

Neue Erkenntnisse zum geologischen Bau des „Kleinen Berges“ zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde (südwestliches Niedersachsen) aufgrund der Ergebnisse der Tiefbohrung 'Bad Laer Z 1' (1993)

von

Konrad GÜNTHER, Günter DROZDZEWSKI und Martin HISS

Kurzfassung: Durch die 2108,0 m tiefe Untersuchungsbohrung "Bad Laer Z 1" ist 1993 der tiefere Untergrund unter der Struktur des "Kleinen Berges" im Hinblick auf das Vorkommen speicherfähiger Gesteinsformationen erkundet worden, deren Vorhandensein aufgrund geophysikalischer Voruntersuchungen postuliert worden war. Dieses Ziel ist nicht erreicht worden, da keine Formationen angetroffen wurden, die für den Aufbau eines Gasspeichers geeignet gewesen wären. Andererseits hat die Bohrung eine Fülle regionalgeologisch, stratigraphisch, montageologisch sowie inkohlungs- und gastechnisch wichtiger Daten geliefert, so daß die Bohrung im wissenschaftlichen Sinne als voller Erfolg bewertet werden muß.

In der Bohrung wurde nach Durchteufen einer vom Turonium bis ins Albium hinunterreichenden, überwiegend aus sog. Plänerkalksteinen aufgebauten Schichtenfolge überraschenderweise in einer Tiefe von nur 439 m produktives Oberkarbon in Gestalt der Lembeck-Schichten des obersten Westfal C angetroffen. Danach ist nahezu das gesamte Westfal C und das Westfal B bis hinunter zum Flöz Katharina an der Grenze zum Westfal A mit insgesamt über 66, z.T. bauwürdigen Kohlenflözen durchteuft worden. Inkohlungsuntersuchungen zeigten einen mehr oder weniger kontinuierlichen Anstieg des Inkohlungsgrades mit der Teufe vom Stadium der Gasflammkohlen in der Teufe bis zu 700 m über das Stadium der Gaskohlen bis ca. 1600 m bis hin zum Fettkohlenstadium in über 1600 m Tiefe. Als weiteres überraschendes Ergebnis kann die, ohne erkennbare Desorptionszone, unmittelbar unter dem Kreide-Deckgebirge einsetzende hohe Gasführung der Flöze angesehen werden. Dieses Ergebnis kann auch im Hinblick auf das derzeitige große Interesse an einer potentiellen Nutzung des Flözgasen als Erfolg der Bohrung betrachtet werden.

Abstract: The 2108,0 m deep exploration well "Bad Laer Z 1" (1993) has been carried down in order to investigate the deeper ground lying beneath the "Kleiner Berg" anticline, concerning the existence of reservoir beds which was postulated according to preceding seismic investigations. This aim of the borehole was not attained, because no formations have been drilled suitable for the construction of an artificial gas reservoir. On the other hand the bore hole revealed a great amount of new regional geologic, stratigraphic, mining, coalification and coal bed gas data. Therefore, from a scientific point of view the exploration well must be considered successful.

After the drilling of a stratigraphic succession, mainly consisting of cretaceous "Pläner" limestones (from Albanian to Turonian), surprisingly in a depth of only 439 m productive Upper Carboniferous rocks formed by the Lembeck beds of uppermost Westfalian C have been found. In addition to this discovery, nearly the whole Westfalian C and B reaching down to the coal bed "Katharina" at the Westfalian A boundary were drilled through revealing over 66 partly minable coal beds. Investigations of the coalification pattern showed a more or less continuous increase of the rank gradient with depth reaching from the step of gas flame coal down to 700 m over that of gas coal down to 1600 m to that of fat coal down to the bottom of the borehole. An additional surprising result of the exploration well was the observation, that immediately below the base of the Cretaceous the coal beds revealed a high gas content without the presence of a desorption zone. This result must also be considered as success of the drilling with respect to the strong interest in a potential utilization of coal bed methane nowadays.

1. EINLEITUNG

Die Vereinigten Elektrizitätswerke Westfalen AG (VEW), Dortmund, haben in der Zeit vom 27. Februar 1993 bis zum 23. April 1993 die 2108,0 m tiefe Untersuchungsbohrung "Bad Laer Z 1" (Aufschlußbohrung A 3) niedergebracht. Mit Hilfe dieser Bohrung sollte der tiefere Untergrund des zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde gelegenen Kleinen Berges besonders im Hinblick auf die Möglichkeit, speicherfähige Gesteinsformationen aufzufinden, erkundet werden. Das Vorhandensein solcher, zum Aufbau eines Gasspeichers geeigneten Gesteine war im Zuge geophysikalischer Voruntersuchungen unter dem Kleinen Berg postuliert worden.

Dieses montanwirtschaftliche Ziel der Bohrung ist nicht erreicht worden, da im Untergrund des Kleinen Berges keine Gesteinsschichten existieren, die für den Aufbau eines Gasspeichers geeignet gewesen wären. Dennoch hat die Bohrung Bad Laer Z 1 eine Fülle regionalgeologischer, stratigraphischer, montangeologischer sowie inkohlungs- und gastechnischer Daten geliefert, so daß die Bohrung im wissenschaftlichen Sinne als voller Erfolg bewertet werden kann. In der vorliegenden Arbeit sollen im wesentlichen die neuen Erkenntnisse zum geologischen Bau des Kleinen Berges vorgestellt werden, wie sie sich aus dem Profil der Tiefbohrung ergeben. Eine größere Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse dieser Bohrung wird z.Zt. erarbeitet und soll in einer späteren Veröffentlichung an anderer Stelle publiziert werden.

