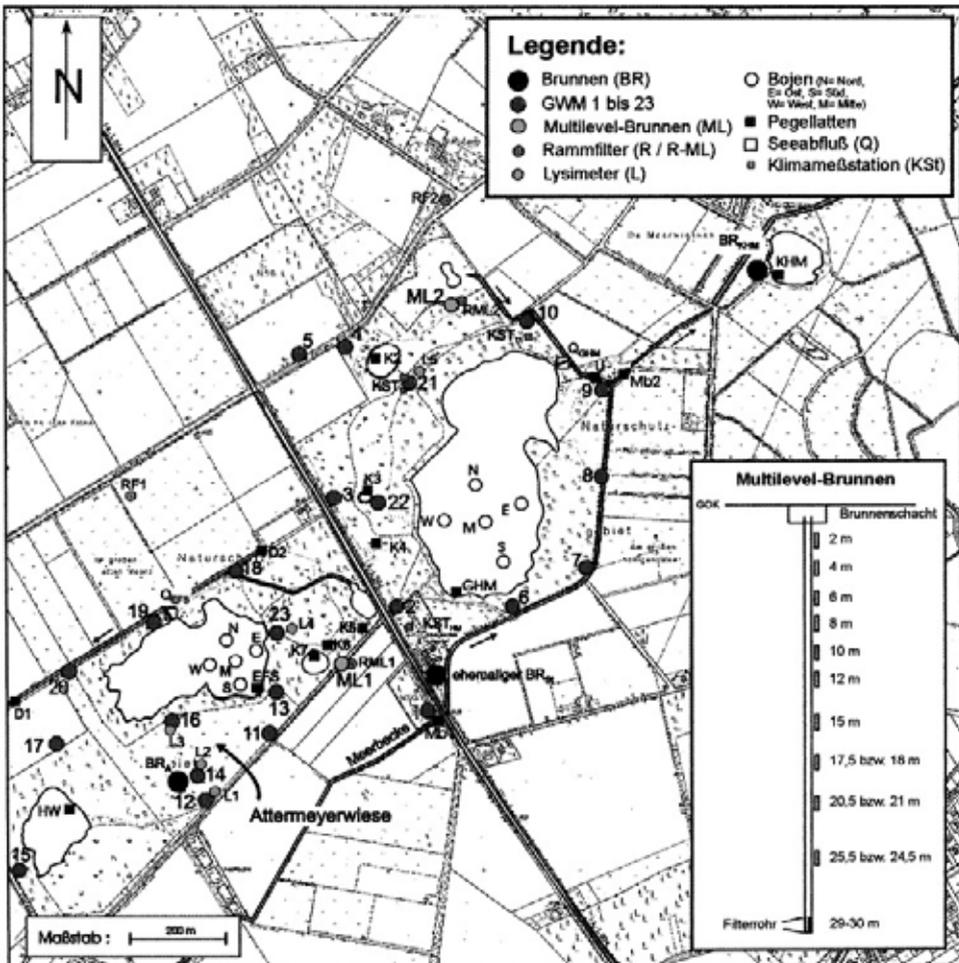


Abb. 1: Lage aller unterschiedlichen Messstellen im NSG „Heiliges Meer“ (aus: WEINERT et al. 2000, S. 53).

3 Hydrogeologische und geophysikalische Untersuchungen des Quartär im direkten Umfeld des Erdfallsees

Das NSG „Heiliges Meer“ ist eines der eindrucksvollsten Erdfallgebiete in Nordrhein-Westfalen. Seit den Untersuchungen von LOTZE (1957) ist der Einfluss der Erdfallereignisse auf die Ausprägung der Reliefentwicklung des Gebietes eine bekannte Tatsache. Der Untergrund ist durch zahlreiche Erdfälle komplex aufgebaut und weist eigenständige hydrogeologische und geophysikalische Eigenschaften auf. Die Untersuchungen von ALI (2002) und TSEGAYE (2002) im direkten Umfeld des EFS konzentrieren sich auf die Lage und räumliche Verteilung verschiedener Torfhorizontgenerationen im Schichtverband sowie ihren Zusammenhang mit den bekannten Erdfallereignissen und der Grundwasserdynamik. Im Rahmen der Untersuchungen wurden ca. 120 Handsondierungen (bis 2 m Tiefe) und GPR-Messungen (2 bis 10 m Tiefe, „ground penetrating radar“, 50 Hz Antennen mit Antennenabstand von 2,83 m, Abstand der Messpunkte von 0,25 m) entlang von Profilen zwischen bestehenden Grundwassermessstellen durchgeführt. Die gewonnenen Datensätze wurden hinsichtlich der Höhe der Geländeoberkante, der Tiefenlage und Mächtigkeit von Torfschichten sowie der Tiefenlage der Grundwasseroberfläche ausgewertet. Das gewonnene Bohrgut wurde lithostratigraphisch angesprochen, beprobt und im Labor anschließend auf Korngrößenverteilung und Wassergehalt untersucht.

Das Normal-Bohrprofil besteht aus 0,10 bis 0,20 m mächtigem trockenem Mutterboden. Darunter folgen 0,15 bis 0,20 m mächtige, trockene Fein- bis Mittelsande. Darunter befindet sich eine etwa 0,25 m mächtige, meist feuchte Torflage (T1). In einigen Bohrungen konnte in dieser Lage Holzreste nachgewiesen werden. Diese Torflage weist eine scharfe Grenze zu den hangenden und liegenden Schichten auf. Diese ist ein wichtiger stratigraphischer Leithorizont zur Gliederung der Sande und zur Klärung der Ausdehnung von weiteren unbekanntem Erdfällen. Im Liegenden dieses Torfhorizontes folgt ein feuchter Sandhorizont (Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig) mit wechselnden Mächtigkeiten (0,10 bis 0,40 m mächtig), dessen gleichmäßige Färbung mit der Tiefe aufgrund der Huminsäureauswaschung von dunkelbraun zu rötlichbraun wechselt. Ab einer Tiefe von ca. 0,70 m folgen in der Tiefe weißgraue, feinsandige Mittelsande. Ein ausgeprägtes Merkmal dieser Schicht ist die Gleichkörnigkeit mit einem Korngrößenanteil zwischen 0,1 und 0,5 mm von über 90 %, welches als typisch für äolisch transportierte Flugsandablagerungen angesehen werden kann. Innerhalb dieser Schicht können in ca. 1,20 m Tiefe stellenweise und damit linsenförmige, dunkelbraune, ca. 0,10 m mächtige, ältere Torflagen (T2) auftreten. Die Endteufe der Handsondierungen beträgt zumeist 2,00 m, wobei in den wasserführenden Schichten oftmals ein Herausfließen aus der Schlitzsonde und damit ein Verlust des Bohrguts festzustellen ist. Der Wassergehalt im Bohrprofil schwankt in Abhängigkeit vom Flurabstand (Differenz zwischen Geländeoberkante und Grundwasseroberfläche) und von der Mächtigkeit des Kapillarraums oberhalb der Grundwasseroberfläche. Der tiefere und ältere T2-Horizont kann bei höher gelegenen Bohransatzpunkten wasserstauend wirken; ebenso kann der höhere und jüngere T1-Horizont bei tieferen Bohransatzpunkten als Grundwasserdeckschicht fungieren und halb gespanntes Grundwasser bedingen.

