

Einsatz geophysikalischer Methoden zur Kartierung einer quartären Rinne im Gebiet "Heiliges Feld" (NRW, Deutschland)¹

Frank Peter Bosch (Aachen) und Manfred Degutsch (Münster)

Zusammenfassung

Das Elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR / Ground Penetrating Radar GPR) bilden im Messgebiet die Stratigraphie der oberen 10 m sowie einiger Gewässer-Böden ab.

Widerstandsverfahren wie die vertikale elektrische Sondierung (VES) und das elektromagnetische Radiomagnetotellurik (RMT) Verfahren sind in der Lage, die Quartärbasis (QB), die im Gebiet "Heiliges Feld" durch die Oberkante des elektrisch gut leitenden "Münder Mergels" angesprochen wird, zu kartieren. Vor allem die hochauflösenden RMT Daten bieten die Möglichkeit der lateralen Abgrenzung der Rinnenstruktur. Im zentralen Bereich der Rinne liegt die QB unterhalb der Erkundungstiefe sowohl von RMT als auch VES bei maximaler Auslagenlänge von 1000 m. Dennoch können lateral die tiefsten Bereiche abgegrenzt werden.

In dieser Studie ist RMT die hilfreichste Methode zur Abgrenzung der Form und Ausdehnung der QB und somit der Rinnenstruktur. Ein Gebiet von ca. 5 km² konnte innerhalb von 7 Messtagen mit 482 Sondierungspunkten im Abstand von 25-50 m auf parallelen Profilen im Abstand von ca. 1 km erkundet werden. QB-Tiefen in der Nähe von Bohrungen werden durch diese validiert. Maximale RMT-Erkundungstiefe im Messgebiet war 60 m. Die RMT-Ergebnisse zeigen eine deutlich komplexere Struktur der QB als die geologische Karte nach THIERMANN (1975). Die tiefste Erstreckung folgt demzufolge südlich der "Seen-Achse". Eine weitere, bisher unbekannte deutliche Vertiefung liegt im Norden. Weitere kleinere QB-Depressionen befinden sich entweder in der Nähe oder genau an von LOTZE (1956) und THIERMANN (1975) kartierten Lokationen kleinerer Erdfälle. Dies deutet die Möglichkeit an, mittels RMT weitere bisher unbekannte Erdfälle zu kartieren oder sogar Verdachtsflächen mit erhöhtem Kollapsrisiko auszuweisen.

Die durchgeführten und interpretierten refraktions- und reflexionsseismischen Messungen zeigen entlang von zwei Profilen eine komplexe Struktur bis zur QB. Aufgetretene Diskrepanzen zwischen Refraktions- und Reflexionsseismik konnten nicht abschließend geklärt werden. Ebenso wenig ein Tiefenunterschied im Muldenzentrum gegenüber einer nachträglich vom Geologischen Dienst NRW abgeteufte Bohrung.

1 Einleitung

Die Untersuchung quartärer überdeckter Rinnen in Hinblick auf ihre Grundwassernutzung ist derzeit Gegenstand verschiedener wissenschaftlicher Projekte in Nordeuropa (HUUSE et al. 2003) einschließlich Norddeutschland (GABRIEL et al. 2003). Dieser Arti-

¹ Heinz Otto Rehage zum 75. Geburtstag gewidmet.

kel präsentiert erste Resultate einer geophysikalischen Untersuchung des Instituts für Geophysik der Universität Münster mittels elektromagnetischer Verfahren, Geoelektrik und Seismik im Gebiet "Heiliges Feld" nordwestlich von Ibbenbüren (Nordrheinwestfalen, Deutschland). Umfangreiche Elektromagnetische Reflexions (EMR) -Messungen (engl. Ground Penetrating Radar (GPR)) erfolgten im Rahmen von Diplomarbeiten (HENGESBACH 2003, SOMMERFELD 2003, UCHTMANN 2005) und wurden durch N. BLINDOW betreut. Die geoelektrischen und ein Großteil der elektromagnetischen Sondierungen wurden unter Anleitung von F. BOSCH im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt (HAUSER 2005). Die seismischen Ergebnisse resultieren aus der Diplomarbeit von H. KUTSCHA (2008), die von M. DEGUTSCH betreut wurde.

Im Gebiet "Heiliges Meer" bedecken quartäre Ablagerungen (Sand, Schluff) Mergel der unteren Kreide und des Jura (sog. "Münder Mergel"). Im Münder Mergel finden sich Sequenzen von Mergel- und Tonstein mit eingelagerten Anhydrit- und Gipsbänken gefolgt von Steinsalz (LOTZE 1956; THIERMANN 1975; WEINERT 1999). Eine Besonderheit der Region "Heiliges Feld" ist eine Reihe von Oberflächengewässern, die sich auf einer NE-SW streichenden Achse anordnen. Ihre Ursache haben diese Erdfallseen in unterirdischen Einbrüchen als Folge von Dissolutionsvorgängen in den jurassischen Schichten. Einige spektakuläre Einbrüche ereigneten sich in jüngerer Vergangenheit so wie der sogenannte "Erdfallsee" im Jahre 1913.

Motivation der geophysikalischen Untersuchung ist die Abschätzung der Anwendbarkeit bestimmter Methoden zur bodengestützten, großflächigen Kartierung des Untergrundes im Hinblick auf die folgenden allgemeinen geologischen/hydrogeologischen Fragestellungen:

- **Kartierung der Quartärbasis (QB):** Beitrag zur Abschätzung der Dimensionen des Porenaquifersystems
- **Kartierung der Stratigraphie der oberen 10 m**
- **Abschätzung der Möglichkeit zur Grundwasserqualitätskartierung:** Elektrischer Widerstand als Proxy für Salzgehalt
- **Ausweisung von Gefahrenflächen bezüglich zukünftiger Einbrüche**

Die Quartärbasiskarte nach THIERMANN (1975) (Abb. 1) basiert auf einigen wenigen Bohrungen, die eine Variation der QB im Tiefenbereich zwischen 25 m und 85 m unter Geländeoberkante aufweisen (s. auch Tab. 1:). Zur Erstellung der Karte wurden wenige punktuelle in-situ Informationen der Bohrungen auf eine große Fläche extrapoliert.

