

Geologische 3-D-Modellierung des Untergrundes – Ergebnisse aus dem INTERREG IIIB-Projekt BurVal

> **Wolfgang Scheer, Jens Kröger und Reinhard Kirsch**

Als Mitinitiator und Partner wirkte das Landesamt für Natur und Umwelt (LANU) Schleswig-Holstein von 2004 bis 2006 in dem von der EU geförderten, dänisch-niederländisch-deutschen INTERREG IIIB Projekt BurVal mit. Ziel des Projektes war die Erkundung der geologischen Zusammenhänge in tiefen eiszeitlichen Rinnensystemen, die international als **buried valleys** bezeichnet werden. In sechs Pilotgebieten waren innovative hydrogeologische und geophysikalische Methoden im Hinblick auf präzise Arbeitsergebnisse sowie Kosteneffizienz einzusetzen und ihre Nutzbarkeit für Fragen der Grundwassergewinnung und des Grundwasserschutzes zu optimieren. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe 3-dimensionaler geologischer Modelle ausgewertet und visualisiert. Das hier beschriebene Modell der Ellerbeker Rinne wurde von den geologischen Landesdiensten der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Hamburg (vormals BUG) und dem LANU gemeinsam entwickelt. Nähere Informationen zum Projekt können auf der Homepage <http://www.burval.org> eingesehen werden.



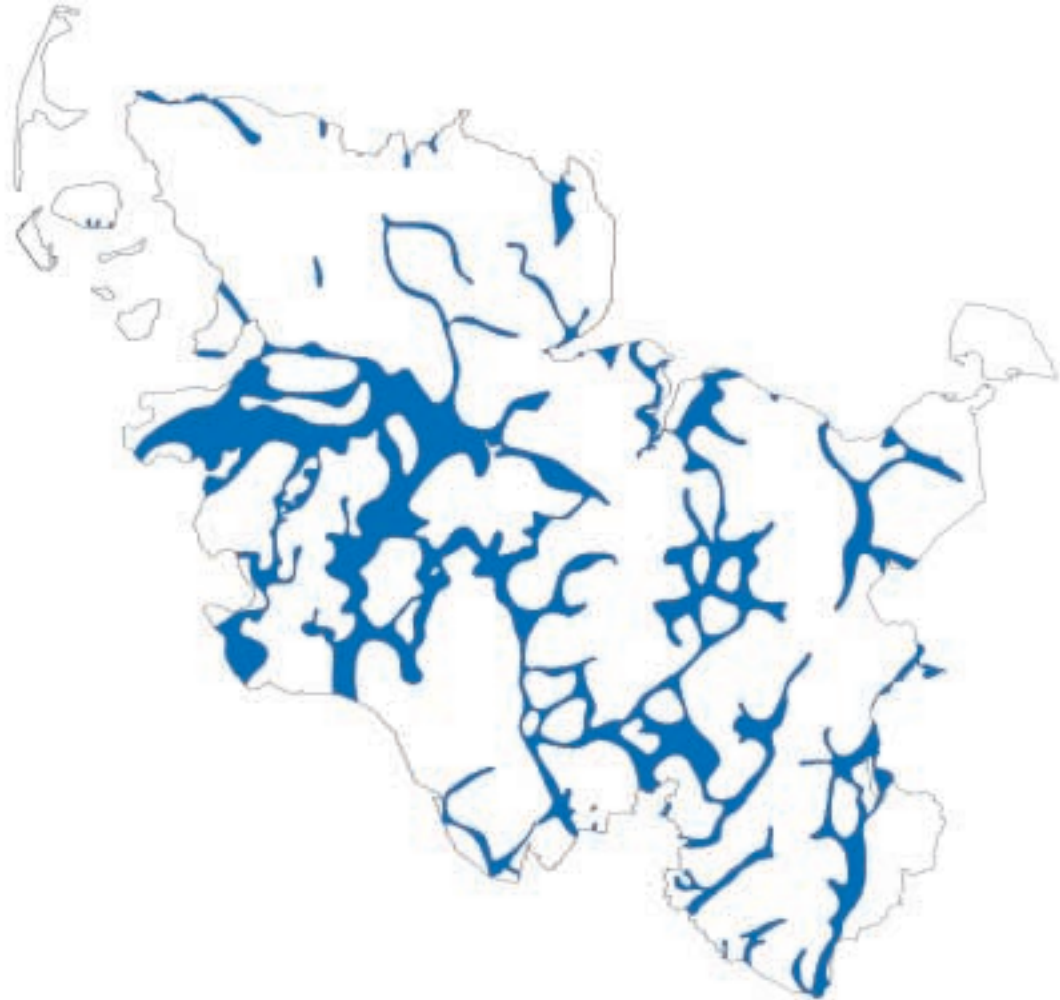
Abbildung 1: Übersicht der sechs Projektgebiete und der neun Projektpartner

Eiszeitliche Rinnen (Buried Valleys)

Die in den sechs Pilotgebieten untersuchten eiszeitlichen Rinnen wurden im Verlauf der Kaltzeiten des Quartärs von Gletschereis und Schmelzwässern canyonartig bis mehrere hundert Meter tief in den Untergrund eingeschnitten. Den Erosionsphasen folgten im kurzen zeitlichen Abstand Sedimentationsphasen,

in denen die großräumigen Hohlformen vom Schutt der Gletscher wieder „begraben“ wurden, so dass sie heute an der Geländeoberfläche nicht mehr erkennbar sind. Im Hinblick auf die Grundwasserbewegung und als Grundwasserspeicher haben die eiszeitlichen Rinnen eine herausragende Bedeutung. Abbildung 2 gibt einen Überblick der Verbreitung solcher Strukturen in Schleswig-Holstein.

Abbildung 2.:
Verbreitung eiszeitlicher Rinnen in
Schleswig-Holstein



Das Projektgebiet Ellerbeker Rinne

Das Projektgebiet der Ellerbeker Rinne liegt an der westlichen Landesgrenze zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein. Durch vorangegangene Untersuchungen waren hier bereits zahlreiche hydrogeologische Informationen vorhanden, die zur Eichung und Bewertung

der eingesetzten geophysikalischen Verfahren herangezogen werden konnten. Auf Grund ihrer Dimension, ihres internen Aufbaus sowie ihrer hydraulischen Anbindung an die umgebenden jungtertiären Grundwasserleiter ist die Ellerbeker Rinne aus hydrogeologischer Sicht zudem wasserwirtschaftlich und wissenschaftlich interessant.



Abbildung 3:
Lage des Untersuchungsgebietes
Ellerbeker Rinne

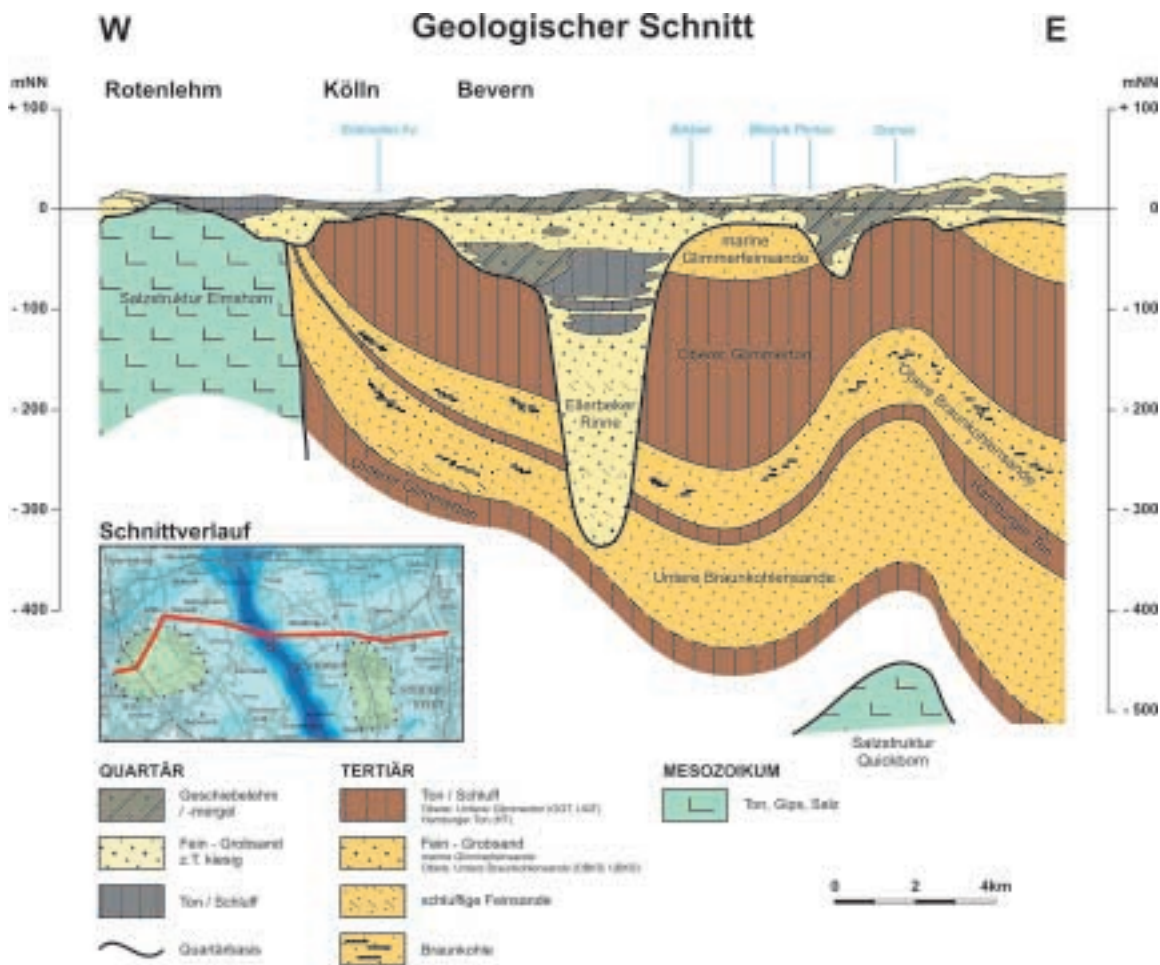


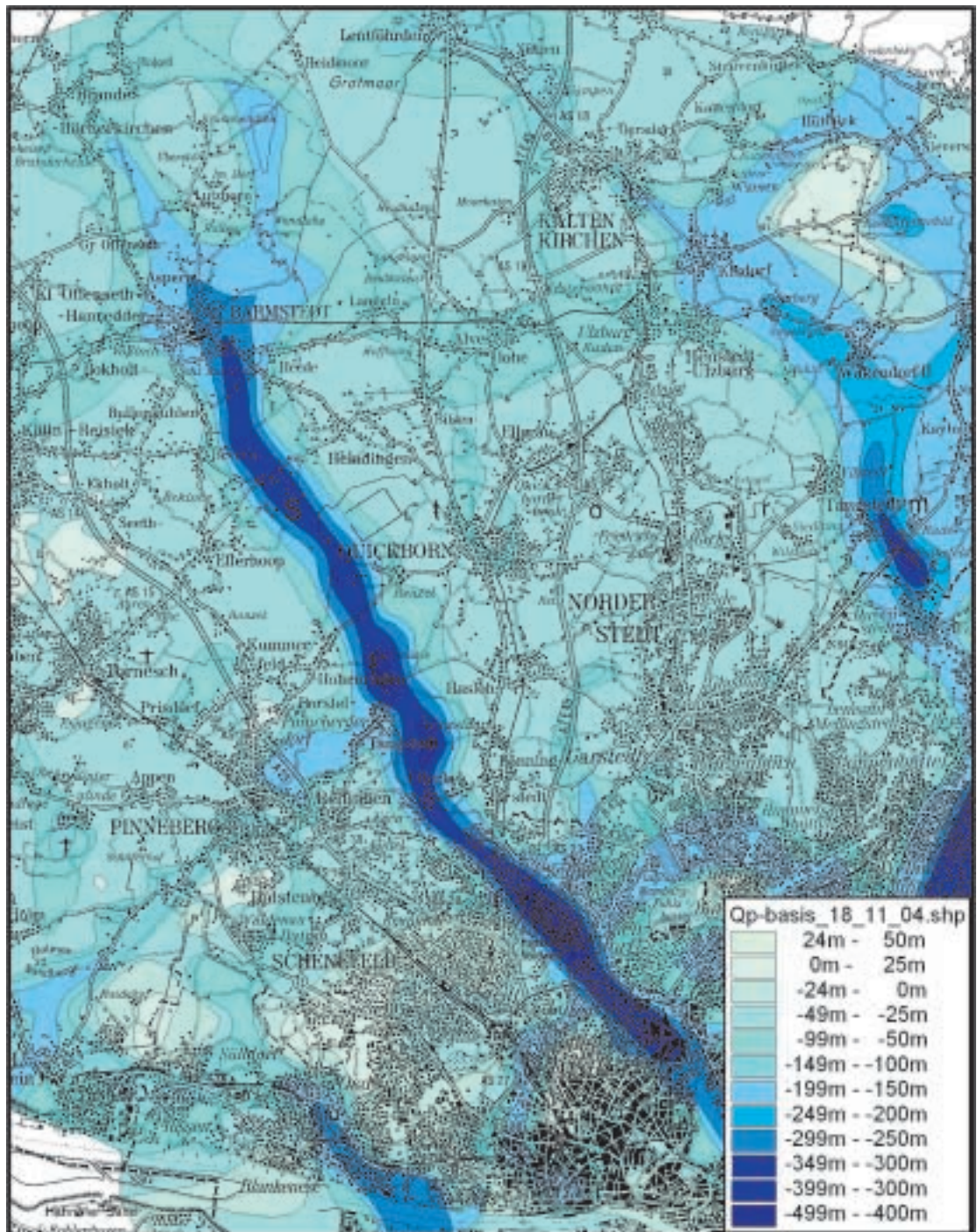
Abbildung 4: Geologischer Aufbau im Projektgebiet Ellerbeker Rinne

Die Schnittdarstellung in Abbildung 4 zeigt den Aufbau der im Projekt untersuchten **geologischen Schichtfolge**: Im Bereich Elmshorn und Quickborn fallen die aus großer Tiefe aufgestiegenen Salz-, Gips- und Tongesteine des Perm (>200 Mio. Jahre alt) auf. Sie haben die Lagerungsverhältnisse der Ablagerungen des Tertiärs (dargestellte Schichtfolge ca. 50 – 5 Mio. Jahre alt) stark beeinflusst: Als tiefste untersuchte Tertiärschicht ist der Untere Glimmerton abgebildet, der von den für die Trinkwasserversorgung genutzten Braunkohlensanden (BKS) überlagert wird. Durch den Hamburger Ton werden die Braunkohlensande in die Unteren BKS und die Oberen BKS unterglie-

dert. Letztere werden vom Oberen Glimmerton flächenhaft abgedeckt. Das jüngste tertiäre Schichtglied sind die regional verbreiteten marinen Glimmerfeinsande.

Die vorgenannte, relativ gleichförmige tertiäre Schichtfolge wird von sehr heterogen aufgebauten Sedimenten des Quartärs, vorherrschend eiszeitliche Geschiebemergel, Sande und Kiese, sowie Tone und Schluffe, überlagert. Im Verlauf der Ellerbeker Rinne haben sich die eiszeitlichen Ablagerungen tief in die oben genannten tertiären Tone und Sande eingeschnitten.