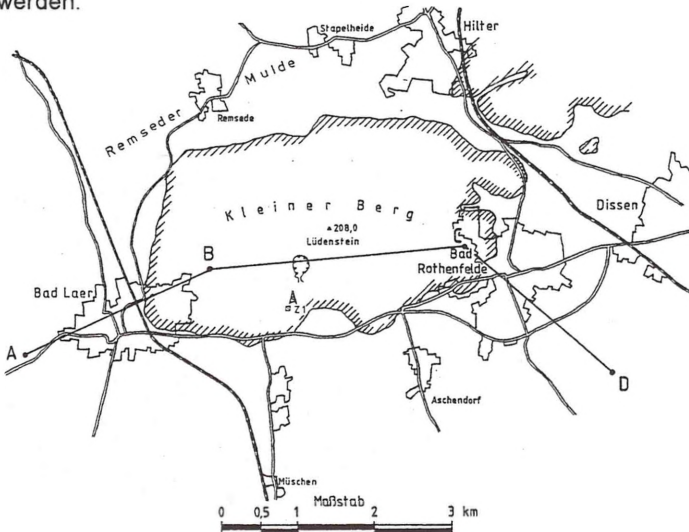


Abb. 1: Lageplan des Kleinen Berges zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde mit Lage der Tiefbohrung Bad Laer Z 1 sowie der Schnittlinie des geologisch-hydrogeologischen Profils der Abb. 3.

2. ÜBERBLICK ÜBER DIE GEOLOGIE DES KLEINEN BERGES

Der Kleine Berg bildet zwischen den beiden Heilbädern Bad Laer und Bad Rothenfelde eine ins Auge fallende morphologische Aufwölbung, die sich spitzwinklig vom Kamm des Teutoburger Waldes ablöst und sich als sog. "Rothenfelder Plänersattel" bis etwa 208 m über die südlich angrenzende, bei rund 100 m NN liegende Münsterländer Ebene heraushebt (Abb. 1). In einem größeren Aufschluß an der Südseite des Berges, welcher teilweise durch Bodenaushub und Bauschutt verfüllt ist, stehen dünnbankige, gut geschichtete Kalk- und Kalkmergelsteine der Scaphiten-Schichten des Oberen Turonium an, die, mehr oder weniger horizontal liegend, nur im Nordteil des ehemaligen Steinbruches ein sanftes Umbiegen des Schichtfallens nach Norden anzeigen. Aufgrund der Lagerungsverhältnisse dieser oberkretazischen 'Plänerkalksteine' wurde angenommen, daß es sich bei der Struktur des Kleinen Berges um eine W-E-streichende Antiklinale, den sog. 'Rothenfelder Sattel', handelt, in welchem Schichten der Kreide, und zwar die Scaphiten-Schichten des Oberen Turonium und die *schloenbachi*-Schichten des Unteren Coniacium an der Oberfläche erscheinen, bzw. sich aus den sie umgebenden Quartär-zeitlichen Lockersedimenten herausheben (Abb. 2).

2.1. Stratigraphie

Die Schichtenfolge der Sedimentgesteine im Bereich des Kleinen Berges beginnt mit dem Flammenmergel des Oberalium (Tab. 1). Diese unterkretazische Formation ist bei Bad Laer allerdings nicht an der Oberfläche aufgeschlossen. Sie bildet jedoch zusammen mit dem Cenoman-Mergel die Sohlschicht des oberkretazischen Kalkstein-Aquifers, in welchem die kohlen säurehaltige Sole der beiden Heilbäder Bad Laer und Bad Rothenfelde zirkuliert (BERTRAM 1992, HAUPT 1992, vgl. auch Abb. 3).

Der **Flammenmergel** (krl) ist im Bereich des Osning als ein dunkler, schwach geflammt, relativ weicher, teils schwach verkieselter, teils schlecht bis ungeschichteter Tonmergel-, bzw. Mergelstein ausgebildet. Er erreicht eine Mächtigkeit von rund 240 m.

Zwischen dem Flammenmergel und dem aus ihm hervorgehenden oberkretazischen **Cenoman-Mergel** (krc1) ist keine deutliche Schichtgrenze ausgebildet. Der Cenoman-Mergel unterscheidet sich lediglich durch einen höheren Kalkgehalt vom Flammenmergel, so daß im unteren Cenomanium vorwiegend ungeschichtete bis dickbankige, dunkelgraue bis graue Tonmergel- bis Mergelsteine mit grauen dichten Mergelkalksteinknollen und Pyritkonkretionen in ihrem oberen Teil, abgelagert wurden. Nach HAACK (1930) und MESTWERTH (1930) werden diese Ablagerungen rund 150 m mächtig. THIERMANN (1984) gibt allerdings nur eine Mächtigkeit von 60 m für

