

Die Entwicklung eines quartärgeologischen 3D-Modells im Subrosionsgebiet des „Heiligen Feldes“ (nördliches Münsterland, Nordrhein-Westfalen)¹

Manfred Dölling und Bernd Linder (Krefeld)

Zusammenfassung

Nachdem durch vorausgehende Untersuchungen im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes (DÖLLING & STRITZKE 2009, DÖLLING 2009) die Stratigrafie, Genese und Mächtigkeit der quartär- sowie untergeordnet tertiärzeitlichen Lockersedimente detailliert ermittelt werden konnte, liegt nun mit dem Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes ein fest definierbarer und gut dokumentierter Ablagerungsraum vor, der sich hervorragend für eine 3D-Modellierung eignet. Für die Modellentwicklung wurden zunächst die vorhandenen Bohrdaten gesichtet, analysiert und inhaltlich bewertet. Aus den Informationen der hieraus konstruierten Profilschnittserien wurde ein lückenloses und konsistentes 3D-Modell mit goCAD entwickelt, welches die Lage und Verbreitung der wichtigsten quartärzeitlichen sowie im tieferen Untergrund auch tertiärzeitlichen Sedimente wiedergibt. Am Beispiel der Abfolgen des Holsteins und des Eems wird auf Fragen der Sedimentationsdynamik im Heiligen Feld eingegangen. Zum Abschluss wird eine Betrachtung der Erdfalldynamik im Heiligen Feld vorgenommen.

1 Einleitung

Das Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes liegt nordwestlich von Ibbenbüren im Kreis Steinfurt (nördliches Münsterland, Nordrhein-Westfalen, vgl. Abb. 1). Charakteristisches Erscheinungsbild der Senkungszone ist eine Vielzahl von Erdfallseen und Geländevertiefungen. Sie sind auf Ablaugungsprozesse innerhalb der Salinarserien des Münder-Mergels (Malm/Unterkreide), der im tieferen Untergrund ansteht, zurückzuführen. Die Subrosionssenke, die zum Teil trichterförmige Einsenkungen aufweist, ist in Teilbereichen mit über 95 m mächtigen Lockersedimenten des Quartärs erfüllt. DÖLLING & STRITZKE (2009) konnten nachweisen, dass sich in der Senkungszone warmzeitliche Sedimente des Cromer-Komplexes, des Holsteins und des Eems erhalten haben. In den tiefsten Senkungsbereichen sind außerdem pliozänzeitliche Sedimente des Tertiärs vorhanden.

Durch eine Vielzahl von niedergebrachten Bohrungen, in Kombination mit bohrlochgeophysikalischen Messungen, wurde ein sehr dichtes Netz von geologischen Informationen geschaffen, das es gestattete, in einem anschließenden Arbeitsschritt eine 3D-Modellierung des Subrosionsgebietes des Heiligen Feldes vorzunehmen. Dies ermöglicht eine genaue räumliche und zeitliche Analyse der unterschiedlichen Sedimentfolgen und so eine realistische dreidimensionale Rekonstruktion der Sedimentkörper sowie eine Betrachtung der Subrosionsdynamik im Heiligen Feld.

¹ Heinz Otto Rehage zum 75. Geburtstag gewidmet.

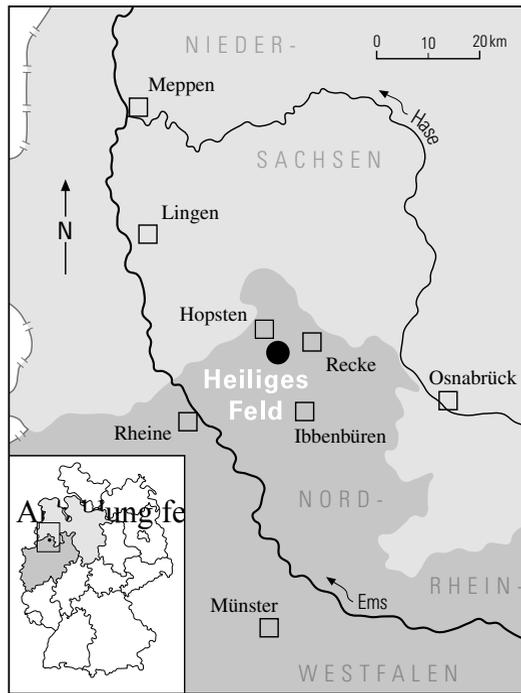


Abb. 1: Lage des Subrosionsgebietes Heiliges Feld im nördlichen Münsterland (verändert nach DÖLLING & STRITZKE 2009).



Abb. 2: Wassergefüllter Erdfall im Bereich des Heiligen Feldes (Foto: Geologischer Dienst NRW).

2 Geologischer Überblick

Im Bereich der Senkungszone des Heiligen Feldes, die im Wesentlichen von Lockersedimenten des Quartärs überdeckt wird, stehen im tieferen Untergrund Gesteinsabfolgen des Oberen Juras (Malm) und der Unterkreide (Berrias) mit den Salinargesteinen des Münder-Mergels an. Der Münder-Mergel erreicht im Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit von 200 bis 500 m. Die Abfolge besteht im Wesentlichen aus grauen und grünlichen Mergelsteinen mit abschnittsweise meterdicken Bänken aus Anhydrit und Gips, denen vermutlich bis zu 60 m mächtige Steinsalzlager eingeschaltet sind (SCHUSTER 1971). Im Bereich des Heiligen Feldes stehen oberflächennah im wesentlichen sandige Niederterrassen-Ablagerungen der Weichsel-Kaltzeit an, die örtlich von gering mächtigen Flugsanden und Dünen überlagert werden.

Prägend für das Untersuchungsgebiet ist eine Vielzahl von Subrosionserscheinungen, die parallel zu den Südwest-Nordost streichenden Randstörungen der ca. 1,5 km östlich gelegenen Ibbenbürener Karbonscholle aufgereiht sind. Im Untersuchungsgebiet kann zwischen relativ großflächigen Subrosionssenken und einer Vielzahl lokaler Erdfälle (siehe Abb. 2) unterschieden werden. LOTZE (1957) konnte insgesamt 61 solcher Subrosionsstrukturen an der Geländeoberfläche beobachten und kartieren (vgl. Abb. 3).

2.1 Die Ausbildung der Subrosionsstrukturen im Heiligen Feld

Mithilfe der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Bohrungen wurde ein Tiefenlinienplan für die Quartär-Basis im Bereich des Heiligen Feldes konstruiert (siehe Abb. 3). Die Quartär-Basisfläche zeigt teilweise eine sehr lebhaft Morphologie, die im Wesentlichen auf die Auslaugungsprozesse im tieferen Untergrund zurückzuführen ist. Im Bereich der Subrosionssenke zeigt die Quartär-Basis eine ausgeprägte und sehr differenziert ausgestaltete Senke. Die Depression wird ungefähr durch die +10 m-Tiefenlinie umgrenzt und fällt bis auf unter -50 m NN ab. In diesen Bereichen werden Quartär-Mächtigkeiten von über 90 m erreicht. Da außerhalb der Subrosionssenke die Quartär-Basis zwischen +10 und +20 m NN liegt, ist der theoretische, auf die Subrosionsprozesse zurückzuführende quartärzeitliche Senkungsbetrag mit 60 bis 70 m anzusetzen. Die Flanken der Subrosionssenke sind überwiegend steil ausgebildet. Ein gleichsinniges Gesamtgefälle der rinnenartigen Struktur lässt sich ebenso wenig erkennen wie eine gleichmäßig eingetiefte Sohle. Stattdessen fallen mehrere, meist elliptisch geformte, übertiefte Karstrichter auf. Wie die Karte der Quartär-Basis zeigt, handelt es sich um lokale Senkungsstrukturen, die über keine Anbindung zu weiteren regionalen Senkungs- oder aber Rinnenstrukturen, wie z. B. der Vor-Osning-Rinne (THIERMANN 1974, SPEETZEN 1990) verfügen.