Abbildung 5:
Karte der Tiefenlage der Quartärbasis bezogen auf NN, Verlauf der Ellerbeker Rinne



Die Rinne erstreckt sich aus dem Stadtgebiet von Hamburg in Richtung Nordwesten bis über Barmstedt hinaus über eine Länge von über 40 Kilometern (Abbildung 5). Ihre mittlere Breite beträgt zwei bis drei Kilometer. Dabei erreicht sie in weiten Teilen Tiefen von 300 bis 400 Metern unter NN, lokal ist sie sogar deutlich über 400 Metern tief. Die Sande innerhalb der Rinne stellen einen regional bedeutenden Grundwasserleiter dar, der an den Rinnenflanken mit den umgebenden tertiären Wasserleitern hydraulisch verbunden ist.

Die Erkundung des Untergrundes – Entwicklung einer geologischen Modellvorstellung

Zum Verständnis der Untergrundverhältnisse muss zunächst ein grobes, dreidimensionales

Strukturmodell entworfen werden. Einen direkten, aber nur lokal sehr begrenzten Einblick in die Tiefe bekommt man durch die Auswertung von Aufschlussbohrungen (Abbildung 6). Der Schritt hin zu einem dreidimensionalen Modell erfolgt über die zweidimensionale Darstellung in Schnittkonstruktionen (Abbildung 7), in denen die Informationen aus mehreren Bohrungen korreliert werden, das heißt: wiederkehrende Schichten werden identifiziert und verbunden. Aus mehreren Einzelschnitten lässt sich ein Schnittraster (Abbildung 8) erstellen, aus dem ein räumliches Bild des Untergrundes entsteht. Aus diesem können dann Themenkarten wie beispielsweise Tiefenlinienkarten einzelner Schichten konstruiert werden.

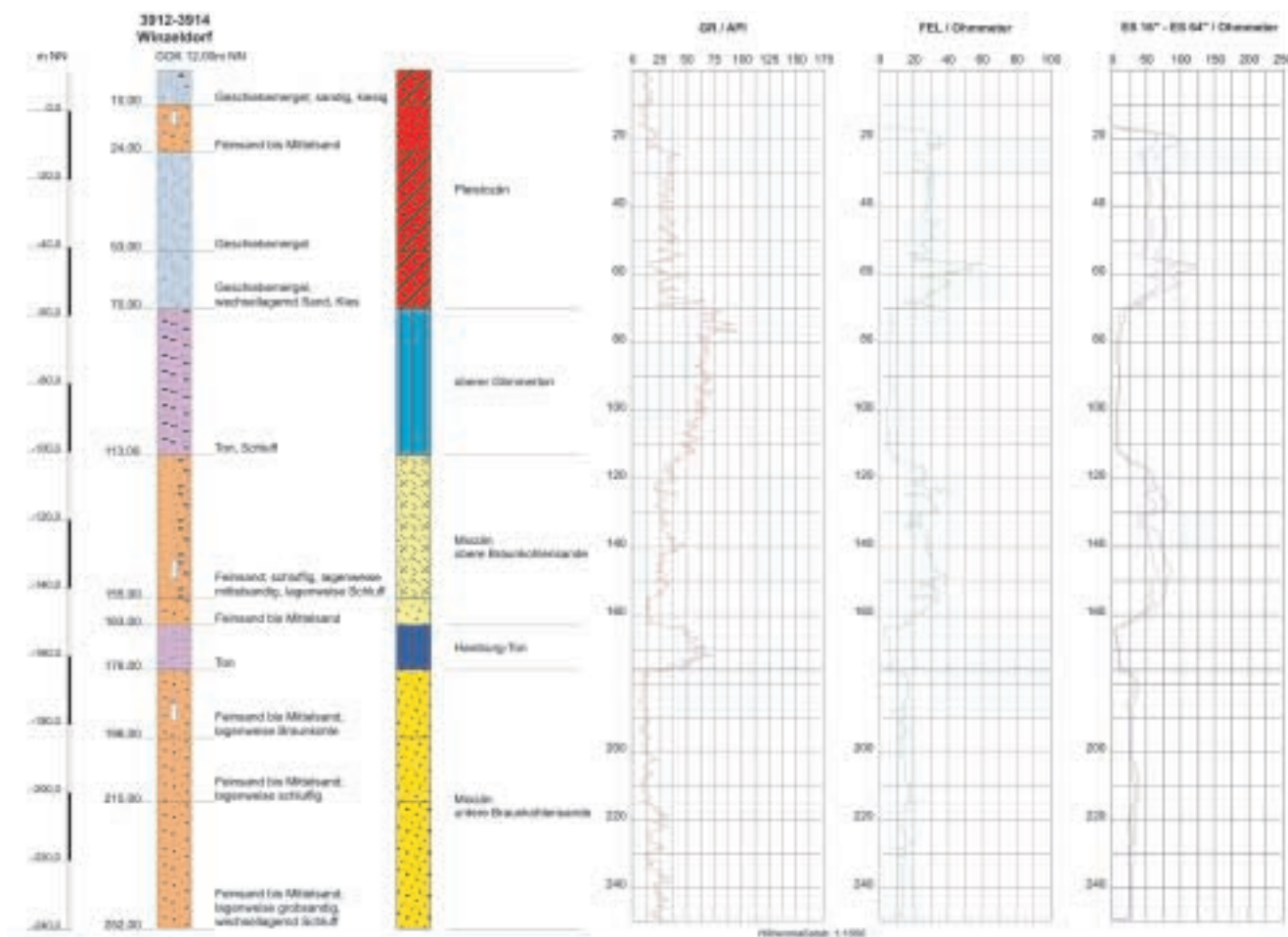


Abbildung 6: Auswertung einer Aufschlussbohrung: links die Bohrsäule mit der Beschreibung der erbohrten Schichten und einer stratigraphischen Einordnung, rechts die Diagramme der geophysikalischen Bohrlochmessungen

Geophysikalische Erkundung des Untergrundes

Ergänzend zu Bohrungen liefern geophysikalische Messungen von der Erdoberfläche oder vom Helikopter aus einen Einblick in die Tiefe. Diese Techniken liefern flächenhafte Informationen und schließen so die Bereiche zwischen den Aufschlussbohrungen mit Daten.

Von den zur Verfügung stehenden geophysikalischen Verfahren hat sich im Projekt BurVal besonders der Einsatz von Seismik, Geoelektrik, Elektromagnetik und Gravimetrie bewährt. Zwei Beispiele von Messverfahren, deren Daten für die Optimierung des digitalen geologischen 3-D-Modells genutzt wurden, sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.



Abbildung 9: Aeroelektromagnetik, Messsystem SkyTEM, Helikopter mit Messapparatur
Farbkodierung: rot, gelb, orange – überwiegend sandige Schichten (hoher elektrischer Widerstand);
blau und grün – überwiegend tonige, schluffige Schichten (geringer elektrischer Widerstand)

Abbildung 9 zeigt das von einem Helikopter geschleppte **Elektromagnetik-System** Sky-TEM, eine Entwicklung der Universität Aarhus, mit dem die Verteilung des elektrischen Widerstands des Untergrundes bestimmt wird. Aus der wiederum können Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung von grundwasserleitenden und –geringleitenden Sedimenten gezogen werden. Das in der Abbildung dargestellte Diagramm zeigt für ein etwa fünf Kilometer langes Messprofil den Schichtaufbau bis in eine Tiefe von 280 Metern unter Gelän-

de. Deutlich sind im zentralen Teil des Profils die grundwasserführenden Sande der Ellerbeker Rinne als rot bis orange markierte Bereiche mit hohen elektrischen Widerständen zu erkennen. Die blau eingefärbten Partien mit niedrigen elektrischen Widerständen zeigen die Verbreitung von Tonen. Außerhalb der Rinne sind es die tertiären Tone des Oberen und Unteren Glimmertons, in der Rinne ist es der so genannte Lauenburger Ton, der die Rinnenwasserleiter als schützende Deckschicht überlagert.

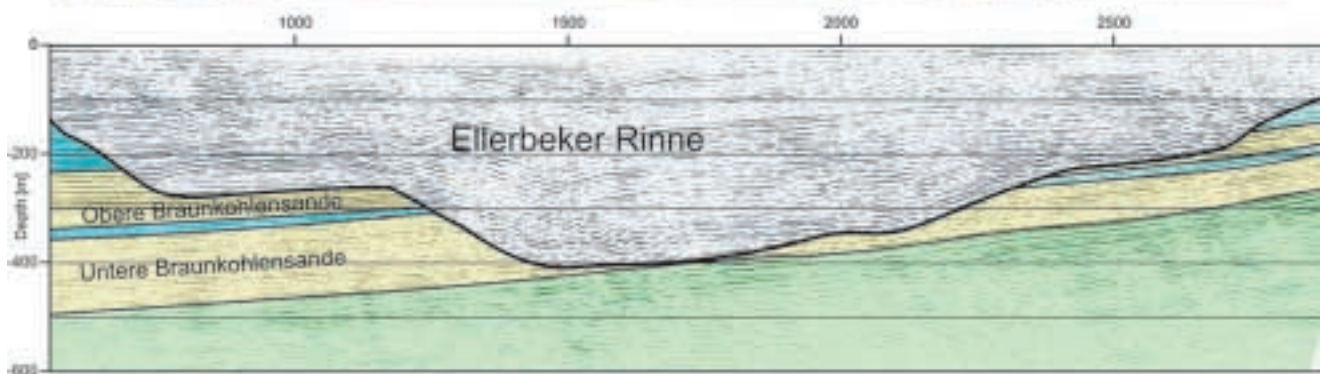


Abbildung 10: Seismische Messungen, oben: Vibrator als seismische Quelle zur Erzeugung von Erschütterungswellen; unten: seismisches Profils durch die Ellerbeker Rinne, farbig abgesetzt sind die tertiären Gesteine

Der Einsatz **seismischer Messungen** hat eine lange Tradition in der Untersuchung des tiefen Untergrundes zur Kohlenwasserstoff-Exploration. Neuere technische Entwicklungen ermöglichen zusätzlich die seismische Erkundung flacherer Untergrundstrukturen, so dass dieses Verfahren auch im Bereich der Hydro- und Ingenieurgeologie angewandt wird. So konnte die Geometrie der Ellerbeker Rinne durch seismische Messungen bedeutend genauer bestimmt werden. Abbildung 10 zeigt einen 2.800 Meter langen und 600 Meter tiefen seismischen Profilschnitt durch die Ellerbeker Rinne, aus dem die Tiefenlage und der komplexe interne Aufbau erkennbar sind. Eingeschnitten ist die Rinne in tertiäre Sedimente, bei denen es sich um Tone (blau = Oberer Glimmerton und Hamburger Ton, grün = Unterer Glimmerton und ältere Tone) und Sande (gelb = Obere und Untere Braunkohlensande) handelt. Die seismischen Messungen wurden vom Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) in Hannover durchgeführt.

Von der analogen geologischen Modellvorstellung zum digitalen geologischen 3-D-Modell

Die geologischen Verhältnisse im Untergrund können analog nur zweidimensional in Profilzeichnungen und thematischen Karten dargestellt werden. Besonders wenn komplexe geologische Strukturen verstanden, abgebildet und bewertet werden sollen, ergeben sich teilweise große Schwierigkeiten. Digitale geologische 3-D-Modelle, wie sie im Projekt BurVal eingesetzt wurden, bieten die Möglichkeit, die Geometrien der verschiedenen Schichten des Untergrundes detailliert im Rechner zu konstruieren und abzubilden. Weiterhin besteht ein großer Vorteil darin, dass die Gesteinseigenschaften der Schichtkörper in den Modellen dreidimensional dargestellt und mit statistischen Verfahren weiter bearbeitet werden können.

Auf dem Markt stehen hierzu zahlreiche Softwarelösungen zur Verfügung, die sich in ihrer Leistungsfähigkeit und Anwenderfreundlichkeit stark unterscheiden. Im Rahmen des Projekts BurVal wurde die Software Gocad eingesetzt.

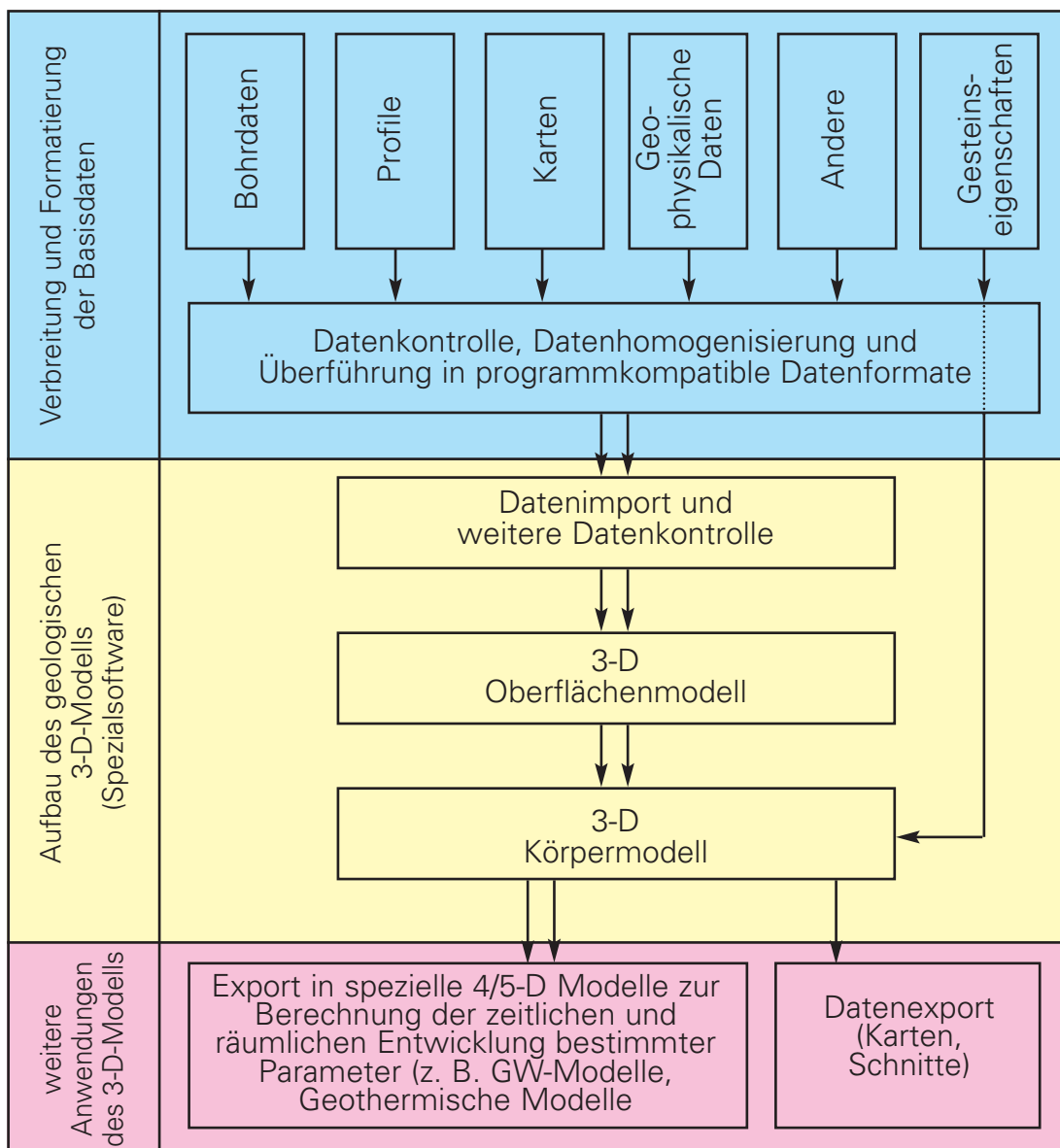


Abbildung 11:
Flussdiagramm zum Aufbau eines geologischen 3-D-Modells

Aufbau des digitalen geologischen 3-D-Modells

Die Konstruktion des geologischen 3-D-Modells erfolgt in mehreren Schritten (Abbildung 11). Es können Daten unterschiedlichster Art importiert werden, die zunächst jedoch kontrolliert, homogenisiert und in Formate überführt werden müssen, die von der eingesetz-

ten Software verarbeitet werden können. Zudem ist es sinnvoll, den Daten je nach ihrer Verlässlichkeit eine Wertigkeit zuzuordnen, die später bei der Modellierung beachtet werden sollte. Nachdem die Grunddaten modellgerecht aufbereitet wurden, können sie für die Berechnung eines ersten groben Flächenmodells importiert werden (Abbildung 12).