Tab. 1: Bohrloch-Informationen im Gebiet "Heiliges Feld" aus THIERMANN (1975)

Bohrungen	Hörstel 1008	Hörstel 1009	Hörstel SP 651	Hörstel 1015	B3 Hopsten
Zweck	Klärung der Stratigraphie und Tektonik zwischen Ibbenbürener Karbonscholle und der Struktur Dreierwalde	Erdöl-Untersuchungsbohrung	Erdöl-Untersuchungsbohrung	Klärung der Stratigraphie und Tektonik in nordwestlicher Fortsetzung der Ibbenbürener Karbonscholle	Keine Angaben
Lage	R: 3403670 H: 5801360	R: 3404690 H: 5803520	R: 3406400 H: 5803150	R: 3406820 H: 5802630	R: 3407025 H: 5802425
Höhe über NN	ca. 41m	ca. 40m	ca. 43m	ca. 45m	ca. 45m
Auftraggeber	Preußag	Preußag	Preußag	Preußag	K. Angaben
Bohrzeit	~1954	~1954	~1954	8.5-17.5.1954	K. Angaben
Endteufe	64.3m	65.0m	33.5m	159.0m	49.0m
Geologisches Profil (unter GOK)	- 28.0m <i>Quartär</i> - 55.0m Kimmeridge - 64.3m Oxford	- 27.5m <i>Quartär</i> - 65.0m <i>Münder-Mergel</i>	- 18.0m <i>Quartär</i> - 33.5m <i>Münder-Mergel</i>	- 82.5m <i>Quartär</i> -159.0m <i>Münder-Mergel</i>	- 47.1m <i>Quartär</i> - 49.0m <i>Münder-Mergel</i>

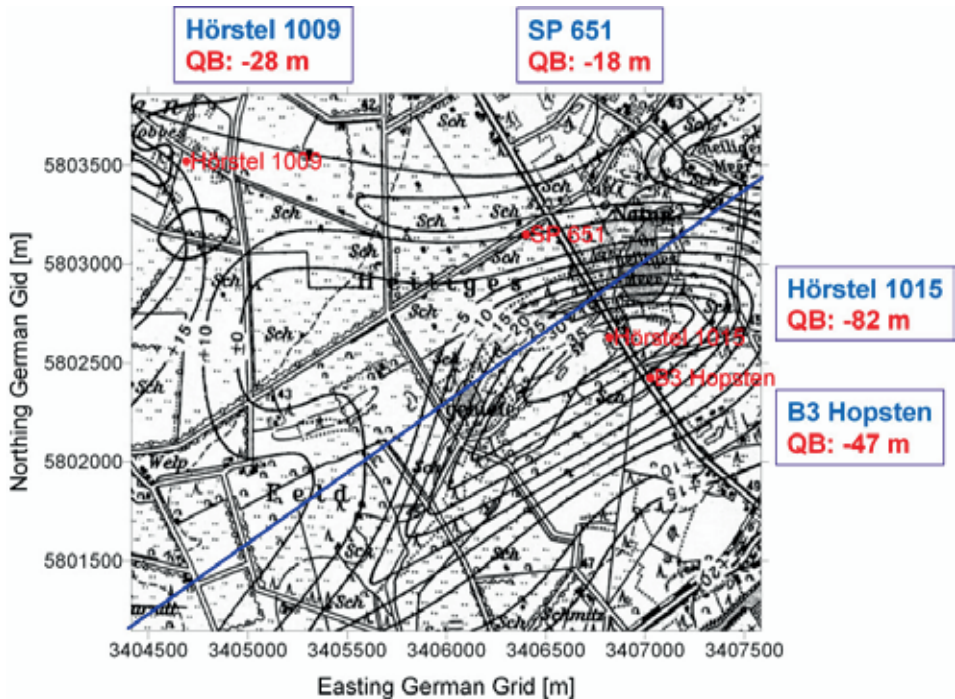


Abb. 1: Tiefenlage der Quartärbasis in Meter unter Normal Null nach THIERMANN (1975). Die blaue Linie repräsentiert die "Seen-Achse". QB in Kästen in Meter unter GOK.

2 Verwendete Methoden und Geräte

Bezüglich der Größe des zu untersuchenden Gebietes wie auch der Tiefenlage der Quartärbasis müssen verwendete geophysikalische Verfahren zweierlei leisten: schnellen Messfortschritt zur Kartierung großer Flächen einerseits und ausreichende Erkundungstiefe bis zu ca. 90 m unter Geländeoberkante andererseits. Die Bohrergebnisse zeigen einen signifikanten Wechsel des elektrischen Widerstandes an der Quartärbasis. Weiterhin variiert nach WEINERT (1999) der Mineralisationsgrad des Grundwassers im Untersuchungsgebiet und somit auch dessen elektrischer Widerstand. Aus diesen Gründen wird eine kombinierte Anwendung von Gleichstromgeoelektrik (Vertikale elektrische Sondierung, VES) mit großer Eindringtiefe, und passive Wechselfeld Elektromagnetik (Radiomagnetotellurik, RMT) mit mittlerer Eindringtiefe aber hohem Messfortschritt für die flächenhafte Kartierung ausgewählt. Zusätzlich soll aktive horizontale Zweispulen-Elektromagnetik (engl. Horizontal Loop Electromagnetic, HLEM) getestet werden: Eindringtiefe ähnlich der Geoelektrik aber schnellerer Messfortschritt und geringere Auslagenlängen. Die seismischen Methoden (Refraktions- und Reflexionsseismik) werden auf ausgewählten Profilen eingesetzt.

Vertikal Elektrische Sondierung (VES) kommt mit dem Ziel zur Anwendung, die QB auch in größerer Tiefe im Zentrum der Rinnenstruktur zu erfassen. Verwendet wird ein ABEM Terrameter SAS 300 (3 W, 320 V) mit optionaler Nutzung des SAS 2000 Booster (40 W, 800 V). Dies erlaubt das Einbringen von Strömen in den Erdboden zwischen 0.2–20 mA oder 50–500 mA respektive. Das daraus resultierende elektrische Potentialfeld, welches abhängig von den elektrischen Eigenschaften des Untergrundes ist, wird gemessen. Durch Variation des Einspeise-Elektroden-Abstandes lässt sich durch mathematische Verfahren (Inversion) der elektrische Widerstand in Abhängigkeit der Tiefe bestimmen (s. z.B. (KNÖDEL et al. 1997)). Die Messungen wurden mit der Schlumberger-Elektroden-Konfiguration und einem maximalen Abstand der Einspeiseelektroden von 1000 m durchgeführt. Einundzwanzig Sondierungen entlang der in Abb. 2 gezeigten Profile wurden durchgeführt. Die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände (Sondierungskurven) wurden mit dem 1D-Inversionsprogramm IPI2Win (BOBACHEV 2002) in Widerstandstiefensektionen invertiert (s. Abb. 4).