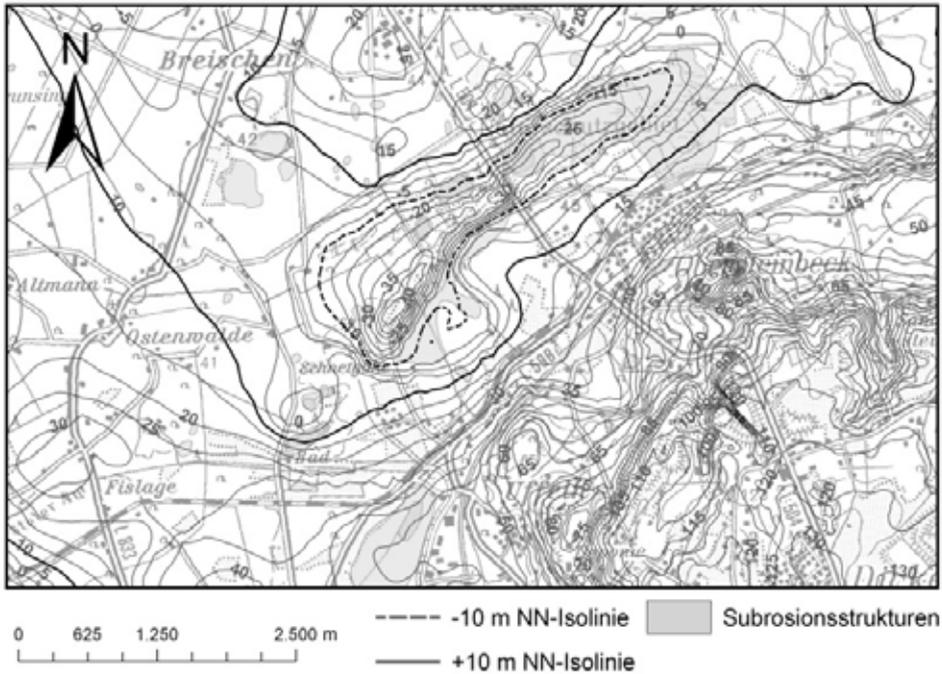


Abb. 3: Quartär-Basis und Subrosionsstrukturen (nach LOTZE 1957) im Bereich des Heiligen Feldes (Basislinien in Metern bez. NN, nach Bohrungen).

Durch geophysikalische Untersuchungen (Radio-Magneto-Tellurik) konnte BOSCH (2005) in einigen Teilbereichen der Subrosionssenke das Bild der Quartär-Basis verfeinern und ergänzen. In Abbildung 4 wird die Senkungsstruktur südwestlich des Großen Heiligen Meeres durch die unterschiedliche Tiefenlage der Quartär-Basis deutlich abgebildet. Es zeigt sich, dass nicht nur eine Absenkungsstruktur vorliegt, sondern es treten mehrere lokale Karstrichter auf. Die Flankenbereiche der lokalen Absenkungsstrukturen sind wesentlich steiler als bisher angenommen. Des Weiteren zeigen sich ebenfalls isolierte Bereiche, die als Hochlagen hervortreten. Hierbei handelt es sich vermutlich um „stehen gebliebene“ Karstzonen, unter denen sich möglicherweise unterirdische Hohlräume verbergen. Die geophysikalischen Untersuchungen bestätigen die Annahme, dass sich im Heiligen Feld keine durchgehende und einheitliche Senkungsstruktur entwickelt hat, sondern es liegt vielmehr ein sehr komplex strukturierter Absenkungsbereich vor.

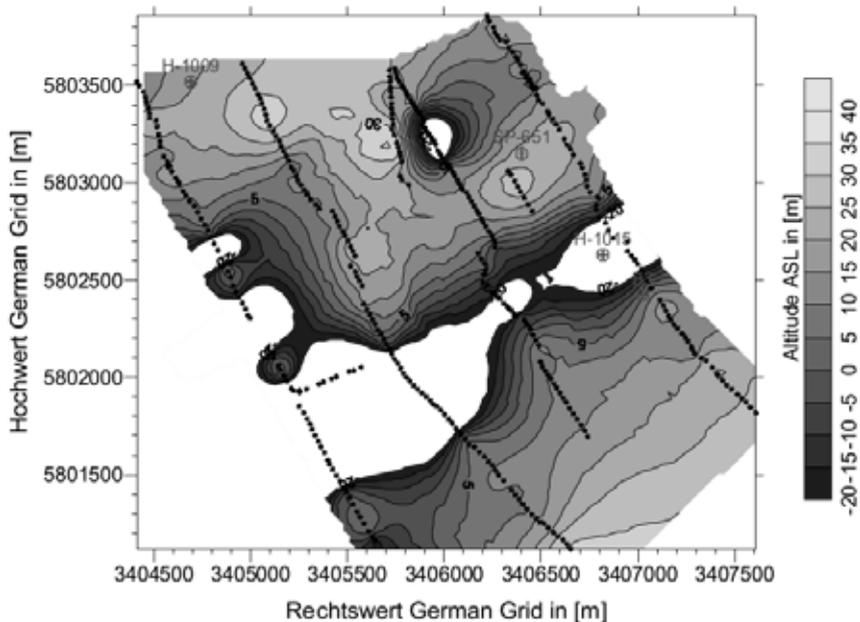


Abb. 4.: Quartär-Basis des Subrosionsgebietes des Heiligen Feldes nach Radio-Magnetik-Tellurik-Sondierungen (aus: BOSCH 2005).

3 Schichtenfolge der Subrosionssenke (Modell-Einheiten)

Die tertiär- und vor allem die quartärzeitliche Schichtenfolge der Subrosionssenke konnte durch ein umfangreiches Bohrprogramm stratigrafisch gegliedert, genetisch interpretiert und auch hinsichtlich ihrer spezifischen Mächtigkeiten detailliert beschrieben werden. Unter Zuhilfenahme von bohrlochgeophysikalischen Vermessungen konnten die geologischen Bohrprofile auch über größere Entfernungen innerhalb des Modellgebietes miteinander korreliert werden (DÖLLING & STRITZKE 2009: Abb. 7). Die tertiär- und quartärzeitliche Schichtenfolge im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes ist von DÖLLING & STRITZKE (2009) detailliert beschrieben worden, daher wird sie hier nur in tabellarischer Kurzform vorgestellt.

Die quartäre Schichtenfolge (vgl. Tab. 1) erreicht im Bereich der Subrosionssenke des Heiligen Feldes eine Mächtigkeit von maximal 95 m. Am Schichtenaufbau sind vorwiegend glazifluviatile, limnisch-fluviatile und glaziäre Ablagerungen beteiligt. Die Quartärabfolge beginnt im Bearbeitungsgebiet mit cromerzeitlichen Sedimenten. Unmittelbar darüber folgen die glazigenen Ablagerungen der Elster- und Saale-Kaltzeit, die durch die warmzeitlichen Ablagerungen des Holsteins getrennt werden. Die saalezeitlichen Nachschütsande werden durch eemzeitliche Sedimente überdeckt. Den Abschluss der Schichtenfolge bilden die Ablagerungen der Älteren Niederterrasse (Weichsel-Kaltzeit), die lithologisch dreigeteilt werden können. Lokal wird der Niederterrassekörper von Dünen- und Flugsanden überlagert. Tertiärzeitliche Sedimente sind nur in den tief-

sten Senkungsbereichen erhalten geblieben. Sie haben ein pliozänzeitliches Alter, vermutlich treten aber auch noch miozäne Sedimente auf, sie konnten aber bisher nicht nachgewiesen werden (DÖLLING & STRITZKE 2009).

Tab. 1: Schichtenfolge und Modelleinheiten im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes.

Schichtenfolge und Modelleinheiten						
Benennung und stratigrafische Zuordnung				Modell-einheit	Gesteinsausbildung	max. Mächtigkeit [m]
Quartär	Holozän bis Oberpleistozän		Dünen/ Flugsand	-	Fein- und Mittelsand	4
	Oberpleistozän	Weichsel	Talsand	1	Fein- und Mittelsand, stellenweise mit Einlagerungen von Grobsand	12
			Schluff-Folge	2	Schluff und Ton, feinsandig bis sandig	4
			Sand-Schluff-Wechsel-folge	3	Schluff, sandig, und Fein- und Mittelsand, schluffig	8
		Eem	ungegliedert	4	Schluff und Sand, z.T. tonig, mit Einschaltungen von Torf	8
	Mittelpleistozän	Saale	Nachschütt-sand	5	Fein- und Mittelsand, vereinzelt mit Schluffbänken, vereinzelt Einlagerungen von Grobsand und Kieslagen	25
			Grund-moräne	6	Ton, Schluff, z.T. mergelig, stellenweise mit Sand und Steinen	3,5
			Vorschütt-sand	7	Fein- bis Grobsand, z.T. Kieslagen, stellenweise auch mit Einlagerungen von Schluff	23
		Holstein	ungegliedert	8	Fein- und Mittelsand, z.T. mit Einschaltungen von Torf- und Tonlagen	17
		Elster-Komplex	ungegliedert	9	Fein- bis Grobsand, z.T. kiesig	25
Unter- bis Mittelpleistozän	Cromer-Komplex	ungegliedert	10	Schluff und Feinsand, z.T. tonig, Torflagen	4,6	
Tertiär	Pliozän	-	-	11	Feinsand, schluffig, tonig	2
Jura/ Kreide	Oberjura/ Unterkreide	Malm/ Berrias	Münder-Mergel	-	Ton- und Mergelstein, stellenweise dolomitisch, örtlich Kalkstein, Einschaltungen von Lagen von Steinsalz, Anhydrit und Gips	500