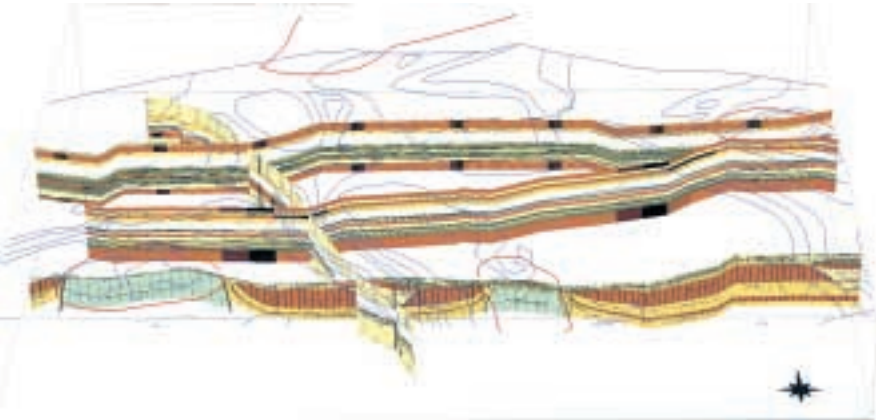


Abbildung 12: Import der Basisdaten aus Bohrprofilen, Schnittzeichnungen, Strukturkarten und seismischen Profilen

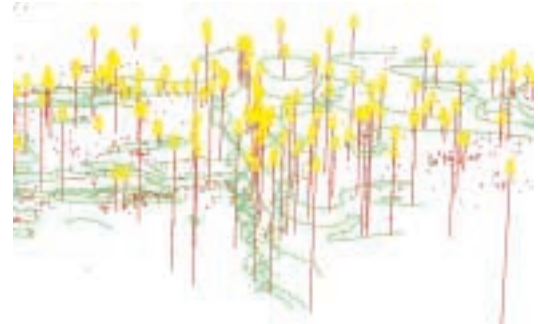
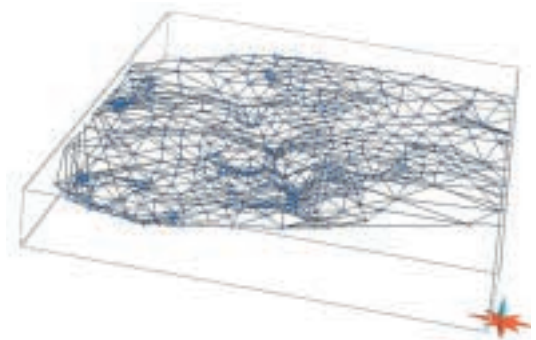
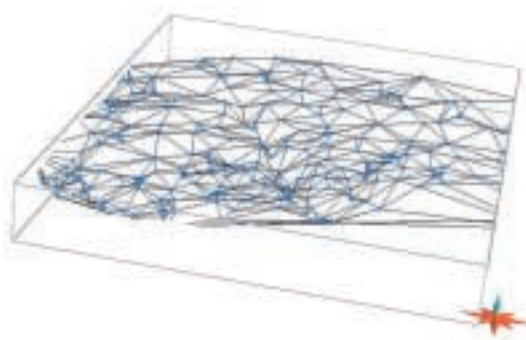


Abbildung 13:
Erzeugen des Modellrasters einer Fläche



Dazu werden die vorbereiteten Basisdaten genutzt, um die Grenzflächen der zu modellierenden geologischen Schichten zu erzeugen. Das Modell entwirft hierzu ein Raster, das die für die Berechnung der Fläche bestimmten Punkte räumlich verbindet. In weiteren Schritten kann dieses Raster an die Datenstruktur angepasst und gegebenenfalls verdichtet werden (Abbildung 13). Fehlerhafte Daten können in diesem Stadium leicht erkannt, überprüft und gegebenenfalls entfernt werden. Zur anschließenden Berechnung der Fläche kann festgelegt werden, welche Rasterknoten als Fixpunkte gesetzt werden sollen und für welche eine mehr oder weniger große Abweichung zugelassen wird. Dadurch kann, ent-

sprechend der vorher definierten Wertigkeit, bestimmt werden, dass ausgewählte Punkte, deren Daten als zuverlässig angesehen werden, nach der Interpolation weiter exakt in den berechneten Flächen liegen. In weiteren Arbeitsschritten können zusätzliche Daten in das Modell importiert und verarbeitet werden. Abbildung 14 zeigt Beispiele, wie geophysikalische Daten genutzt wurden, um die Geometrie der Rinne zu korrigieren und die aktualisierten Flächen neu zu berechnen. Es ist ein bedeutender Vorteil der digitalen geologischen Modelle, dass sich auch nach Fertigstellung des Modells jederzeit neue Daten zur Aktualisierung ohne großen Aufwand einfügen lassen.

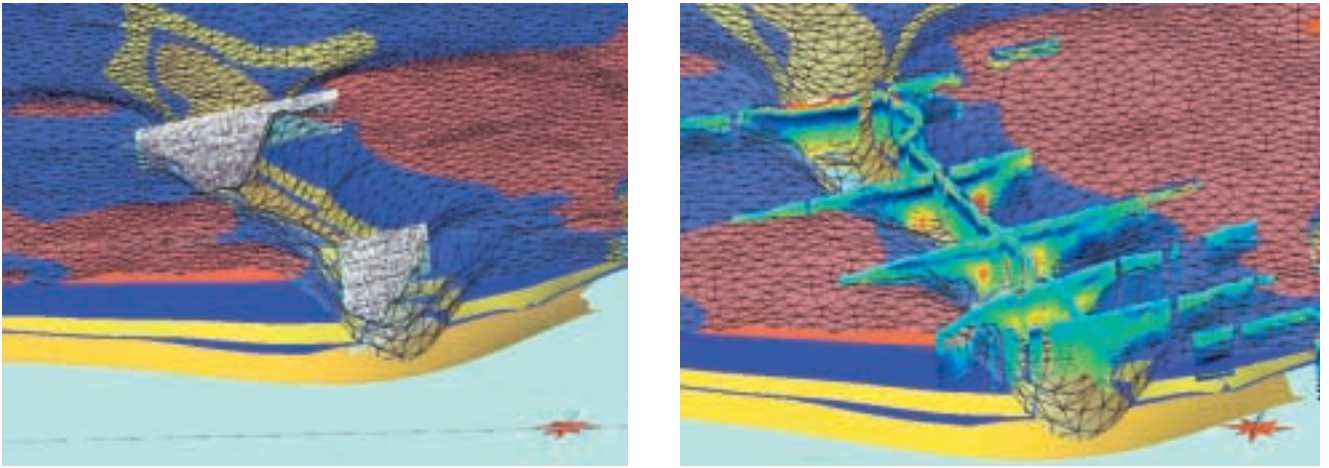


Abbildung 14: Verarbeitung seismischer Profile (links) und elektromagnetischer SkyTEM Daten (rechts) im Modell

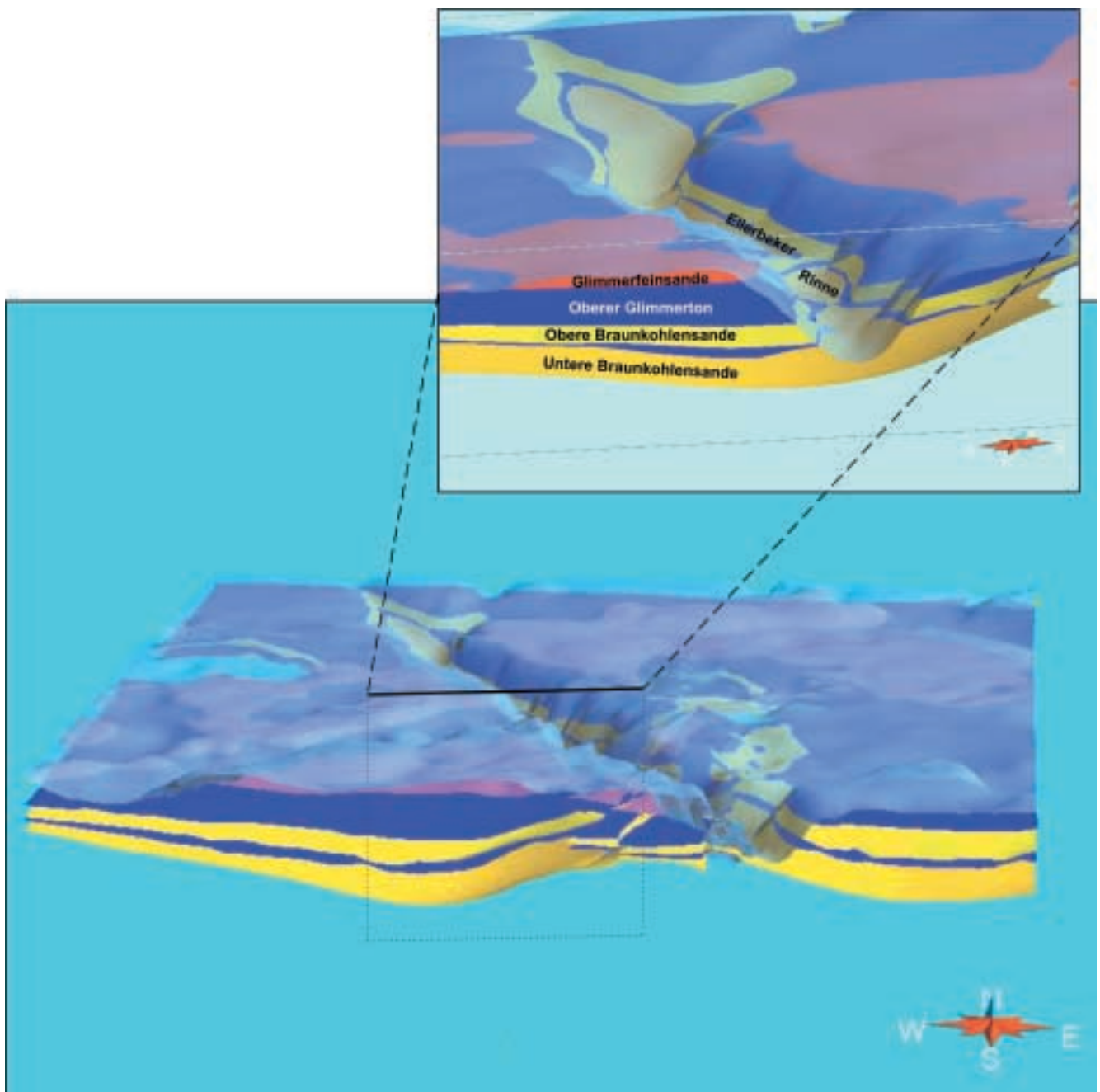


Abbildung 15: Geologisches Modell der Ellerbeker Rinne mit Detaildarstellung

Die Abbildung 15 gibt einen räumlichen Eindruck von der Dimension der Ellerbeker Rinne, die bis über 400 Meter tief in die umgebenden tertiären Schichten eingebettet ist. Die in der Rinne vorhandenen Grundwasserleiter bilden zusammen mit den tertiären Oberen und Unteren Braunkohlensanden einen großräumigen, hydraulisch zusammenhängenden Grundwasserspeicher, der für die Trinkwasserversorgung der Region eine wichtige Rolle spielt.

Basierend auf den zuvor berechneten Flächen können in sich geschlossene Körper der einzelnen Schichten des Modells erstellt werden, so dass der komplette dreidimensionale Raum mit Daten belegt werden kann. Werte für unterschiedliche Parameter, wie die hydraulischen Gesteinsdurchlässigkeiten, den Porenraum, geophysikalische oder geochemische Gesteinsparameter können so in ihrer räumlichen Verteilung innerhalb der Gesteinskörper zugeordnet und mit Hilfe von statistischen Verfahren weiter bearbeitet werden.

Weitere Nutzung und Präsentation digitaler geologischer 3-D-Modelle

Der große Vorteil der digitalen Modellierung liegt in der Möglichkeit, Daten unterschiedlichster Art zu importieren und für den Aufbau eines in sich konsistenten Schichtenmodells zu verarbeiten. Hierbei können selbst komplexe geologische Verhältnisse abgebildet und auch für Nichtfachleute anschaulich präsentiert werden. Die Form der möglichen Präsentation reicht vom Ausdruck von Schnitten und Karten bis hin zur automatisierten Animation, wie beispielsweise einem virtuellen Kameraflug durch den Untergrund oder dem Ausdruck mit modernen 3-D-Druckern in realen „begreifbaren“ 3-D-Modellen.

Je nach Bedarf können die Geometrien sowie die Parameterbelegung der digitalen geologischen Modelle in andere Programme exportiert und weiterverarbeitet werden. So finden beispielsweise die Schichtdaten des Modells Ellerbeker Rinne zukünftig eine praktische Anwendung in einem **Grundwasserströmungsmodell**, das für die Bewirtschaftung und für das Wasserrechtsverfahren eines großen Wasserwerkes erstellt wird.

Das 3-D-Modell der Ellerbeker Rinne selbst wird zukünftig seitens der BSU und des LANU weiter gepflegt und um Flächen in Hamburg und Schleswig-Holstein erweitert werden.

Die Ergebnisse des Projekts BurVal sind in dem Handbuch „Groundwater Resources in Buried Valleys – a Challenge for Geosciences“ (BURVAL WORKING GROUP 2006) beschrieben.

Summary

During the years 2004 to 2006 LANU was one of nine international partners in the Project BurVal, which was funded by the INTERREG IIIB Programme of the EU. The aim of the project BurVal was to develop tools for the investigation of buried valleys under the aspect of groundwater supply and groundwater protection. Within the frame of the project innovative hydrogeological and geophysical methods had been applied and optimized in six pilot areas. For visualisation and verification the results have been integrated into digital geological 3-D-Models. Further information about the project can be seen on <http://www.burval.org>.