Die Ergebnisse der Handsondierungen ergeben, dass die Geländeoberfläche im Umfeld des EFS auf den See hin geneigt ist. Die Schichten im Untergrund sind meistens durch-

gehend vorhanden. Die Mächtigkeiten der oberen drei Schichten sind gleichbleibend; die Mächtigkeit des Sandhorizontes (Feinsand, mittelsandig, schwach schluffig) im Liegenden von T1 schwankt demgegenüber erheblich und könnte auf eine Dünenmorphologie hindeuten. Mit der Neigung der Geländeoberfläche zeigt auch die Torflage T1 eine Neigung in Richtung des EFS (Abb. 2). Die Oberfläche der Torflage T1 wurde mit dem Programm SURFER modelliert (Abb. 2). Die Neigung der Torfoberfläche T1 fällt an der NE Flanke des EFS steiler aus als an der SE-Flanke. Diese Neigung ist durch Bodenbewegungen (Subrosionsprozesse) entstanden; diese Bewegungen müssen relativ jung sein und können sich bei der Entstehung des EFS ereignet haben. Diese Bewegung ist auf jeden Fall jünger als die Entstehungszeit der Torflagen, da sich diese gewöhnlich in flachen und ebenen Geländemulden (Niedermoore) bilden. Generell ist der Untergrund des nordöstlich vom EFS gelegenen Bereiches stärker in kleine Senken und Rücken zergliedert als der südöstliche Bereich (Attermeyerwiese). Die Torflage T1 zeigt nicht nur eine Neigung in Richtung des EFS, sondern auch in Richtung der Kolke (nachfolgend mit K bezeichnet) K5, K6, K7. Die Torfmächtigkeit nimmt auf der Attermeyerwiese von Nordosten (0,05 m) nach Südwesten (0,20 m) zu; auf der Fläche nordöstlich vom EFS sind die Torfmächtigkeiten größer zwischen 0,20 und 0,50 m. Des Weiteren können einzelne Rinnenstrukturen ausgemacht werden, in denen die Torflage ausgeräumt wurde und sich mächtigere Sandhorizonte befinden. Diese Rinnen liegen zum einen an den morphologisch tiefsten Stellen im Profil im Bereich des Entwässerungsgraben zwischen Heideweiher (nachfolgend mit HW bezeichnet) und EFS; zum anderen befindet sich eine Rinne auf einer parallelen Linie zur südlichen Begrenzung der Attermeyerwiese mit einem Abstand von 50 m auf den morphologischen Höhen des Arbeitsgebietes. Dort wurde T1 scheinbar im Zuge einer nachträglichen anthropogenen Einebnung der Oberfläche abgetragen; aus diesem Grund steht hier der tiefere Sandhorizont direkt an der Geländeoberfläche an (sandiger Bereich auf der Attermeyerwiese).

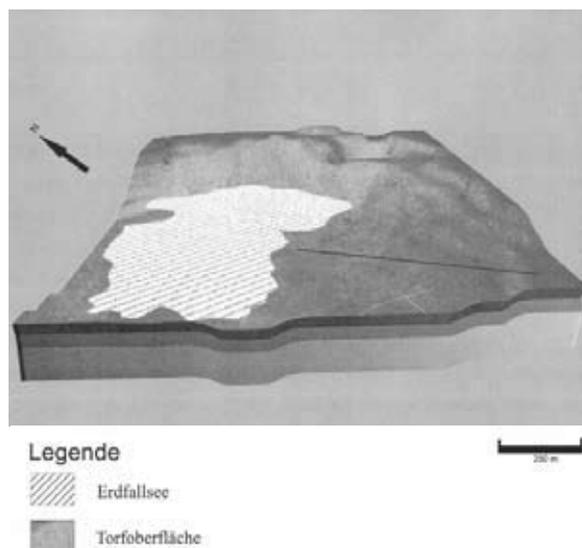


Abb. 2: Ergebnis der Modellierung der Höhenlage der Oberfläche der Torflage T1 (TSEGAYE 2002). Die rote Linie zeigt die Profillinie der EMR-Sondierung aus Abbildung 3 an.

Die Grundwasseroberfläche zeigt in den rinnenförmigen Bereichen mit dem mächtigeren Sandhorizont meistens Tieflagen (Dränagewirkung), obwohl die an der Oberfläche verlaufenden Grabenstrukturen im Rahmen der hydrogeologischen Kartierungen durch Studierende in jedem Jahr trocken erscheinen.

Die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen wurden zunächst einer Geschwindigkeitsanalyse unterzogen; sie erbrachte nahezu konstante Geschwindigkeit von 0,067 m/s. Nach einer Aufbereitung der Daten mittels Band-Pass-Filter und Amplitudenregelung ergaben sich drei Reflektoren, die im Untergrund weiträumig und durchgehend verfolgt werden konnten (Abb. 3). Ihr Verlauf bzw. ihre Neigung korreliert mit den Ergebnissen der Handsondierungen. Reflektor R1 bei 3,5 m Tiefe zeigt einen Korngrößenwechsel von größerem (mittlere Korngröße 0,215 mm) zu feinerem Material (mittlere Korngröße 0,175 mm) an (WEINERT et al. 1998). Reflektor R2 bei 4,5 m Tiefe wird mit dem Wechsel von ungleichkörnigem zu gleichkörnigem Material in Verbindung gebracht (WEINERT 1999). Der Reflektor R3 befindet sich im Profilverlauf ungefähr in 10 m Tiefe. Er wird mit einer Änderung der hydrochemischen Verhältnisse (Kap. 5 und Kap. 7) erklärt. Die Ergebnisse der vertiefenden geophysikalischen Untersuchungen finden sich bei BOSCH & DEGUTSCH (2009, in diesem Band).

