

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Müller, Meino; Kaul, Norbert

Submarine Warmwasserquellen? Eine geothermische Entdeckung in der Mecklenburger Bucht

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101514>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Müller, Meino; Kaul, Norbert (2004): Submarine Warmwasserquellen? Eine geothermische Entdeckung in der Mecklenburger Bucht. In: Die Küste 68. Heide, Holstein: Boyens. S. 187-200.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Submarine Warmwasserquellen? Eine geothermische Entdeckung in der Mecklenburger Bucht

Von MEINO MÜLLER u. NORBERT KAUL

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Exkursion wurden im Herbst 2001, am 24. und 25. Oktober, mit dem Forschungsschiff FS Heincke auf der Fahrt HE 158 erstmals *in situ* Temperaturmessungen in der Mecklenburger Bucht durchgeführt. Die Messungen fanden mit einer 6 m langen Temperatursonde sowohl am westlichen als auch am östlichen Rand der Mecklenburger Bucht statt. Sie sollten Aufschluss über Temperaturveränderungen im Ostseesediment geben, die durch den starken Temperatur-Jahresgang in der Bodenwassertemperatur bedingt sind. Im östlichen Teilgebiet nahe Kühlungsborn und Bad Doberan wurde dabei als überraschende Beobachtung eine thermische Anomalie mit merklich erhöhten Untergrundtemperaturen gefunden. Nach Auswertung der Daten und weiterer Recherche vermuten wir aufsteigende warme Wässer als Quelle der Anomalie. Dem IOW (Institut für Ostseeforschung Warnemünde) und dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern waren die Warmwasserquellen vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern bisher nicht bekannt. Die Recherche bei den anliegenden Gemeinden Rerik und Kühlungsborn lieferte Informationen über die lokale Hydrologie und die Erkenntnis, dass es in Rerik und Umgebung Warmwasserquellen an Land gibt. Den Gemeinden ist das Vorkommen der Quellen seit Anfang der 70er-Jahre bekannt. In Zeiten der DDR ist man bei Probebohrungen sowie beim Verlegen der Versorgungsleitungen zum Meerwasserbad Kühlungsborn auf sie gestoßen. Allerdings sind die Unterlagen in den Wirren der Wiedervereinigung und mit der Umstrukturierung der Forschungseinrichtungen verloren gegangen.

Summary

In the fall of 2001 a field trip was made with the research vessel FS Heincke, cruise HE 158, into the southern Baltic Sea. During the cruise, in situ temperature measurements were carried out in the sediment of the western and eastern part of the Mecklenburg Bay. For the first time, a 6 m long temperature probe was used in this area. The main interest of the investigations was the influence of bottom water disturbances in the sediment. In the eastern part of the bay near Kühlungsborn and Bad Doberan a geothermal anomaly in the underground was found as a side effect. After investigation, the thermal anomaly was associated with upwelling of warm groundwater. Neither the IOW (Institute of Baltic Research Warnemünde) nor the State Office of Environmental Protection and Geology of Mecklenburg-Vorpommern had a knowledge about these offshore geothermal anomalies. A request at the municipalities of Rerik and Kühlungsborn was successful in gaining local information. In the era of the GDR, thermal springs were found in the surroundings of Rerik and Kühlungsborn. However, in the course of German Unification many documentations were lost within the reorganisation of the research facilities.

Keywords

Hydrothermale Zirkulation, Temperaturanomalie, südliche Ostsee, Jahresgang der Temperatur

Hydrothermal circulation, temperature anomaly, Southern Baltic Sea, seasonal variation of temperature

Inhalt

1. Einleitung und Zielsetzung	188
2. Einfluss zeitlich veränderlicher Temperatursignale auf den lokalen geothermischen Gradienten	188
3. Lokale Sedimentologie der Mecklenburger Bucht	191
4. Instrumente und Ablauf der Messung	193
5. Ergebnisse	194
5.1 Ergebnisse im westlichen Teilgebiet	194
5.2 Ergebnisse im östlichen Teilgebiet	195
6. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	197
7. Einbindung der Ergebnisse in die lokale Geologie	198
7.1 Ausblick	199
8. Schriftenverzeichnis	199

1. Einleitung und Zielsetzung

Temperaturmessungen des Untergrundes an Land und auf See werden durchgeführt, um Aussagen über lokale und regionale Variationen des Temperaturfeldes zu gewinnen. Geothermische Anomalien liefern Hinweise auf Untergrundstrukturen, z.B. Salzstöcke oder Bruchzonen. Vorzugsweise verwendet man dazu tiefe Bohrlöcher oder tiefe Gewässer, um vom Einfluss des Tages- und Jahresganges der Oberflächentemperatur befreit zu sein. Im tiefen Ozean mit stabiler Temperaturschichtung lässt sich der geothermische Gradient messen, indem man den Temperaturgradienten in den obersten Metern des Sediments bestimmt. In Flachmeeren und Seen treten alle Zwischenstufen von ungestörten Temperaturen bis zu Jahresgängen von mehr als 10 °C auf.

Ziel der Messung in der Ostsee war es, Temperaturveränderungen im Ostseesediment auf Grund des Jahresganges der Bodenwassertemperatur aufzuzeichnen und zu interpretieren. Ein zweites Ziel war die Messung des regionalen Temperaturfeldes.

Die Strategie zur Bestimmung des regionalen Temperaturfeldes erfordert die Messung entlang von Profilen, so genannten geothermischen Stationen, mit einer Reihe von Messpunkten. Zwei Stationen, eine in der westlichen Mecklenburger Bucht und eine ca. 16 km nördlich von Kühlungsborn, konnten während der Reise vermessen werden (westliche Station und östliche Station in Abb. 1). Die Auswahl der Stationen mit ausreichenden Erfolgsaussichten erfolgte auf Grund der Vorkenntnisse über die Schlickbedeckung in den Becken und den flacheren, sandigen Bereichen. Sand behindert das Vordringen in größere Tiefen erheblich.