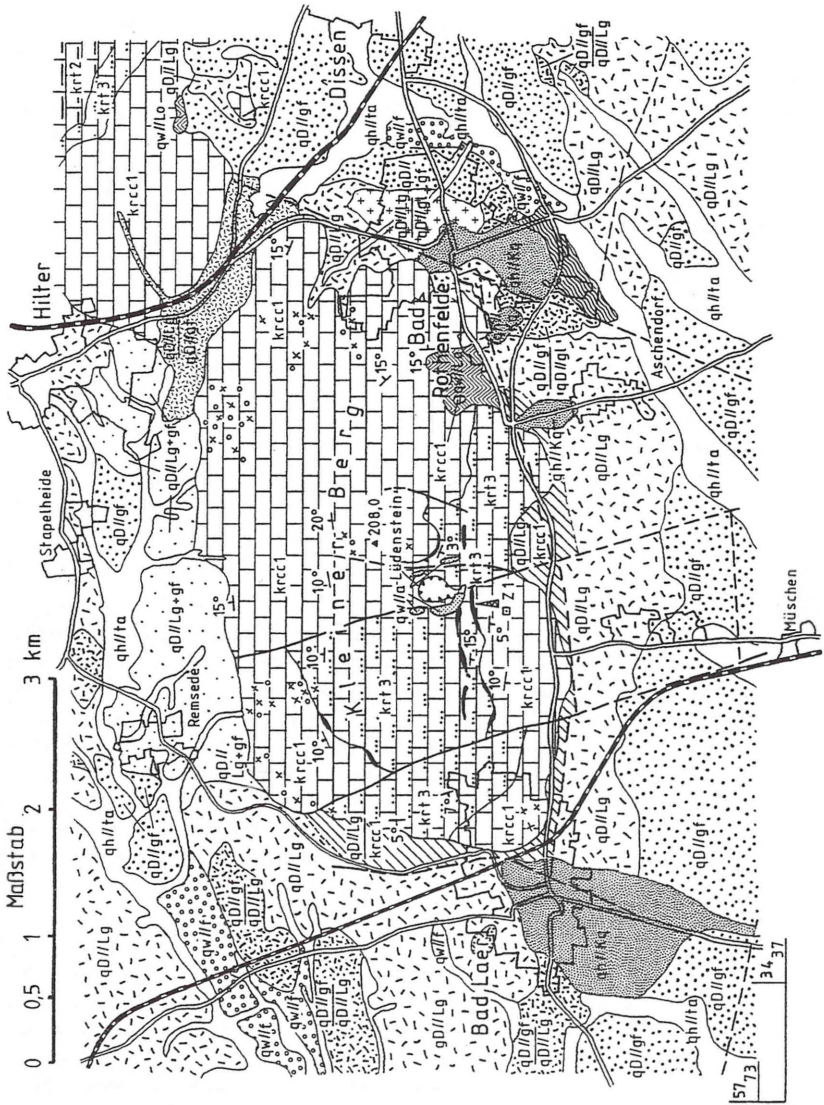


Abb. 2: Geologische Karte des Kleinen Berges zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde.

Legende zur Geologischen Karte des Kleinen Berges

Quartär

Holozän



qH/ta Talaua (Sand, Schluff, untergeordnet Ton, Kies, Torf)



qH/kq Quellkalk (Tertiär)
(Kalk- bis Mergelstein, z.T. porös, bröckelig)

Pleistozän



qw/w Dünen (feinsandig bis schwach grobsandig)



qw/Lö Löss u. Lössderivate
(Schluff, schwach tonig, schwach feinsandig)



qw/f Fluviale Ablagerungen (Niederterrasse und Tal sand)
(Fein- u. Mittelsand, schluffig, kiesig)



qD/gf Schmelzwasserablagerungen (Kies, Sand, Schluff)



qD/lg/gf Geschiebemergel, bzw. -lehm (Schluff, tonig, sandig, steinig
mit Sandkörnchen)



qD/lg Geschiebemergel, bzw. -lehm (Schluff, tonig, sandig, mit Stein)



qD/gl Beckenablagerungen (Schluff, tonig und feinsandig
wechsellagernd)

Überlagerungsbeispiele:



qD/gf Schmelzwasserablagerungen über Geschiebemergel, bzw. -lehm



qD/Lg Geschiebemergel, bzw. -lehm über Schmelzwasser-
ablagerungen



qD/gf Schmelzwasserablagerungen über Beckenablagerungen



qD/Lg Geschiebemergel, bzw. -lehm über Beckenablagerungen

Oberkreide

Santonium



krsa Graue Mergel (Tonmergel, Kalkmergel, dunkelgrau,
Ausstrich unter quartärzeitlichen Sedimenten)

Coniacium



krc2+3 Graue Mergel (Tonmergelstein, dunkelgrau)



krc1 *schloenbach*-Schichten (Mergel-/Kalkstein, dünnbankig,
klüftig, z.T. verkarstet)

Turonium



krt3 Stapfien-Schichten mit "Rothenfelder Grünsanden"
Kalkmergel-/Kalkstein, dünnbankig, klüftig, z.T. verkarstet,
häufig eingeschaltet: igneokontinentaler Porphyrokalkstein)



krt2 *Imanzell*-Schichten (Mergel-/Kalkstein, dickbankig,
klüftig, z.T. verkarstet)

Überlagerungsbeispiele:



qD/Lg Geschiebemergel, bzw. -lehm über *schloenbach*-Schichten

zusätzliche Zeichen:



Geschiebebetreuung (Sand-, bzw. Geschiebeleimflecke
auf älteren Sedimenten)



Schichtgrenze



Streichen und Fallwinkel (in °)



Verwerfung



Verwerfung, vermutet

den Cenoman-Mergel an. Dieser Unterschied ist offensichtlich darin begründet, daß HAACK (1930) und MESTWERDT (1930), die die Blätter Iburg und Borgholzhausen der "Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern" (1:25 000) bearbeitet haben, große Teile des lithologisch ähnlich ausgebildeten Flammenmergels dem Cenoman-Mergel zuordneten.