Die **Radiomagnetotelluric (RMT)** Methode wurde als Widerstandsondierungs- und Kartiermethode mit schnellem Messfortschritt verwendet. Eine Eindringtiefe von maximal 50 m wurde in diesem Messgebiet erwartet. Innerhalb von sieben Feldmessstagen wurden 482 RMT-Sondierungen entlang von 6 Profilen durchgeführt (Abb. 2). Zur Anwendung kam eine am Schweizer "Zentrum für Hydrogeologie Neuchatel" (CHYN, Universität Neuchatel) entwickelte Radiomagnetotellurik Apparatur (BOSCH & MÜLLER 2005). Vier aus nordwestlicher Richtung sendende Radiostationen wurden genutzt: 207 kHz (130°N), 81 kHz (105°N), 37.5 kHz (130°N) and 19.6 kHz (115°N). Der Messpunktstand beträgt grundsätzlich ca. 50 m und wurde gegebenenfalls auf 25 m reduziert. Widerstandstiefenmodelle wurden mit dem 1D-Inversions Programm IPI2Win(MT) berechnet (s. Abbildung 5).



Abb. 2: Lage der Sondierungspunkte: Rote Kreuze = VES; Schwarze Punkte = RMT; Blaue Kreuze = HLEM; Blaue Kreuze im Kreis: Bohrungen

Ein **Horizontal Spulen Elektromagnetik (engl. HLEM)** Prototyp System, entwickelt am Schweizer CHYN, wurde zusätzlich als schnellere Alternative zu den sehr zeitaufwendigen VES Schlumberger Sondierungen getestet. Die Vorteile sind ein kleinerer Messaufbau (maximaler Spulenabstand 160 m) bei vergleichbarer Eindringtiefe wie VES. Das System liefert Real- und Imaginärteil (auch Inphase und Quadratur genannt) des Verhältnisses der vertikalen Magnetfeldkomponente von sekundärem zu primärem Feld. Neun Frequenzen zwischen 7040 – 27.5 Hz mit variierender Eindringtiefe können genutzt werden. Sowohl Frequenz- als auch Spulenabstandssondierungen (auch "parametrisch" und "geometrisch" genannt) können durchgeführt werden. Ebenso ist eine Kombination beider Modi möglich. Gemäß den Bedingungen für "kleine Induktionszahlen" (MCNEILL 1980) liefert das Messsystem für neun Frequenz/Abstandspaare direkt scheinbare elektrische Leitfähigkeiten. Weitere Informationen zum Verfahren findet man z.B. in KNÖDEL et al. (1997).

Abbildung 7 zeigt HLEM Ergebnisse gewonnen aus 16 Frequenzsondierungen mit einem Sender-Empfänger Abstand von 56.57 m entlang Profil 1 (Abb. 2). Der Sondierungspunktabstand beträgt ca. 50 m. Die Sondierungskurven wurden mit dem 1D Inversionsprogramm "EMMIX MMP" der Fa. Interpex in Widerstandstiefenmodelle invertiert, dargestellt in Abbildung 8.

Die *Refraktions- und Reflexionsseismik* wurde auf zwei Profilen mit unterschiedlicher zu erwartender Tiefenlage der Quartärbasis ausgewählt. Die Profillagen mit Tiefen der Quartärbasis sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Profile 1 und 3 liegen südwestlich vom RMT-Profil 3 und werden von dem VES-West-Profil im Bereich von Messpunkt GE25 gekreuzt. Die Profile 2 und 4 liegen parallel zum südöstlichen Ende des VES-East-Profiles. Alle Messungen erfolgten im Rahmen der Diplomarbeit von KUTSCHA (2008). Um den Messfortschritt zu optimieren, wurde mit einer festen Geophonauslage und wandernden Quellpunkten gearbeitet. Die Messparameter sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

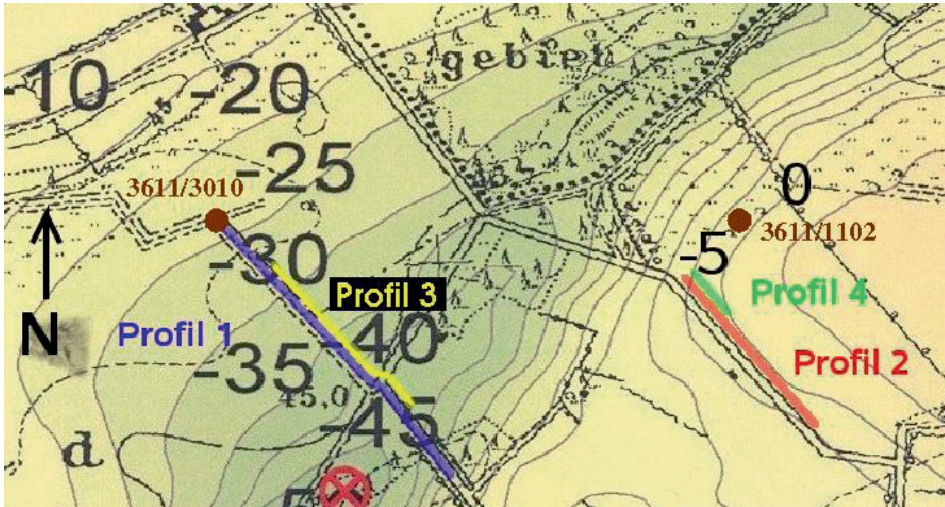


Abb. 3: Darstellung des erwarteten Verlaufs der Quartärbasis (nach DÖLLING, 2007). Die Isolinen entsprechen der Höhe bezogen auf Normalnull. Die Geländehöhe beträgt ca. 45 m ü. NN. Das rote Kreuz südwestlich von Profil 1 entspricht der Lokation der Tiefbohrung BH-P8 Hopsten aus dem Jahr 1967 mit festgelegter Tiefe der Quartärbasis von 96,5 m. Die Bohrungen 3611/3010 und 3611/1102 bearbeitet von DÖLLING (2007) sind braun gekennzeichnet.