Literatur

BURVAL WORKING GROUP (2006): Groundwater resources in buried valleys, Project Report, Hannover

Homepage: www.burval.org

> Wolfgang Scheer

Dezernat 51 – Geologie
Tel.: 0 43 47 / 704-525
wscheer@lanu.landsh.de

> Jens Kröger

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Geologisches Landesamt
Billstraße 84, 20539 Hamburg
Tel.: 040 / 42 845 – 26 89
jens.kroeger@bsu.hamburg.de

> Dr. Reinhard Kirsch

Dezernat 54 – Ingenieurgeologie; Energierohstoffe; Geopotenziale des tieferen Untergrundes
Tel: 0 43 47 / 704-534
rkirsch@lanu.landsh.de

Vorrat ist der beste Rat – Möglichkeiten der energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes von Schleswig-Holstein

➤ **Claudia Thomsen und
Thomas Liebsch-Dörschner**

Zukünftige Energiegewinnung und Energienutzung können sich nicht alleine auf die Bereitstellung fossiler Energieträger und deren Umwandlung in Strom, Wärme und Bewegungsenergie beschränken, da die Vorräte an fossilen Rohstoffen weltweit begrenzt sind. Zunehmend werden daher – nicht nur aus dem wichtigen Aspekt des Klimaschutzes heraus - alternative Energieformen wie Erdwärme, Biomasse, Solar- und Windenergie die fossilen Energieträger ersetzen müssen.

Der zunehmende Einsatz von stark witterungsabhängigen und somit nicht steuerbaren Stromerzeugungstechnologien wie Windkraft- und Solaranlagen, saisonale und tageszeitliche Bedarfsschwankungen (Strom, Erdöl/Erdgas, Wärme) sowie Preisdifferenzen zwischen den vergleichsweise günstigen Grundlastenergien und den teuren Spitzenlastenergien (Strom, Erdgas) machen **flexible Speichertechnologien** erforderlich. Die Speicherung von Energie wird daher zukünftig als ein zentrales Thema für eine verantwortungsvolle Energiepolitik zu behandeln sein.

Im geologischen Untergrund in Schleswig-Holstein sind neben den natürlichen Energieressourcen wie Erdöl auch Ressourcen an Wärmeenergie vorhanden, die mit Hilfe geothermischer Verfahren gewonnen werden können. Das Bereitstellen von strategischen Energieressourcen durch Speicherung von Energieträgern in geologisch geeigneten Strukturen ist eine Option, die zukünftig im Zusammenhang mit der Diskussion um Klimaschutz und Klimawandel ergriffen werden muss. Die dazu notwendigen Potenziale sind in Schleswig-Holstein vorhanden.

1. Natürliche geologische Energieressourcen (Geologische Energievorräte)

1.1. Erdöl

Vor 150 Jahren wurde in Schleswig-Holstein Erdöl entdeckt, das man zunächst für Beleuchtungszwecke und für das Schmieren der Wagen verwendete. Erst als moderne Erkundungsmethoden, insbesondere die Anwendung geophysikalischer Verfahren, neue Erkenntnisse über den geologischen Aufbau des Untergrundes Schleswig-Holsteins brachten,

konnte im Jahr 1935 mit der Bohrung 'Holstein 2' die erste regelmäßige Erdölförderung beginnen. Die in den Folgejahren intensivierte Suche mit geophysikalischen Methoden und zahlreichen Bohrungen führte zur wirtschaftlichen Erschließung des Feldes Heide und später zur Förderung im Ostholsteintrog - mit den Feldern Boostedt, Plön Ost, Schwedeneck und Schwedeneck-See. Mit der Entdeckung des Erdölfeldes Mittelplate ist das größte deutsche Erdölfeld entwickelt worden, das als einziges noch in Schleswig-Holstein aktiv ist (Abbildung 1).

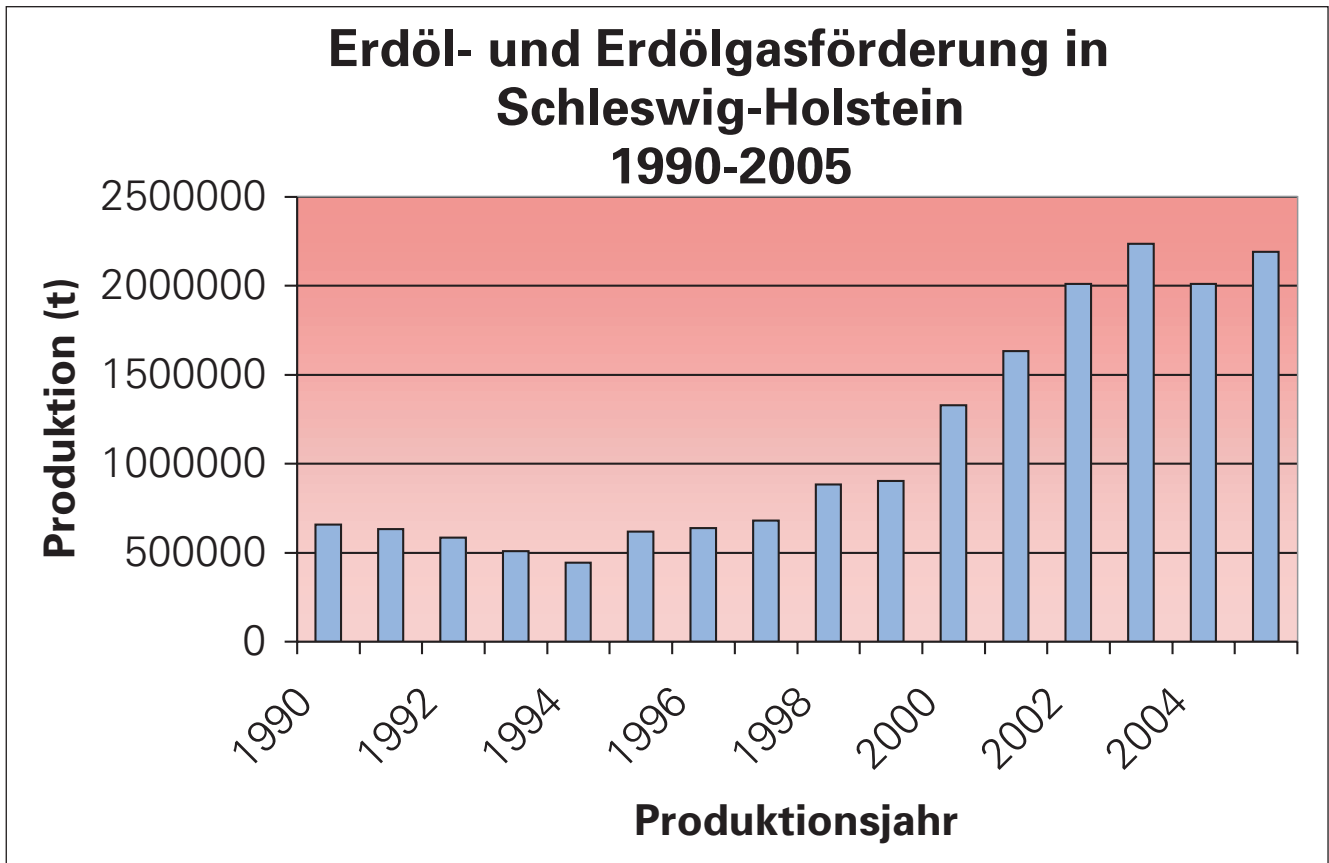


Abbildung 1: Erdöl- und Erdölgasförderung in Schleswig-Holstein. Quelle: Berichte des NLfB, Hannover, von 1991-2006

1.1.1. Reserven, Ressourcen

Das Erdölfeld Mittelplate (Abbildung 2), am südlichen Rand des Nationalparks Wattenmeer gelegen, führt in mehreren Sandschich-

ten in 2.000 bis 3.000 Metern Tiefe weit über 100 Millionen Tonnen Erdöl. Davon sind bisher etwa 15 Millionen Tonnen gefördert worden.



Abbildung 2: Erdölförderplattform Mittelplate im schleswig-holsteinischen Wattenmeer (Quelle: RWE Dea)

Als wirtschaftlich noch gewinnbare Reserven (Abbildung 3) gelten Anfang 2006 etwa 30 Millionen Tonnen, als zusätzliche Ressourcen sind nach dem jetzigen Stand fast 8 Millionen Tonnen wahrscheinlich. Da die übrigen inländi-

schen Lagerstätten weitgehend ausgefördert und erschöpft sind, ist Mittelplate mit 61% Anteil an der deutschen Erdölproduktion das wichtigste Erdölfeld Deutschlands.

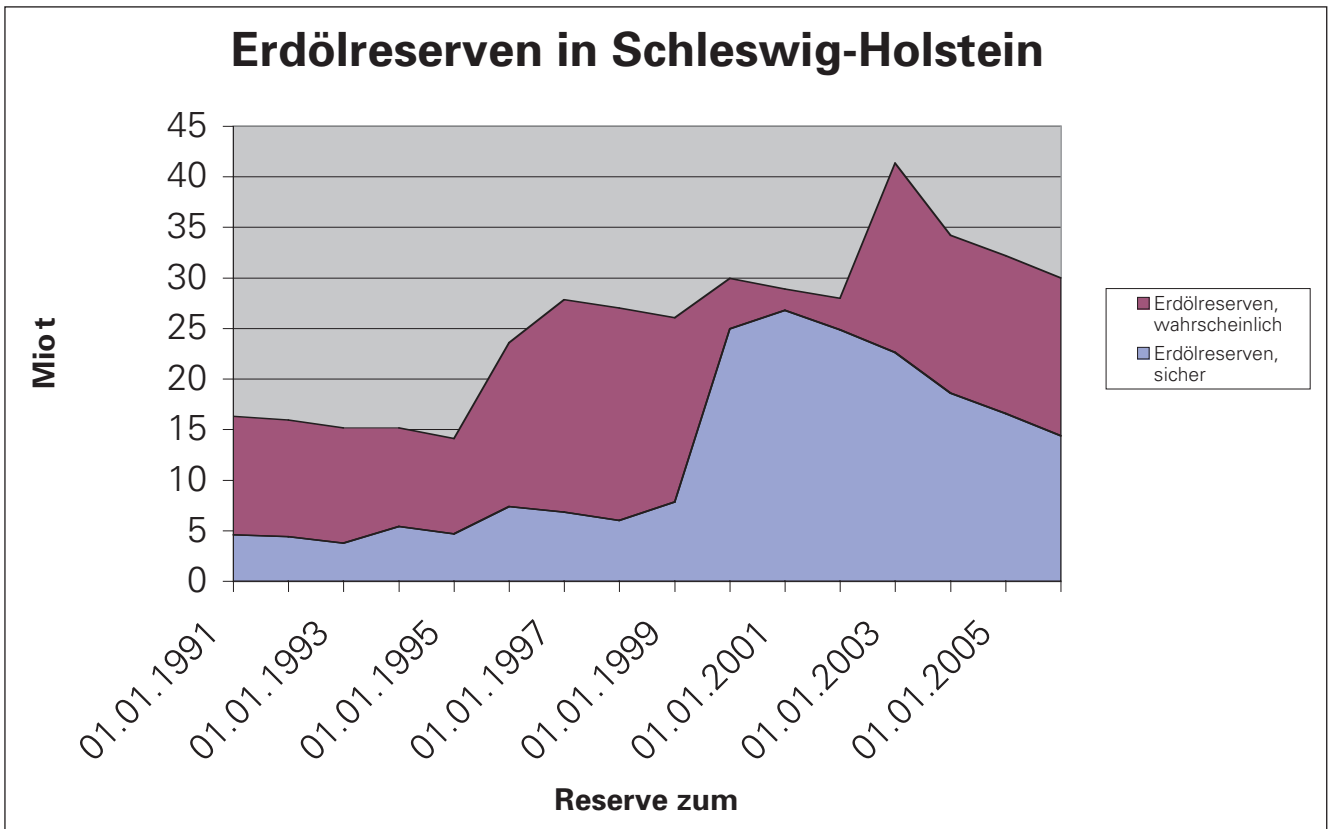


Abbildung 3: Erdölreserven in Schleswig-Holstein, Quelle: Berichte des NLFb, Hannover, von 1991-2006

Bei den **Reserven** handelt es sich um jene Energiemengen, die sicher nachgewiesen und mit den heutigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich abbaubar sind.

Ressourcen sind Energiemengen, die entweder geologisch nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich förderbar sind oder Mengen, die nicht nachgewiesen sind.

1.2. Erdwärme

Die im tieferen Untergrund in Form von Wärme gespeicherte Energie wird vielerorts schon in geothermischen Heizanlagen mit Hilfe von hydrothermalen Tiefbrunnensystemen gewonnen. Der Einsatz hydrothermalen Tiefbrunnensysteme ist an tiefgelegene Grundwasserleiter gebunden. Das im Gesteinsverband bzw. in dessen Porenräumen vorhandene Wasser hat die gleiche Temperatur wie das umgebende Gestein. Dieses heiße Porenwasser wird mittels Tiefbrunnen an die Oberfläche gefördert. Somit ist das Wasser nicht nur Speichermedium, sondern auch gleichzeitig das Transportmedium für den Wärmetransport aus der Tiefe an die Erdoberfläche. Die Wärme der an die Oberfläche geförderten Tiefenwässer wird dort über Wärmetauscher in geothermischen Heizanlagen einem oberirdischen Heißwasserkreislauf zugeführt. Das abgekühlte Wasser wird in der Regel über eine zweite Bohrung (Injektionsbohrung) in ca. 1-2 km Entfernung vom Entnahmehorizont wieder in den wasserführenden Horizont eingeleitet (Dublektenbetrieb). Dieses ist erforderlich, da die Tiefenwässer im Allgemeinen einen hohen Salzgehalt aufweisen und daher aus Gründen des Umweltschutzes wieder in den Untergrund zurückgeleitet werden müssen. Darüber hinaus ist eine Wiedereinleitung auch aus hydraulischen Gründen unbedingt erforderlich, um den Lagerstättendruck aufrecht zu erhalten.

Für eine effiziente Nutzung von Tiefbrunnensystemen im Doublektenbetrieb zur Förderung von Thermalwasser sind große Volumenströme von 50 bis über 100 m³/h erforderlich. Darüber hinaus muss eine stabile Förderung und Reinjektion über einen wirtschaftlich vertretbaren Zeitraum hin gewährleistet sein. Somit ergeben sich erhebliche Anforderungen an einen für die Geothermie nutzbaren, wassererfüllten Gesteinshorizont.

Aufgrund der geologischen Entwicklungsgeschichte Schleswig-Holsteins können im tieferen Untergrund nur poröse Sandsteine den Anforderungen als potentielle geothermische Nutzhorizonte entsprechen.

1.2.1. Ressourcen, Regionalstudie

Im Auftrag des Wirtschaftsministeriums wurde im Jahr 2006 für die Kreise Rendsburg-Eckernförde, Plön und die Städte Kiel, Neumünster (K.E.R.N.-Region) das hydrothermal nutzbare Wärme-Potenzial in Sandsteinen des Rhät und des Dogger (Tabelle 1) aus den vorhandenen Bohrungsdaten ermittelt und beschrieben. Hierbei wurde zwischen dem geologischen und dem technischen Potenzial (Ressource), das mögliche Anlagekomponenten (Geometriefaktor, Förder- und Reinjektionstemperaturen usw.) berücksichtigt, unterschieden (Tabelle 2).

Das **größte Abnehmerpotenzial an Wärme** ist dort zu erwarten, wo die Bevölkerungsdichte hoch ist. Diese Wärmesenken sind im Raum Kiel (2.000 Einwohner/qkm) und Neumünster (1.100 Einwohner/qkm), aber auch in Rendsburg, Eckernförde und anderen größeren Städten zu finden. Durch Vergleich der Wärmesenken mit dem geologischen Wärmeangebot ergibt sich für die Städte Kiel, Neumünster und Eckernförde eine positive Angebots-Abnehmerstruktur.