4 Methodik und Datenbasis

Für das Untersuchungsgebiet im Heiligen Feld wurden zunächst die vorhandenen Bohrdaten gesichtet, analysiert und im räumlichen Kontext bewertet. Als Ergebnis dieser Datenaufbereitung ergaben sich insgesamt 250 Bohrungen, die für die 3D-Modellierung nutzbar waren. Die Bohrungsdaten sind in der digitalen Bohrungsdatenbank (DABO) des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen eingestellt. Um eine möglichst gleichmäßige Datendichte bzw. -verteilung für das ca. 12,5 km² große Untersuchungsgebiet zu erreichen, wurden seitens des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen zusätzlich 39 Kleinbohrungen, 10 Spülbohrungen und 3 Rammkernbohrungen niedergebracht (DÖLLING & STRITZKE 2009: Abb. 3). Das Ziel dieser Bohrungen war die Klärung von Stratigrafie, Genese und Mächtigkeit der im Heiligen Feld vorkommenden quartär- sowie untergeordnet tertiärzeitlichen Lockergesteine. Ergänzend zur Geländeansprache wurden verschiedene Analyseverfahren (Paläontologische Altersbestimmung, Korngrößenanalysen, Schwermineralanalysen, etc.) eingesetzt, um noch offen gebliebene Fragen zu klären und um die Geländebefunde zu erhärten. Darüber hinaus wurden die Informationen aus der Geologischen Karte Blatt 3611 Hopsten der GK 25 (THIERMANN 1975a) und regionalgeologische Arbeiten ausgewertet (z. B. WEGNER 1913, TIETZE 1914, LOTZE 1957, THIERMANN 1975b, 1987). Als fachliche Grundlage für den Aufbau des digitalen 3D-Modells diente die Konstruktion vernetzter Profilschnitte (siehe Abb. 5). Die in den Profilschnitten ausgehaltenen lithostratigrafischen Schichteinheiten wurden als Modelleinheiten für die 3D-Modellierung übernommen (vgl. Tab. 1). Aus den Informationen der konstruierten Profilschnittserien und den zugehörigen Schichtverbreitungsgrenzen wurden für jede Modelleinheit Basis- und Topflächen konstruiert, aus denen anschließend geologische Körper berechnet wurden, die im Einklang mit allen verfügbaren Oberflächen- und Untergrunddaten stehen. Der Modellrahmen wurde dahingehend definiert, dass er den gesamten Senkungsbereich umfasst. Die erweiterte Depressionsstruktur wird ungefähr durch die +10 m-Tiefenlinie der Quartär-Basis umgrenzt (vgl. Abb. 3).

5 3D-Modellierung

Mithilfe der Modellierungs-Software goCAD wurde ein lückenloses und konsistentes 3D-Modell entwickelt, welches die Lage und Verbreitung der wichtigsten quartärzeitlichen sowie im tieferen Untergrund auch tertiärzeitlichen Ablagerungen im Heiligen Feld wiedergibt. Die Oberfläche des Modells wird durch ein digitales Geländemodell (DGM) definiert. Heutzutage wird die 3D-Modellierung auch des oberflächennahen Untergrundes immer häufiger als arbeitsmethodischer Ansatz in der Geologie eingesetzt (vgl. BOMBIEN et al. 2008). Die Vorteile dieser Arbeitsweise liegen vor allem darin, dass:

- die geologischen Strukturen des Subrosionsgebietes in widerspruchsfreier und konsistenter Abbildung verfügbar werden.
- die Nutzer bei verschiedenen fachlichen Fragestellungen auf der Basis eines geologischen Modells arbeiten können. Individuelle „Gedankenmodelle“, die in der fachlichen Kommunikation häufig zu Missverständnissen führen, sind entweder nicht mehr notwendig oder können mit dem 3D-Modell direkt abgeglichen werden.

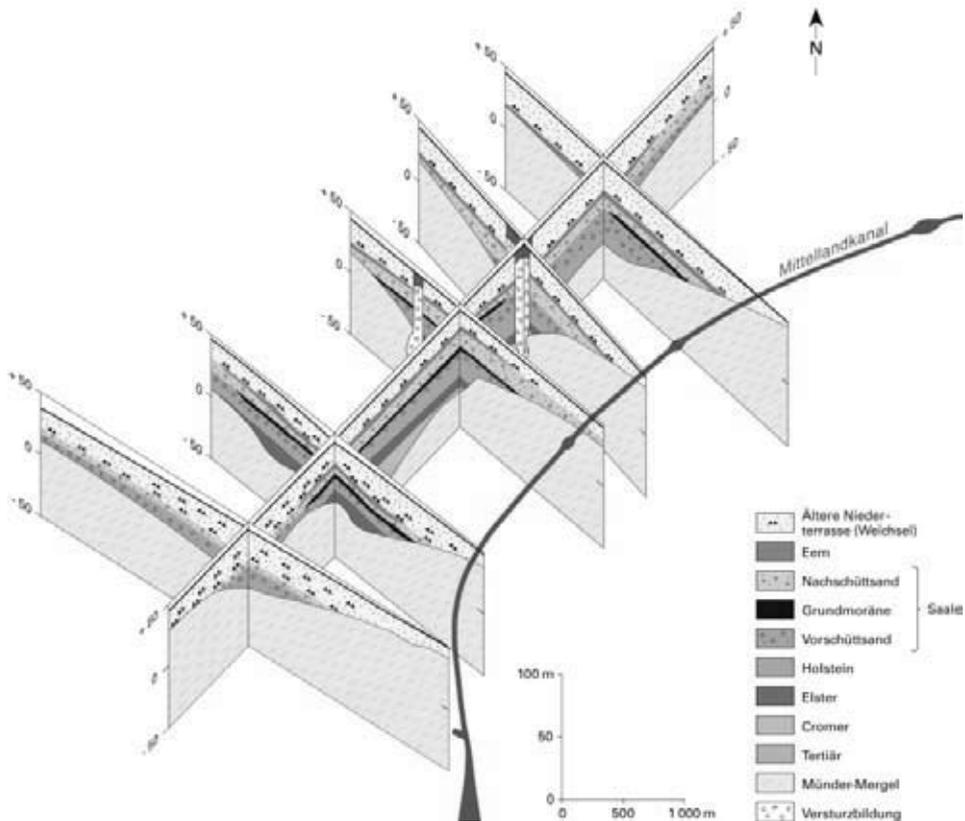


Abb. 5: Vernetzte geologische Profile im Bereich des Heiligen Feldes (aus: DÖLLING 2009).

- alle für das 3D-Modell des Subrosionsgebietes relevanten Daten, insbesondere Bohrungen, im räumlichen Kontext betrachtet, bearbeitet und interpretiert werden. Als Ergebnis erhält man eine abgestimmte und konsistente Interpretation der Ausgangsdaten. Dies führt in der Regel auch zu einer deutlichen Qualitätsverbesserung der Datenbasis.
- in die Bearbeitung verschiedenste Informationsquellen (Bohrungen, Schnitte, Karten, geophysikalische Messergebnisse, Analysedaten, etc.) direkt integriert werden können.
- die Modelldaten an andere Systeme für spezielle Bearbeitungen oder Auswertungen, wie z. B. hydrogeologische Strömungsmodellierungen, übergeben werden können.
- neue Erkenntnisse (z. B. aus Bohrungen) direkt in das Modell integriert werden können und damit eine Weiterentwicklung des Modells ermöglichen.

In den folgenden Abbildungen 6, 7 und 8 sind verschiedene visuelle Eindrücke des berechneten 3D-Modells des Subrosionsgebietes wiedergegeben.