Tab. 2: Messkonfigurationen der Profile

Parameter	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
Auslagenlänge	588,7 m	355 m	349,5 m	71 m
Geophonpunktstand	ca. 5 m	5 m	ca. 5 m	1 m
Quellpunktstand	ca. 30 m	30 m	ca. 5 m	2 m
verwendete Quellen	Fallgewicht	Fallgewicht	Fallgewicht	5 kg - Hammer
verwendete Aufnehmer	6 x 10 Hz	6 x 10 Hz	10 Hz	30 Hz
vertikale Stapelzahl	32 bis 64	32	32	10
Registrierlänge	1024 ms	1024 ms	1024 ms	256 ms
zeitliches Abtastintervall	0,25 ms	0,25 ms	0,25 ms	0,25 ms

Die seismische Datenbearbeitung wurde kombiniert mit zwei unterschiedlichen kommerziellen Programmpaketen durchgeführt. Zum einen wurde die Software ProMAX 2D der Fa. Landmark und zum anderen REFLEXW von Sandmeier eingesetzt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

3 Datenmaterial und Interpretation

3.1 Vertikal Elektrische Sondierungen (VES)

Abbildung 4 zeigt die Pseudoschnitte der Verteilung der scheinbaren Widerstände und die entsprechenden Widerstandstiefenmodelle der beiden Geoelektrikprofile. Der Anpassungsfehler der Inversionsmodelle variiert zwischen 0.4 und 5 %. Das "VES-East-Profil" folgt Profil 1 aus Abb. 2. Das "VES-West-Profil" liegt zwischen Profil 5 und Profil 3 der Abb. 2.

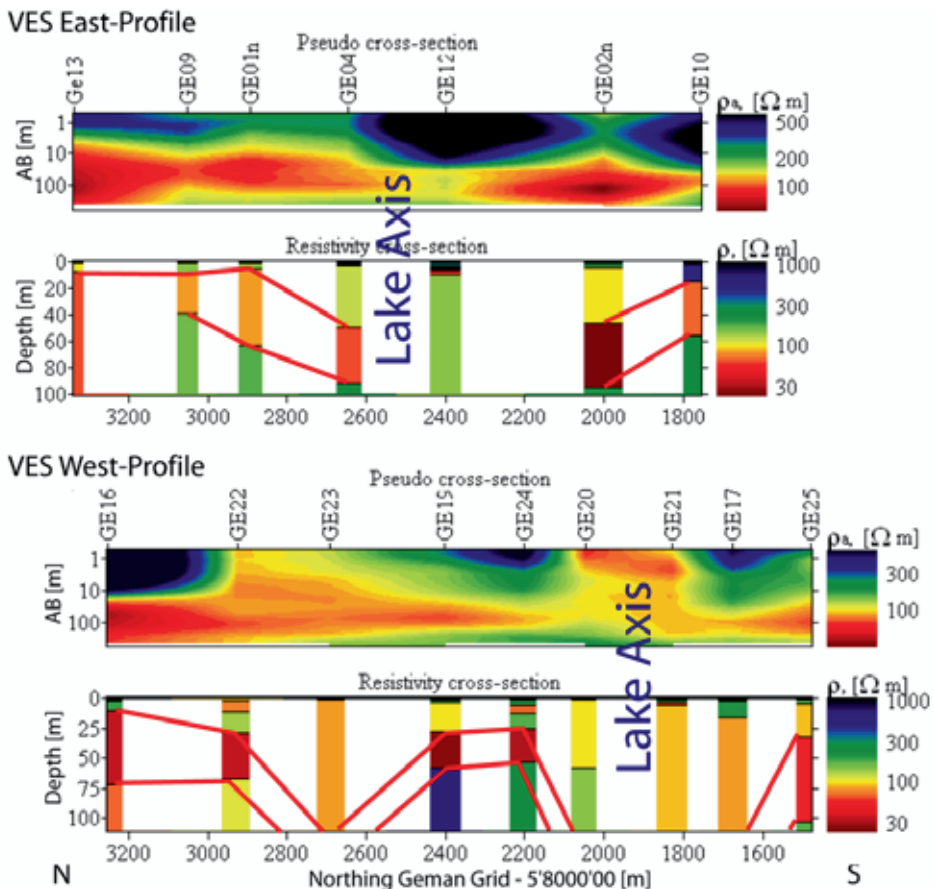


Abb. 4: VES Resultate des östlichen und westlichen Profils: jeweils oben scheinbarer spezifischer Widerstand gegen Stromelektrodenabstand (logarithmisch); jeweils unten: 1D Inversionsmodelle, Tiefenskala in Meter unter GOK . Eingezeichnet ist die Lage der „Seen-Achse“ (engl. Lake Axis)

Der grundsätzliche Aufbau der Modelle zeigt oberflächennahe Schichten mit spezifischen Widerständen zwischen 80 und 300 Ω m. Darauf folgt eine prominente, gut leitende Schicht (30-50 Ω m) gefolgt von einem schlecht leitenden Halbraum (200-300 Ω m). Gemäß den Bohrlochdaten in Tab. 1: wird die gut leitende Schicht als "Münder Mergel" interpretiert, dessen Oberkante dann wiederum die Quartärbasis markiert.

Auf dem "VES-East-Profil" taucht dieser gute Leiter sowohl von Norden wie von Süden in Richtung "Seen-Achse" steil ab und ist dann bei Sondierungspunkt "GE12" nicht mehr zu sehen. Dies wird als ein Fehlen oder ein Abtauchen der Schicht unter die Erkundungstiefe der Methode interpretiert. Gleichwohl markiert das Fehlen der Schicht die Zone, in der sich Erdfallseen gebildet haben. Sondierungspunkt "GE12" liegt somit im zentralen Bereich der Rinne auf diesem Profil.

Auf dem sich ca. einen Kilometer weiter westlich befindlichen "VES West Profil" zeigen die 1D-Widerstandstiefenmodelle ebenfalls im Bereich der „Seen-Achse keinen guten Leiter. Die Modelle zeigen nicht etwa ein Abtauchen sondern ein abruptes Verschwinden südwärts von "GE24" nach "GE20" und auch nordwärts von "GE25" nach "GE17". Dies wird als steilere Flanken der Rinne in diesem Bereich interpretiert, welche aufgrund des großen Messpunktabstandes nicht aufgelöst werden können. Dass die Flanken sehr steil sein können, wird ebenfalls durch die Bohrungen "B3" und "H-1015" bewiesen (s. Tab. 1: und Abb. 2), die ein Einfallen der QB von 47 auf 82 m unter GOK auf einer Strecke von ca. 250 m aufzeigen. Zusätzlich existiert die leitfähige Schicht ebenfalls nicht im Modell des Punktes "GE23", was als eine weitere Vertiefung nördlich der Hauptrinne interpretiert werden könnte. Eine Verdichtung des Messpunktabstandes wäre zur Stützung der obigen Interpretation wünschenswert. Hierzu soll die große Anzahl an RMT Messpunkten beitragen.