Die Nutzung der hochsalinaren Thermalwässer (Sole) zu balneologischen Zwecken parallel zur geothermischen Nutzung kann für die oben genannten Städte ebenfalls eine zusätzliche Option im Bereich Tourismus bzw. Erholung sein.

Tabelle 1: Stratigraphische Übersicht

Alter in Mio. Jahren	Formation	Abteilung		Stufe
0,01	Quartär			Holozän
2				Pleistozän
23	Tertiär	Jungtertiär		Pliozän
35				Miozän
		Alttertiär		Oligozän
65				Eozän
				Paläozän
				Dan
97	Kreide	Ober-Kreide		Maastricht
				Campan
				Santon
				Coniac
				Turon
				Cenoman
145		Unter-Kreide		
155	Jura	Malm / Wealden		
178		Dogger		Dogger β + γ
208		Lias		
231	Trias	Keuper		Rhät
				Schilfsandstein
240		Muschelkalk	Oberer M'kalk	
			Mittlerer M'kalk	
			Unterer M'kalk	
		Oberer Buntsandstein	Röt	
		Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge Hardegsen-Folge Detfurth-Folge Volpriehausen-F. Quickborn-F.	
250		Unterer Buntsandstein		
256	Perm	Zechstein		Mölln
				Friesland
				Ohre
				Aller
				Leine
				Staßfurt
				Werra
280		Rot-liegendes	Ober- Rotliegendes	
			Unter- Rotliegendes	

Tabelle 2: Geologisches und technisches Wärme-Potenzial im Rhät- und Doggersandstein; *: 5,05E+18J = 5,05 x 10¹⁸ J

	Geologisches Potenzial	Technisches Potenzial
Rhätsandstein	5,05E+18 J*	1,15E+18 J
Doggersandstein	9,42E+18 J	2,42E+18 J

Abbildung 4:
 Verbreitung des
 Dogger-Gamma
 Sandsteins (techni-
 sches Potenzial) in
 der K.E.R.N.-
 Region

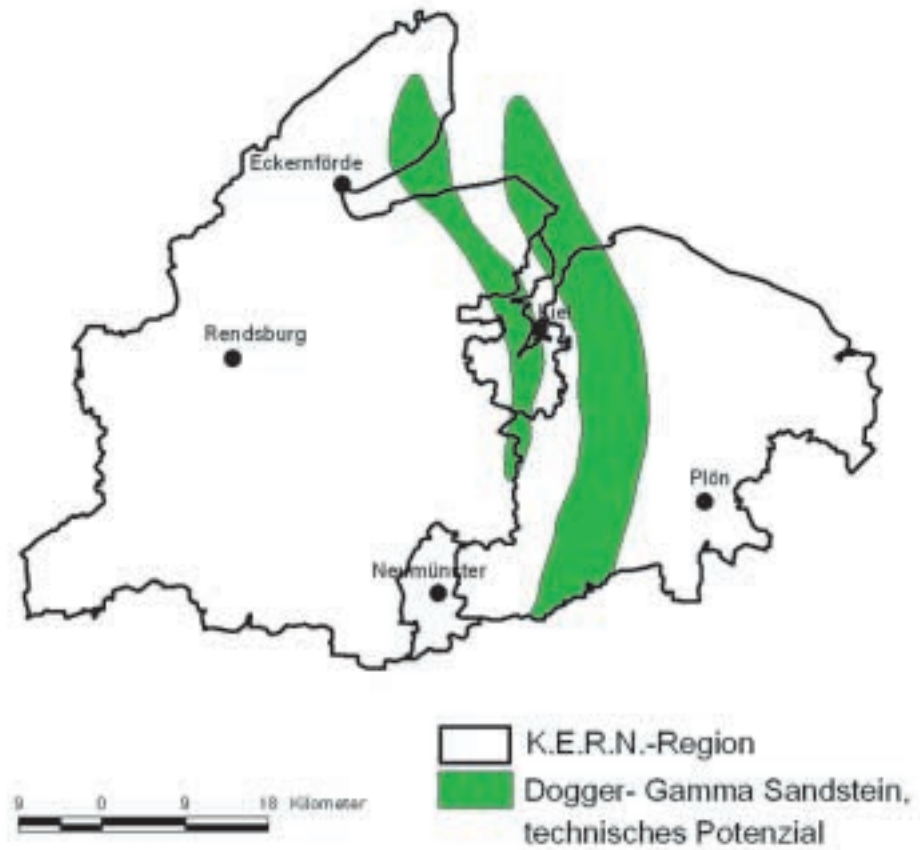
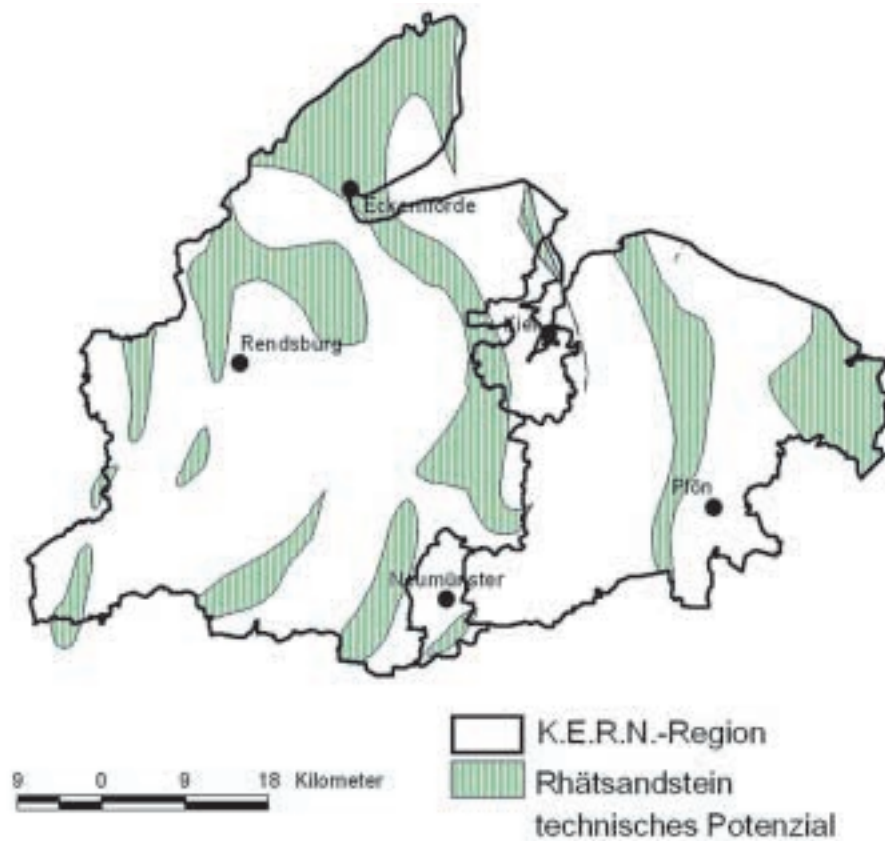


Abbildung 5: Ver-
 breitung des Rhät-
 sandsteins (techni-
 sches Potenzial) in
 der K.E.R.N.-
 Region



2. Strategische Energieressourcen in geologischen Formationen (Vorräte)

Die Anlage von Energievorräten in eigens dafür geschaffenen oder natürlichen Speichern dient nicht nur der Versorgungssicherheit, sondern kann auch die Preisentwicklung und die Effizienz technischer Anlagen (z.B. Wärmekraftwerke) verbessern helfen. Der Speichereinsatz kann aus folgenden Gründen erfolgen:

- Deckung von saisonalen und tageszeitlichen Bedarfsspitzen (Entkopplung von Angebot und Nachfrage),
- Kostengesichtspunkte (schwankende saisonale Energiepreise),
- Bezugsoptimierung,
- Verminderung von Verlusten (Überschusswärme, Strom aus Windenergieanlagen).

2.1. Salzkavernen

Durch Aussolen der solfähigen Bestandteile einer Salzstruktur werden zylindrische Kavernen von 20 bis 80 m Durchmesser und mehreren hundert Metern Länge geschaffen. Der maximale und minimale Speicherdruck werden durch das mechanische Materialverhalten des Salzes bestimmt und sind mathematisch und experimentell genau bestimmbar.

In Schleswig-Holstein wurde mit dem Bau von Salzkavernen bereits 1963 begonnen. Bis heute gibt es hier 12 Einzelkavernen, eine weitere wird zurzeit in Kiel-Rönne ausgesolt (Abbildung 6).

Der geologische Untergrund von Schleswig-Holstein ist geprägt durch das Auftreten von lang gestreckten und mehrere Kilometer breiten Salzstrukturen – so genannten **Salzmauern**, die durch halokinetische und halotektonische Vorgänge in wirtschaftlich erreichbare Tiefen aufgestiegen sind. Die Salzmauern bestehen in der Regel im Kern aus den Salinaren des älteren Rotliegend und im Randbereich aus den Salinaren des jüngeren Zechstein (Doppelsalinare). Die Salinare unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen geologischen Rahmenbedingungen (Paläogeografie), die zur Ausscheidung der verschiedenen Evaporite (i. w. S. Salinare) führte, in ihrem Schichtaufbau und damit in ihrem Solverhalten voneinander.



Abbildung 6:
Bohrturm in Kiel-
Rönne (Foto: C.
Thomsen)

So ist aufgrund der bisherigen Kavernenbauerfahrungen in Schleswig-Holstein davon auszugehen, dass die Zechsteinsalinare-Ummantelung durch das Auftreten von schwer solbaren Anhydritbänken und leichtlöslichen Kali-Flözen soltechnisch schwer zu kontrollieren ist. Eine Abwägung des technischen Speicherpotenzials kann aufgrund der soltechnischen Unwägbarkeiten und wegen der Ausbildung von Überhängen im Randbereich der Salzmauern nur für die zentralen Rotliegendsalinare vorgenommen werden.

Der Kavernenbau von Heide und Kiel-Rönne belegt eine grundsätzliche Eignung der Rotliegendsalinare zum Kavernenbau. Allerdings sind aufgrund der Salzaufstiegsbewegungen die Zechsteinsalinare randlich in die Rotliegendsalinare eingefaltet worden, so dass eine scharfe Abgrenzung beider Bereiche – auch mit geophysikalischen Methoden – im Vorwege nicht möglich ist.

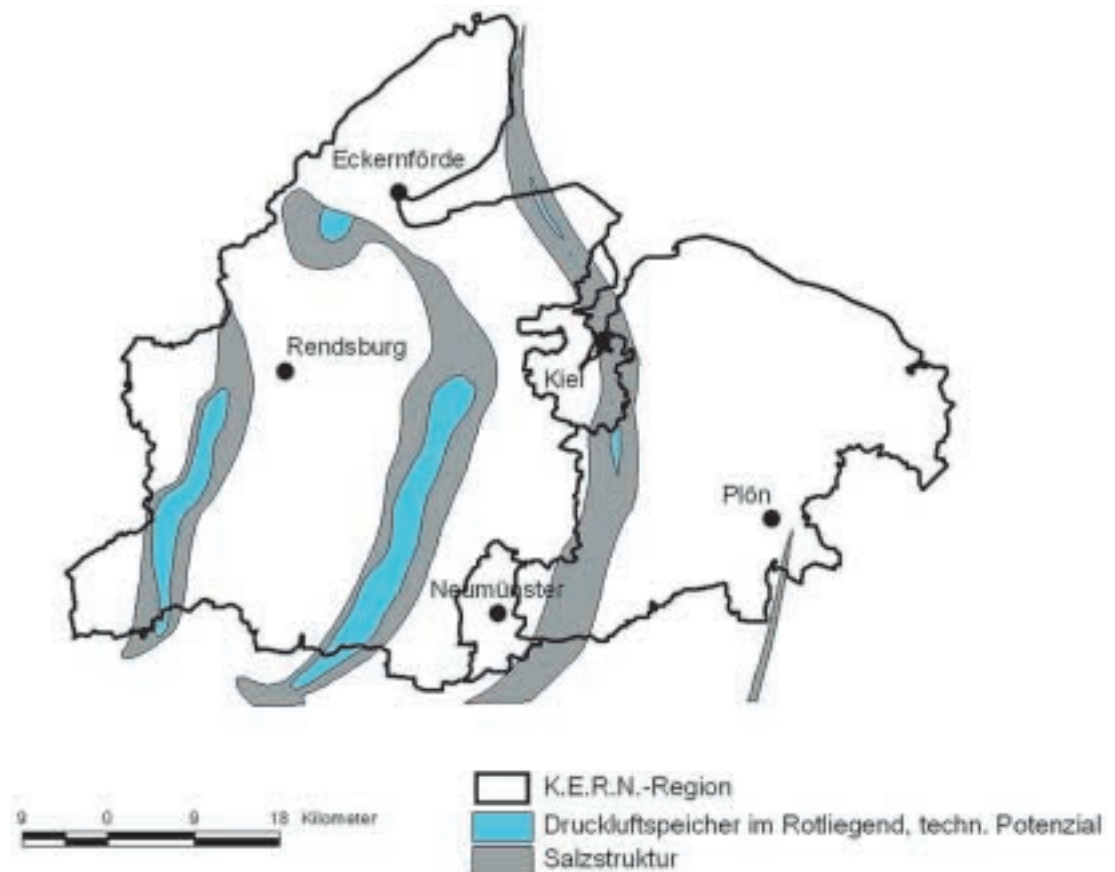
2.1.1. Druckluftspeicher, Ressourcen, Regionalstudie

Ziel eines **Druckluftspeicher – Kraftwerkes (CAES = Compressed Air Energy Storage)** ist einerseits die Speicherung von Überschuss-Energie (Strom), erzeugt in Schwachlastzeiten und andererseits die zeitversetzte Produktion in Zeiten erhöhter Nachfrage als Spitzenlastenergie: In konventionellen Gaskraftwerken wird dazu Verbrennungsluft verdichtet und expandiert in Gasturbinen, die wiederum einen Generator antreiben. In CAES-Kraftwerken erfolgt eine räumliche Trennung des Kompressors von der Expansionsturbine. Der Kompressor wird z. B. mit Strom aus Windenergie in Schwachlast-Zeiten gespeist. Bei der Verdichtung auf etwa 60 bar erwärmt sich die Luft sehr stark (etwa 400°C) und muss vor der Versenkung im Salzstock auf etwa 40°C abgekühlt werden. Umgekehrt ist die gespeicherte und komprimierte Luft vor Einleitung in die Brennkammer der Turbine mit Erdgas zu erhitzen. Dort expandiert sie und treibt den Generator an. Dies führt zu Energie-

verlusten. Der Wirkungsgrad moderner CAES-Anlagen, bei der die Luftvorwärmung mit Abgas erfolgt, beträgt ca. 55%. Ein besonderes Merkmal ist die hohe Flexibilität dieser Anlagen (bereits nach ca. 3 min. kann 50% und nach 11 min. die volle Leistung der Anlage zur Verfügung gestellt werden).