2. Einfluss zeitlich veränderlicher Temperatursignale auf den lokalen geothermischen Gradienten

Die Jahresdurchschnittstemperatur an der Erdoberfläche stellt sich als Gleichgewicht aus dem Wärmestrom des Untergrundes und der klimatischen Temperaturkurve in der Atmosphäre ein. Die Lufttemperatur, und hier insbesondere der Jahresgang, stellt bekanntermaßen eine periodische, stark schwankende Funktion dar. Demgegenüber ist die geothermische Wärmestromdichte an einem bestimmten Ort an der Erdoberfläche als konstant anzusehen. Bei homogenem Gestein im Untergrund mit gleichbleibender Wärmeleitfähigkeit stellt sich ein linearer Gradient ein. Die kontinuierliche Temperaturzunahme mit der Tiefe

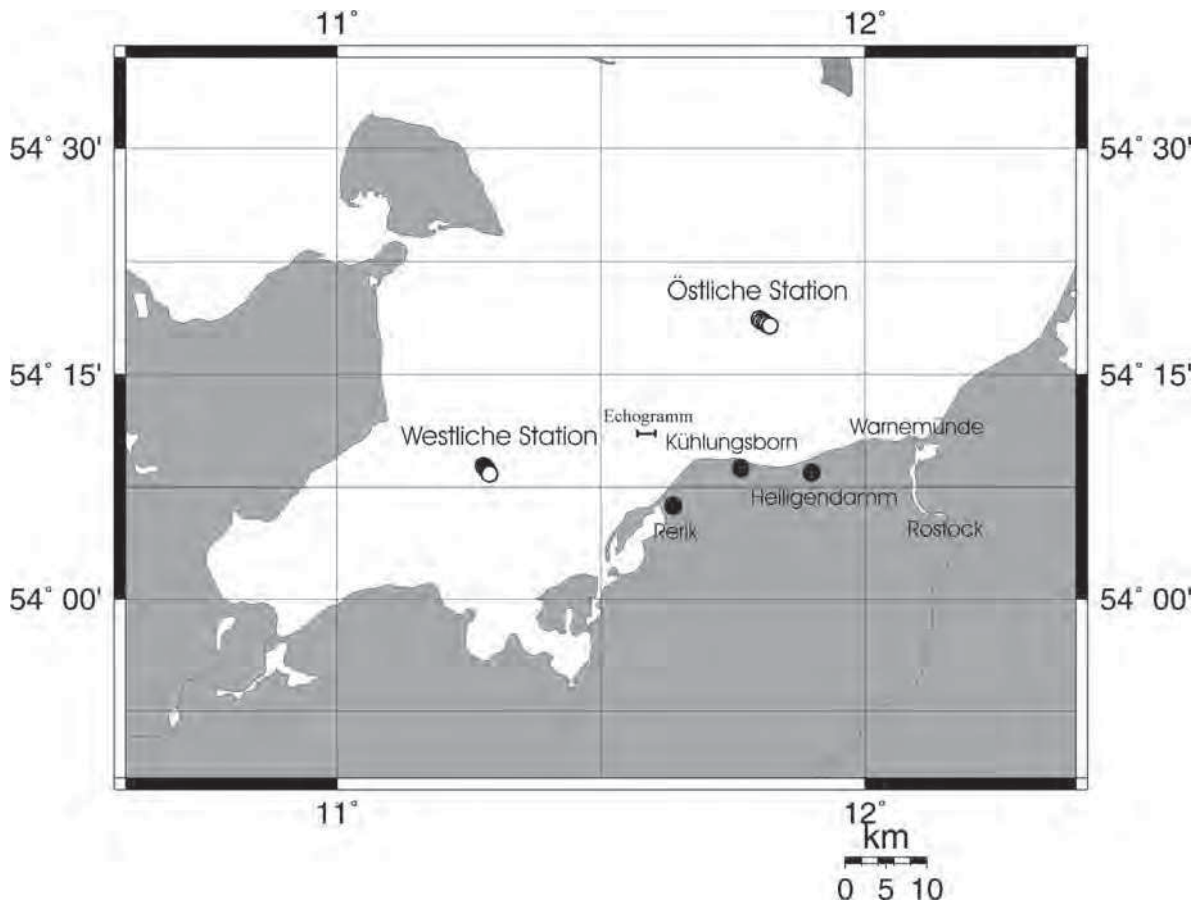


Abb. 1: Stationskarte der Mecklenburger Bucht

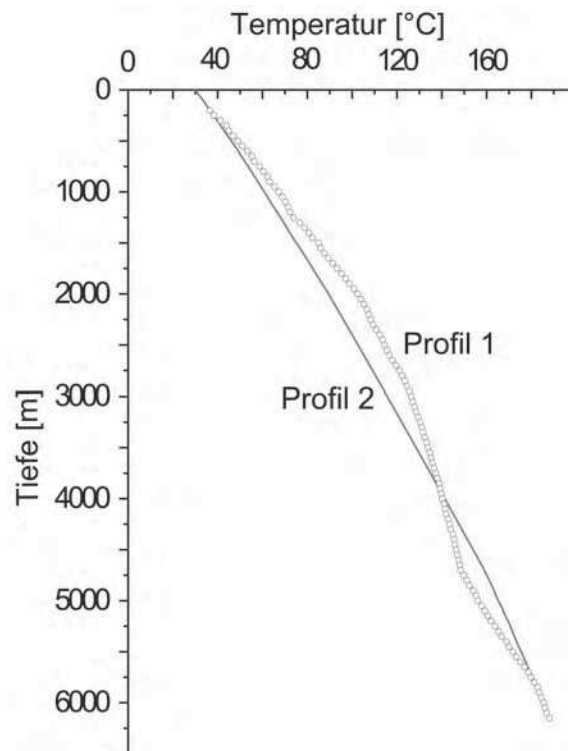


Abb. 2: Temperaturprofil der Tiefbohrung Parchim 1/68 (LOTZ und FÖRSTER, 2002)

erfährt Veränderungen bei Schichtungen mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit, im betrachteten Gebiet z.B. Schlick, Sand, Sandstein und Salz.

Ein typisches Temperatur-Tiefen-Profil einer Tiefbohrung in Mecklenburg-Vorpommern ist in Abb. 2 dargestellt (aus LOTZ und FÖRSTER, 2002). Das Profil 1 zeigt die gemessene *in-situ* Temperatur gegen die Tiefe aufgetragen. Die Abweichung von der Linearität ist hier hauptsächlich auf eine eingeschaltete Lage von Zechstein-Salz zurückzuführen. Durch Modellierung eines thermischen Gradienten auf Grund des gefundenen basalen Wärmestroms ohne Salzhorizont ergibt sich das Profil 2. Im Abschnitt bis ca. 4500 m Teufe findet man einen Gradienten von ca. $27\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Dieser Wert entspricht dem Hintergrundgradienten der Region Parchim im Südwesten Mecklenburg-Vorpommerns. Im Vergleich dazu beläuft sich der Hintergrundgradient im nordwestlichen Mecklenburg-Vorpommern auf etwa $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (LUNG, 2000). Man findet dort, wo sich das Messgebiet befindet, demnach leicht erhöhte Gradienten.