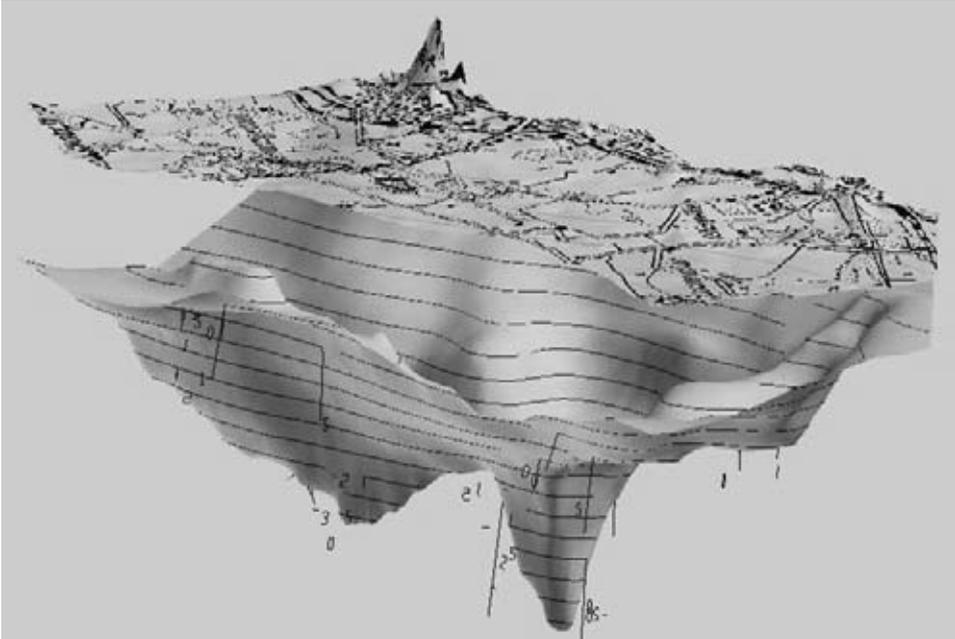


Abb. 6: 3D-Modell der Quartär-Basis der Subrosionssenke des Heiligen Feldes und des darüber liegenden DGM-Höhenmodells (Blickrichtung nach NE, Überhöhung 25-fach).

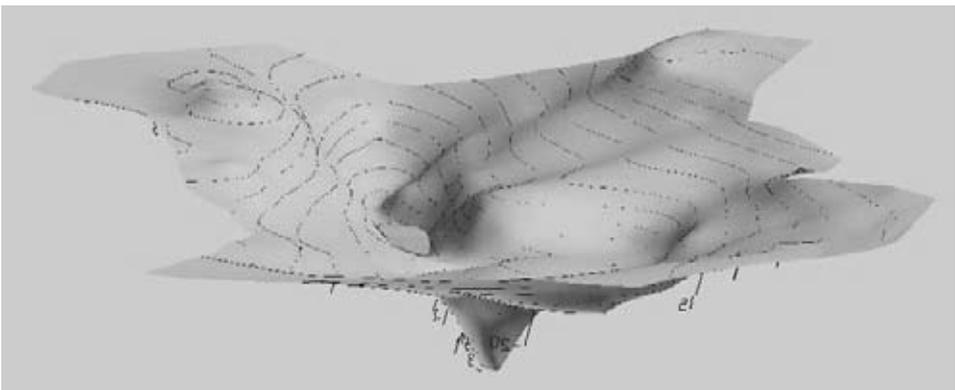


Abb. 7: Modell-Lage der cromerzeitlichen Ablagerungen (dunkelgrau) in den tiefen Karsttrichtern des Heiligen Feldes. Das DGM-Höhenmodell ist abgedeckt und die Quartär-Basisfläche wird sichtbar (Blickrichtung nach NE, 25-fach überhöht).

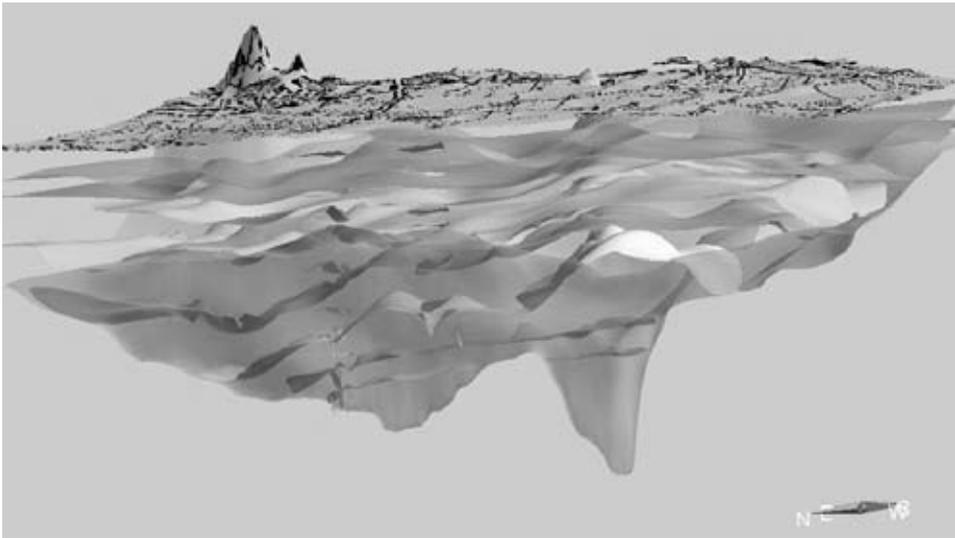


Abb. 8: 3D-Modellierung der Subrosionszone des Heiligen Feldes (Blickrichtung nach E, Überhöhung 25-fach). Dargestellt sind die Oberflächen der jeweiligen Modelleinheiten.

Digitale 3D-Modelle eröffnen somit völlig neue Möglichkeiten, die komplexen Zusammenhänge der geologischen Verhältnisse im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes zu verstehen und anwendungsbezogene Darstellungen zu erzeugen. Diese sind für angewandte Fragestellungen wie beispielsweise zur Georisikobewertung äußerst wertvoll, weil sie u. a. die Voraussetzung für weitere numerische Modellierungen sind.

6 Sedimentationsdynamik im Heiligen Feld

Die erste Anlage von Subrosionsstrukturen im Heiligen Feld ist durch pollenanalytische Untersuchungen bereits im Pliozän nachweisbar (DÖLLING & STRITZKE 2009). Damit dürfte mit dem ausgehenden Tertiär ein erster Schwerpunkt der Auslaugungsprozesse gegeben sein. Nach CAT (1992) sind die folgenden quartärzeitlichen Klimaveränderungen offenbar nicht ohne Einfluss auf das Ausmaß der Lösungs- und Korrosionsprozesse der Karstgebiete geblieben. Insbesondere in den wärmeren und niederschlagsreichen Klimaabschnitten, d. h. den interglazialen Zeitabschnitten ist eine verstärkte Subrosionsdynamik zu erwarten. Hingegen dürfte es während der Kaltzeiten des Elsters, des Saales und des Weichsels aufgrund der tiefen Gefrorenis (Permafrostboden) zu einer starken Einschränkung des Grundwasserzustroms und damit auch der Auslaugungsprozesse gekommen sein. Der Untergrund in Permafrostgebieten ist meist mehr als 100 m tief gefroren. Im Norden Sibiriens reicht der Dauerfrost stellenweise sogar tiefer als 1500 m hinab (KLOSTERMANN 2009: 184). Das Optimum für die Bildung von Erdfällen ist somit an wärmere und niederschlagsreiche Klimaperioden gebunden. Die verstärkte Akkumulation von Interglazial-Sedimenten in den Senkungszonen des Heiligen Feldes bestätigen die o. g. Beobachtungen. Insbesondere in den Warmzeiten des Cromer-Kom-

plexes, des Holsteins und des Eems wurden die salinaren Serien des im tieferen Untergrund anstehenden Münder-Mergels verstärkt abgelaugt (DÖLLING & STRITZKE 2009). Diese Einschätzung der Subrosionsprozesse deckt sich weitgehend mit Beobachtungen über das Subrosionsgeschehen in Ostwestfalen und in Hessen (FARRENSCHON 1998, DEUTLOFF & STRITZKE 1999, ADERHOLD 2005). In den sich jeweils bildenden Senkungsbereichen des Heiligen Feldes sammelten sich organische Sedimente, die durch ihre spezifische Tiefenlage vor einer nachfolgenden Erosion geschützt waren. Lage und Ausdehnung dieser fossilen Subrosionsssenken können den Abbildungen 7 und 9 bis 12 entnommen werden. Die Vielzahl rezenter Erdfallereignisse im Heiligen Feld weist daraufhin, dass wir uns gegenwärtig in einer weiteren Phase bevorzugter Auslaugung und Erdfalltätigkeit befinden.

Für eine differenzierte Abschätzung der Sedimentationsdynamik im Subrosionsgebiet werden exemplarisch die modellierten Basis- und Mächtigkeitkarten der holstein- und der eemzeitlichen Ablagerungen herangezogen. Sie spiegeln das Vorhandensein fossiler Subrosionsstrukturen im Heiligen Feld wider.