Die folgenden **Cenoman-"Pläner"** (krc2) bilden einen grauen, flaserigen, häufig dunkel geflammten Kalkmergelstein mit Pyritkonkretionen, der keine deutliche Schichtung erkennen läßt. Dafür ist eine ausgeprägte Klüftung, die in verschiedene Richtungen weist, zu beobachten. Die Mächtigkeit beträgt ca. 70 m.

Die "Pläner"-Fazies geht allgemein ohne scharfe Grenze in die Kalkstein-Fazies des **Cenoman-Kalkes** (krc3) über. Dieser ist als ein heller, seltener auch grau oder gelblich gefärbter, dickbankiger, muschelig brechender und zu Scherben verwitternder Kalkstein (sog. "Fettkalk") ausgebildet. Lokal sind dunkle, nicht weit aushaltende Mergelsteinlagen und Lagen von Pyritkonkretionen eingeschaltet. Die Mächtigkeit beträgt ca. 50 m.

Das Turon beginnt mit den **labiatus-Schichten** (krt1), die ca. 70 m mächtig werden. Die Basis bildet ein schwach roter bis cremegelber, z.T. buntgefleckter 2 m mächtiger Kalkstein. Im Hangenden dieses "bunten Kalksteins" folgt eine ca. 7 m mächtige Schichtenfolge aus dunkel-marmoriertem Kalkstein und dunklem, bituminösem Mergelstein. Diese Folge wird von einem dickbankigen, grauen Mergel- bis Mergelkalkstein überlagert.

In ihrem Hangenden gehen die **labiatus-Schichten** in die **lamarcki-Schichten** (krt2) über. Die Basis bildet ein löchriger, plattig zerfallender, grauer sparitischer Kalkstein. Örtlich ist er schwach sandig ausgebildet und weist einen geringen Glaukonitgehalt auf. Im angewitterten Zustand zeigt der Kalkstein eine feine Schrägschichtung. In seinem Hangenden folgt eine Wechsellagerung von gut geschichteten festen Kalksteinen und dünnplattigen, häufig grau oder dunkel geflammten Mergelsteinen. Ungefähr in der Mitte der ca. 150 m mächtigen Schichtenfolge befindet sich ein ca. 6 m mächtiger, heller, regelmäßig geklüfteter reiner Kalkstein.

Die folgenden **Scaphiten-Schichten** (krt3) bestehen aus einem grauen, gefleckten Kalkstein mit dünnen grauen Mergelsteinlagen. Im oberen Teil der Formation sind die sog. **"Rothenfelder Grünsande"** eingeschaltet, die sich wieder in drei Horizonte unterteilen lassen (HAACK 1930, VOIGT & HÄNTZSCHÉL 1964, DEUTLOFF et al. 1986). Die Grünsand-Horizonte bestehen aus gut geschichteten, zu großen Schichten brechenden, sandig-glaukonitischen, dunklen Detrituskalksteinen. Auf ihren Schichtflächen sind häufig Strömungsmarken zu erkennen. Diese Grünsande sind linsenförmig im Kalk-

stein verteilt und zeigen gradierte Schichtung. Die Mächtigkeit kann 145 m erreichen.

KANZLER (1920), HAACK (1930) und MESTWERDT (1930) stufen die auf die Scaphiten-Schichten folgenden **schloenbachi-Schichten** (krcc1) noch in das Obere Turonium ein. Heute werden die *schloenbachi*-Schichten jedoch stratigraphisch dem Unteren Coniacium zugeordnet. Die Formation besteht aus einer Wechselfolge von hellen bis grauen, wolkig fleckigen, ebenplattigen und glattklüftigen Kalksteinen, die mit grünlichgelben Mergelsteinen wechsellagern. Ihre Mächtigkeit beträgt ca. 120 m.