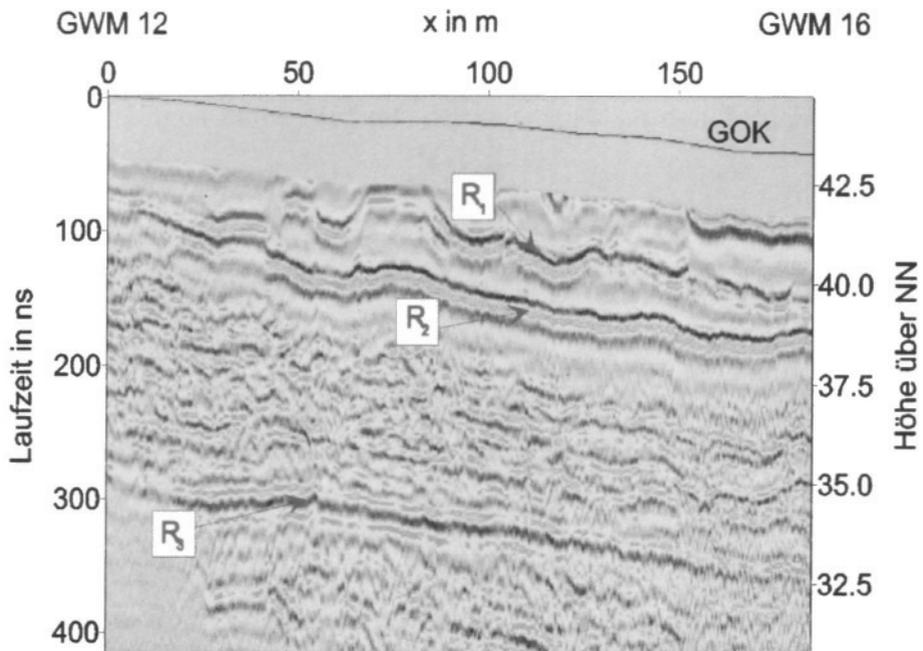


Abb. 3: EMR-Profil zwischen GWM 12 und GWM 16 (TSEGAYE 2002).

4 Geologische Aufnahme der Kernbohrung HM-K1

Am 12.-13.06.2003 wurde die Kernbohrung HM-K1 auf der Wiesenfläche nördlich des EFS (RW 3406441, HW 5803043, Höhe GOK +43,94 m NN) mit dem Ziel niedergebracht, die Quartärbasis in einer angenommenen Tiefe von ca. 15 m unter Geländeoberkante (GOK) und damit den nördlichen Rand der Subrosionsstruktur des Heiligen Feldes zu erkunden. Bei einer Endteufe von 20 m unter GOK setzte die Kernbohrung schließlich im Lockergestein des Quartär ab. Die erbohrten Sedimente wurden noch im Gelände einer lithostratigraphischen Ansprache unterzogen, deren Aussagen nachfolgend durch 48 Korngrößenanalysen in den ausgehaltenen Schichten im Labor verifiziert wurde.

Eine lithostratigraphische Korrelation mit den Bohrprofilen von DÖLLING & STRITZKE (2009) lässt sich nur schwer durchführen. Bei dem erbohrten Material handelt es sich überwiegend um kalkfreie, meist graue, in der Umgebung von humosen Schichten auch braune Sedimente. Da kiesige Anteile in den erbohrten Schichten komplett fehlen, werden Ablagerungen aus der älteren Saale-Kaltzeit wie z.B. Nachschüttsande ausgeschlossen. Die Untersuchungen der humosen Schicht in der Tiefe von 14,30 bis 14,85 m durch Herrn Caspers (BGR, Hannover) ergab, dass es sich dabei vorwiegend um einen humosen Schluff bis Sand handelt. Diese Ablagerungen haben wahrscheinlich kein sogenanntes „geschlossenes System“ gebildet; sie wurden in einer Hohlform recht rasch subaquatisch sedimentiert. Es deutet sich eine steile Schrägschichtung an. Eine genaue Altersdatierung an den humosen Schichten war nicht möglich. Ebenso konnte keine Korrelation mit den Torflagen im engeren Bereich des EFS (Kap. 3) hergestellt werden.

Die Kernbohrung wurde zu einer Dreifachmessstelle ausgebaut. Die Tiefenlage der 2''-Filterbereiche wurde in enger Anlehnung an die lithostratigraphischen und hydrogeologischen Verhältnisse festgesetzt (HM-K1a: 6 bis 7 m unter GOK, Höhe Messpunkt [nachfolgend mit MP bezeichnet] +43,84 m NN; HM-K1b: 12,5 bis 13,5 m unter GOK, Höhe MP +43,86 m NN; HM-K1c: 17 bis 18 m unter GOK, Höhe MP +43,85 m NN). Die einzelnen Filterbereiche sind voneinander hydraulisch durch zwei Tondichtungen (von 10,0 bis 12,0 m unter GOK und von 13,7 bis 15,0 m unter GOK) getrennt. In der direkten Nachbarschaft der Dreifachmessstelle wurde anschließend ein Rammfilter RF_{a,b,c} bis in 2,75 m Tiefe eingebaut (Filterbereich 1,82 bis 2,57 m unter GOK, RW 3406442, HW 5803042, Höhe MP +44,013 m NN), um den obersten Grundwasserbereich zu erfassen.