6.1 Holstein-Warmzeit

Die holsteinzeitlichen Ablagerungen konzentrieren sich in ihrer Verbreitung vornehmlich auf die am tiefsten abgesenkten Bereiche der Subrosionszone. Auffällig sind die relativ starken Schwankungen in der Mächtigkeitsverteilung. Die Holstein-Ablagerungen erreichen eine Mächtigkeit von maximal 17 m. Im Mittel schwanken die Mächtigkeiten zwischen 8 und 12 m. Lokal gehen sie auf unter 2 m zurück (vgl. Abb. 9).

Die Holstein-Basis (vgl. Abb. 10) weist eine sehr lebhaft Morphologie auf. Während die Basis im Süden des Verbreitungsgebietes bei +7,5 m NN liegt, sinkt sie nach Nordosten hin stark ab und liegt bei -20 m NN. Die sehr differenziert ausgebildete Holstein-Basis zeichnet die unterschiedliche Absenkungsdynamik im Subrosionsgeschehen nach. Der starke Wechsel engräumig gelegener Tief- bzw. Hochgebiete zeigt, dass sich die Depression sehr ungleichmäßig absenkte. In den größten Tieflagen befinden sich gleichzeitig auch die größten Sediment-Mächtigkeiten. Dies belegt, dass zumindest für das Holstein in den Absenkungsbereichen auch die größten Sedimentakkumulationen stattfanden.

Während vom Niederrhein zahlreiche, detailliert analysierte Funde von Sedimenten aus der Holstein-Warmzeit vorliegen (KLOSTERMANN 1992: 79 - 92), sind in der Region des nördlichen Münsterlandes nur isoliert stehende Einzelfunde entsprechend stratigrafisch eingestuft worden (u. a. THIERMANN 1970a, 1970b, BAECKER 1963, LOTZE 1954). Palynologisch untersuchte Profile liegen dort nicht vor. Holsteinzeitliche Sedimente sind innerhalb der Westfälischen Bucht vor allem in Form von basalen Rinnenfüllungen („Unterer Schneckensand“ nach THIERMANN 1970a) erhalten geblieben (z. B. BAECKER 1963, LENZ 1997).

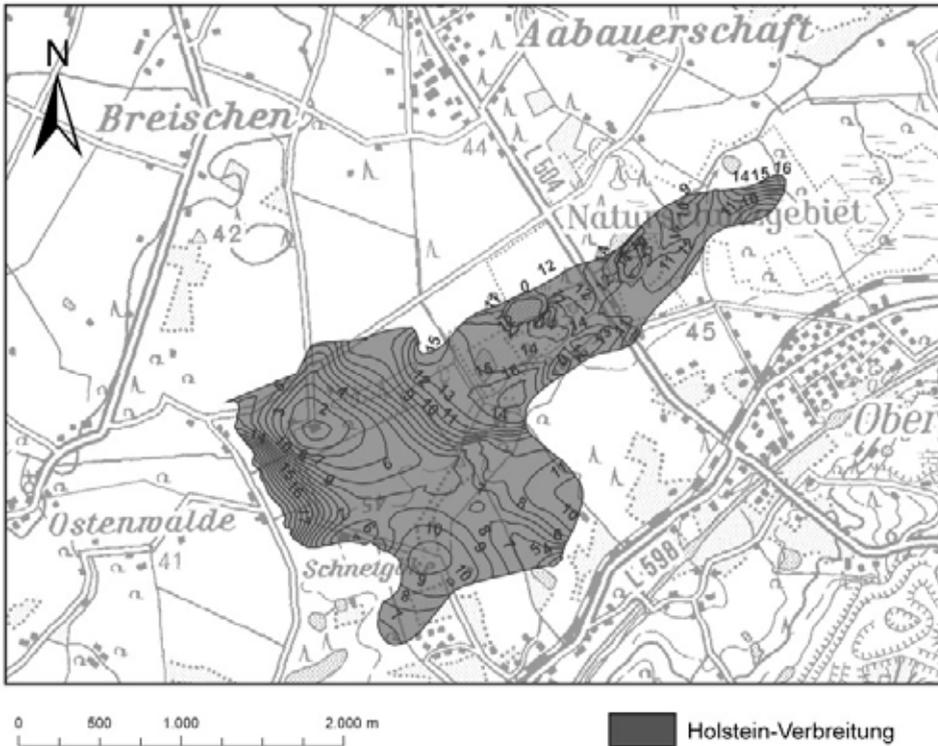


Abb. 9: Holstein-Mächtigkeiten im Untergrund des Heiligen Feldes (Angaben in Metern).

Nach KLOSTERMANN (2009: 94 - 95) dürften die Niederschlagsmengen und die Temperaturen während der Holstein-Warmzeit über den heutigen gelegen haben. Dies lässt sich aus dem Pollen-Vorkommen von *Pterocarya* (Flügelnuss), *Tsuga* (Hemlocktanne), *Carpinus* (Hainbuche) sowie *Abies* (Tanne) schließen (FRENZEL 1967). Danach sollten die Jahresniederschlagsmengen um mindestens 200 mm über den heutigen gelegen haben. BERNER et al. (1995: 77) geben für die Juli-Mitteltemperaturen ca. 20°C an. Das holsteinzeitliche Klima war also wärmer und deutlich ozeanischer geprägt als das heutige und bot daher klimatisch gesehen optimale Bedingungen für eine intensive Erdfalltätigkeit.

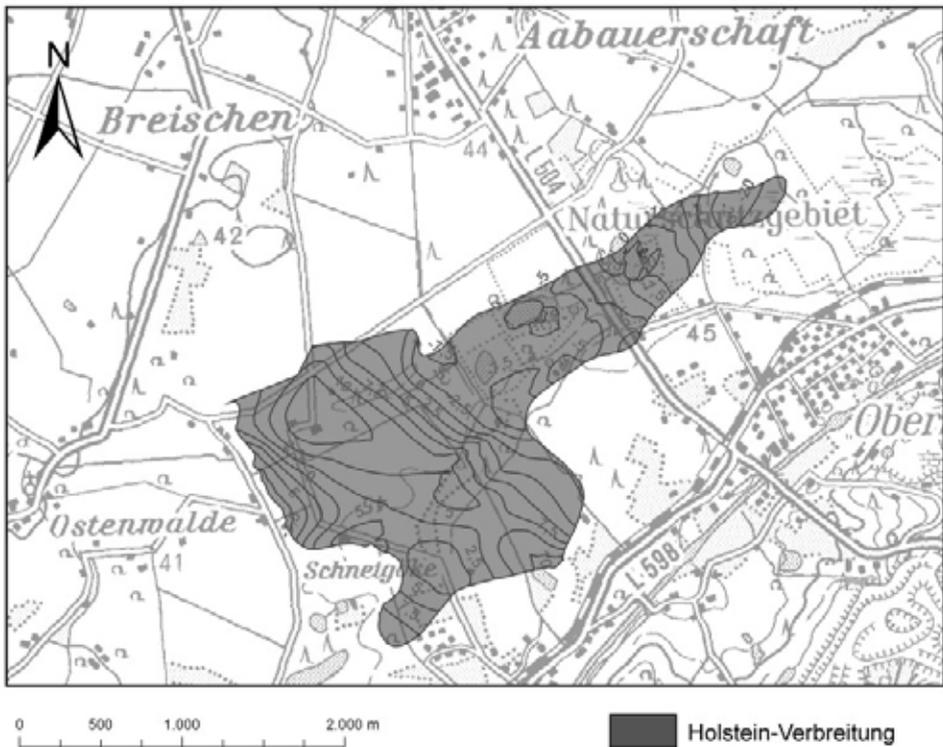


Abb. 10: Tiefenlage der Holstein-Basis im Bereich des Heiligen Feldes (Angaben in Metern bez. NN).

6.2 Eem-Warmzeit

Eemzeitliche Ablagerungen sind im Untergrund des Subrosionsgebietes weit verbreitet (siehe Abb. 11). Die Mächtigkeiten betragen im Durchschnitt 2 bis 3 m. Die größten Eem-Mächtigkeiten von max. 8 m treten nördlich des sogenannten Großen Heiligen Meeres auf. Die Mächtigkeitschwankungen der eemzeitlichen Sedimente sind insgesamt gesehen relativ gering.

Die Eem-Basisfläche liegt zwischen +22,5 m NN im südöstlichen Verbreitungsgebiet und max. +30 m NN im zentralen Bereich. Die Morphologie der Eem-Basis ist nicht so lebhaft ausgestaltet wie die der Holstein-Basis. Es zeichnen sich keine markanten Absenkungstrichter ab. Während der Eem-Warmzeit herrschte vermutlich mehr flächenhafte Subrosion vor, während die Bildung lokaler Erdfallstrukturen möglicherweise in den Hintergrund trat.