3.2 Radiomagnetotellurik (RMT)

Abbildung 5 zeigt ein konsistentes Bild der Inversionsergebnisse der RMT Daten der vier parallelen Profile aus Abb. 2. Alle Profile zeigen eine Deckschicht erhöhten Widerstandes (ca. 100 bis 200 Ω m) variierender Mächtigkeit über einem leitfähigen Halbraum mit spezifischen Widerständen ≤ 50 Ω m, der als "Münder Mergel" interpretiert wird. Dieser Widerstandskontrast wird also als Quartärbasis interpretiert. Die RMT Ergebnisse stützen die VES Modelle aus Abbildung 4 und zeigen die Tiefenvariationen des als QB angesprochenen Widerstandskontrastes mit hoher lateralen Auflösung. Gleichwohl sind die RMT Messungen nicht in der Lage, den "Münder Mergel" zu durchdringen, sodass er als Halbraum erscheint. Die Symmetrie der Rinnenstruktur bildet sich jedoch gut ab. Auch werden um Profilmeter 1000 auf Profil 5 das Fehlen des guten Leiters im VES Modell der Sondierung "GE23" der Abbildung 4 durch drei RMT Sondierungen bestätigt. "GE23" befindet sich in unmittelbarer Nähe dieser RMT Messpunkte.

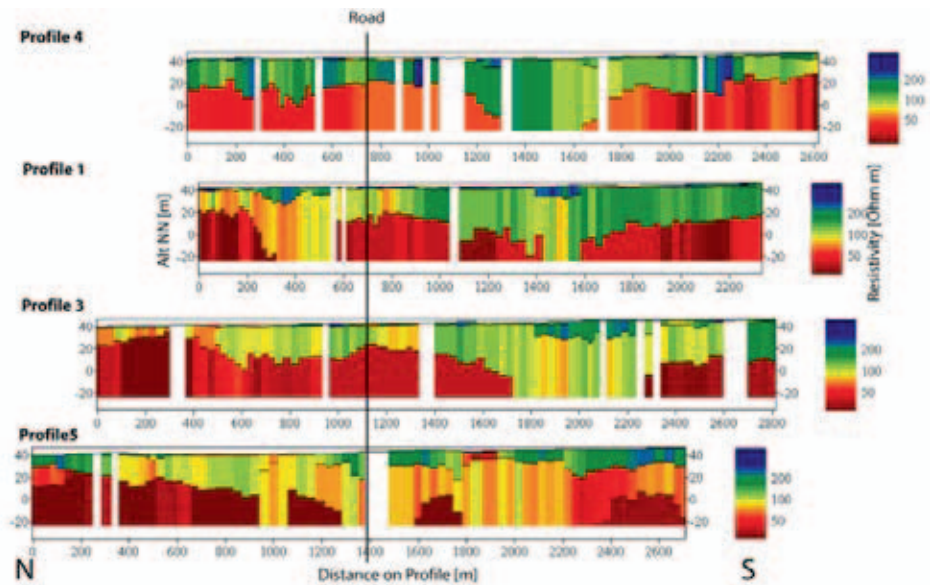


Abb. 5: RMT Widerstandstiefenmodelle aus der 1D Inversion. Tiefenskala ist "Höhe über NN"

Der Vergleich der Inversionsmodelle von Messpunkten in der Nähe von Bohrlöchern ergibt, dass die Tiefenlage der gut leitenden Schicht auf ± 2 m mit der erbohrten QB-Tiefenlage übereinstimmt. Insbesondere die steile Flanke auf Profil 4 zwischen Profilmeter 1400 und 1690 wird durch die Bohrungen H-1015 (-82.5 m unter GOK) und B3 (-47.1 m unter GOK) bestätigt (Abb. 5, Abb. 6 und Tab. 1:).

Abbildung 6 zeigt eine Karte der Quartärbasistiefe bezogen auf Normal Null, wie sie sich aus den RMT Inversionen ergibt. Regionen tiefer -20 m NN sind ausgeblendet, da diese Tiefen von RMT in dieser Fallstudie nicht erreicht wurden.

Weiterhin ist zu bemerken, dass sich alle Bereiche mit erhöhter Deckschichtmächtigkeit (= tieferer Lage der QB) der Inversionsergebnisse mit beobachteten Erdfällen nach (LOTZE 1956) decken.

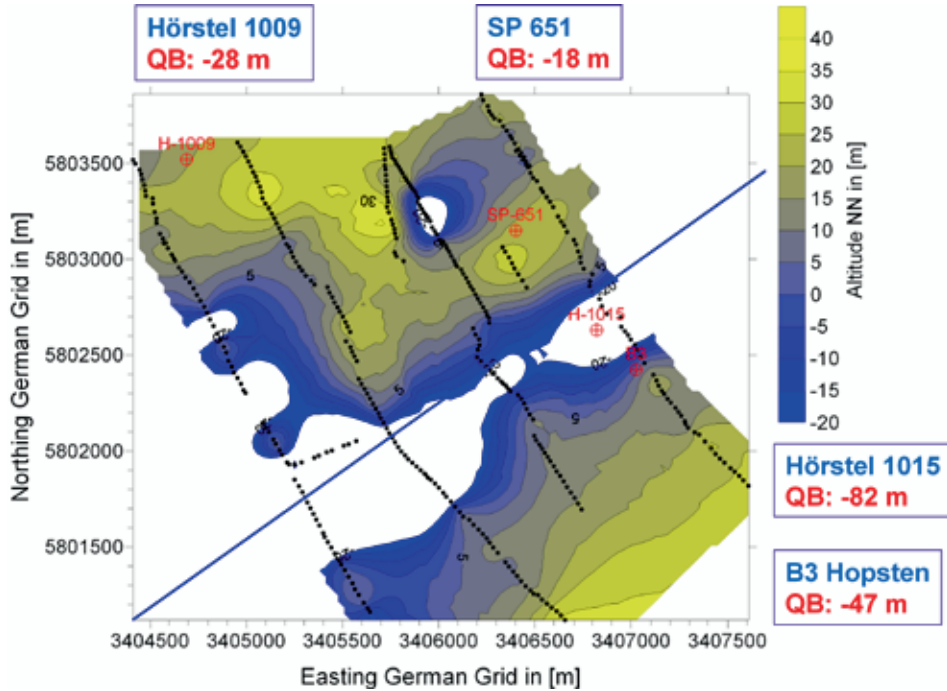


Abb. 6: Karte der Quartärbasis in Meter über NN aus den RMT Inversionen. QB Tiefenangabe der Bohrungen in Meter unter GOK. Blaue Linie = "Seen Achse".