Die zu beobachtende Jahresmitteltemperatur der Oberfläche in Deutschland von $8\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ergibt sich als Gleichgewichtstemperatur aus der jahreszeitlichen Temperaturkurve und der basalen Energiezufuhr. Der Jahresgang dringt mit abnehmender Amplitude und zeitlicher Verzögerung in den Untergrund ein, beispielsweise ist ein Temperatursignal des terrestrischen Jahresganges von $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 30 m Tiefe auf ein Tausendstel Grad Celsius abgeklungen. Diese Bedingungen gelten sinngemäß auch in der Mecklenburger Bucht, wobei das Wasser der Ostsee als zusätzlicher Puffer mit einer eigenen Dynamik zu berücksichtigen ist. Im Zentrum der Mecklenburger Bucht beträgt der Jahresgang der Temperatur in den obersten Metern der Wassersäule annähernd $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (BSH, 2001) (vgl. Abb. 3). Der Wasserkörper puffert die Wärmemenge, transportiert sie und erzeugt eine Variation der Bodenwassertemperatur mit abgeschwächter Amplitude. In einer Wassertiefe von 20 m beträgt die Amplitude des Jahresganges noch $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Während das Minimum und das Maximum der Oberflächentem-

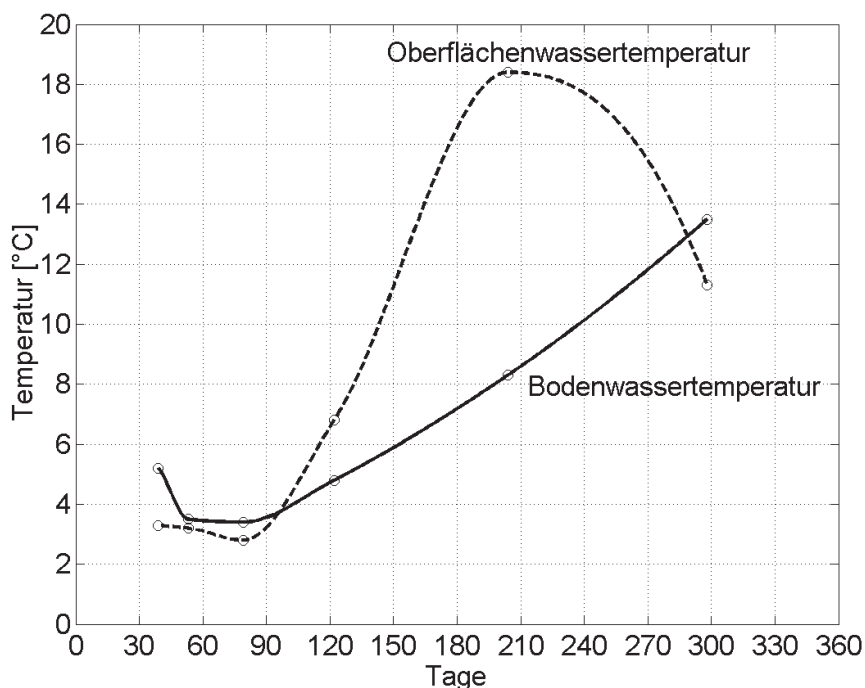


Abb. 3: Oberflächen- und Bodenwassertemperaturen in der Mecklenburger Bucht 2001 (BSH, 2001)

peratur mit Frühjahr und Hochsommer zusammenfallen, treten die Signale im Bodenwasser z.T. zeitverzögert auf. Im Winter und Frühjahr sinkt kaltes und dichteres Wasser von der Oberfläche in die Tiefe und bildet unmittelbar das kalte Bodenwasser. Im Gegensatz dazu kann das im Sommer erwärmte Oberflächenwasser auf Grund der Dichteschichtung nicht den gesamten Wasserkörper durchmischen. Dies geschieht erst unter dem Einfluss des Windes, so dass das Temperaturmaximum zeitverzögert erst im Herbst ausgebildet wird.

Die verursachte Temperaturstörung breitet sich auf Grund der Wärmeleitung im Sedimentkörper unter Abschwächung in die Tiefe aus. Geht man von einer konstanten Temperaturleitfähigkeit des Sedimentes aus, d.h. von einer konstanten Geschwindigkeit, mit der die Störung in die Tiefe vordringt, so lassen sich Modelle für den zeitlichen Verlauf der Störung erstellen. Mit Hilfe von komplexen Inversionsverfahren über die gemessenen Temperaturprofile kann eine Rekonstruktion der Bodenwassergeschichte vorgenommen werden. Dies gibt einen Hinweis auf die thermische Vergangenheit des Messortes. Die Messungen mit der 6 m langen Temperatursonde erlauben auf Grund der vergleichsweise geringen Messtiefe die Rekonstruktion der Bodenwassertemperatur der letzten Monate (WANG u. BECK, 1987).

3. Lokale Sedimentologie der Mecklenburger Bucht

Mit der Mecklenburger Bucht wurde ein Messgebiet aufgesucht, in dem unterschiedliche Sedimentverhältnisse vorherrschen. Im Zentrum der Bucht befindet sich eine bis zu 5 m mächtige Schlickschicht über sandigem Untergrund (LEMKE, 1998). Zu den Rändern hin nimmt die Schlickbedeckung ab. An beiden Messstationen war eine Schlickmächtigkeit von ca. 3 m vorherrschend, so dass mit einem vollständigen Eindringen der Sonde in den weichen Untergrund gerechnet werden konnte. Einen Überblick über die Bathymetrie und die Sedimentationsverhältnisse im östlichen Teilgebiet gibt Abb. 4 (IOW, 2003).