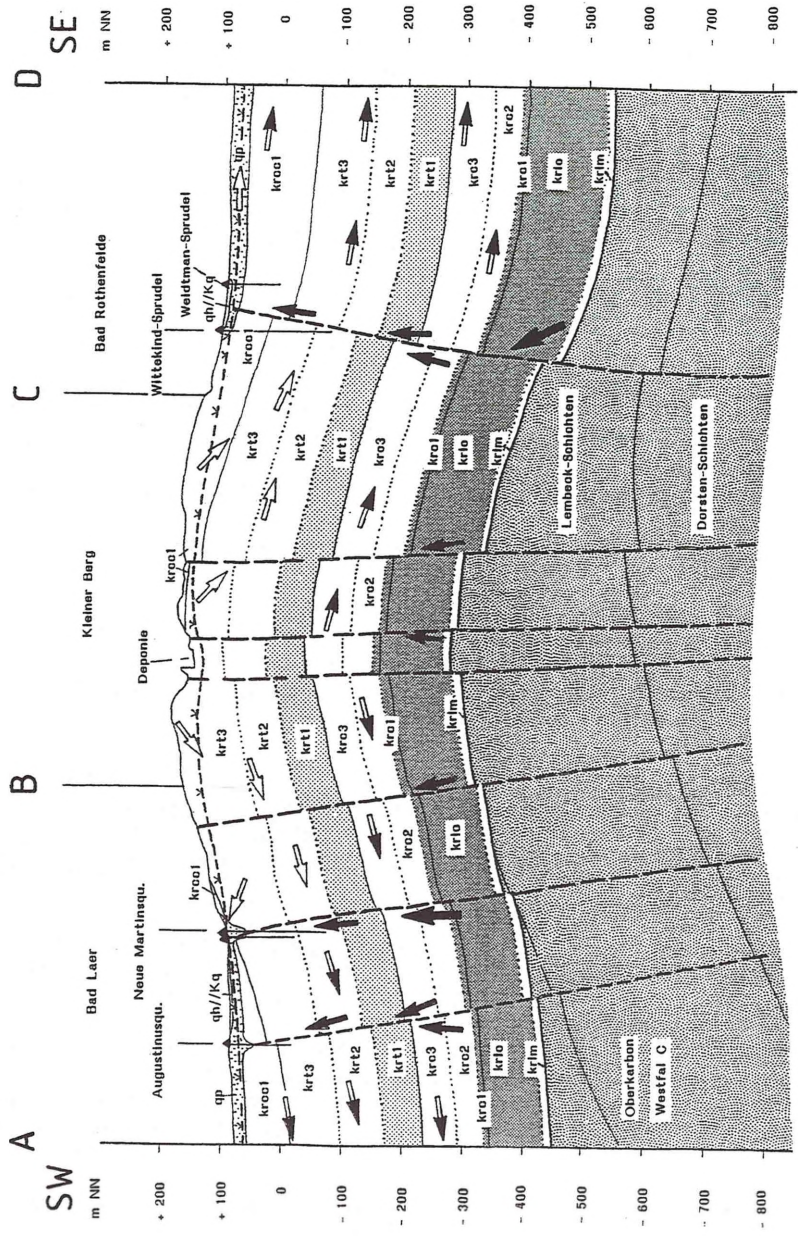
Die darauffolgenden Sedimente des Mittleren bis Oberen Coniacium und des Santonium wurden früher als "**Emscher-Mergel**" bezeichnet. Im Mittleren bis Oberen Coniacium wurde ein Fossil-armer, mittel- bis dunkelgrauer Tonmergelstein abgelagert. Der genaue Ausstrichbereich dieser Formation läßt sich im südlichen Vorland des Kleinen Berges nicht festlegen, da er von Quartär-zeitlichen Lockersedimenten überlagert wird. Die Mächtigkeit dieser Tonmergelsteine beträgt bis 500 m. Im südlichen Vorland des Kleinen Berges gehen sie in die lithofaziell ähnlich ausgebildeten tonigen Mergelsteine und Kalkmergelsteine des Santonium über, welche, ebenfalls vom Quartär bedeckt, eine Mächtigkeit bis 700 m erreichen sollen.

Über den Gesteinen der Kreide folgen **Pleistozän-zeitliche Lockersedimente**, und zwar zunächst Geschiebemergel, gefolgt von Beckentonen und mächtigen Schmelzwasserablagerungen des Drenthe-Stadiums bei Bad Laer, Müschen und Bad Rothenfelde. Diese glaziären und glazifluviatilen Sedimente erreichen eine Mächtigkeit von 25 m bei Bad Laer.

Während der folgenden Weichsel-Kaltzeit herrschten periglaziäre Bedingungen vor, die zur Bildung von fluviatilen Ablagerungen sowie zu Löß- und Dünen-Sedimenten führten. Nahe dem großen Steinbruch im Südteil des Kleinen Berges finden sich Dünen aus mittelkörnigem bis grobem Feinsand (Abb. 2).

Zur Zeit des Holozäns bildeten sich die Ablagerungen der Talauen. Seit der jüngeren Dryas-Zeit und verstärkt seit dem Atlantikum wurden mächtige Travertinlager (Quellkalk) durch die natürlich austretenden Solquellen von Bad Rothenfelde, Aschendorf und Bad Laer abgesetzt. Diese Quellkalke entstanden durch Ausfällung von Calcit aus Calciumhydrogencarbonat-gesättigten Quellwässern unter Mitwirkung von Druckentlastung, Temperaturerhöhung und der CO₂-Assimilation durch Pflanzen. Die Travertinvorkommen sind bereits zum größten Teil als Werksteine abgebaut worden. Die

Umseitige Abb. 3: Geologisch-hydrogeologischer Schnitt durch den Kleinen Berg zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde (Schnittlinie s. Abb. 1).



Legende zum Geologisch-Hydrogeologischen Profilschnitt

Quartär

Holozän

qh/ksq

Quellsaak (Traverin)
(Kalk- bis Mergelstein, z.T. porös, bröckelig)

Pleistozän

qp

Pleistozän, ungegliedert
(Schluff, tonig, sandig, mit Steinen, Sand, Kies)

Kreide

Coniacium

krecl

schloembach-Schichten (Mergel-/Kalkstein, dünnbankig, klüftig, z.T. verkarstet)

Turonium

kr3

Scapilien-Schichten mit "Rothensfelder Grünsanden"
Kalkmergel-/Kalkstein, dünnbankig, klüftig, z.T. verkarstet,
lagig eingeschalteter glaukonitischer Dottrinkalkstein)

kr2

lamarek-Schichten (Mergel-/Kalkstein, dickbankig, klüftig, z.T. verkarstet)

kr1

fabianus-Schichten (Mergelstein, wenig Kalkstein, klüftig)

Cenomanium

kre3

Cenoman-Kalk
(Kalkstein, fest, stark klüftig, z.T. verkarstet)

kre2

Cenoman-"Pflaier"
(Mergel-, bzw. Kalkmergelstein, dickbankig, klüftig)

kre1

Cenoman-Mergel
(Mergel-, bzw. Tonmergelstein, wenig Kalkstein)

Albium

kr0

Flammenmergel (Ton-, bzw. Tonmergelstein, kieselig)

krm

Minimuston und Osnang-Grünsand
(Ton- und glaukonitischer Sandstein)