3.3. Horizontal Spulen Elektromagnetik (engl: HLEM)

Die HLEM Daten wurden auf dem zentralen Teil von Profil 1 mit dem Ziel gewonnen, die Flanken und den zentralen tiefsten Bereich der Rinne zu erfassen. In Abbildung 7 zeigen die Rohdaten (Inphase und Quadratur von $H_{\text{sekundär}}/H_{\text{primär}}$) lediglich für die drei höchsten (= oberflächennächsten) Frequenzen laterale Variationen. Die Messung scheint also keine Veränderungen im tieferen Bereich zu detektieren. Das Widerstandstiefenmodell der 1D-Inversion in Abbildung 8 weist die generelle Widerstandsabfolge auf, die auch VES und RMT liefern: hochohmige Deckschicht (hier 500 - 1000 Ωm variierender Mächtigkeit), darunter eine gut leitende Schicht (hier 10 - 30 Ωm , ca. 10 m mächtig) und einen Halbraum mit wieder erhöhten elektrischen Widerständen (hier: 100 - 250 Ωm).

Von Profilmeter 800 bis 1000 deckt sich das Abtauchen der gut leitenden Schicht mit den Modellen aus den RMT Messungen. Ab Profilmeter 1100 südwärts, also im zentralen Bereich der Rinne, sind die Modelle nicht mehr vergleichbar. Auffällig ist die Tatsache, dass der gute Leiter der HLEM Modelle weiterhin in einer Tiefenlage von 20 m unter GOK verweilt bei gleichbleibender Mächtigkeit. Dies deckt sich definitiv nicht mit den Beobachtungen aus VES, RMT und den Bohrlochdaten. Dies könnte der Tatsache geschuldet sein, dass die Informationstiefe der HLEM Methode neben den verwendeten

Frequenzen maßgeblich vom Spulenabstand bestimmt wird. Im zentralen Bereich der Rinne hätte der Spulenabstand wahrscheinlich vergrößert werden müssen, um die Schicht weiter verfolgen zu können.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass das Resultat der HLEM Inversion stark abhängig ist vom gewählten Startmodell. VES und RMT zeigen dieses Verhalten nicht und führen trotzdem zu kongruenten Ergebnissen. In dieser Studie offenbart sich das HLEM Verfahren demzufolge nicht als Methode, die jeweiligen Vorzüge von VES und RMT zu kombinieren.

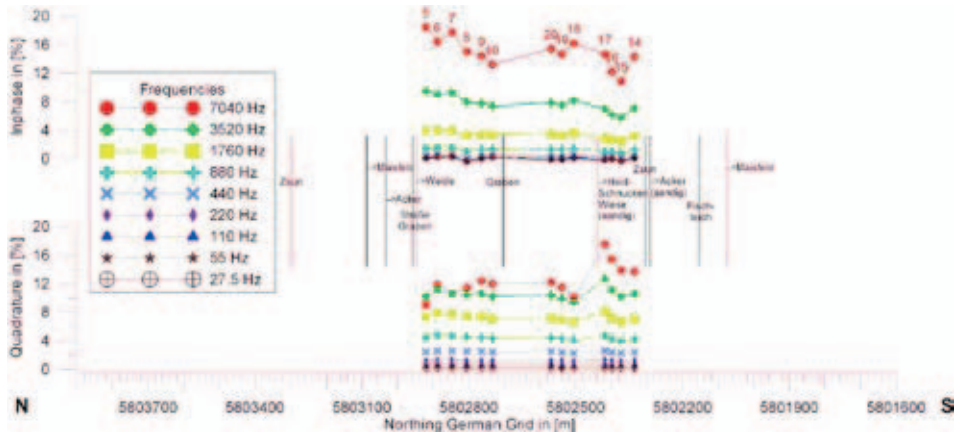


Abb. 7: HLEM Rohdaten: Inphase und Quadratur für 9 Frequenzen.

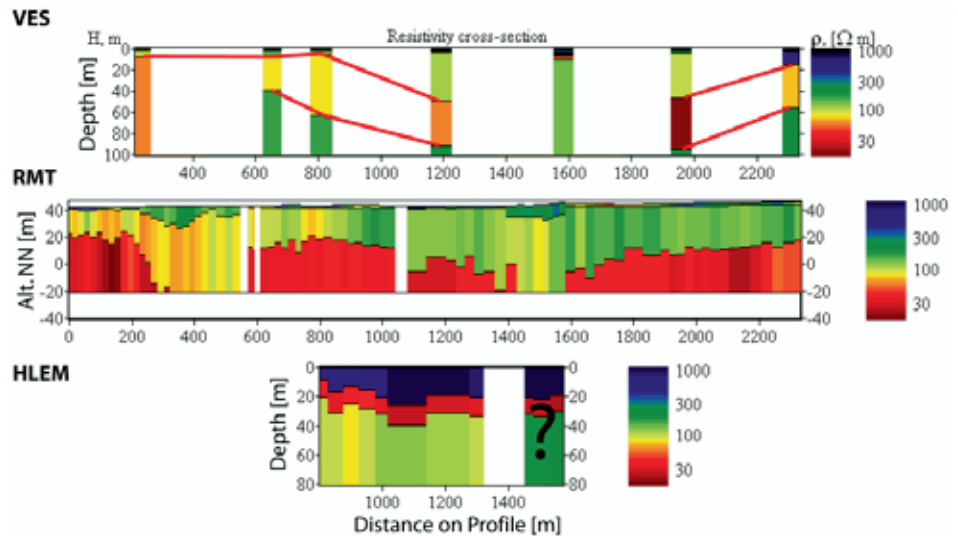


Abb. 8: Vergleich der Widerstandstiefenmodelle aller Methoden entlang Profil 1.

4 Refraktions- und Reflexionsseismik

Zunächst werden die Ergebnisse von Refraktionsprofil 2 und Reflexionsprofil 4 (siehe Abb. 3) vorgestellt. Entlang dieser Profile wird die Quartärbasis aus den vorliegenden geologischen und geophysikalischen Informationen in einer geringen Tiefe von ca. 40 m – 45 m unter Geländeoberkante (GOK) erwartet. Die in Abbildung 9 dargestellten seismischen Ergebnisse zeigen eine leichte Muldenstruktur für die Quartärbasis und ein inhomogenes Geschwindigkeitsfeld in den einzelnen Schichten. Ferner steigt die Grenzfläche leicht von NW (ca. 38,5 m u. GOK) nach SO (ca. 29 m u. GOK) an. Die Ergebnisse der Reflexionsseismik (rote Linie) zeigen ein relativ steiles Ansteigen der Grenzfläche von NW (ca. 48 m u. GOK) nach SO (ca. 42 m u. GOK). Ein tendenzieller Anstieg in dieser Richtung ist ebenfalls in den Ergebnissen der RMT-Messungen zu erkennen. An der nahegelegenen Bohrung 3611/1102 (siehe Abb. 3) wurde die Tiefe der Quartärbasis zu 42 m u. GOK bestimmt und zeigt eine gute Übereinstimmung mit den seismischen Ergebnissen. Die im Bohrprofil erkennbare feinschichtige Unterteilung des quartären Sediments ist in den seismischen Daten nicht auflösbar. Dies liegt an den genutzten seismischen Wellenlängen verbunden mit zu geringen Schichtmächtigkeiten sowie an sich kaum ändernden seismischen Eigenschaften.