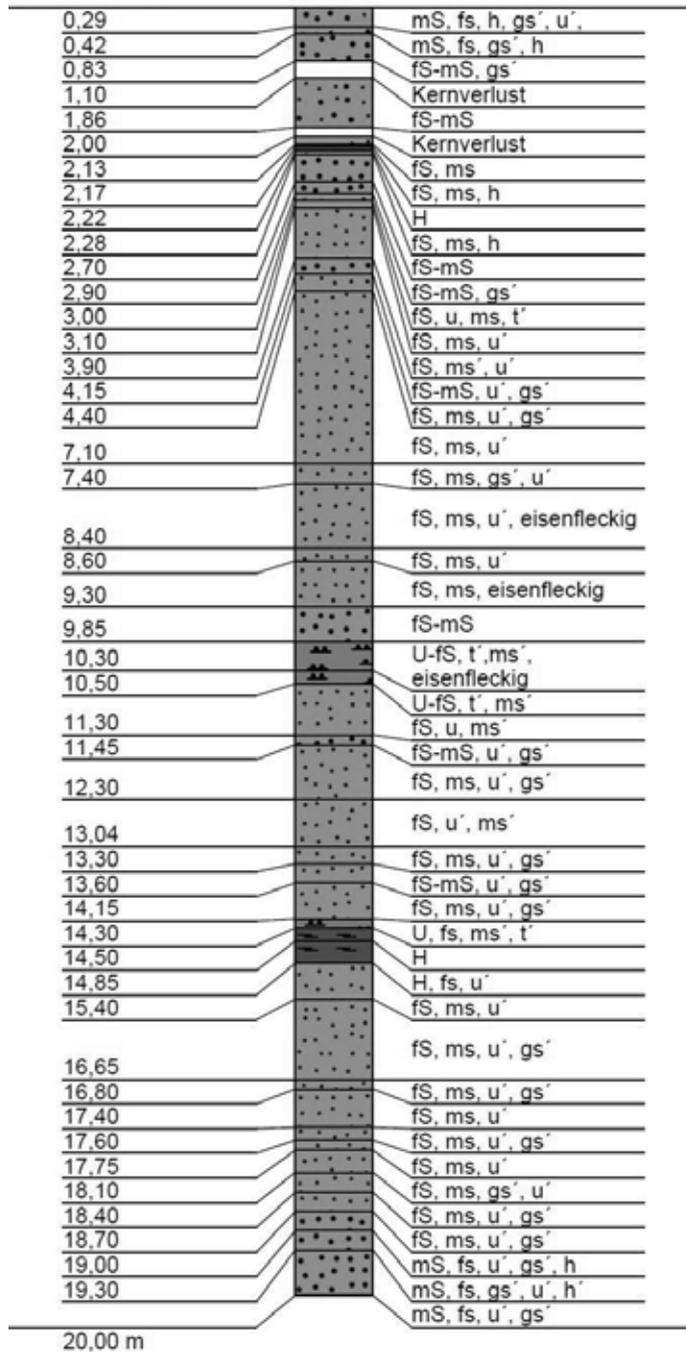


Abb. 4: Bohrprofil des HM-K1 (nach DIN 4022). Das Bohrprofil stützt sich auf im Gelände und im Labor erfasste Beobachtungen.

5 Geohydraulische und hydrochemische Untersuchungen im Umfeld der Dreifachmessstelle HM-K1

In der Dreifachmessstelle HM-K1 wurden am 6.+7.8.2008 im Rahmen der Bachelorarbeit von GEUKING (2008) zwei geohydraulische Tests (sog. Kurzzeitpumpversuche mit Wiederanstiegsphase) durchgeführt. Der Ruhewasserspiegel vor Beginn der Versuche zeigt an beiden Tagen in allen drei Tiefen den gleichen hydraulischen Druck bzw. Grundwasserstand an. Die Grundwasseroberfläche (Mittelwert aus drei Stichtagsmessungen) im Umfeld der HM-K1 liegt unterhalb der Seewasserfläche des EFS und ist sehr flach (0,001 bis 0,040 %) meist Richtung Norden (NNW-NE) geneigt (GEUKING 2008).

Während in der Messstelle HM-K1a Wasser mit einer konstanten Förderrate von $1,8 \cdot 10^{-4}$ m³/s mittels Unterwassermotorpumpe (MP1, Fa. Grundfos) entnommen wurde, erreichte der um 2,73 m abgesenkte Wasserstand nach 70 Minuten den Beharrungszustand. Im gleichen Zeitraum reagierte die HM-K1b mit einer geringeren Absenkung von 0,07 m und die HM-K1c mit 0,01 m Absenkung. Aus den Absenkungs- und anschließenden Wiederanstiegswerten des Wasserstandes in der HM-K1a lässt sich ein horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert von $5,0 \cdot 10^{-6}$ m/s ableiten; dies zeigt nach DIN 18130 einen durchlässigen Untergrund an, wie er für schluffigen Sand typisch ist.

Während in der Messstelle HM-K1c Wasser mit einer konstanten Förderrate von $2,2 \cdot 10^{-4}$ m³/s entnommen wurde, erreichte der um 2,44 m abgesenkte Wasserstand nach ca. 34 Minuten den Beharrungszustand. Im gleichen Zeitraum reagierte die HM-K1b mit einer geringeren Absenkung von 0,09 m und die HM-K1a mit 0,01 m Absenkung. Aus den Messdaten in der HM-K1c lässt sich ein Durchlässigkeitsbeiwert von $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s ableiten; dieser zeigt an, dass in den tieferen Schichten der horizontale Durchlässigkeitsbeiwert etwas besser (doppelt so hoch) ist wie in den flacheren Schichten.

Die Grundwasserstände, die in direkt benachbarter Tiefe zur Fördermessstelle gemessen wurden, reagieren in beide Richtungen jeweils gedämpft auf die Grundwasserabsenkung. Die Grundwasserstände der am weitesten entfernten Tiefe reagieren nur sehr gering auf die Absenkung. Da aber in jedem Fall eine Reaktion messbar ist, ist eine hydraulische Trennung der einzelnen Grundwasserbereiche auszuschließen. Dennoch geht man im Allgemeinen von vorwiegend horizontaler Grundwasserströmung aus, sodass der vertikale Durchlässigkeitsbeiwert um etwa eine Zehnerpotenz geringer ist als der horizontale. Bei den Pumpversuchen in beiden Tiefen zeigte das geförderte Grundwasser Wassertemperaturen (im nachfolgenden mit T bezeichnet) von 11,5°C. Das Grundwasser in der flachen HM-K1a zeichnet sich durch geringe elektrische Leitfähigkeiten (im nachfolgenden mit LF bezeichnet) von 130 μ S/cm und einem eher sauren pH-Wert von 5,4 aus; das tiefere Grundwasser in der HM-K1c zeigt demgegenüber eine höhere elektrische Leitfähigkeit von 530 μ S/cm und einem eher neutraleren pH-Wert von 7,2. Obwohl direkt keine hydraulische Trennung besteht, zeigen die Vor-Ort-Parameter eine hydrochemische Trennung in einzelne Grundwasserstockwerke an.

Eine genauere Untersuchung der hydrochemischen Verhältnisse an der HM-K1 im Hinblick auf die Hauptanionen und -kationen und auf die unterschiedliche Genese des Grundwassers wurde nach der Errichtung der Messstelle am 28.10.2003 sowie am 6.+7.8.2008 (GEUKING 2008) durchgeführt.