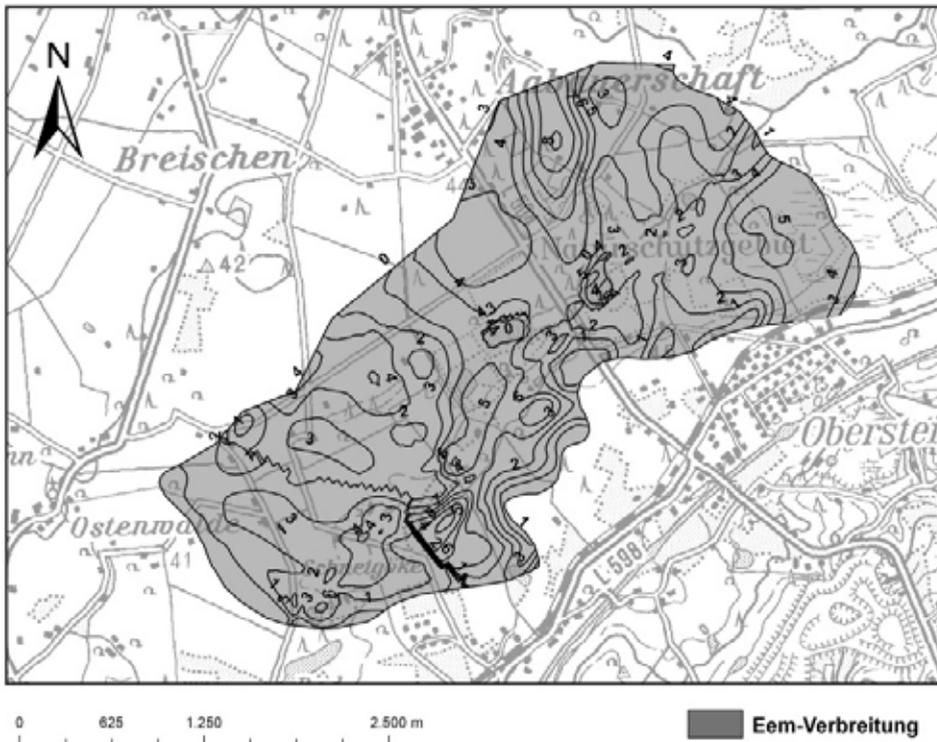


Abb. 11: Verbreitung und Mächtigkeit der eemzeitlichen Ablagerungen im Bereich des Heiligen Feldes (Angabe in Metern).

Stratigrafisch eindeutig aus dem Eem stammende Ablagerungen sind im Münsterland nur selten bekannt geworden. Für die Eem-Warmzeit wird bei stärker humidem Klima und geschlossener Vegetationsdecke eine deutliche Tiefenerosion angenommen (vgl. SPEETZEN 1990: 15, LENZ 1997: 50, GEOLOGIE IM MÜNSTERLAND 1995). In jener Zeit prägte sich das nach Nordwesten ausgerichtete Flusssystem der Westfälischen Tieflandsbucht durch Einschneiden der Täler weiter aus. Dabei wurden die holstein- und saalezeitlichen Ablagerungen zum Teil ausgeräumt.

Aus Pollenanalysen lassen sich für die Eem-Warmzeit sommerliche Maximaltemperaturen ableiten, die mit 20°C um 3 – 4 K über heutigen Werten liegen, und Wintertemperaturen, die 2 K höher sind als heutige (BERNER et al. 1995: 78, FRENZEL 1990: 51). Auch verschiedene faunistische Hinweise deuten auf höhere Temperaturen hin, die zugleich mit größeren Niederschlägen verbunden sind (EHLERS 1994: 192). Offenbar bestanden während der Eem-Warmzeit gleichfalls gute klimatische Voraussetzungen für Subrosionsprozesse.

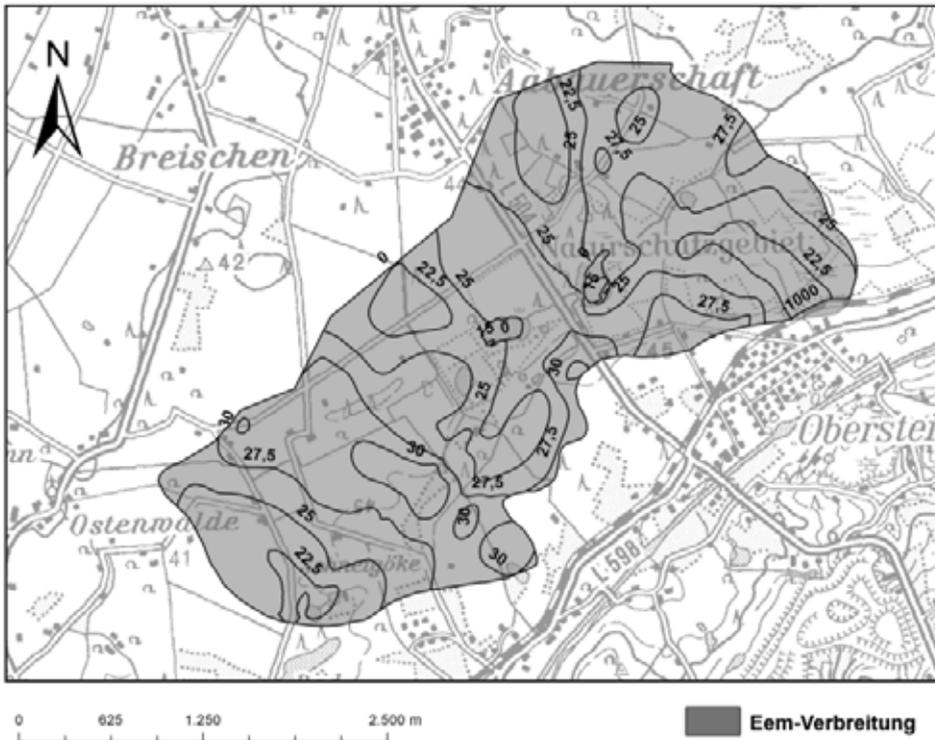


Abb. 12: Tiefenlage der Eem-Basis im Bereich des Heiligen Feldes (Angaben in Metern bez. NN).

7 Betrachtung der Erdfalldynamik im Heiligen Feld

Im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes treten als verkarstungsfähige Gesteine nicht nur Sulfate in Form von Anhydrit (CaSO_4) und von Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) auf, sondern auch Chloride in Form von Steinsalz (NaCl). Aufgrund der relativ mächtigen Quartärüberdeckung spricht man von bedecktem Karst (ADERHOLD 2005), der hier als Kombination aus Sulfat- und Salinarkarst ausgebildet ist. Die primäre Hohlrumbildung in diesen Gesteinen entwickelt sich in mehreren Stadien. Die Wässer und Salzlösungen zirkulieren in den Nebengesteinen bzw. Grenzungen zwischen Nebengestein und Salinar und greifen das Salinar seitlich, von oben, unten oder im Sinne der irregulären Auslaugung (WEBER 1930) über tektonische Störungszonen an. Allmählich bildet sich eine Laughöhle mit meist trapezförmigem Querschnitt. An der Decke der Laughöhle befindet sich das leichte, aggressive Wasser mit hohem Lösungsvermögen. Diese Zone wird von immer schwerer werdenden Wässern mit wachsendem Anteil gelöster Substanz unterschichtet. Hat die Laughöhle einen bestimmten Durchmesser erreicht, kommt es zu Firstfällen. Das eingebrochene Gesteinsmaterial wird gelöst. Unlösliche Rückstände bilden zusammen mit den Karbonaten, die noch während der Lösung der Sulfate gefällt werden, die Residuen. Das verstürzte Material häuft sich sukzessive in der Höhle langsam an. Bricht die Firstfläche weiter nach oben, geht die Höhle in das letzte Stadium ihrer Entwicklung, das

Erdfallstadium, über (HOHM 1979, ADERHOLD 2005, PRINZ & STRAUSS 2006). Die Korrosionsgeschwindigkeit in Karstgebieten ist dabei in erster Linie vom Wasserdargebot und der Fliessgeschwindigkeit abhängig (PRINZ & STRAUSS 2006). Im Folgenden wird für das Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes versucht die geomechanischen Vorgänge und Bruchprozesse zu beschreiben und semiquantitativ einzuordnen.