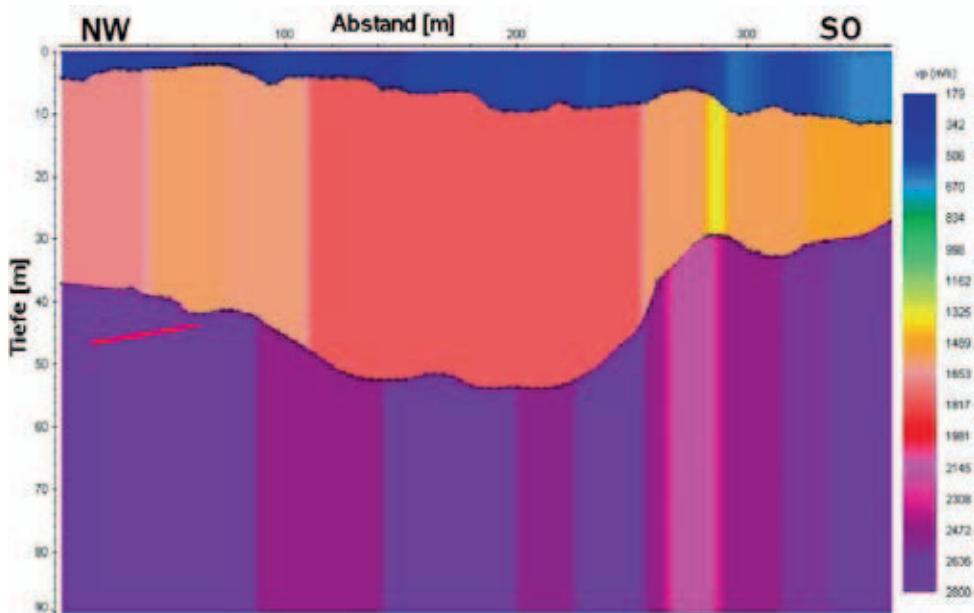


Abb. 9: Lagerrichtige Gegenüberstellung des heterogenen Geschwindigkeitsmodells der Refraktionsauswertung von Profil 2 und der Verlauf der Quartärbasis aus der Reflexionsseismik (rote Linie im NW-Teil) von Profil 4.

Für die Planung der seismischen Profile 1 und 3 (siehe Abb. 3) lag als Information nur die aus der ca. 220 m südsüdwestlich der Straßenkreuzung gelegene Tiefbohrung BH-P8 Hopsten (siehe rotes Kreuz in Abb. 3) aus dem Jahr 1967 festgelegte Tiefe der Quartär-

basis von 96,5 m vor. Die Profillagen wurden möglichst senkrecht zur Streichrichtung der Muldenstruktur („Seen-Achse“) gewählt, um mit 2D-Profilmessungen die geologische Struktur des Untergrundes zu erkunden. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 10 zusammenfassend dargestellt. Aus dem Geschwindigkeitsmodell der Refraktionsseismik befindet sich das Muldenzentrum südöstlich der Kreuzung in einer Tiefe von 117,2 m. Das reflexionsseismische Ergebnis aus den Daten von Profil 3 zeigt eine abweichende räumliche Lage und engere Muldenstruktur mit einem wesentlich steileren Verlauf der Quartärbasis. Die maximale Tiefe wird mit ca. 107 m bestimmt. In einer zwischenzeitlich vom Geologischen Dienst NRW abgeteufte Bohrung 3611/1012 im Bereich des refraktionsseismischen Muldenzentrums wurde die Quartärbasis mit 78 m u. GOK bestimmt (DÖLLING, persönliche Mitteilung). Da das reflexionsseismische Profil 3 nicht das komplette Refraktionsprofil 1 überdeckt, liefert es keine zusätzliche Information für den Bereich des refraktionsseismischen Muldenzentrums. Die vorliegende Diskrepanz zwischen dem refraktionsseismischen Ergebnis und dem Bohrprofil wird z. Zt. auf eine komplexere 3D-Struktur des Untergrundes zurückgeführt. Weitere 2D-Seismikprofile oder eine 3D-Vermessung können hier nur Klarheit schaffen. Für diese Notwendigkeit spricht auch die starke Diskrepanz zu der vertikalen elektrischen Sondierung an Messpunkt GE 25 (s. Abbildung 4 VES-West-Profil). Das Geschwindigkeitsprofil der Refraktionsseismik zeigt ferner eine Zweiteilung der quartären Sande an, die auf verschiedene Korngrößen und unterschiedlich starke Kompaktion zurückzuführen ist. Die Tiefenlage dieser Grenzfläche korreliert mit dem Wechsel von Fein- zu Mittelsanden an der Bohrung 3611/3010 am nordwestlichen Ende von Profil 1 (s. Abb. 3).