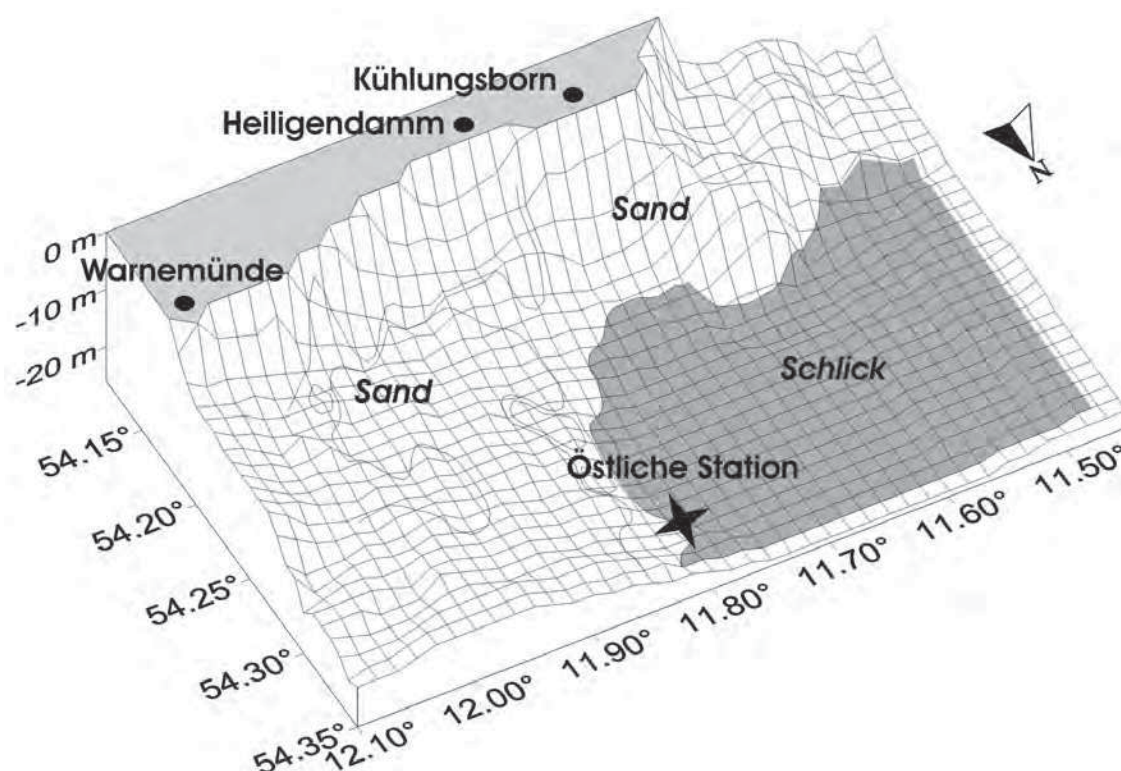


Abb. 4: Bathymetrie und Sedimente im östlichen Teilgebiet der Mecklenburger Bucht (aus IOW, 2003)

Der Schlick in der Mecklenburger Bucht zeichnet sich durch einen hohen Wassergehalt und einen hohen Gehalt an organischem Material aus. Wassergehalte bis 67 % und Gehalte an organischen Kohlenstoffen bis 5,7 % sind typisch für die Region. Unterhalb des Schlicks befindet sich Fein- bis Mittelsand mit wesentlich geringerem Wassergehalt und geringerem Anteil an organischen Kohlenstoffen (IOW, 2003). Die Durchlässigkeit für Grundwasserströmung von Schlick ist weitaus geringer als die von Sand, ausgedrückt durch die Werte für die Permeabilität von 10^{-5} – 10^{-7} cm/s für Schlick gegenüber 10^{-1} – 10^{-3} cm/s für Sand (MEANS u. PARCHER, 1963). Im Sedimentecholot-Profil in Abb. 5 sind die sedimentologischen Einheiten deutlich zu erkennen (IOW, 2003), Schlick und Sand sind durch einen klaren Horizont getrennt.

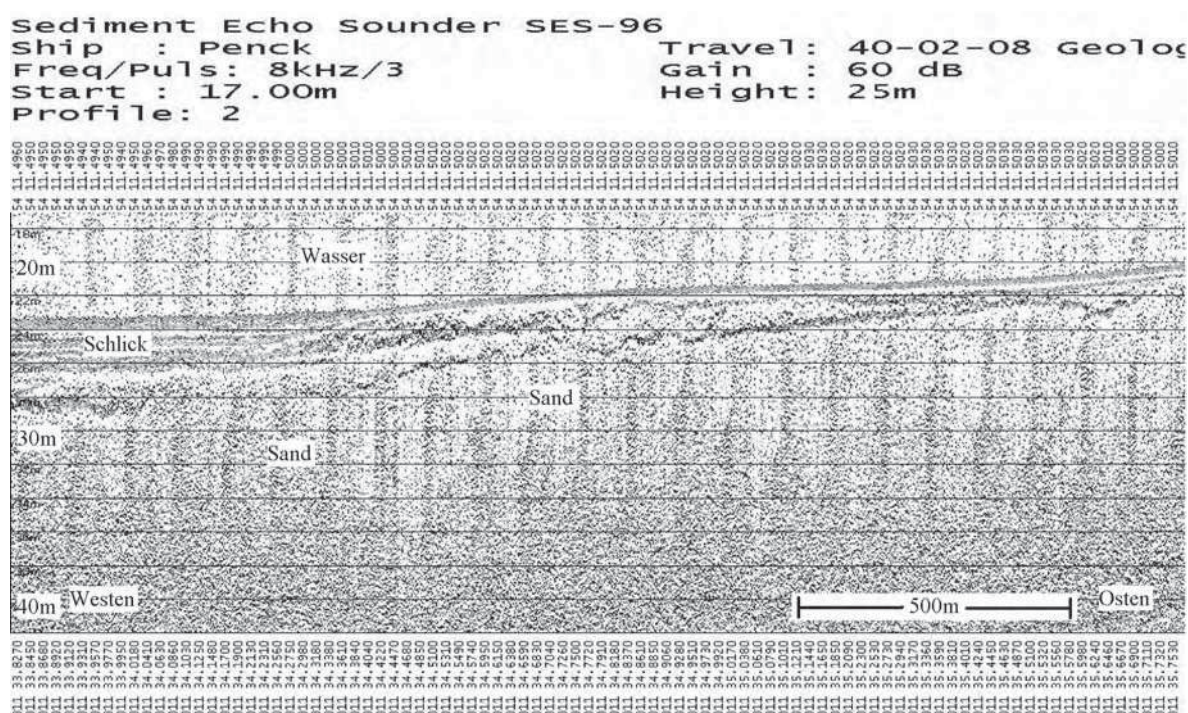


Abb. 5: Sedimentecholot-Profil aus dem Osten der Mecklenburger Bucht (aus IOW, 2003). Es stellt ein typisches Beispiel für ein mit Schlick gefülltes Becken dar. Das Profil hat eine W-E-Erstreckung von ca. 2,2 km. Der Meeresboden wird in einer Tiefe von 23 m, ansteigend auf 20 m abgebildet. Im Becken findet man ca. 3 m mächtige Schlickablagerungen über sandigem Untergrund

Das in Abb. 5 dargestellte seismische Profil zeigt das ca. 2 km lange West-Ost-Profil aus Abb. 1, welches etwa 10 km west-nordwestlich von Kühlungsborn aufgezeichnet wurde. Das Profil zeigt im Gegensatz zu einem geologischen Profil eine Echolotaufzeichnung, in dem die Horizonte als unterschiedlich starke Schallreflektoren erscheinen. Entsprechend der beschriebenen Sedimentschichtung in Abb. 4 ist der Übergang eines mit Schlick bedeckten Bereichs (links, im Tiefenintervall 23–26 m) in ein Gebiet mit zunehmend größerem Material wie Feinsand (rechts) zu sehen. Im oberen Bereich finden sich über die gesamte Profillänge sehr schwache Reflexionen von weichen Sedimenten, die übereinstimmend mit der Schlickverteilung im östlichen Teilgebiet der Mecklenburger Bucht den Übergang zwischen aufliegendem Schlick und Sand charakterisieren.