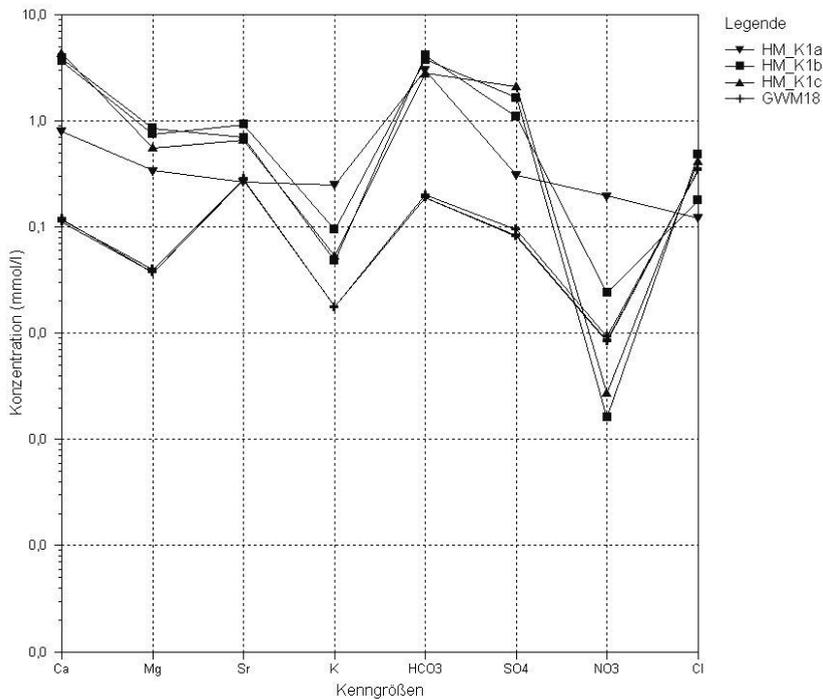
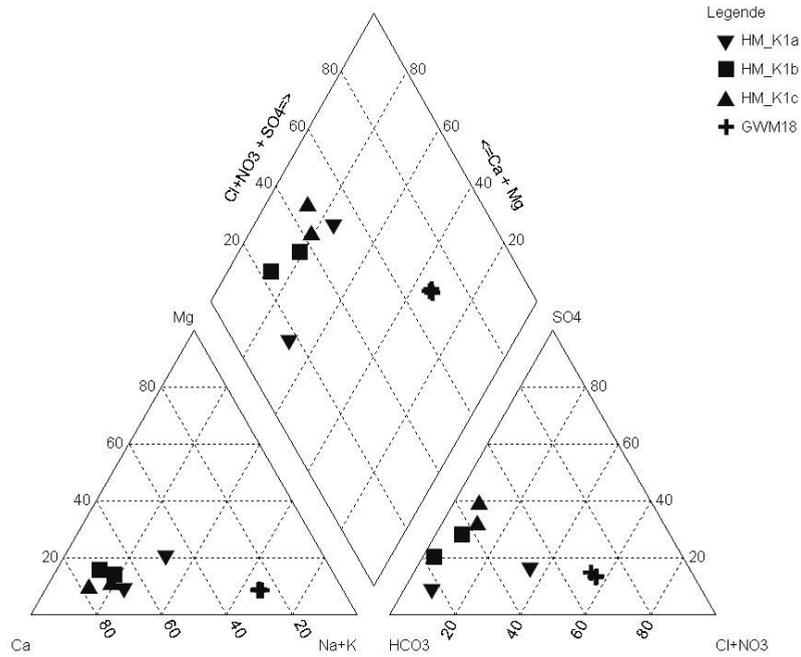


Abb. 5: Diagramme nach PIPER (oben) und nach SCHOELLER (unten) der Grundwasserproben an der HM-K1 (28.10.2003 und 7.8.2008) und an der GWM 18 (6.8.2008).

Von GEUKING (2008) wurde ebenfalls eine Beprobung des Grundwassers an der GWM 18 in drei Tiefen (2 m, 5 m und 9,5 m) direkt hinter den verfilterten Bereich zum Vergleich zur HM-K1 durchgeführt. Die Beprobung fand bei einer Förderrate von $7,7 \cdot 10^{-5}$ bis $1,2 \cdot 10^{-5}$ m³/s statt. Die Vor-Ort-Parameter zeigten in allen drei Tiefen nahezu gleiche Werte ($T = 11,6$ bis $11,3^\circ\text{C}$, $LF = 93$ $\mu\text{S/cm}$, $\text{pH} = 5,11$ bis $5,31$, Sauerstoffgehalt $O_2 = 0,16$ mg/l). Als einzige Kenngröße zeigt der pH-Wert eine kontinuierliche Zunahme mit der Tiefe; ebenfalls nimmt der H₂S-Geruch mit der Tiefe zu. Die drei Grundwasserproben wurden ebenfalls auf die Hauptanionen und -kationen untersucht.

Die Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchungen sind in der Abbildung 5 in Form von PIPER- und SCHOELLER-Diagrammen dargestellt. Die drei beprobten Grundwässer der GWM 18 zeigen den gleichen Wassertyp und den gleichen Mineralisationszustand; aus diesem Grund muss man davon ausgehen, dass die Art der Grundwasserbeprobung an der GWM 18 die Bildung von Mischwässern hervorruft und keine Zonierung des Grundwasserkörpers zulässt. Wie bereits WEINERT et al. (1998) vermutete, ist die Mischwasserbildung auf einen hydraulischen Kurzschluss zurückzuführen; dieses generelle Problem gilt vermutlich für die meisten der insgesamt 25 Grundwassermessstellen GWM 1 bis GWM 25 im NSG, welche im Jahr 1991/1992 niedergebracht wurden. Die Lage der GWM 18 im PIPER-Diagramm hat sich gegenüber WEINERT et al. (2000) nicht verändert. An der Dreifachmessstelle HM-K1 ist eine leichte Tiefenzonierung der Grundwasserbereiche zu erkennen (Abb. 5). Das Grundwasser in HM-K1a zeigt tendenziell die geringere Mineralisation; demgegenüber sind die Werte für Kalium (vermutlich Hinweis auf Kunstdünger) und Nitrat (Hinweis auf Gülle-Düngung) höher als in den anderen Tiefenlagen. Die mittleren und tieferen Grundwasserbereiche, die über die HM-K1b und HM-K1c angeschlossen sind, zeigen höhere Mineralisationen; die mittlere Tiefe zeigt dennoch vor 5 Jahren leicht erhöhte Werte von Kalium und Nitrat auf (fortschreitende Tiefenmigration von Kalium und Nitrat). Es ist zu erkennen, dass die hydrochemischen Verhältnisse an der HM-K1 in den letzten 5 Jahren bereits tiefgreifende Veränderungen erfahren haben. Bereits anhand der Vor-Ort-Parameter, die nach der Errichtung der Messstelle im Jahr 2003 ermittelt wurden, ist eine Abnahme der Gesamtmineralisation gegenüber der Untersuchung in 2008 anhand der LF-Werte (HM-K1a: 262 → 130 $\mu\text{S/cm}$, HM-K1b: 585 → nicht gemessen, HM-K1c: 640 → 530 $\mu\text{S/cm}$) zu erkennen. Das flache Grundwasser hat eine Versauerung von pH 6,2 (10/2003) zu pH 5,4 (8/2008) erfahren; der pH-Wert des tieferen Grundwasserleiters ist mit pH 7,2 stabil geblieben. Die beschriebenen hydrochemischen Verhältnisse stehen vermutlich im Zusammenhang mit der Umwandlung der Ackerfläche in eine Weidebrache im Jahre 1997.