Oberkarbon (Westfal C)



Lembeck-Schichten (Sandstein, verkieselt,
Dorsten-Schichten mit Kohlenflözen)

Hydrogeologie



Schichten mit guter bis sehr guter Durchlässigkeit
(Wasserwegamkeiten auf Trennflächen im Gestein)



Schichten mit geringer bis guter Durchlässigkeit
(Wasserwegamkeiten auf Klüften)



Schichten mit mäßiger bis geringer Durchlässigkeit
(Wasserwegamkeiten, bzw. Aufsteigbahnen für die Solen
beschränken sich auf Störungszone)

zusätzliche Zeichen:



Schichtgrenze



Verwerfung



Verwerfung, vermutet



Grundwasseroberfläche



Grundwasserfließrichtung:
(Pfeilgröße = vermutete Abstrommenge)



Stüßwasser (oberflächennahes, bzw. neugebildetes Grundwasser)



Mischwasser (Stüßwasser und Sole)

Sole, bzw. versalztes tiefes Grundwasser



Brunnen, bzw. Quelle

Schnittlage: A—C
B

Mächtigkeit beträgt im Bereich des Kirchplatzes von Bad Laer max. 6 m. Eine rezente Querkalkablagerung findet nicht mehr statt, da die heutigen Quellen durch Süßwasserzuströme zu stark verdünnt werden.

2.2 Tektonische Entwicklung und strukturelle Modellvorstellungen

Die tektonische Entwicklung des Kleinen Berges läßt sich folgendermaßen skizzieren: Das Gebiet lag ursprünglich im nördlichen Randbereich der sog. "Rheinischen Masse", einer alt angelegten tektonischen Großstruktur (ARNOLD 1964, DEUTLOFF et al. 1986, HAACK 1930). Am Ende der Oberkarbonzeit, während der asturischen Phase der variszischen Gebirgsbildung wurden die Sedimente der subvariszischen Sauntiefe, hauptsächlich produktives Karbon und Flözleeres, gefaltet. Gleichzeitig begann der Aufstieg der rheinischen Masse zum Hochgebiet. Dabei zerbrach das aus oberkarbonischen und älteren Schichten bestehende Gebirge entlang tiefreichender Verwerfungen, die, hauptsächlich während des Perms in Form von Seitenverschiebungen und Überschiebungen ausgebildet, Sprunghöhen von mehreren 100 m erreichten (KÖTTER 1958).

Diese alt angelegten Störungssysteme reichen vom liegenden paläozoischen Grundgebirge bis in die hangende oberkretazische Schichtenfolge, da sie durch tektonische Vorgänge am Ende der Oberkreidezeit wieder aktiviert worden sind (s.u.). Der Aufstieg von versalzten tieferen Grundwässern wird in der Literatur allgemein mit solchen tiefreichenden Störungen in Verbindung gebracht (BERTRAM 1992, HAUPT 1992).

Bedingt durch die randliche oder zumindest randnahe Lage zur Rheinischen Masse traten vom Rotliegenden bis zur Unterkreide in den Schichtenfolgen stark reduzierte Mächtigkeiten oder als Folge des Auskeilens ganzer Schichtkomplexe sogar markante Schichtlücken auf. Dieses trifft besonders für die Evaporitfolgen des Zechsteins, des Röt, des mittleren Muschelkalkes und des Münder Mergels zu, welche alle als möglicher Ursprung der Solen in Frage kommen.

Am Ende der Unterkreidezeit kam es allgemein zur Transgression des Meeres über das eingerumpfte Gebiet. Die anfangs grob klastischen Sedimente des Valanginium bis Albium, die in Gestalt des bekannten Osning-Sandsteins mit Unterbrechungen den nördlichen Kamm des Teutoburger Waldes aufbauen, gingen langsam in tonige und tonig-mergelige Sedimente (Flammenmergel, s.o.) über.

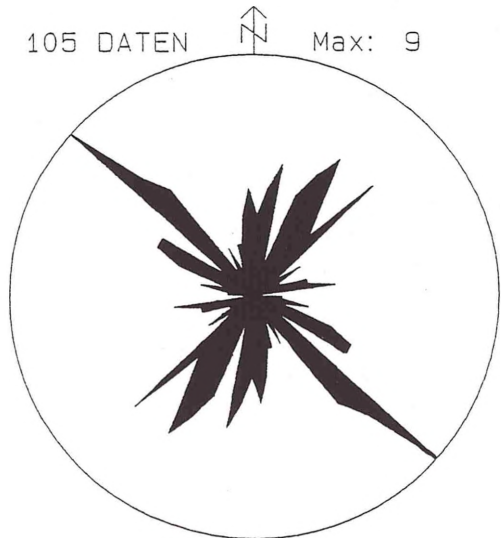
Die Cenomanzeit begann mit einer epirogenen Absenkung des Nordrandes der Rheinischen Masse und einer erneuten Meerestransgression auf das Hochgebiet (DEUTLOFF et al. 1986). In dem synsedimentär eingetieften Trog wurde vom Cenoman bis zum Campan eine mächtige Schichtenfolge abge-

lagert, wobei die "Grünsand"-Horizonte in den Sedimenten des Oberen Turoniums nach DEUTLOFF et al. (1986) als Turbidite gedeutet und als erste Anzeichen einer synsedimentären Tektonik angesehen werden. Die tektonischen Unruhen sollten ihren Höhepunkt während des Coniacium in der von VOIGT (1962, 1977) beschriebenen submarinen Großgleitung bei Halle i. Westf. finden, wo eine größere Gleitmasse Turonium-zeitlicher Plänerkalke mit charakteristischer interner Deformation als Folge von Hebungsprozessen gravitativ auf jüngere Sedimentserien geglitten ist.