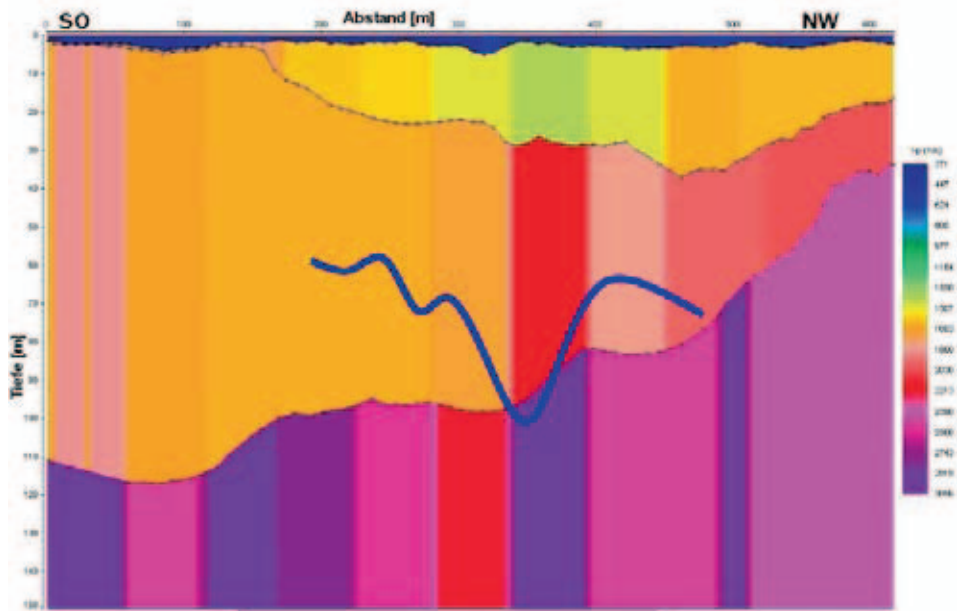


Abb. 10: Lagerichtige Gegenüberstellung des heterogenen Geschwindigkeitsmodells der Refraktionsauswertung von Profil 1 und der Verlauf der Quartärbasis aus der Reflexionsseismik (blaue Linie im mittleren Teil) von Profil 3.

5 Ausblick

Die Notwendigkeit für schnelle Verfahren mit kleinem Messpunktabstand wurde aufgezeigt. VES kann dies aufgrund der benötigten großen Auslagenlängen nicht leisten. Weitere einzelne VES Messpunkte mit Auslagen >1000 m wären im zentralen Bereich der Rinne aber hilfreich, um die QB zu detektieren.

Die Anwendung des HLEM Verfahrens mittels zügiger Frequenzsondierung bei konstantem Spulenabstand als schnellere Alternative zu VES mit größerer Erkundungstiefe als RMT zeigt in diesem Fall keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Die Durchführung geometrischer Sondierungen (Variation des Spulenabstandes) könnte eine Alternative darstellen, würde aber den Zeitvorteil gegenüber VES stark schmälern. Als weiteres Problem stellt sich bei der Inversion die nicht wünschenswerte starke Abhängigkeit von der Wahl des Startmodells heraus.

Eine bessere "Elektromagnetik-Alternative" zu VES in Bezug auf tiefere Erkundung bei kleineren Auslagen im Feld könnte die Transientenelektromagnetik (TEM) darstellen (BECHTEL et al. 2007). In Bezug auf hohen Messfortschritt ist luftgestützte Elektromagnetik zu nennen (engl. AEM) (SIEMON 2006).

Refraktions- und Reflexionsseismik müssten trotz ihres hohen messtechnischen Aufwands in größerem Umfang durchgeführt werden.

Danksagung

Besonderer Dank geht an Herrn JACQUES DUPEREX, dem Konstrukteur der verwendeten RMT und HLEM Systeme sowie an das Zentrum für Hydrogeologie Neuchatel, (CHYN) namentlich Prof. FRANCOIS ZWAHLEN und Dr. PIERRE SCHNEGG, für das Ausleihen der verwendeten Systeme.

Weiterer Dank geht an Herrn Prof. ANDREAS HÖRDT für das Ausleihen eines weiteren RMT Gerätes des Typs "Neuchatel".

Literatur:

- BECHTEL, T. D., BOSCH, F. P. & M. GURK (2007): Geophysical methods. in *Methods in Karst Hydrogeology*, edited by N. Goldscheider, & D. Drew, International Contributions To Hydrogeology, **26**, Taylor & Francis/Balkema, AK Leiden, The Netherlands: 171-199.
- BOBACHEV, A. A. (2002): IPI2Win (MT), Moscow State University, Moscow.
- BOSCH, F. P. & I. MÜLLER (2005): Improved karst exploration by VLF-EM-Gradient survey: comparison with other geophysical methods. *Near Surface Geophysics* **3**: 299-310.
- DÖLLING, M. (2007): Zur Geologie des Subrosionsgebietes des "Heiligen Feldes" (nördliches Münsterland, Nordrhein-Westfalen). Geologischer Dienst NRW, unveröffentlicht.
- GABRIEL, G., KIRSCH, R., SIEMON, B. & H. WIEDERHOLD (2003): Geophysical investigations of buried Pleistocene subglacial valleys in Northern Germany. *Journal of Applied Geophysics* **53**(4): 159-180.

- HAUSER, J.-D. (2005): Großräumige geoelektrische und elektromagnetische Untersuchungen im Erdfallgebiet "Heiliges Feld". Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht.
- HENGESBACH, A. (2003): EMR-Messungen auf den Wasserflächen des Naturschutzgebietes "Heiliges Meer". Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht.
- HUUSE, M., LYKKE-ANDERSEN, H. & J. A. PIOTROWSKI (2003): Geophysical investigations of buried Quaternary valleys in the formerly glaciated NW European lowland: significance for groundwater exploration. *Journal of Applied Geophysics* **53**(4): 153-157.
- KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & G. LANGE (1997): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 3: Geophysik. Springer, Berlin, 1063 pp.
- KUTSCHA, H. (2008): Seismische Untersuchungen im Heiligen Feld. Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht.
- LOTZE, F. (1956): Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Kreis Tecklenburg). *Abh. Landesmus. Naturkunde. Münster* **18**: 1-36.
- MCNEILL, J. D. (1980): Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6, Geonics Ltd, Missisauga, Ontario, Canada.
- SIEMON, B. (2006): Electromagnetic methods – frequency domain: Airborne techniques. in *Groundwater Geophysics – A Tool for Hydrogeology*, edited by R. Kirsch, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 155-170.
- SOMMERFELD, S. (2003): Kartierung quartärer Schichten im Naturschutzgebiet "Heiliges Meer" mit dem EMR-Verfahren. Diplomarbeit, Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht.
- THIERMANN, A. (1975): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000: Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld.
- UCHTMANN, S. (2005): GPR-Stratigraphie quartärer Schichten im Erdfallgebiet "Heiliges Meer". Diplomarbeit, Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht.
- WEINERT, M. (1999): Hydrogeologie, Hydrochemie und Isotopenhydrologie des Naturschutzgebietes "Heiliges Meer" (Recke / Nordrhein-Westfalen). Dissertation, Geologisch-Paläontologisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Anschriften der Verfasser:

Manfred Degutsch und Frank Peter Bosch²
 Institut für Geophysik
 Westfälische Wilhelms-Universität Münster
 Corrensstr. 24
 48149 Münster

² Jetzt: Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen University, fbosch@eonerc.rwth-aachen.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): Bosch Frank Peter, Degutsch Manfred

Artikel/Article: [Einsatz geophysikalischer Methoden zur Kartierung einer quartären Rinne im Gebiet "Heiliges Feld" \(NRW, Deutschland\) 7-21](#)