6 Geohydraulische Untersuchungen zwischen dem Großen Heiligen Meer und dem Fließgewässer Meerbecke

Im Übergangsbereich vom Fließgewässer Meerbecke zum GHM hat es in der Vergangenheit zahlreiche Untersuchungen meist hinsichtlich der ökologischen Situation gegeben (HAGEMANN et al. 2000). Die Rolle des Grundwassers in diesem grundwasserbeeinflussten Lebensraum ist sehr bedeutend. Im Rahmen der Diplomarbeit von PIETZSCH (2004) wurden zahlreiche Sondierbohrungen erstellt, um die geohydraulische Situation

zwischen dem GHM und der Meerbecke zu erfassen. Die Meerbecke zeigt in ihrem Verlauf zwischen der Biologischen Station im Südwesten und dem Zusammenfluss mit dem Umlaufgraben im Nordosten wechselnde Vorflutereigenschaften. Da das Grundwasserfließen durch die hydraulische Druckunterschiede angetrieben wird, lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Erfassung der unterschiedlichen Druckniveaus der Grundwasseroberfläche und Oberflächenwasserpegelstände.

Südlich des GHM ist der Gewässerverlauf nahezu parallel zu den Grundwassergleichen ausgerichtet; die Gewässersohle erscheint in diesem Bereich kolmatiert mit einer mehr als 0,30 m mächtigen Kolmationsschicht (PIETZSCH 2004). Hier nimmt die Meerbecke das aus dem Süden anströmende Grundwasser auf (effluente Verhältnisse) und infiltriert gleichzeitig in nördliche Richtung in das Grundwasser (influente Verhältnisse). In Trockenzeiten, in denen die Grundwasseroberfläche komplett unterhalb des Gewässerpegels liegt, kann ein kleiner Teil des Oberflächenwassers über sandige Uferbereiche in den Grundwasserleiter infiltrieren und Richtung GHM abströmen (komplett influente Verhältnisse). Die Gewässersohle ist allerdings nahezu dicht.

In der Umgebung der Meerbecke am Südostrand des GHM zeigt die Meerbecke aufgrund größerer Fließgeschwindigkeiten keine und wenn nur eine lückenhaft vorhandene Kolmationsschicht. Hier stellen sich in Grundwasseranströmrichtung stark effluente Verhältnisse ein; in Richtung GHM bestehen aber weiterhin – insbesondere in den Sommermonaten – influente Verhältnisse.

Nach der Gewässerumbiegung im Bereich der Meerbecke-Niederung – einen größeren zusammenhängenden Niedermoorgebiet - ist wieder eine > 0,50 m mächtige Kolmationsschicht vorhanden. Hier wurde – entgegen dem Grundwassergleichenplan nach WEINERT (1999) – keine Vorflutsituation festgestellt. Der Wasserstand des Oberflächengewässers liegt quasi auf gleichem Niveau wie die Grundwasseroberfläche.

7 Veränderung der Vor-Ort-Parameter am Multilevel-Brunnen ML1

Durch die jährliche Bestimmung der Vor-Ort-Parameter der Grundwässer aller Tiefenniveaus des Multilevel-Brunnens ML1 im Rahmen des hydrogeologischen Gerätepraktikums und der Darstellung in Form von Ganglinien (Abb. 6 und Abb. 7) lässt sich für ausgewählte Parameter (LF und pH) eine Veränderung mit der Zeit feststellen. Unter Einbeziehung der Daten des Untersuchungszeitraumes von WEINERT (1999) liegt nun eine mehr oder weniger kontinuierliche Messreihe über insgesamt 13 Jahre vor.

Die LF-Ganglinien zeigen eine Grundwasserzonierung an. Im flachsten Niveau von 2 bis 6 m Tiefe (Abb. 6 links) nehmen die LF in den letzten Jahren kontinuierlich ab bis auf unter 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Das Grundwasser im Tiefenniveau von 8 m zeigt im Untersuchungszeitraum von WEINERT (1999) einen kontinuierlichen LF-Anstieg von 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis auf 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; in den letzten 10 Jahren sind die Werte abgesunken bis auf 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der Tiefenbereich zwischen 10 und 12 m zeigte bereits im Untersuchungszeitraum von WEINERT (1999) kaum LF-Schwankungen mit Werten zwischen 300 und 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wobei

das Grundwasser in 10 m Tiefe immer geringere LF als in 12 m Tiefe aufwies. Bereits im Jahr 1999 kehrten sich diese Bedingungen um und blieben bis heute bestehen, wobei die Grundwässer in 10 m Tiefe in den Jahren 2006 bis 2008 geringfügig erhöhte Werte zeigten. Im Jahr 2009 kehrten sich die Verhältnisse wieder zurück und die Leitfähigkeiten in 10 m Tiefe haben wieder das ursprüngliche Niveau erreicht. Die tieferen Niveaus (Abb. 6 rechts) zeigten im Untersuchungszeitraum von WEINERT (1999) vier verschiedene LF-Niveaus aus, deren Leitfähigkeit mit der Tiefe kontinuierlich von 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (15,0 m) über 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (17,5 m) und 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20,5 m) auf 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25,5 m) abnahm. In den letzten Jahren bildeten sich zwei Niveaus mit beinahe gleichen Leitfähigkeiten aus; in den Tiefen von 15 bis 17,5 m weist das Grundwasser nun mittlere LF-Werte von 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf und in den Tiefen von 20,5 bis 25,5 m bilden sich mittlere LF-Werte von 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aus. Diese beiden Niveaus könnten auch durch die Bildung von Mischwasser aufgrund von defekten Multilevel-Filtern hervorgerufen werden. Allerdings bestätigen die Messungen des pH-Wertes diese Vermutung nicht.

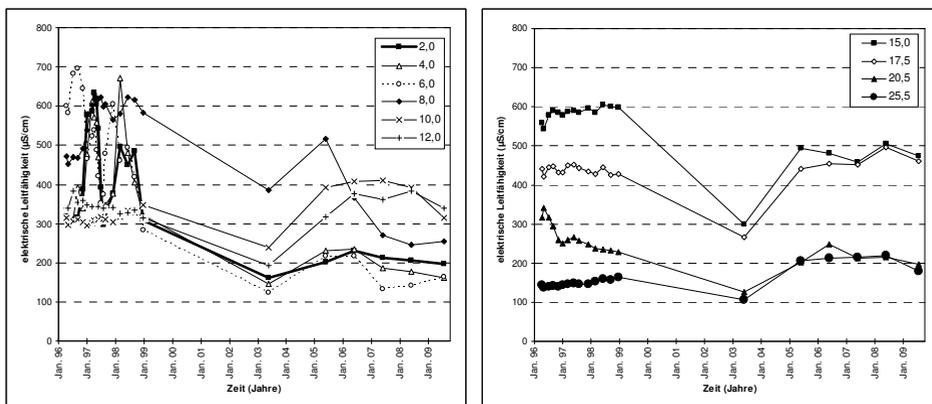


Abb. 6: Ganglinien der elektrischen Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) der Grundwässer im ML1 während des Untersuchungszeitraumes von WEINERT (1999) und der jährlichen Untersuchungen im Rahmen des Hydrogeologischen Geländepraktikums. links: Darstellung der flachen Tiefenniveaus von 2 bis 12 m; rechts: Darstellung der tiefen Niveaus von 15 bis 25,5 m.