4. Instrumente und Ablauf der Messung

Zur Temperaturmessung im Ostseesediment kam eine 6 m lange Sonde, bestehend aus einem Gewichtskopf und einer massiven Stahllanze, zum Einsatz. Entlang der Lanze waren 6 Halterungen, bestückt mit autonomen Temperatursensoren (Miniaturized Temperature Data Logger, MTL), angebracht. Der Abstand betrug jeweils einen Meter. Zusätzlich wurde im westlichen Teilgebiet ein weiterer MTL am Kopf der Sonde montiert, um die Bodentemperatur zu registrieren. Die MTL sind eine Entwicklung der Universität Bremen und der Firma Antares und für den Einsatz in der Tiefsee konstruiert (PFENDER u. VILLINGER, 2002). Sie arbeiten autonom und besitzen eine Temperatur-Auflösung von 1 mK. Die Aufzeichnungszeit beträgt maximal 18 Stunden bei einem Aufzeichnungsintervall von einer Sekunde. Nach dem Einsatz können die Daten über eine Schnittstelle am Computer ausgelesen und bearbeitet werden.



Abb. 6: 6-m-Sonde mit MTL beim Aussetzen

An einer Messstation wird die Sonde im so genannten *pogo-style*-Verfahren (Springverfahren) eingesetzt, d.h. eine Reihe von Messungen findet in geringen Abständen entlang eines Profiles statt. Das Instrument wird mit 1 m/s Windengeschwindigkeit gefiert, so dass die Lanze samt Sensoren ins Sediment eindringen kann. Die Angleichzeit im Boden zum Erreichen einer Gleichgewichtstemperatur beträgt ca. 7 Minuten. Die Gesamtzahl der erfolgreichen Messungen an zwei Stationen beläuft sich auf 8 bzw. 5 Einzelmessungen.

Die Einsatzorte wurden anhand vorliegender Seismogramme so ausgewählt, dass mit einer vollständigen Eindringung der Sonde zu rechnen war. Die Messungen fanden jeweils in Randbereichen der Bucht statt, in denen eine bis zu 3 m mächtige Schlickschicht über sandigem Untergrund vorherrschend war.

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse im westlichen Teilgebiet

Die westliche Station umfasst 8 Temperaturgradientenmessungen im Abstand von ca. 200-m in einer Wassertiefe von 20 m. Eine Übersichtskarte der Messpunkte sowie die gemessenen Temperatur-Tiefen-Profile sind in Abb. 7 und Abb. 8 dargestellt.

Die Temperatur-Tiefen-Profile in Abb. 8 zeigen einen Verlauf mit negativem Gradienten von ca. 13 °C am Meeresboden bis zu einem Temperaturminimum von ca. 7,7 °C in einer Tiefe von 4–5 m unter dem Meeresgrund. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur wieder leicht an bis zu einer maximalen gemessenen Temperatur von 7,8 °C. Der Gradientenverlauf ist an keiner Stelle hinreichend gerade, er gibt also keine stationären Bedingungen wieder, die zum Bestimmen des geothermischen Hintergrundgradienten geeignet wären. Dagegen bildet der Temperaturverlauf den Jahresgang von ± 5 °C der Bodenwassertemperatur ab (vgl. Abb. 3). Die Sommerwelle ist zu diesem Zeitpunkt bis in ca. 3 m Tiefe

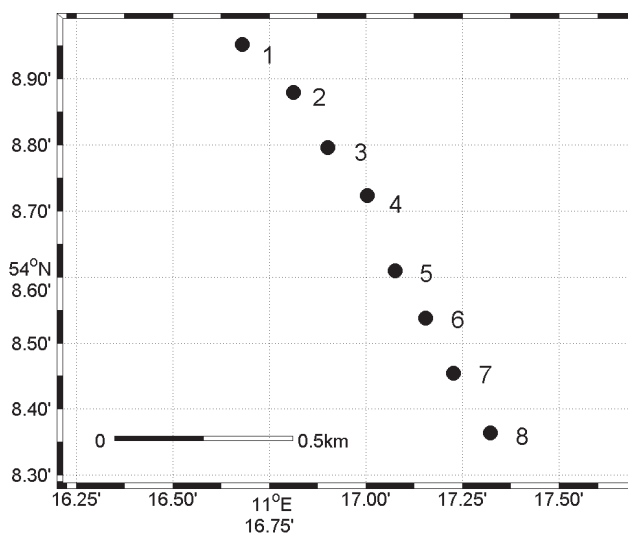


Abb. 7: Stationskarte westliche Station

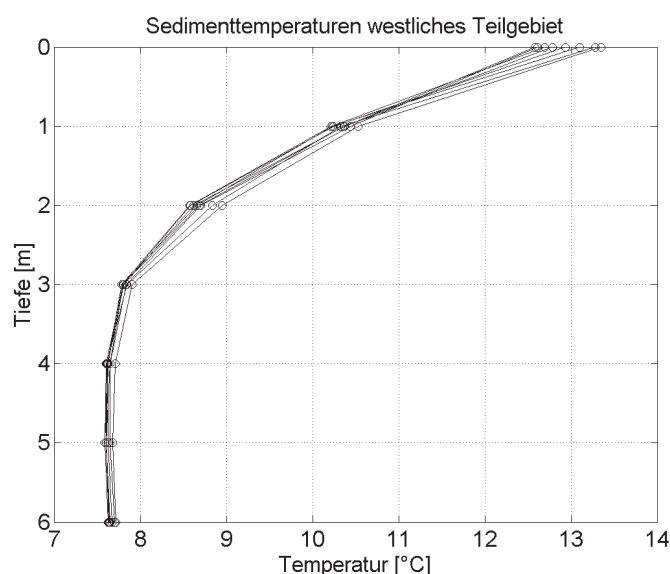


Abb. 8: Temperatur-Tiefen-Profile für 6 MTL im Grund und einem im Wasser

vorgedrungen, zwischen 4 m und 5 m sorgen die Relikte der letzten Winterwelle für ein Temperaturminimum. Aus numerischen Modellierungen erhält man das Ergebnis, dass die Amplitude des Jahresgangs in einer Tiefe von 6 m auf ein Fünfzigstel abgeklungen ist. Die Jahresmitteltemperatur kann hier mit $7,8 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ abgelesen werden. Diese Profile stellen die Normalsituation für den späten Herbst in der Region dar.

Leichte Differenzen zwischen den Profilen sind auf Unterschiede in der lokalen Wassertiefe, der Eindringtiefe der Sonde und der Bodenwassertemperatur zurückzuführen.