Wird das verkarstungsfähige Festgestein von Lockermaterial überlagert (bedeckter Karst), bricht das Lockergestein in einem zylinderförmigen Einsturzkörper in den Sekundärhohlraum ein (siehe Abb. 13). Der Radius r dieses Einsturzkörpers ist nach KAMMERER (1962: 69 – 70) bei rolligem Material abhängig von den Reibungskräften zwischen dem einbrechenden Versturzmateriale und umgebenden Gestein sowie dem Raumgewicht des Lockergesteins:

$$r = \frac{2\rho}{\gamma}$$

ρ = Reibungs- und Kohäsionskräfte

γ = Raumgewicht

Das Primärvolumen $V_{\text{primär}}$ eines unterirdischen Hohlräume ergibt sich nach ADERHOLD (2005) aus:

$$V_{\text{primär}} = V_{\text{final}} + V_{\text{aufgelockert}} \text{ [m}^3\text{]}$$

Die Differenz zwischen $V_{\text{primär}}$ und $V_{\text{aufgelockert}}$ ergibt das potenzielle Finalvolumen V_{final} des an der Oberfläche erscheinenden Erdfalles:

$$V_{\text{final}} = V_{\text{primär}} - V_{\text{aufgelockert}} \text{ [m}^3\text{]}$$

Im praktischen Fall wird der Primärhohlraum eines Erdfalls im Untergrund nicht bekannt sein. Dagegen lässt sich aus geologischen Profilen die Tiefe des verkarstungsfähigen Gesteins abschätzen. Die Geometrie des Erdfalles und damit das Finalvolumen lassen sich im Gelände ermitteln. Das nachbrechende Material, welches zum größten Teil im Einsturztrichter verbleibt, erfährt nach ADERHOLD (2005: 23) eine Auflockerung von 5 – 10%. Dieses aufgelockerte Mehrvolumen wird im unterirdischen Hohlraum aufgenommen. Als Berechnungsbeispiel sei hier das Primärvolumen für den rezenten Erdfall vom 14. April 1913 im Bereich des Heiligen Feldes angeführt. WEGNER (1913) gibt einen Durchmesser von ca. 110 m, bei einer durchschnittlichen Tiefe von 12 m an. Hieraus ergibt sich folgende Volumenberechnung:

$$V_{\text{primär}} = V_{\text{final}} (\pi \times 55 \text{ m}^2 \times 12 \text{ m}) + V_{\text{aufgelockert}} (10 \%) \approx 1,15 \text{ Mill. m}^3$$

Nach ADERHOLD (2005) hat der sich ausbildende Primärhohlraum durch Zusammenbrechen von Gesteinspfeilern aufgrund optimaler Spannungsaufnahme das Bestreben sich zu einer Halbkugel auszuformen. Das Volumen einer Halbkugel beträgt:

$$V_{\text{primär}} = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \text{ [m}^3\text{]}$$

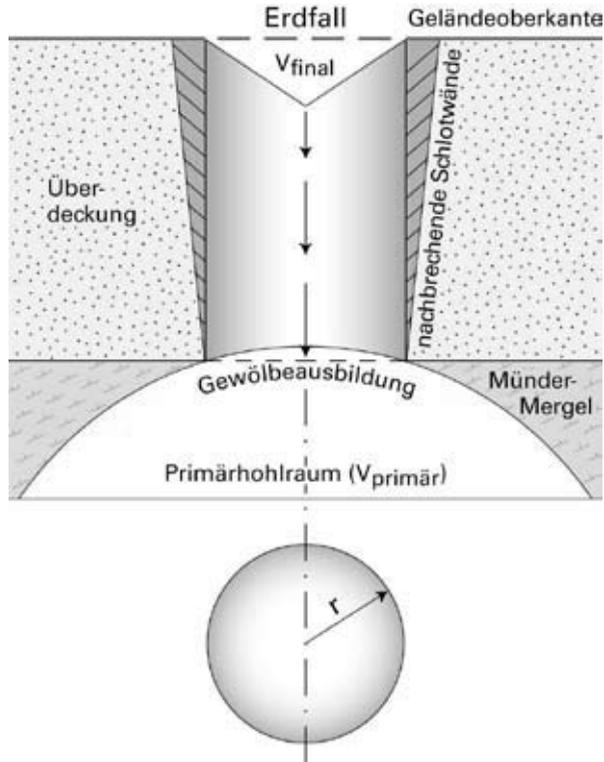


Abb. 13: Durchbruch eines Erdfalles durch die Lockergesteinsüberdeckung (bedeckter Karst; verändert nach KAMMERER 1962 und ADERHOLD 2005).

Daraus resultiert für den primären unterirdischen Hohlraum des Erdfalls von rund 1,15 Mill. m³ ein Radius von mindestens $r \approx 65$ m. Die maximalen Hohlraumgrößen und -höhen ergeben sich aus den Primärmächtigkeiten der löslichen Gesteine. Da im unmittelbaren Subrosionsgebiet keine entsprechenden Tiefbohrungen vorliegen, werden aus Analogieschlüssen die Tiefbohrungen Schierloh 1 und 2 (SCHUSTER 1971) herangezogen, die ca. 10 km südwestlich des Heiligen Feldes niedergebracht wurden. Nach SCHUSTER (1971) betragen die maximalen Mächtigkeiten der Gipse und Anhydrite im Münder-Mergel etwa 15 m und die des Steinsalzes ca. 60 m. Unter Berücksichtigung dieser Mächtigkeitsverhältnisse erweisen sich die oben aufgeführten Berechnungen als durchaus realistisch.

7.1 Abschätzung der Auslaugungsgeschwindigkeit

Bei geologischen Vorgängen ist es wichtig zu wissen, wie viel Zeit sie in Anspruch nehmen. Bei der Auslaugung ist dieses Problem auch von sicherheitstechnischer Relevanz. Wird davon ausgegangen, dass das Volumen des engeren Einsenkungsbereiches der Subrosionszone ($= V_{\text{final}}$) gleich dem Volumen der bisher gelösten Salze und Sulfate des Münder-Mergels entspricht ($= V_{\text{primär}} - V_{\text{aufgelockert}}$), so lässt sich deren Volumen auf $11,19 \times 10^7 \text{ m}^3$ berechnen. Die Berechnung erfolgte auf der Grundlage der durchgeführten 3D-Modellierung. Der engere Einsenkungsbereich wurde durch die Umgrenzung der -10 m NN Tiefenlinie der Quartär-Basis definiert (vgl. Abb. 3). Unter der Berücksichtigung, dass grob gesehen erst mit Beginn des Quartärs (Beginn vor 2,6 Millionen Jahren, LITT et al. 2007) die Subrosionsprozesse verstärkt einsetzen, sich die Auslaugungsprozesse im Wesentlichen auf die Interglazialzeiten konzentrierten (CATT 1992) und sie bis in die heutige Zeit fort dauern, so berechnet sich die jährliche Auslaugungsrate auf ca. 100 m^3 .

Das Volumen der im Bereich des Heiligen Feldes vorhandenen auslaugungsfähigen Gesteine lässt sich bei einer Verbreitung von ca. $2,65 \text{ km}^2$ (engerer Bereich der Subrosionszone) und einer durchschnittlichen Mächtigkeit der Salinarserien von 60 m auf rund 47 Millionen m^3 abschätzen (abzüglich des bereits abgelaugten Materials). Das heißt, eine vollständige Auslaugung der Salinarserien des Münder-Mergels im engeren Subrosionsbereich des Heiligen Feldes ist erst in ca. 470.000 Jahren zu erwarten. Die genannten Werte sind selbstverständlich nur als sehr grobe Schätzwerte zu verstehen. Dennoch vermitteln sie eine gewisse Vorstellung über die Größenordnungen der beschriebenen Auslaugungsvorgänge im Bereich des Heiligen Feldes.

7.2 Fazit und Ausblick

Eine exakte räumliche Erfassung der komplex aufgebauten tertiär- und quartärzeitlichen Sedimentabfolge im Subrosionsgebiet des Heiligen Feldes war in der Vergangenheit schwierig, wenn nicht sogar unmöglich. Erst die Entwicklung eines quartärgeologischen 3D-Modells ermöglicht es, die geologischen Strukturen des Heiligen Feldes in widerspruchsfreier und konsistenter Abbildung verfügbar zu machen. Darüber hinaus sind hierdurch erste Ansätze einer semiquantitativen Abschätzung der Subrosionsprozesse möglich. Ein Ausblick auf weiterführende Arbeiten umfasst folgende Schwerpunkte:

- Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse soll die Struktur und Genese des Subrosionsgebietes durch weitergehende 3D-Modellierung hinsichtlich Hohlräum- bildung, Auflockerungszone und Verfüllung der Hohlräume rekonstruiert werden.
- Es sollen Rückschlüsse auf mögliche zukünftige Erdfallbildungen gezogen und auf andere Subrosionsgebiete übertragen werden (z. B. Bewertung von Georisiken).
- Die geogenen Prozesse und die sich daraus entwickelnden Strukturen und Grundwasserfließsysteme sollen mittels geohydraulischer Modellierung sowie Stofftransportberechnung dargestellt werden.