Das CAES-Kraftwerk Huntorf wurde 1978 in Norddeutschland als erstes dieser Art errichtet. In Schleswig-Holstein sind bisher noch keine CAES-Kraftwerke errichtet worden. Da Druckluft-Speicherkavernen nicht tiefer als 1.000 m (Kavernendach) liegen sollten, wurden – unter Berücksichtigung einer ausreichenden Kavernenabdeckung – die Salzstrukturbereiche in Schleswig-Holstein bis maximal 800 m Tiefe betrachtet. Im Rahmen der Regionalstudie für die K.E.R.N.-Region konnte das geologische und technische Potenzial zur Erstellung von Druckluftspeicherkavernen anhand des vorhandenen Datenmaterials ermittelt und beschrieben werden (Abbildung 7).

Abbildung 7:
Technisches Potenzial für die Anlage von Druckluftspeichern in der K.E.R.N.-Region



Unter dem Vorbehalt der gebirgsmechanischen Sicherheit und der Solbarkeit der Salinarstruktur lässt sich für ein Kavernenfeld mit gleich großen Kavernen (hier: 80m Durchmes-

ser, Abstand 400m) die Anzahl der theoretisch möglichen Kavernen in der K.E.R.N.-Region grob abschätzen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Geologisches und technisches Speicherpotenzial für Druckluft in der K.E.R.N.-Region. Angegeben ist die Anzahl theoretisch möglicher Speicherkavernen; *: die Zahl möglicher Kavernen innerhalb des Rotliegendekerns wurde nur abgeschätzt, da die Zechsteinummantelung nicht genau zu erfassen ist.

Anwendung	Anzahl Kavernen (theoretisch)	
	Geologisches Potenzial	Technisches Potenzial*
Druckluftspeicher	rd. 900	rd. 700

2.1.2. Erdgasspeicher, Ressourcen, Regionalstudie

Im Vergleich zu den Porengasspeichern sind bei Erdgas-Kavernenspeichern in Salzstrukturen deutlich höhere Entnahmeraten realisierbar, welche im Bereich von 50.000 bis 1,5 Mio. m³(V_n)/h liegen. Die Kavernenbetriebe sind daher ideal für das „Peak-Shaving“, d. h. die Anpassung an kurzfristige Verbrauchsschwankungen, geeignet.

In Deutschland bestehen Erfahrungen im Bau von Erdgas-Kavernen in Tiefenlagen zwischen 500 m und bis zu 1.500 m (Oberkante Kaverne). Daraus ergibt sich, unter Berücksichtigung einer ausreichenden Kavernenabdeckung, für eine Vorerkundung potenziell geeigneter Salzstrukturen eine Maximaltiefe für die Salzstrukturen von 1.300 m (Abbildung 8).

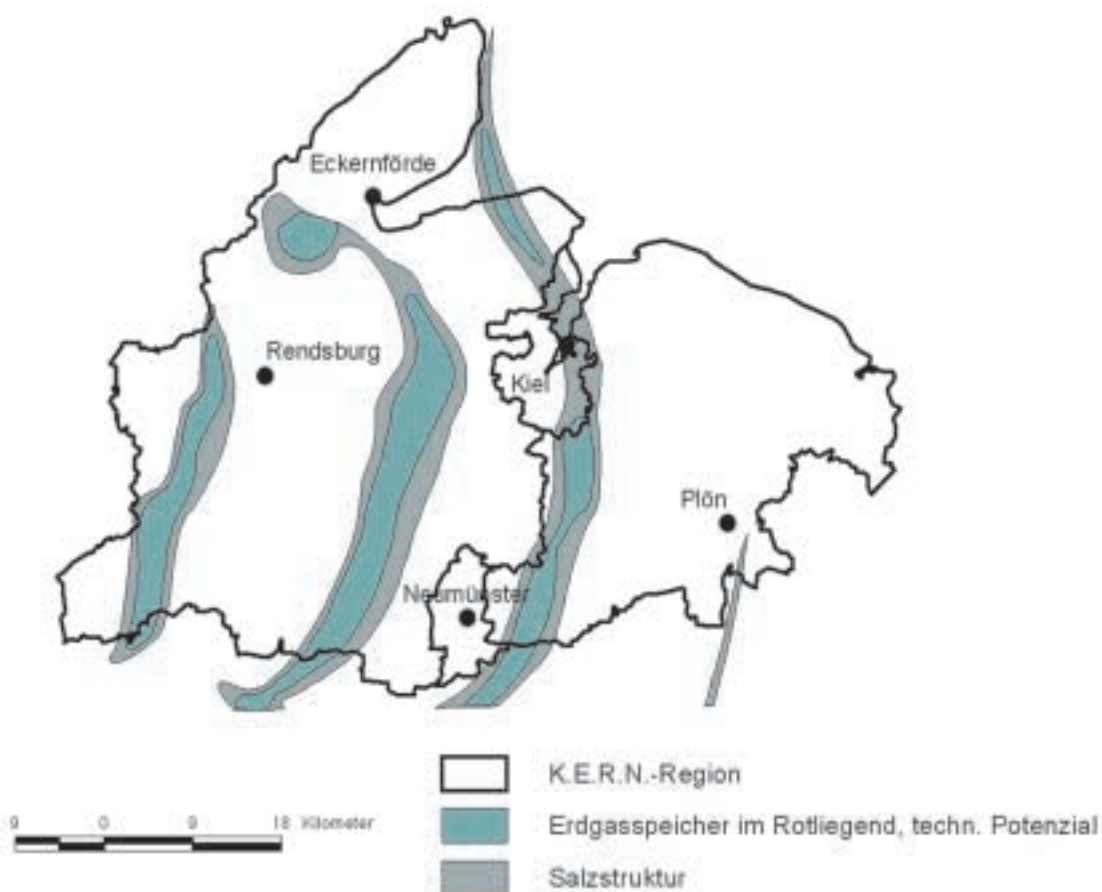


Abbildung 8: Technisches Potenzial für die Anlage von Erdgasspeichern in der K.E.R.N.-Region

Für die Regionalstudie wurden anhand der vorliegenden Daten das geologische und tech-

nische Potenzial zur Anlage von Kavernen (80 m Durchmesser, Abstand 400 m) ermittelt.

Tabelle 4: Geologisches und technisches Speicherpotenzial für Erdgas in der K.E.R.N.-Region. Angegeben ist die Anzahl theoretisch möglicher Speicherkavernen; *: die Zahl möglicher Kavernen innerhalb des Rotliegendekerns wurde nur abgeschätzt, da die Zechsteinummantelung nicht genau zu erfassen ist.

Anwendung	Anzahl Kavernen (theoretisch)	
	Geologisches Potenzial	Technisches Potenzial*
Erdgasspeicher	rd. 2.300	rd. 1.500

2.2. Porenspeicher

Im Gegensatz zu Speicherkavernen wird bei Porenspeichern der natürliche, wassergefüllte Porenraum im Sandstein (Grundwasserleiter) zu Speichertzwecken genutzt.

2.2.1. Wärmespeicher, Ressourcen, Regionalstudie

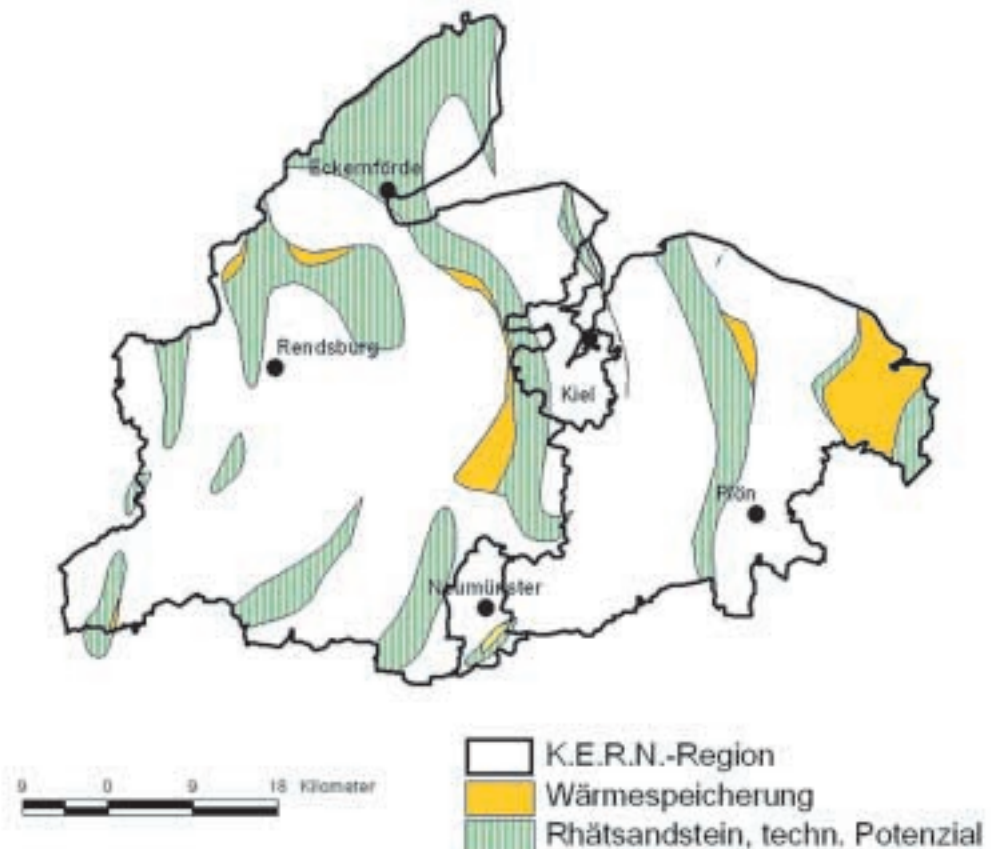
Zur zeitlichen Entkopplung von Überschuss- und Bedarfssituationen bei der Wärmeversorgung ist es möglich, Überschusswärme z. B. aus Heizkraftwerken (im Sommerbetrieb) in den Untergrund einzulagern, bis diese Wärme mit einem geothermischen Anteil wieder bei Bedarf (im Winterbetrieb) dem Heizkreislauf zugeführt wird. Dabei ist das salzhaltige Wasser der tiefen Grundwasserleiter das Speichermedium. Über einen Zwischenkreislauf wird die aus der kalten Bohrung des Aquiferspeichers geförderte Thermalsole obertägig erwärmt und mit dieser Temperatur dann in die warme Bohrung injiziert.

Es muss sichergestellt sein, dass durch das erwärmte Fluid keine irreversiblen Schäden im

untertägigen Gesteinsspeicher auftreten oder es zu Ausfällungen im Übertagesystem kommt. Untersuchungen zur Zusammensetzung des originären Fluids, des chemisch veränderten Fluids und des Speichergesteins sowie vergleichende Modellierungen ergaben für die Einspeicherung der Abwärme eine Grenztemperatur von 80°C.

Bei der Einspeisung von erwärmtem Grundwasser und bei der Rückgewinnung der eingespeicherten Wärme gelten die gleichen Anforderungen an den Grundwasserleiter wie bei der herkömmlichen hydrothermalen Nutzung. Damit die Wärmeeinspeisung in tiefen Horizonten möglichst effizient ist, spielt neben den Gesteinsparametern auch die mögliche Temperaturdifferenz zwischen ursprünglicher Temperatur und maximaler Speichertemperatur eine große Rolle. Geht man von einer minimalen Temperaturdifferenz von etwa 30°C aus, sollte der Grundwasserleiter maximal 50°C und somit eine maximale Einlagerungstiefe von rund 1.300 m haben.

Abbildung 9:
Technisches Potenzial zur Wärmespeicherung im Rhätsandstein, K.E.R.N.-Region.



Für die Regionalstudie wurden in der K.E.R.N.-Region die geologischen Daten in Hinblick auf eine Wärmespeicherung ausgewertet und beschrieben. Aufgrund der Anordnung der Brunnensysteme kann das geologische Wärme-

speicherpotenzial von insgesamt 3,61E+17J nicht vollständig genutzt werden. Somit reduziert sich die technisch nutzbare Speichermenge im Untergrund auf 1,19E+17J.

Tabelle 5: Geologisches und technisches Speicherpotenzial für Wärme im Rhätsandstein, K.E.R.N.-Region.

Fläche	Speichermenge	techn. Speichermenge
m ²	J	J
1,62E+08	3,61E+17	1,19E+17

Summary

Energy is one of the key issues for the economical and ecological development in the future. Vanishing resources of fossil energy must be replaced by renewable energy. Additionally, storage of energy will become more and more important to meet the challenges of seasonal demand for energy, non-dispatchable production of renewable energy, and fluctuating marked prices for fossil energy.

In this article the potential of the underground of Schleswig-Holstein for extraction and storage of energy is shown. Energy extraction from natural resources includes raw oil, especially from the location Mittelplate, and geothermal energy for heating purposes. Energy can be stored in salt caverns and in the pore space of deep groundwater reservoirs as strategically resource. The storage of natural gas and oil in salt caverns is quite common, examples in Schleswig-Holstein are Kiel-Rönne and Heide. Excess energy from wind power can be stored as compressed air in salt caverns.

The increasing amount of installed wind power in Schleswig-Holstein leads to increasing demand for storage capability to balance the fluctuating production of electricity by wind power and the customers demand. Seasonal excess heat, e.g. from waste combustion, can also be stored in the underground by injecting hot water in deep aquifers and then used by district heating systems in the cold season.

Maps showing the areas for potential energy storage and heat extraction in the K.E.R.N. region are presented.

Literatur

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT (2004):

Geothermie in Schleswig-Holstein – Ein Baustein für den Klimaschutz, 110 Seiten, Flintbek

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT (2006):

Potenzialanalyse zur wirtschaftlichen Nutzung des tieferen Untergrundes in der ehemaligen K.E.R.N.-Region – Abschlussbericht, unveröff., 150 S., Flintbek

beide AutorInnen: Dezernat 54 - Ingenieur-geologie; Energierohstoffe; Geopotential des tieferen Untergrundes

➤ **Claudia Thomsen**

Tel.: 0 43 47 / 704-563

cthomsen@lanu.landsh.de

➤ **Dr. Thomas Liebsch-Dörschner**

Tel.: 0 43 47 / 704-559

tliebsch@lanu.landsh.de

Geotope in Schleswig-Holstein – einmalige Zeugen der Landschafts- und Klimaentwicklung

➤ **Alf Grube**

1. Einleitung

Verschiedentlich sind geologische Schichten mit einem Buch verglichen worden, in dem sich die Einzelheiten zur Entstehungsgeschichte des Planeten, der Landschaften und der Lebewesen ablesen lassen. Diese Informationen können für die moderne Gesellschaft und angewandte Fragen, wie die des Klimawandels, von großer Relevanz sein. Schleswig-Holstein besitzt aufgrund seiner Entstehungsgeschichte eine beeindruckend vielfältige Landschaft und Geologie. Im Folgenden sollen beispielhaft wertvolle Geotope des Landes Schleswig-Holstein vorgestellt werden, die in besonderer Weise Zeugnis von der Landschafts- und Klimageschichte des Landes ablegen. Dabei werden bevorzugt Ergebnisse der aktuellen geologisch-bodenkundlichen Landesaufnahme präsentiert, bei der regelmäßig wichtige, klimageschichtlich relevante Objekte neu erfasst werden.