5.2 Ergebnisse im östlichen Teilgebiet

Im östlichen Teilgebiet wurden einen Tag früher, also nahezu zeitgleich zu den Messungen im westlichen Teilgebiet, an fünf Einzelpunkten Temperaturmessungen im Abstand von 300–400 m durchgeführt. Die Wassertiefe im Einsatzgebiet lag ebenfalls bei ca. 20 m. Die Übersichtskarte sowie die gemessenen Temperatur-Tiefen-Profile sind in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt.

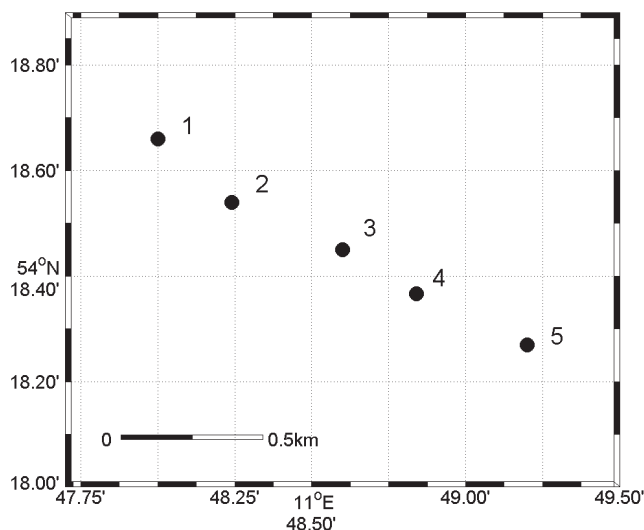


Abb. 9: Stationskarte östliche Station

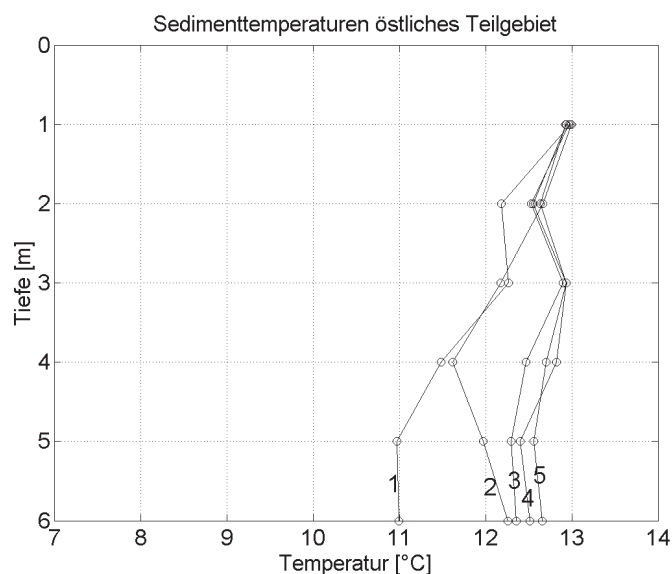


Abb. 10: Temperatur-Tiefen-Profile

Im östlichen Teilgebiet zeichnet sich ein völlig anderes Bild als im westlichen ab. Der Abstand der Messungen, die Wassertiefe, die Beschaffenheit des Sedimentes, der Jahresgang in der Bodentemperatur sowie die verwendete Apparatur entsprechen im Wesentlichen den Bedingungen im westlichen Teilgebiet. Die Temperatur-Tiefen-Profile unterscheiden sich jedoch deutlich. Wir beobachten Temperaturen am Meeresboden von ca. 13 °C, darunter negative Gradienten bis zu einer Tiefe von 5 m, wobei die Minimaltemperaturen zwischen 11 °C und 12,5 °C liegen. Im Intervall 5–6 m steigt die Temperatur wieder leicht an. Bemerkenswert hieran ist, dass die Minimaltemperaturen über +11 °C liegen und damit um 3,7–5 °C über den Temperaturen im westlichen Vergleichsgebiet. Weiterhin ist zu beobachten, dass die Maximaltemperaturen von Station 1 nach 5, also von NW nach SE hin ansteigen. Die Unterschiede sind dem direkten Vergleich in Abb. 11 leicht zu entnehmen.

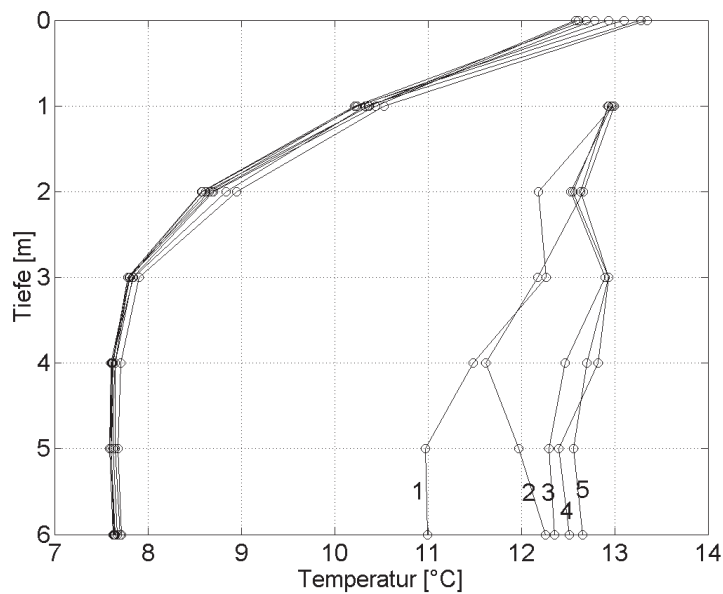


Abb. 11: Vergleichende Darstellung der Temperatur-Tiefen-Profile beider Stationen