Auch die Ganglinien des pH-Wertes zeigen eine Tiefenzonierung des Grundwassers an. Das Grundwasser aus den flacheren Bereichen von 2,0 bis 10,0 m weist – wie bereits von WEINERT (1999) beschrieben - kontinuierlich geringere pH-Werte (zwischen pH 5 und pH 6,5) auf (Abb. 7 links) im Vergleich zu dem Grundwasser in den tieferen Bereichen von 12,0 bis 25,5 m (zwischen pH 6 und pH 7, Abb. 7 rechts). Generell haben in den letzten Jahren die pH-Werte der flachsten Grundwasserbereiche zwischen 2 und 4 m einen Anstieg erfahren. Alle flacheren Grundwasserbereiche (Abb. 7 links) haben in den Jahren 2006 bis 2008 eine kurzfristige pH-Wert Erhöhung erfahren, deren Amplitude mit der Tiefe abnimmt. Die pH-Werte der tieferen Niveaus (Abb. 7 rechts) sind in den vergangenen Jahren nahezu stabil geblieben.

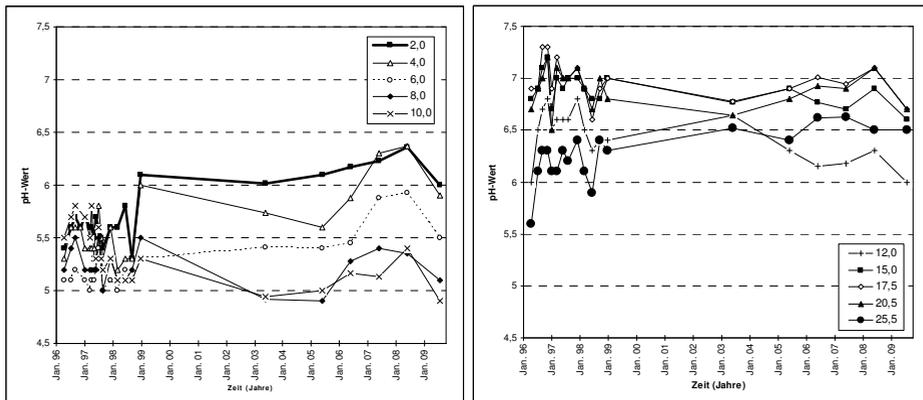


Abb. 7: Ganglinien des pH-Wertes der Grundwässer in ML1 während des Untersuchungszeitraumes von WEINERT (1999) und der jährlichen Untersuchungen im Rahmen des Hydrogeologischen Geländepraktikums. links: Darstellung der flachen Tiefenniveaus von 2 bis 10 m; rechts: Darstellung der tiefen Niveaus von 12 bis 25,5 m.

8 Wasserstandsunterschiede an Kolk 6 und Kolk 7

Die Kolke K6 und K7 liegen nur rund 9,6 m auseinander, so dass eine in etwa gleiche Wasserstandshöhe anzunehmen wäre. Eine genaue Abmessung zeigt jedoch, dass der Wasserspiegel von K7 in den Sommermonaten ca. um 65 cm (Wert von Juni 2007) über dem von K6 liegt. Es muss sich hier also um hydraulisch voneinander unabhängige Systeme handeln. Mittels Sondierbohrungen wurde in den letzten Jahren mehrfach das schematische Querprofil durch die beiden Kolke bestätigt (Abb. 8).

Sondierbohrungen am Nord- und Südrand von K7 belegen, dass dieser Kolk an der Basis abgedichtet ist; es besteht also kein hydraulischer Kontakt zum oberflächennahen Grundwasser, dessen Oberfläche unter der Seeoberfläche liegt. K7 wird lediglich von Niederschlagswasser gespeist, wie WEINERT et al. (2000) bereits anhand der Ganglinie des Wasserstandes belegen konnten.

Anders verhält es sich bei K6. Hier lassen Sondierbohrungen am Ufer eine Influenz erkennen, der Kolk gibt also Wasser ans Grundwasser ab. Dies kann allerdings in der niederschlagsarmen Zeit nicht mit einem Zufluss von Niederschlagswasser begründet werden. WEINERT et al. (2000) weisen darauf hin, dass K6 ursprünglich eine Tiefe von 8 bis 10 m aufwies, die heute nur noch 2 m beträgt. Es ist aber nicht auszuschließen, dass K6 hydraulisch an einen tieferen unter einer Torflage befindlichen halbgelassenen Grundwasserleiter anbindet. Unter dieser Annahme könnte die Wasseroberfläche von K6 die halbgelassene Grundwasserdruckfläche darstellen (gestrichelte Linie in Abb. 8). Das „aufsteigende“ Grundwasser infiltriert in den oberflächennahen Grundwasserleiter und erklärt die influenten Verhältnisse am K6.

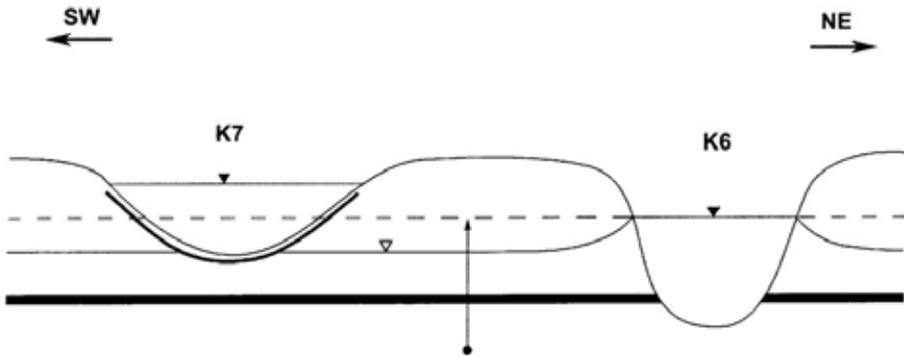


Abb. 8: Schematisches Querprofil durch die Kolke K6 und K7 mit Darstellung der hydrogeologischen Annahme (aus Kartierbericht von Studierenden).