2. Begriffserläuterung

Der Begriff **Geodiversität** beschreibt die existierende Vielfalt von Gesteinen, Sedimenten, Fossilien, Mineralien, Landschaften und Böden. Er schließt die natürlichen Faktoren, die zu deren Bildung führt, ein (vgl. GRAY 2004). In Schleswig-Holstein, das während der vergangenen Jahrtausende geprägt wurde durch ausgedehnte Inlandvereisungen, Gletscherschmelzwässer, durch periglaziale Überformung wie Frostbedingte Sedimentdurchmischung (Kryoturbation) und Bodenfließen, durch die Aktivitäten von fließendem Wasser und Wind, durch Formungsprozesse im Bereich der Bäche und Flüsse sowie an den Küsten, ist diese Mannigfaltigkeit an Ablagerungen und Formen besonders groß. Die für Norddeutschland charakteristischen Salzstöcke haben Gesteine des Braunkohlezeitalters (65 Mio. bis 2,3 Mio. Jahre vor Heute), des Erdmittelalters (250 bis 65 Mio. Jahre vor Heute) und sogar des Erdaltertums (älter als 250 Mio. Jahre vor Heute) an die Erdoberfläche verfrachtet. Diese Vielfalt der unbelebten Natur gilt es in Form von typischen Ausschnitten langfristig für unsere Nachfahren zu sichern.

„**Geotop**“ ist der inzwischen gebräuchliche Begriff für geologisch-geomorphologisch schutzwürdige Objekte, wie z. B. glazialmorphologische Formen und erdgeschichtliche Aufschlüsse. Er ersetzt ältere Begriffe wie GeoSchOb (aus Geowissenschaftlicher Sicht Schutzwürdige Objekte). Die gesetzlichen Grundlagen vernachlässigen leider bisher den geowissenschaftlichen Bereich. Im Landesnaturschutzgesetz des Landes Schleswig-Holstein heißt es in § 1, Absatz 2, Nr. 19: „Landschaften oder Landschaftsteile mit erdgeschichtlich bedeutsamen geologischen und geomorphologischen Erscheinungsformen sind zu erhalten.“ Leider fehlt bisher, wie in fast allen Landesnaturschutzgesetzen der Bundesrepublik sowie dem entsprechenden Bundesgesetz auch, der Begriff „Geotop“ und damit eine Repräsentation entsprechender Geowissenschaftlicher Schutzziele.

3. Geotope – einige Fragen

3.1. Geotopschutz – wozu?

Geotope sind aus wissenschaftlichen, pädagogischen und ökonomischen Gründen heraus von großer Bedeutung für unsere Gesellschaft. In der Vergangenheit sind wesentliche **wissenschaftliche Erkenntnisse** an verschiedenen geologischen Aufschlüssen und Landschaftsbestandteilen gewonnen worden, anhand derer eine Rekonstruktion der Erd- und Lebensgeschichte unseres Planeten möglich war. Neue wissenschaftliche Methoden, wie z. B. spezielle radiometrische Altersdatierungen, Detail-Untersuchungen von Sedimentkörpern mittels Geo-Radar, tomographische Verfahren und Laserscanning haben große Bedeutung für die Umweltforschung und bei der Lösung relevanter Umweltprobleme.

Aus **pädagogischer Sicht** sind besonders Geotope des Eiszeitalters lehrreiche Beispiele für das Werden von Landschaften und andauernde Veränderungen, die die Oberfläche unseres Planeten prägen. In der Öffentlichkeit wird die unbelebte Natur viel zu häufig als statisch bzw. unveränderlich dargestellt. Dynamische Veränderungen der Erdoberfläche und der anstehenden Gesteine bzw. Böden sind speziell auch für eine geoökologische Betrachtungsweise zu berücksichtigen, die ja die Verflechtung von geogenen und biogenen Strukturen und Prozessen zum Inhalt hat. Die Einbeziehung von geologisch-geomorphologisch-hydrologischen Prozessen (natürliche Erosion und flächenhafte Abtragung, chemische Veränderungen der Sedimente usw.) ist für eine vollständige Beschreibung und Erläuterung von Ökosystemen unumgänglich.

Die nicht unerhebliche (potenzielle) **wirtschaftliche Bedeutung** von Geotopen, z.B. durch **touristische Nutzungen** soll hier nicht unerwähnt bleiben. Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist, dass im letzten Jahr drei so genannten Geotopen in Schleswig-Holstein eine besondere **Auszeichnung** zuteil wurde. Der „Kalkgrube Lieth bei Elmshorn“, der Insel „Helgoland“ sowie dem „Morsum-Kliff auf Sylt“ wurde das Prädikat „Nationaler Geotop“ durch die Akademie der Geowissenschaften zu Hannover verliehen (LOOK & FELDMANN 2007). Bundesweit waren dabei 77 Geotope als „außergewöhnliche und allgemein zugängliche Naturschönheiten zwischen Küsten und Alpen“ prämiert worden (diese sind auch im Internet im Naturpilot Schleswig-Holstein zu finden: www.naturpilot-sh.de).

3.2 Wie ist der Stand des Geotopschutzes in Schleswig-Holstein?

Die fachbehördlichen Aufgaben des Geotopschutzes werden vom Geologischen Dienst im LANU wahrgenommen. Hierzu zählen die Kartierung, Erfassung und die Bewertung von Geotopen. Geotop-Erhebungen stützen sich auf die publizierte Literatur und das Kartenmaterial sowie unveröffentlichte Gutachten, Diplomarbeiten und Exkursionsführer. Zudem werden Informationen im Gelände oder per Luftbild erhoben. In Schleswig-Holstein wurde die letzte Übersicht zu Geotopen von Ross et al. (1990) veröffentlicht, seither werden diese Daten digital vorgehalten. Eine Arbeitsgruppe innerhalb der Geologischen Dienste hat inzwischen eine Grundlage zur Kartierung, digitalen Erfassung und Archivierung von Daten zu schutzwürdigen Geotopen geschaffen (AD-HOC-AG GEOTOPSCHUTZ 1996), die auch hier Anwendung findet.

Bis heute sind mehrere hundert Geotope in Schleswig-Holstein erfasst worden, von denen viele einen gewissen Schutzstatus genießen. Das sich hier abzeichnende, im Allgemeinen positive Bild, relativiert sich, wenn man sich verdeutlicht, dass manche der bestehenden Schutzkategorien eine Beeinträchtigung oder Zerstörung von Geotopen nicht ausschließen. Erwartungsgemäß sind Nutzungskonflikte mit verschiedenen Bereichen z.B. in Landschaftsschutzgebieten vorhanden: mit Straßen- und Wohnungsbau, Ver- und Entsorgung, Rohstoffgewinnung und Forstwirtschaft, um einige Beispiele zu nennen. Im Allgemeinen sind viele Geotope in ihrer Integrität gefährdet.

Die Erhebungen von Geotopen in Schleswig-Holstein dauern an. Ziel ist die Erfassung eines möglichst repräsentativen Ausschnittes des vorhandenen Formenschatzes.

3.3 Wie sieht die praktische Umsetzung des Geotopschutzes aus?

In unserer intensiv durch den Menschen genutzten Landschaft sind während der letzten Jahrzehnte zahlreiche Geotope verloren gegangen. Hierbei sei vielleicht in besonderer Weise auf die Gletscherschmelzwasser-Strukturen hingewiesen. Diese gut sortierten Kies-Sande (Oser, Kames) sind vielfach durch Sandentnahmen zu Bauzwecken zerstört worden. Zahlreiche wertvolle Aufschlüsse wurden mit Müll verfüllt. Ein grundlegendes Problem bei der Unterschutzstellung von Geotopen bzw. Aufschlüssen in quartären Lockergesteinen ist deren langfristiger Erhalt. Naturgemäß sind künstliche Aufschlüsse in diesen Ablagerungen nach wenigen Jahren verschüttet und/oder überwachsen und damit nicht mehr zugänglich. Nur eine kleine Anzahl von Auf-

schlüssen hat sich während der letzten Jahrzehnte nicht wesentlich verändert. In vielen Fällen ist jedoch ein erheblicher Verfall von Lockergesteins-Aufschlüssen festzustellen (Abbildung 1). Dieses führt zu einem unerwünschten Verlust der Zugänglichkeit für Schulbildung, Forschung und Lehre. Zudem können Probleme der Legitimation der Schutzwürdigkeit entstehen. Mögliche Gegenmaßnahmen sind vorwiegend technischer Natur.

Eine anwendbare Methode zur angenähert dreidimensionalen dauerhaften Dokumentation ist die Erstellung von Lackfilmen. Diese sind jedoch sehr teuer in der Erstellung und können immer nur einen begrenzten Ausschnitt einer Schichtfolge abbilden (Abbildung 5).



Mai 2005

Juli 2006



September 2007



Abbildung 1: Der Verfall eines Schurfes in der Liether Kalkgrube im Laufe der Zeit verdeutlicht die Notwendigkeit der Pflege von schutzwürdigen Geotopen. Speziell in den Wintermonaten beim Wechsel von Tauen und Gefrieren sowie bei Starkregen-Ereignissen wird viel Material verlagert.

4. Beispiele für Landschafts- und Klimaentwicklung – Überblick

Die flächendeckenden eiszeitlichen und nach-eiszeitlichen Ablagerungen in Schleswig-Holstein werden örtlich von sehr viel älteren Ablagerungen durchstoßen. Hierzu gehören die Aufschlüsse von Ablagerungen des Erdalters, des Erdmittelalters sowie des jüngeren Känozoikums (Tertiär, bis ca. 2,3 Mio. Jahre vor heute). Diese Ablagerungen bzw. die enthaltene Flora und Fauna zeigen eine faszinierende Veränderung der Welt hinsichtlich des Klimas und der geologischen Bildungen. Tropisch-heiße Wüsten und Küstenregionen wechselten sich mit Meeresbecken sowie tropischen Dschungeln und Deltas ab. Viele dieser teilweise weltweit einzigartigen Bereiche sind heute als Geotope gesichert, z.B. die Aufschlüsse in Lieth/Elmshorn, der Gipsberg von Segeberg, die Kreidegruben in Lägerdorf und der Buntsandstein-Felsen von Helgoland.

Zu den bedeutenden **Klima-Archiven** zählen vor allem die Moore und die fossilen See-Ablagerungen (Mudden), die die Vegetations- und Klimageschichte der jüngeren Erdgeschichte Schleswig-Holsteins in einmaliger Weise beinhalten. In ihnen sind auch besondere Geschehnisse, wie z. B. ausgedehnte Brände, erhalten geblieben. Mittels verschiedener Methoden lassen sich aber Ereignisse auch zeitlich sehr genau bestimmen. Holz lässt sich jahrgenau mittels Baumringzählungen datieren, die europäische Eichen-Standardchronologie (Hohenheimer Jahrringkalender) reicht im Norddeutschen Bereich bereits bis ca. 12.000 Jahre vor Heute zurück (BECKER 1993). Zählungen von eisnah oder unter dem Eis gebildeten Jahresschichtungen, so genannten Warven, ermöglichen eine Altersbestimmung glazigener Becken. Entsprechende Schichtungen von Kiesel-Algen (Diatomeen) als warmzeitliche Bildungen haben eine Bestimmung der Dauer vorhergehender Warmzeiten geliefert. So wurde für Niedersachsen die Dauer der Holstein-Warmzeit nach MÜLLER mit ca. 15.000 Jahren und die der Eem-Warmzeit mit ca. 10.000 Jahren angegeben.

Geologische Aufschlüsse in Schleswig-Holstein haben einen bedeutenden Beitrag zur erdgeschichtlichen Untergliederung des Norddeutschen Raumes geliefert. So wurden hier einmalige Erkenntnisse hinsichtlich der Klimaentwicklung im frühen Eiszeitalter gewonnen. Die Interpretation älterer geologischer Struktu-

ren, z.B. Saale-kaltzeitlicher Stauchungsstrukturen, ermöglicht eine Abschätzung der Abtragsleistung während der Glazial- und Periglazial-Zeiten. Auch die feinere Aufgliederung der Weichsel-Kaltzeit in Interstadiale (Odderade-, Keller-Interstadial), ein Nachweis des Klimawandels innerhalb der einzelnen Kaltzeiten, ist in Schleswig-Holstein unterlegt worden. Jüngst mehrten sich Untersuchungsergebnisse, die einen bisher unbekanntem mittelweichselkaltzeitlichen Eisvorstoß andeuten, der ca. 25.000 Jahre vor der Hauptvereisungsphase stattgefunden haben dürfte.

Die Kenntnis vergangener Klimate ist grundlegend für das Verständnis heutiger Prozesse des Klimawandels und auch zur Berücksichtigung entsprechenden Wissens bei der Prognose und Modellierung zukünftiger klimatischer Entwicklungen bzw. Zustände. Andererseits ermöglichen heutige Ablagerungsräume bzw. -prozesse detaillierte Studien, so genannte aktuo-geologische Untersuchungen, die für die Interpretation vergangener Ablagerungsräume von großer Relevanz sind. Bereits der berühmte englische Naturforscher und Geologe Charles LYELL (1797 - 1875) formulierte: „*The Present is the Key to the Past!*“. Mit dem Nationalpark Wattenmeer hat Schleswig-Holstein Anteil an einem der größten derartigen Systeme weltweit.

Einfluss von Salzstöcken auf die heutige Landschaft

Bewegungen von Salzen im Untergrund gehören zu den wesentlichen „erinneren“ geologischen Prozessen in Norddeutschland. Im Perm und in der Trias wurden bis über 1.000 Meter mächtige Salzlagerstätten gebildet, die mit wachsender Sedimentbedeckung im Meso- und Känozoikum zur Mobilität neigen. Die Salze fließen zu Salz-Kissen, -Diapiren und -Mauern zusammen, teilweise beeinflusst durch tektonische Einwirkung. Durch diese Salinar tektonik dringen auch meso- und känozoische Gesteinskörper mit auf. Diese „Aufbeulung“ hat an verschiedenen Orten Schleswig-Holsteins zu großräumigeren Veränderungen an der Erdoberfläche geführt. Zudem treten durch die unterirdische Ablösung von älteren Gesteinen durch das Grundwasser örtlich Sackungen und Erdfall-Bildungen auf, wie z. B. auf den Strukturen Elmshorn (vgl. Abbildung 2), Krempe-Lägerdorf (vgl. Abbildung 3), Osterby, Peissen, Quickborn und Segeberg.