An der Wende Oberkreide/Alttertiär fand während der Iaramischen Phase der subherzynen Gebirgsbildung die Osning-Überschiebung im Bereich des Teutoburger Waldes statt. Im Zuge dieser kompressiven Tektonik wurde der Rand des Münsterländer Beckens mit seinen mesozoischen Sedimenten aufgebogen und entlang südwestvergenger Störungen von älteren Gesteinsserien tektonisch überfahren (STADLER & TEICHMÜLLER 1971), oder aber im Zuge einer großräumigen Schertektonik zu einer Inversionsstruktur umgestaltet (DROZDZEWSKI 1988).

Der Kleine Berg liegt südlich des Übergangsbereiches vom typischen Bielefelder Osning mit überschobenem Trias-Zug im Norden und überkippter Kreide im Süden zum unregelmäßiger aufgebauten Osnabrücker Osning, welcher keinen geschlossenen Trias-Zug aufweist.

Abb. 4: Richtungsrose des Kluffstreichens in den Scaphiten - Schichten (krt3) im alten Steinbruch an der Wiebeldehne bei Bad Laer.



Die im Bereich des Kleinen Berges aufgeschlossenen Gesteinsfolgen, die Scaphiten-Schichten des Oberen Turonium und die *schloenbachi*-Schichten

des Unteren Coniacium zeigen nach KÖTTER (1958) eine stark wechselnde Klüftung mit deutlichem Maximum in der herzynischen Richtung (NW-SE). Auf kurzen Begehungen der Steinbrüche im Südteil des Kleinen Berges konnten jedoch auch NNE-SSW- und SW-NE-gerichtete, überwiegend steilstehende Klüfte und kleinere Verwerfungen mit horizontal angeordneten Lineationen eingemessen werden, welche sich eigentlich allein auf lateral verlaufende Scherbewegungen zurückführen lassen (vgl. Richtungsrose der Klüfte in Abb. 4).

Im Westteil des Kleinen Berges sind von HAACK (1930) zwei große NNW-SSE-verlaufende Querstörungen nachgewiesen worden, an denen nach KOSMAHL (1957b) jeweils die Ostscholle um 15 m nach Osten abgesunken ist. Etwa in der Mitte des Berges streichen außerdem zwei kleinere Verwerfungen in NNE-SSW-Richtung. Diese Störungszonen sind in der Geologischen Karte (Abb. 2) mittels durchgezogener Linien dargestellt. Für alle weiteren Störungen gilt, daß ihr genauer Verlauf infolge der quartären Bedeckung nur vermutet werden kann. Aus diesem Grunde wurden sie in Form einer unterbrochenen Linie dargestellt.

So streicht nach KOSMAHL (1957a) und MIDDELSCHULTE (1921) eine NNE-SSW-verlaufende Störung aus dem Bad Rothenfelde benachbarten Teilstück des Teutoburger Waldes ("Timmer Egge", "Nolle-Schlucht") bis südlich Bad Rothenfelde. ARNOLD (1964), HILTERMANN & LÜT-TIG (1960) und KÖTTER (1958) beschreiben eine weitere NNE-SSW-verlaufende Verwerfung auch im Untergrund von Bad Laer. Im südlichen Vorland des Kleinen Berges wird von zahlreichen Autoren noch eine weitere große Störungszone vermutet (DEUTLOFF et al. 1986, FRI-CKE 1954, HAACK 1930 u.a.). Nach den Ergebnissen reflexionsseismischer Untersuchungen (BORTFELD & HEDEMANN 1987 und HEDEMANN & BORTFELD (1989, vgl. Kap. 3) könnte diese Verwerfung in E-W-Richtung südlich der Straße Bad Laer-Bad Rothenfelde verlaufen. Ihre Natur und die durch sie bewirkten Versatzbeträge sind noch nicht geklärt.

HEDEMANN & BORTFELD (1989) vermuteten entweder das Vorliegen einer Abschiebung mit ca. 150 m Versatz in südlicher Richtung, oder aber die Präsenz einer schaufelförmigen Überschiebung, ebenfalls in Süd-Richtung, durch welche es zu einer Schichtverdoppelung gekommen wäre.

Die geologische Kartierung von Blatt 3914, Vermold, der Geol. Karte 1:25.000 von NRW (STAUDE 1992) deutet darauf hin, daß das südliche Vorland des Kleinen Berges einen wesentlich komplizierteren Bau aufweist, als es bisher angenommen wurde. So konnte eine Vielzahl von kleineren und größeren Störungen mittels reflexionsseismischer und auch mikropaläontologischer Untersuchungen nachgewiesen werden, deren Verlauf z.T. deutlich von dem der bekannten Querstörungen abweicht.

Im Norden des Kleinen Berges schließt sich die asymmetrisch aufgebaute Spezialstruktur der Remseder Mulde an (Abb. 1). Die Schichtenfolge ihrer Südflanke fällt flach zum Muldenkern hin ein, während die der Nordflanke, offensichtlich durch den Einfluß der Osning-Überschiebung, steil gelagert ist. In den geologischen Karten (1:25.000 Bl. 3814 Bad Iburg und 1:100.000 Bl. C3914 Bielefeld) sind in diesem Bereich keine Störungszonen eingezeichnet. KAEVER (1987) beschreibt jedoch auch für die Remseder Mulde einen komplizierten tektonischen Bau mit Schichtverdopplungen, Steilstellungen und Scherbewegungen.