9 Ausblick

Das NSG „Heiliges Meer“ bietet vielfältige überaus interessante hydrogeologische und hydraulische Besonderheiten, die weiterhin im Rahmen der Bachelorausbildung im Studiengang Geowissenschaften Gegenstand der Untersuchungen sein werden. Schwerpunkt der Kartierungen in den letzten und auch in den nächsten Jahren ist eine Variation des Grundwassergleichens nach WEINERT et al. (2000) unter Berücksichtigung der verschiedenen Abdichtungszustände der Stillgewässer in der Reihenfolge HW / KHM → GHM → EFS jeweils in Abhängigkeit vom Trophiegrad. Dazu wird die Vorflutfunktion der Stillgewässer mittels Seepage-Messungen und Minipiezometers am Gewässerufer geklärt. All diese Daten sind sehr wichtige Eingangsgrößen für ein hydrogeologisches numerisches Stofftransport-Modell des NSG „Heiliges Meer“, mit dessen Hilfe die Einflüsse aus der Landwirtschaft in der Umgebung auf die Situation der Stillgewässer geklärt werden könnten.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die technische Unterstützung bei der Durchführung des hydrogeologischen Gerätepraktikums in all den Jahren bei Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Quante, Dipl.-Ing. (FH) Ralf Orzol, Dipl.-Ing. (FH) Jutta Bexten. Herrn Dr. Jürgen Pust von der Außerstelle Heiliges Meer sei für die Unterstützung bei der Beprobung des Multilevel-Brunnens ML1 gedankt. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Mareike Weinert, die die fortlaufenden Arbeiten im NSG „Heiliges Meer“ immer mit Diskussionen und Hilfestellungen unterstützt hat. Herrn Dr. Manfred Degutsch und Herrn Dr. Norbert Blindow vom Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster sei an dieser Stelle für die gute hausinterne Zusammenarbeit und die finanzielle Unterstützung bei der Kernbohrung HM-K1 gedankt. Dr. Gerfried Caspers vom ehemaligen Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover unternahm freundlicherweise eine Ansprache der humosen Schicht in der Kernbohrung HM-K1.

Literatur:

- ALI, F. (2002): Quartärgeologische und geophysikalische Untersuchungen im östlichen Umfeld des Erdfallsees im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Recke, Nordrhein-Westfalen). – Geologisch-Paläontologisches Institut, WWU, Diplomkartierung und Diplomarbeit, 60 S., 29 Abb., 7 Tab.; Münster. – [unveröffentl.]
- DÖLLING, M. & R. STRITZKE (2009): Geowissenschaftliche Untersuchungen im Subrosionsgebiet des „Heiligen Feldes“ (nördliches Münsterland, Nordwestdeutschland). – Geol. Paläont. Westf., **72**: 31-69, 24 Abb., 3 Tab.; Münster.
- GEUKING, S. (2008): Geohydraulische und hydrochemische Untersuchungen im Umfeld der Grundwassermessstelle HM – K1 (NSG Heiliges Meer, Hopsten, NRW). – Geologisch-Paläontologisches Institut, WWU, B.Sc. Abschlussarbeit, 78 S., 7 Abb., 17 Tab., 39 Anh.; Frankfurt (Oder). – [unveröffentl.]
- HAGEMANN, B., POTT, R. & J. PUST (2000): Bedeutung der Vegetation für Stillgewässer-Ökosysteme, Trophiedifferenzierung und Trophieentwicklung im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). – In: Pott, R. [Hrsg.]: Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). – Beih. Abh. Westf. Mus. Naturk. **62**: 173-271, 35 Abb., 25 Tab., 10 Anl.; Münster.
- LOTZE, F. (1951): Die Grundwasserverhältnisse in den Naturschutzgebieten am Heiligen Meere. – Natur und Heimat, **11**: 2 S.; Münster.
- LOTZE, F. (1957): Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Kreis Tecklenburg). – Abh. Landesmus. Naturkde. Münster, **18**: 3-36, 10 Abb., 4 Taf.; Münster.
- PIETZSCH, J.-U. (2004): Untersuchung der geohydraulischen Grundwasserverhältnisse im Umfeld des Großen Heiligen Meeres (Recke, Nordrhein-Westfalen) im Hinblick auf den potenziellen Nährstoffeintrag. – Geologisch-Paläontologisches Institut, WWU, Diplomkartierung und Diplomarbeit, 81 S., 41 Abb., 1 Tab., 15 Anh., 9 Anl.; Kiel. – [unveröffentl.]
- THIERMANN, A. (1975): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Meeres“ im Tecklenburger Land / Westfalen. – Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, **44**: 517-530; Hamburg.
- TSEGAYE, Abiy (2002): Quartärgeologische und geophysikalische Untersuchungen im westlichen Umfeld des Erdfallsees im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ (Recke, Nordrhein-Westfalen). – Geologisch-Paläontologisches Institut, WWU, Diplomkartierung und Diplomarbeit; Münster. – [unveröffentl.]
- WEGNER, T. (1913a): Der Erdfall bei Hopsten vom 15. April 1913. – In: WEGNER, T. [Hrsg.]: Geologie Westfalens, 232-234; Paderborn (Ferdinand Schöningh).
- WEGNER, T. (1913b): Der Erdfall bei Hopsten vom 13. April 1913. – Petermann Mitt. aus Perthes Geograph. Anst.: 69-70; Gotha.
- WEINERT, M. (1999): Hydrogeologie, Hydrochemie und Isotopenhydrologie des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Recke / Nordrhein-Westfalen). – 189 S., 108 Abb., 21 Tab., 149 S. Anh.; Münster. – [Dissertation; Fachbereich Geowissenschaften, Münster]
- WEINERT, M., REMY D. & E. P. LÖHNERT (1998): Hydrogeologie der Gewässerlandschaft „Heiliges Meer“ bei Hopsten (Nordrhein-Westfalen, Nordwestdeutschland) – erste Ergebnisse. – Abh. Westf. Mus. Naturk. **60** (2): 13-52; Münster.
- WEINERT, M., REMY D. & E. P. LÖHNERT (2000): Hydrogeologische Systemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen). – In: Pott, R. [Hrsg.]: Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt). – Beih. Abh. Westf. Mus. Naturk. **62**: 41-172, 88 Abb., 11 Tab.; Münster.

Anschriften der Verfasser:

PD Dr. rer. nat. Dipl.-Geol. Patricia Göbel und Prof. Dr. Wilhelm G. Coldewey
Abteilung Angewandte Geologie, Institut für Geologie und Paläontologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Corrensstr. 24
48149 Münster, E-mail: pgoebel@uni-muenster.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzial-Museum für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [71_4_2009](#)

Autor(en)/Author(s): Göbel Patricia, Coldewey Wilhelm G.

Artikel/Article: [Spezielle hydrogeologische Untersuchungen im Einzugsbereich des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ \(Kreis Steinfurt / Nordrhein-Westfalen\) 43-58](#)