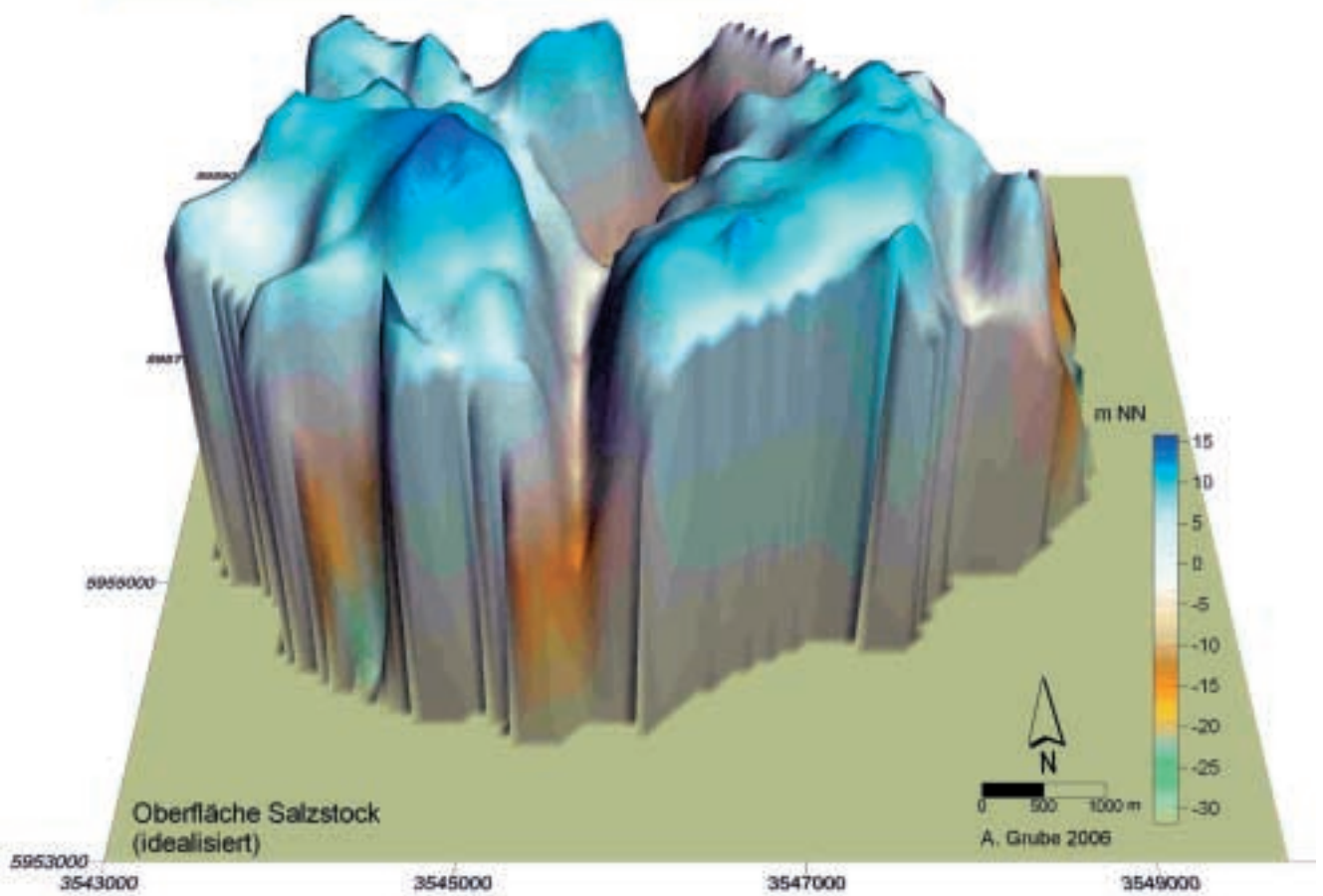
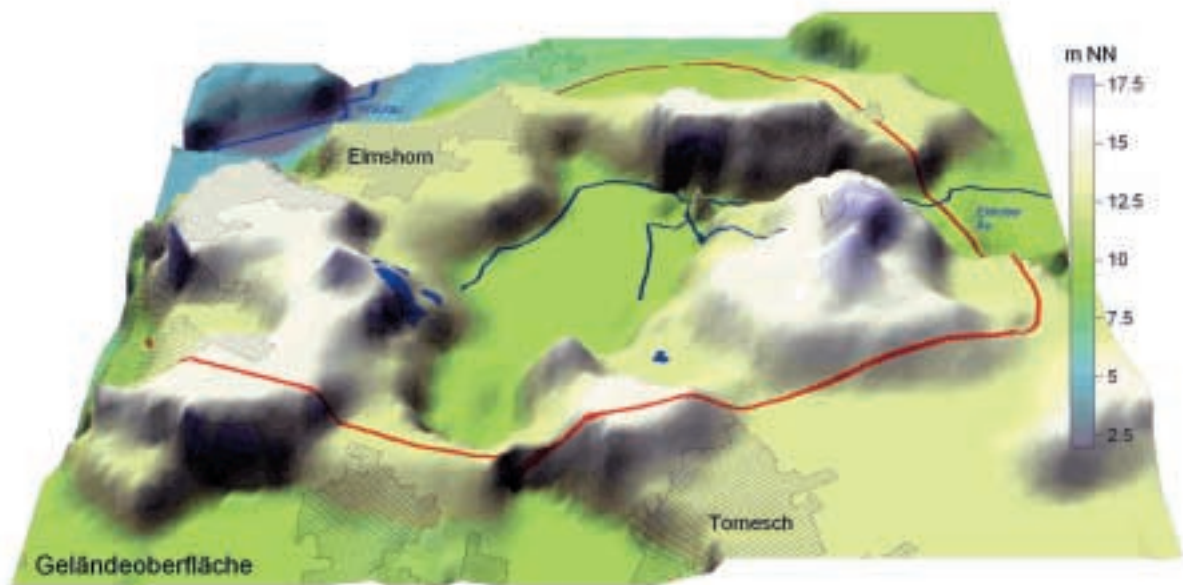


Abbildung 2: Oberfläche des Salzstockes Elmshorn mit so genanntem Hebungskranz aus Perm-Ablagerungen (Grundlage: ca. 4.000 Bohrungen). Diese Gesteine sind weniger erosionsanfällig, die Hochlagen pausen sich auf das heutige Landschaftsbild durch bzw. bestimmen das heutige Oberflächenbild. Der sich durchpausende „Ringwall“ bewirkt auch, dass die Oberflächenentwässerung (Ekholter Au) nicht - wie zu erwarten - auf kürzester Strecke nach Westen hin zum Elbtal erfolgt, sondern genau entgegengesetzt verläuft.



Abbildung 3: Vermutlich auf unterirdische Lösung von Kalkgesteinen und resultierenden Einsturz von Hohlräumen zurückgehende „Knickenkuhle“ bei Münsterdorf (Naturdenkmal). Das Alter der 15 Meter tiefen rundlichen Einbruchstruktur (vgl. zwei Personen im Bild in blauen Jacken – rote Pfeile) ist unbekannt. In den letzten Jahren brachen benachbart mehrere kleinere Hohlformen ein (rechts; Fotos 2005/06).

Tiefreichende Sediment-Überformung während des „Frostzeitalters“

Während der letzten Vereisung in Norddeutschland (Weichsel-Kaltzeit) lag das Gebiet um Elmshorn-Barmstedt im so genannten periglazialen Bereich, der den bis zu einer gedachten Linie von Segeberg – Kayhude - Rahlstedt vorrückenden Gletschern vorgelagert war. Hier befand sich ein vegetationsarmer, weitgehend baumfreier Bereich, in dem Wind und Wasser den Boden bearbeiten und verlagern konnten. Der Bodenfrost konnte den Boden zum einen „wie mit einem Mixer verkneten“, zum anderen durch die extreme Kälte auch regelrecht aufreißen lassen. Vom Sand geschliffene Windkanter, Flug- und Dünenansätze sowie Frostmusterböden und Frostkeile sind Ausdruck derartiger Prozesse. Das in der Abbildung 4 gezeigte Beispiel einer **Eislinsen-Einbruchstruktur** nahe Bokel ist ein zunächst temporärer Aufschluss bzw. Geotop, der bei Feldarbeiten im Jahre 2005/2006 entdeckt wurde. Hier sind in kleinen Toteis-Senken Ablagerungen der Eem-Warmzeit (115.000 bis 105.000 Jahre vor Heute; Datierung: Dr. habil. H. USINGER, 2007) in Form von bis zu 1 Meter mächtigen Torfen aufgeschlossen. Diese werden überlagert von feinkörnigen Sedimenten, in denen mehrere kurzfristige Wärmeschwankungen der Weichsel-Kaltzeit in Form von dünnen humosen Bändern enthalten sind (Abbildung 4 links). Benachbart waren diese humosen Ablagerungen periglazial stark zerbrochen und verstellt (Abbildung 4 rechts). Derartige Aufschlüsse, die im Rahmen von Tief-, Straßenbau- oder Rohstoffgewinnungsmaßnahmen entstehen, enthalten oft wertvolle geowissenschaftliche bzw. klimageschichtlich relevante Informationen. Leider können sie nur in Ausnahmefällen dauerhaft geschützt werden. Diese Geotope müssen ausreichend dokumentiert werden. Erfreulicherweise läuft auf Initiative der Abteilung 5 des LANU

derzeit für das oben genannte Objekt ein Verfahren für eine Unterschutzstellung als Naturdenkmal.

Hingegen sind drei große fossile **Eiskeile bei Lieth** in einem Naturschutzgebiet gelegen, so dass hier (nur) dem natürlichen Verfall entgegen zu wirken ist. Alle drei Eiskeile verlaufen parallel zueinander und zeigen in den nicht durch Kryoturbation (Durchmischung des oberflächennahen Untergrundes durch Gefrieren und Wiederauftauen) massiv beeinflussten zwei Dritteln in unterschiedlichem Maße eine „mehrphasige“ Verfüllung durch parallele, senkrecht stehende Sedimentlagen an. Die die Eiskeile füllenden Sedimente sind grundsätzlich von der Korngröße, ihrer Struktur, Mächtigkeit der einzelnen Abschnitte, den Sedimentfarben usw. her unterschiedlich. Die flächenhafte Verbreitung der „Eiskeil-Netze“ kann anhand der sich auf der freigelegten Abbausohle fortsetzenden Risse nachgewiesen werden.

Summary

Schleswig-Holstein comprises a great diversity of geological and geomorphological forms. It possesses a widespread representative set of glacial structures. The protection of earth science sites (Geotops) is an important task with pertinent importance for modern society, e.g. aspects of climate change. Examples of valuable Geotops are illustrated.

Literatur

AD-HOC-AG GEOTOPSCHUTZ (1996): Arbeitsanleitung Geotopschutz in Deutschland - Leitfaden der Geologischen Dienste der Länder der Bundesrepublik Deutschland.- Angew. Landschaftsökologie 10: 1-105.

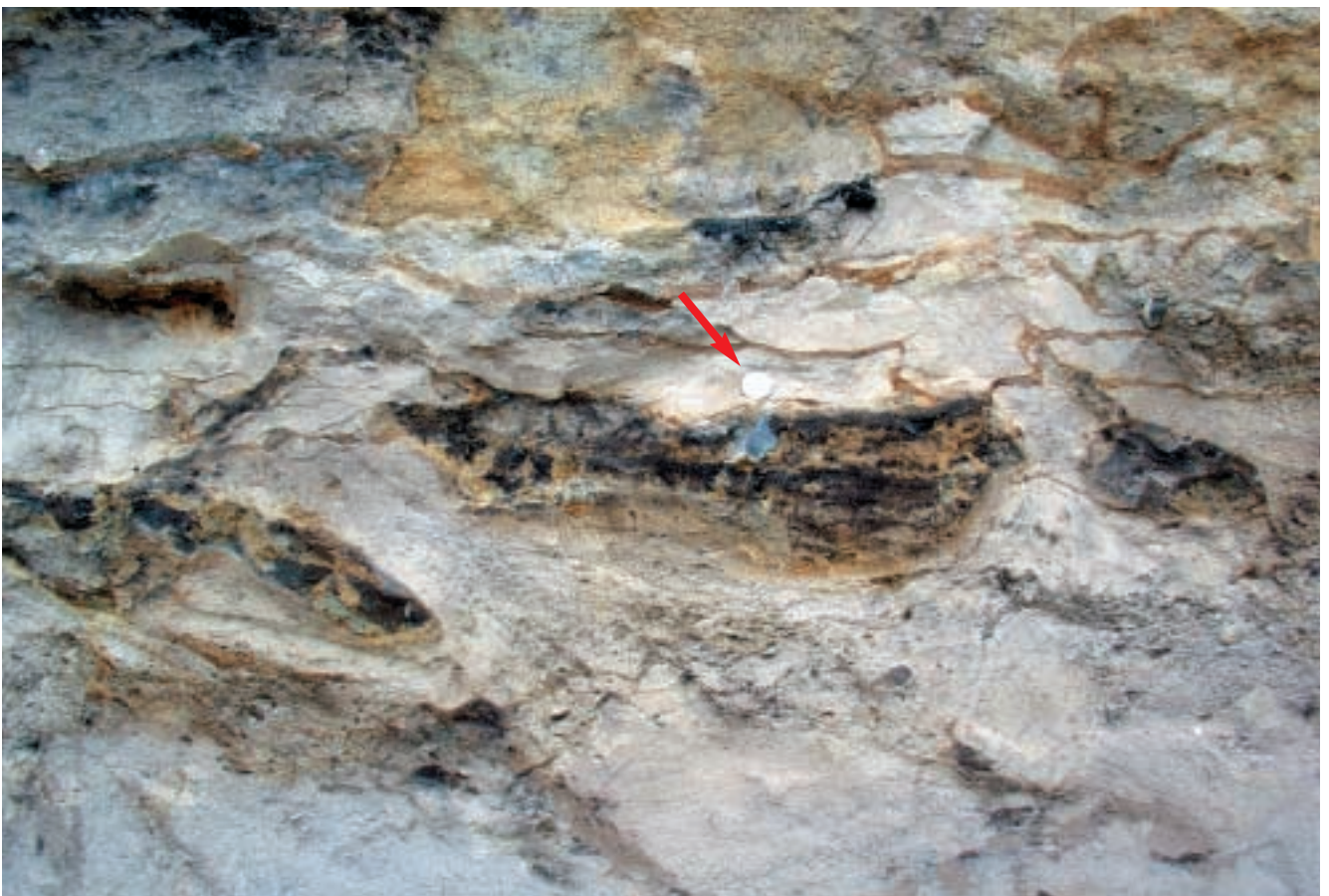


Abbildung 4: Eem-Interglazial-Torfe mit darüber liegenden weichselkaltzeitlichen Interstadial-Ablagerungen bei Bokel (Foto 2007). Unten: Detailphoto periglaziär zerbrochener Ablagerungen (Foto 2006), verstellt durch den Aufbau und den Zerfall einer großen Eislinse während der Weichsel-Kaltzeit. Das Zwei-Eurostück verdeutlicht den Maßstab.

Abbildung 5:
Teil eines Eiskeiles
aus dem Westteil
der Liether Kalkgru-
be (Lackfilm). Ne-
ben der „mehrpha-
sigen“ Verfüllung
zeigt sich eine „za-
ckige“ Gestalt, die
auf die besondere
Struktur und Zu-
sammensetzung
des durchschlage-
nen Materials zu-
rückzuführen ist
(Foto 2007, alle Fo-
tos im Artikel vom
Autor).



BECKER, B. (1993): An 11,000-year German oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration.- Radiocarbon 35: 201-213.

GRAY, M. (2004): Geodiversity - valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons: 434 S.

GRUBE, A. (1994): The National Park system in Germany.- In: D. O'Halloran, C. Green, M. Harley, M. Stanley & J. Knill [Hrsg.]. Geological and Landscape Conservation.- Geological Society London, Spec. Publ., 175-180, London.

GRUBE, A. (1996-2000): Geotopschutz in Schleswig-Holstein – Untersuchungen im Kreise Stormarn.- Die Heimat 103 (9/10): 190-216; (11/12): 244-251; 105 (7/8): 146-165; 107 (9/10).

LOOK, E.-R. & FELDMANN, L. (2007): Faszination Geologie. Die bedeutendsten Geotope Deutschlands.- 2. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

ROSS, P.-H. (1990): Geowissenschaftlich schützenswerte Objekte (GeoschOb) in Schleswig-Holstein 1:250 000.- Unter Mitarbeit von Liebsch-Dörschner, Th., Picard, K. & Lange, W.; Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein [Hrsg.], Kiel, mit Erläuterungen.

➤ **Dr. Alf Grube**
Dezernat 51 - Geologie
Tel.: 0 43 47 / 704-542
Email: agrube@lanu.landsh.de