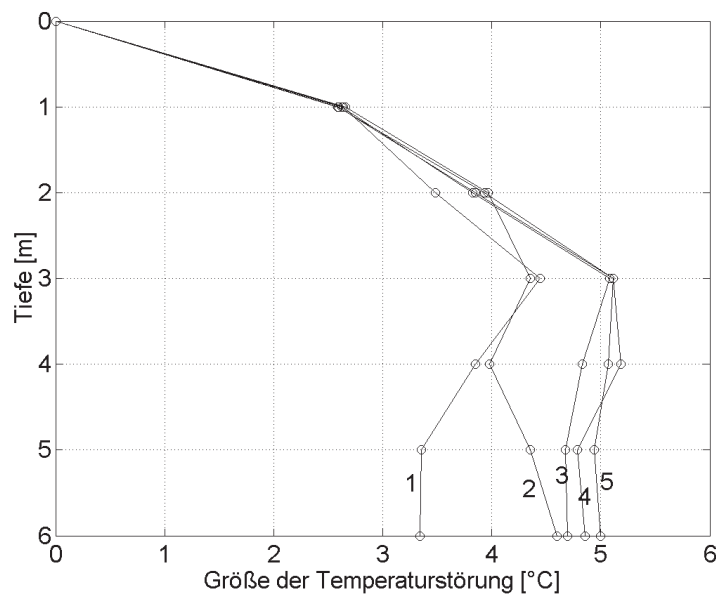


Abb. 12: Temperatur-Anomalie der östlichen Station, bezogen auf die westliche

Nun kann man die Messungen im westlichen Teil als „Normalfall“ für die Mecklenburger Bucht heranziehen und die Anomalie der östlichen Station im Vergleich hierzu bestimmen. Mit Hilfe dieser Normierung, die in Abb. 12 dargestellt ist, werden folgende Aspekte deutlich: a) die Meeresbodentemperatur beträgt in beiden Fällen ca. 13 °C, d.h. das Meerwasser gleicht Temperaturunterschiede effektiv aus, b) die Anomalie baut sich in den obersten Metern bis zu einer Tiefe von 3 m am stärksten auf und c) in größeren Tiefen als 3 m ist der vertikale Gradient gering oder negativ, die stärkste Anomalie liegt also bei 3–4 m Tiefe. Zusätzlich ist in der Tiefe ein horizontaler Gradient von ca. 1,7 °C über 1,5 km zu erkennen.

Diese Beobachtungen zusammengenommen legen den Schluss nahe, dass es eine Wärmequelle im Untergrund gibt, die in der Lage ist, die Temperatur nachhaltig auf 5 °C über der Umgebungstemperatur zu halten. Des Weiteren ist die Quelle lokal, da wir eine Richtungsabhängigkeit erkennen können. Auf Grund der großen Wärmekapazität von Wasser und des sehr wirksamen Wärmetransportes durch Konvektion ist die Vermutung, dass aufsteigendes warmes Grundwasser die Ursache der thermischen Anomalie ist.

6. Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Es stellt sich die Frage, woher die Wärme aus dem Untergrund von Kühlungsborn kommt. Zunächst gab es die Vermutung, dass das ca. 1,5 km südlich vom Messgebiet entfernte Baltic Cable, längstes submarines Gleichstromkabel der Welt zwischen Deutschland und Schweden mit einer Leistung von 600 MW, eine Rolle spielen könnte. Energetische Kalkulationen haben gezeigt, dass selbst ein 100 °C warmes Kabel nach einem Jahr Dauerheizung die Sedimenttemperatur nur im Umfeld von wenigen Meter um mehr als 1 °C erhöhen kann. Diese Möglichkeit kommt also nicht in Betracht. Als zweite Möglichkeit wurde die Verklappung von Kampfstoffen herangezogen. Eine Nachfrage bei den zuständigen Seeschiffahrtsämtern konnte die Vermutung aber nicht bestätigen. Als dritte Möglichkeit kam die anaerobe Verrottung von organischem Material im Schlick in Frage. Dieser Prozess läuft allerdings sehr langsam und thermisch nicht isoliert ab, wodurch eine kurzfristige Freisetzung von größeren Energiemengen auszuschließen ist.

Für aufsteigendes Grundwasser sehen die Modellüberlegungen so aus: erwärmtes Wasser kann aus der Tiefe aufsteigen. Die sandigen Lagen des Quartärs, die hier ab einer Tiefe von 3-m unter Meeresboden vorkommen, begünstigen diesen Fluss. Die darüber liegenden marinen Ablagerungen in der Ostsee mit ihrem hohen Anteil an Schlick und entsprechend geringer Permeabilität behindern jedoch den weiteren vertikalen Aufstieg. Das Grundwasser sucht sich daraufhin den leichteren Weg in horizontaler Richtung durch die sandigen Lagen. Dies erklärt am leichtesten die maximale Temperaturanomalie in 3–4 m Teufe, also in der Sandlage direkt unterhalb der schlickigen Bedeckung und gleichzeitig den horizontalen Gradienten der Temperatur.

Die Gemeinden Rerik und Kühlungsborn lieferten den entscheidenden Hinweis. Von dort kam die Auskunft, dass es in den Orten und der näheren Umgebung ausgedehnte Warmwasserquellen gibt. Das Vorkommen von Warmwasserquellen in der Region und die aus dem Untergrund kommende Temperaturstörung ergeben ein übereinstimmendes Bild. Zum einen umfasst das östliche Messgebiet ein Areal von ca. 2 km², es handelt sich also um einen Effekt mit ausreichender Ausdehnung und Quellstärke für eine nachhaltige Temperaturerhöhung. Zum anderen konnte die thermische Anomalie im darauf folgenden Herbst 2002 mit den Messungen einer kurzen Sonde von 40 cm Länge bestätigt werden. Mit ihr wurde auch über das angrenzende Seekabel hinaus gemessen, ohne dass ein Zusammenhang zwischen der

Temperaturstörung und dem Kabel festgestellt werden konnte. Der Einsatz der 40-cm-Sonde lieferte allerdings keine befriedigenden Ergebnisse, da die Temperaturstörung mit einer solch geringen Messtiefe nicht voll erfasst werden kann.

7. Einbindung der Ergebnisse in die lokale Geologie

Letztendlich stellt sich die Frage, welchen Ursprung die Warmwasserquellen haben. Eine Erklärung erhält man aus einem Blick auf die Stratigraphie des Nordostdeutschen Beckens (NODB). In Abb. 13 ist ein geologischer Schnitt durch das NODB dargestellt (WOLFGRAMM, 2002).