Literatur:

- ADERHOLD, G. (2005): Klassifikation von Erdfällen und Senkungsmulden in karstgefährdeten Gebieten Hessens. - Geol. Abh. Hessen, **115**: 100 S., 46 Abb., 18 Tab., 2 Anl., 1 Beil.; Wiesbaden.
- BAECKER, P. (1963): Über altpleistozäne Flußrinnen und einige andere Probleme des Pleistozäns im Münsterland. - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **117**: 59 - 88, 10 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.
- BERNER, U., DELISLE, G. & STREIF, H. (1995): Klimaänderungen in geologischer Zeit. - Z. f. angew. Geol., **41**: 69 - 82; Stuttgart.
- BOMBIEN, H., LADEMANN, K. & REIMANN, R. (2008): Ein quartärgeologisches 3D-Modell im östlichen Allertal bei Wolfsburg. - 75. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutschen Geologen vom 13. - 16. Mai 2008 in Hannover: S. 19 - 21, 1 Abb.; Tagungsband und Exkursionsführer; Hannover.
- BOSCH, F. P. (2005): Applicability of RMT, VES and Dual Loop EM for the mapping of a Quaternary buried valley in the area "Heiliges Feld" (NRW, Germany). - Proceed. of the Elektromagnetische Tiefenforschung, Haus Wohldenberg, Holle, Germany, 3. - 7.10.2005, 21, Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V.: 365 - 372.
- CATT, J.A. (1992): Angewandte Quartärgeologie. - 358 S., 129 Abb., 14 Farbtaf., 31 Tab.; Stuttgart (Enke).
- DEUTLOFF, O. & STRITZKE, R. (1999): Pleistozän-Geologie und Palynostratigraphie in Subrosions-senken Ostwestfalens. - Eiszeitalter u. Gegenwart, **49**: 84 - 101, 8 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- DÖLLING, M. & STRITZKE, R. (2009): Geowissenschaftliche Untersuchungen im Subrosionsgebiet des „Heiligen Feldes“ (nördliches Münsterland, Nordwestdeutschland). - Geol. u. Paläont. Westf.; **72**: 31 - 70, 24 Abb.; 3 Tab.; Münster.
- DÖLLING, M. (2009): Das quartärgeologische 3-D-Untergrundmodell des Subrosionsgebietes „Heiliges Feld“ (nördliches Münsterland, Nordwestdeutschland).- 76. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen vom 2. - 5. Juni 2009 in Utrecht: S. 42 - 43, 1 Abb.; Tagungsband und Exkursionsführer; Utrecht (TNO, NL).
- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - 358 S., 176 Abb., 16 Tab.; Stuttgart (Enke).
- FARRENSCHON, J. (1998): Ursachen und Folgen großräumiger Hohlraumbildungen durch Salinkarst und Salzabwanderung im tiefen Untergrund des Lippeschen Berglandes. - Lipp. Mitt. Gesch. u. Landeskd., **67**: 283 - 308, 7 Abb., 3 Tab.; Detmold.
- FRENZEL, B. (1967): Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. - 291 S., 107 Abb., 23 Tab.; Braunschweig (Vieweg).
- FRENZEL, B. (1990): Das Klima des letzten Interglazials in Europa. - In: FRENZEL, B. [Hrsg.]: Klimageschichtliche Probleme der letzten 130.000 Jahre: 51 - 78, 13, Abb.; Stuttgart.
- GEOLOGIE IM MÜNSTERLAND (1995). - 195 S., 50 Abb., 6 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh-Westf.).
- HOHM, D. (1979): Über Erdfälle am nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und Osterode am Harz (Niedersachsen). - Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover, **17**: 222 Seiten, 11 Taf.; Hannover.
- KAMMERER, F. (1962): Ingenieurgeologische Methoden in Erdfall- und Senkungsgebieten.- Freib. Forsch.-H., **C 127**: 51 - 109, 50 Abb.; Berlin.
- KLOSTERMANN, J. (1992): Das Quartär der Niederrheinischen Bucht. - 200 S., 30 Abb., 8 Tab., 2 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Zugl. Habil.-Schr. Univ. Münster 1991]
- KLOSTERMANN, J. (2009): Das Klima im Eiszeitalter.- 2. Aufl., 260 S., 98 Abb., 7 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- LENZ, A. (1997), mit Beitr. von GAWLIK, A., MILBERT, G. & PAHLKE, U.: Erläuterungen zu Blatt 4116 Rietberg. - Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **4116**: 136 S., 17 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

- LITT, T., BEHRE, K.-E., MEYER, K.-D., STEPHAN, H.-J. & WANSA, S. (2007): Stratigraphische Begriffe für das Quartär des norddeutschen Vereisungsgebietes. - *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **56/1-2**: 7 - 65, 6 Abb.; Hannover.
- LOTZE, F. (1954): Das Quartär zwischen Ems und Osning östlich von Rheine. - *N. Jb. Geol. Pal., Mh.*, **1953**: 145 - 152, 2 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- LOTZE, F. (1957): Zur Geologie der Senkungszone des Heiligen Meeres (Kreis Tecklenburg). - *Abh. Landesmus. Naturkde. Münster*, **18**: 3 - 36, 10 Abb., 4 Taf.; Münster.
- PRINZ, H. & STRAUSS, R. (2006): Abriß der Ingenieurgeologie, 4. bearb. und erw. Auflage. - XIV, 671 S., zahlr. Abb., Tab.; Heidelberg.
- SCHUSTER, A. (1971): Die westliche und südwestliche Umrandung der Ibbenbürener Karbonscholle. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, **18**: 293 - 352, 6 Abb.; Krefeld.
- SPEETZEN, E. (1990): Die Entwicklung der Flußsysteme in der Westfälischen Bucht (NW-Deutschland) während des Känozoikums. - *Geol. u. Paläont. Westf.*, **16**: 7 - 25, 16 Abb., 1 Tab.; Münster/Westf.
- THIERMANN, A. (1970a), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.: Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. - *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **3712**: 243 S., 22 Abb., 10 Tab., 7 Taf.; Krefeld.
- THIERMANN, A. (1970b), mit Beitr. von KOCH, M. & WILL, K.-H.: Erläuterungen zu Blatt 3711 Bevergern. - *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **3711**: 120 S., 9 Abb., 6 Tab., 5 Taf.; Krefeld.
- THIERMANN, A. (1974): Zur Flußgeschichte der Ems/Nordwestdeutschland.- In: *L'evolution quaternaire des bassins fluviaux de la mer du Nord meridionale*. - *Cent. Soc. geol. Belg.*: 35 - 51, 8 Abb.; Liege (Soc. geol. Belg.).
- THIERMANN, A. (1975a), mit Beitr. von BRAUN, F.J., KALTERHERBERG, J., REHAGEN, H.-W., SUCHAN, K.-H., WILL, K.-H. & WOLBURG, J.: Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. - *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **3611**: 214 S., 21 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.
- THIERMANN, A. (1975b): Zur Geologie der Erdfälle des „Heiligen Feldes“ im Tecklenburger Land/Westfalen. - *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, **44**: 517 - 530; Hamburg.
- THIERMANN, A. (1987) mit einem Beitrag von KOCH, M.: Geologische Karte von NRW <1:100.000>, Erläuterungen zu Blatt C3910 Rheine.- 68 S., 14 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- TIETZE, O. (1914): Der Erdfall vom 14. April 1913 in der Gemeinde Hopsten. - *Jb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1913*, **34(I)**: 648 - 657; Berlin.
- WEBER, H. (1930): Zur Systematik der Auslaugung. - *Z. dt. geol. Ges.*, **82**: 179 - 186; Berlin.
- WEGNER, T. (1913): Der Erdfall bei Hopsten (Westfalen). - *Naturwissenschaftliche Wochenschrift N.F. XII* **21**: 332 - 333; Jena (Fischer).

Anschrift der Verfasser:

Dr. Manfred Dölling & Dipl.-Geol. Bernd Linder
 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
 De-Greiff-Str. 195
 47803 Krefeld

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): Dölling Manfred, Linder Bernd

Artikel/Article: [Die Entwicklung eines quartärgeologischen 3D-Modells im Subrosionsgebiet des „Heiligen Feldes“ \(nördliches Münsterland, Nordrhein-Westfalen\) 23-42](#)