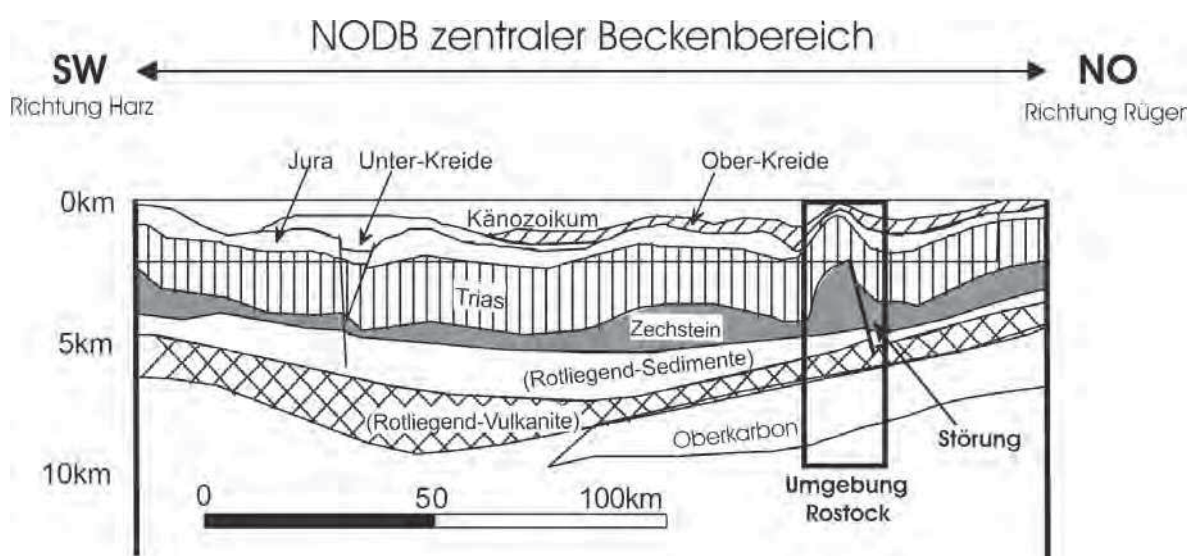


Abb. 13: Geologischer Schnitt durch das Nordostdeutsche Becken (WOLFGRAMM, 2002)

In Rostock und Umgebung findet man im Salz des Zechsteins und den Niveaus darüber eine Antiklinalstruktur. Dieses Phänomen steht in direktem Zusammenhang mit dem Auftreten von Salzdiapirismus, geothermischen Anomalien und ausgeprägten tektonischen Störungen in der unmittelbaren Umgebung. Von Rostock aus verlaufen entlang einer Linie über ca. 40 Kilometer Länge permische Störungen (im markierten Rechteck in Abb. 13) in Richtung Südosten. Entlang dieser Linie treten Salzstöcke auf, die mit erhöhter geothermaler Aktivität einhergehen (LUNG, 2000). Die geothermische Anomalie ist dabei auf die hohe Wärmeleitfähigkeit von Salz im Vergleich zum Umgebungsmaterial zurückzuführen. Verlängert man die Linie der auftretenden Anomalien von Rostock aus in Richtung Nordwesten, so trifft man auf das Messgebiet der östlichen Station. Die beobachteten Phänomene können daher miteinander in Verbindung gebracht werden.

Notwendig für das Vorkommen von Warmwasserquellen ist ebenfalls, dass für die Speisung der Quellen Grundwasserleiter zur Verfügung stehen. Auch diese Bedingung ist in Mecklenburg-Vorpommern durch zahlreiche Aquifere zwischen den Niveaus Unter-Kreide und Zechstein erfüllt (LUNG, 2000). Eine große Ansammlung von Aquiferen findet sich im Jura, welches im Messgebiet von 2000 m Teufe auf 600 m ansteigt. Zudem ist der geothermale Hintergrundgradient in der Umgebung von Rostock, d.h. ca. 30 km südöstlich des Messge-

bietes, infolge der auftretenden Salzstrukturen Fresendorf und Goritz besonders hoch. Werte von über 50 mK/m werden erreicht. Dieser Wert ist 10–20 mK/m höher als im übrigen Teil Nordwest-Mecklenburg-Vorpommerns.

Mithilfe dieser Kenntnisse lassen sich Überlegungen zur Quelltiefe des aufsteigenden Wassers anstellen. Bei einem geothermalen Hintergrundgradienten von 50 mK/m, entsprechend 50 °C/km, wird die beobachtete Temperatur-Anomalie von +5 °C bereits in 100 m Tiefe erreicht. Im adiabatischen Fall, d.h. bei ausreichend schnellem Aufstieg des Grundwassers, sollte das liefernde Aquifer in mindestens 100 m Tiefe zu suchen sein.

Über Transportraten von Wassermenge und Temperatur der Quelle sowie deren Tiefenlage können zum jetzigen Zeitpunkt der Untersuchungen noch keine endgültigen Aussagen getroffen werden. Festgestellt werden kann allerdings, dass die geologischen Bedingungen der Region das Auftreten von Warmwasserquellen begünstigen.

7.1 Ausblick

In Zukunft stehen weitere Forschungsfahrten vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns aus. Ziel dieser Fahrten wird es sein, ein zusammenhängendes Bild über die Verteilung und Ausdehnung von Warmwasserquellen in der Region zu gewinnen. Von Interesse ist dabei eine mögliche wirtschaftliche Nutzung. Sowohl die Wärme als auch das „Thermalwasser“ könnten in den anliegenden Gemeinden direkt genutzt werden. Von weiterem wissenschaftlichen Interesse ist z.B., welche Auswirkungen Warmwasseraustritte auf die Sediment-eigenschaften und das angrenzende Ökosystem haben. Weiterhin kann der Salzgehalt des aufsteigenden Wassers Rückschlüsse auf Salzstrukturen im Untergrund geben. Zu klären ist auch, aus welcher Tiefe das Wasser stammt und wie groß die Transportraten von Wassermenge und Wärmeenergie sind.

8. Schriftenverzeichnis

- BSH (BUNDESAMTES FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE): Wassertemperaturen 2001 in der Mecklenburger Bucht, Messwerte der Station M2 aus der Internet-Datenbasis des BSH, 2001.
- IOW (INSTITUT FÜR OSTSEEFORSCHUNG WARNEMÜNDE), FACHBEREICH BIOLOGIE DER UNIVERSITÄT ROSTOCK: DYNAS Abschlussbericht, Dynamik natürlicher und anthropogener Sedimentation; Vorhaben: Sedimentationsprozesse in der Mecklenburger Bucht, 2003.
- LOTZ, B. u. FÖRSTER, A.: Heat Flow of the NE German Basin: A Matter of Revision?, Auszug aus einem Poster vom Geoforschungszentrum Potsdam, 2002.
- LUNG (LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE MECKLENBURG-VORPOMMERN): Geologische Karte von Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtskarte 1:500 000 – Geothermie –, 2000.
- LEMKE, W.: Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Littorinatransgression, Warnemünde: Institut für Ostseeforschung. 156 S. (Meereswissenschaftliche Berichte; 31), 1998.
- MEANS, R. E. u. PARCHER J. V.: Physical Properties of Soils, Charles E. Merrill Books, Inc., 1963.
- PFENDER, M. u. VILLINGER, H.: Miniaturized Data Loggers for Deep Sea Sediment Temperature Gradient Measurements, Marine Geology, 186, pp 557–570, 2002.
- WANG, K. u. BECK, A. E.: Heat Flow Measurements in Lacustrine or Oceanic Sediments Without Recording Bottom Temperature Variations, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, No. B12, pp 12837–12845, November 10, 1987.

WOLFGRAMM, M.: Fluidentwicklung und Diagenese im Nordostdeutschen Becken – Petrographie, Mikrothermometrie und Geochemie stabiler Isotope, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.), vorgelegt an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, verteidigt am 13.5.2002.