Vor dem Abteufen der Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 waren in der Literatur schon unterschiedliche Deutungsmöglichkeiten zur Genese der geologischen Struktur des Kleinen Berges entwickelt worden:

- Nach HAACK (1930) sollte die Aufwölbung der Schichtenfolge des Kleinen Berges durch ein im Untergrund anstehendes Salzkissen verursacht worden sein. Er begründete diese Anschauung mit einer Schwereanomalie dieses Raumes sowie mit dem Aufstieg der Solen von Bad Laer und Bad Rothenfelde.

- DEUTLOFF et al. (1986) sahen die Aufwölbung der an der Südseite des Kleinen Berges anstehenden Scaphiten-Schichten des Oberen Turonium, die von *schloenbachi*-*"Pläner"*-Kalksteinen des Coniacium überlagert werden, als Folge einer sattelförmigen Struktur des tieferen Untergrundes am Münsterländer Beckenrand an, welche sich bis in das Deckgebirge durchpaust.

- GÜNTHER (1991) deutete die aus den reflexionsseismischen Profilen von HEDEMANN & BORTFELD (1989) abgeleitete schaufelförmige Überschiebungsbahn als Basisfläche einer größeren Gleitmasse oder Gleitklippe, die im Zuge der südvergenten Osning-Überschiebung im Bereich des Teutoburger Waldes in der Oberkreide entstanden sein sollte und, ähnlich den *"Herpolithen"* bei Halle i. Westf. (VOIGT 1962, 1977), zu Schichtverdopplung und allochthoner Position der kretazischen Gesteinsfolgen im Bereich des Kleinen Berges geführt hätte.

- Von verschiedenen Autoren ist auch schon die Vermutung geäußert worden, daß es sich bei der Aufwölbung des Kleinen Berges um den Effekt einer Inversionsstruktur handeln könnte, die mit der Osning-Überschiebung in Zusammenhang gebracht werden müßte. Eine in der Tiefe steilstehende Seitenverschiebung könnte sich nach Art einer positiven Blumenstruktur im Bereich der Oberfläche verzweigen und dort Überschiebungen von einigen Kilometern Weite erzeugt haben (Drozdowski 1988).

3. GEOLOGISCHE UND GEOPHYSIKALISCHE VORUNTERSUCHUNGEN

Im Gebiet des Kleinen Berges sind im Auftrage der VEW AG, Dortmund, seit 1985 umfangreiche geologische und geophysikalische Voruntersuchungen durchgeführt worden, die zum Ziel hatten, die Stratigraphie sowie die tektonische Struktur dieses Gebietes im Hinblick auf die Möglichkeit der Anlage eines Gasspeichers aufzuklären. Begonnen haben diese Untersuchungen mit einer photogeologischen Interpretation des Rothenfelder Sattels von KRONBERG (1985), in welcher nicht ausgeschlossen worden war, daß das Gebiet des Kleinen Berges ein strukturelles Hochgebiet im Untergrund besitzt.

Daraufhin wurde von BORTFELD & HEDEMANN (1986) ein "Vorschlag für ein Untersuchungsprogramm für den tieferen Untergrund der Struktur 'Kleiner Berg' bei Bad Rothenfelde auf Gasspeichermöglichkeit" erstellt. Es folgten reflexionsseismische Vorerkundungen (BORTFELD 1987 und BORTFELD & HEDEMANN 1987) sowie ein reflexionsseismisches Meßprogramm (HEDEMANN & BORTFELD 1989).

Aufgrund der Ergebnisse dieser geophysikalischen Untersuchungen entwickelten HEDEMANN & BORTFELD (1989) zwei unterschiedliche Modellvorstellungen in Form zweier schematischer Nord-Süd-Profile durch den Südtteil des Kleinen Berges. Im ersten Profil begrenzt eine nach Süden einfallende Abschiebung eine nahezu komplette Schichtenfolge, die von der Oberkreide bis hinunter zum Zechstein reichen soll, nach Süden hin. Im alternativen zweiten Profil war anstelle der Abschiebung eine Auf-, bzw. Überschiebung konstruiert, entlang derer Gesteinsfolgen vom Jura an aufwärts auf Kreide-Gesteine in südlicher Richtung überschoben worden sein sollten. In beiden Profilschnitten sind anhand fehlinterpretierter Reflektoren mehrere speicherfähige Gesteinshorizonte ausgewiesen worden. Die Ergebnisse der Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 führten dann allerdings diese geologischen Interpretationen der geophysikalischen Untersuchungen ad absurdum (GÜNTHER 1994).

4. DIE UNTERSUCHUNGSBOHRUNG BAD LAER Z 1

Der Ansatzpunkt der Tiefbohrung 'Bad Laer Z 1' liegt in der Gemeinde Bad Laer, Gemarkung Müschen, an der Wiebeldehne. Die Koordinaten betragen r 34 39 770/h 57 74 920, die Höhe über NN beträgt 120 m (Abb. 1). Gebohrt wurde von der Fa. ITAG Tiefbohr GmbH & Co KG in der Zeit vom 27.02. bis zum 23.04.1993 mittels einer mobilen Rotary-Bohranlage vom Typ Wilson Mogul 75/7, Rig 110. Nach Erreichen der Endteufe von 2108,0 m wurde das Bohrloch zwischen dem 24. und 27.04.1993 verfüllt und die Anlage war ab dem 28.04. frei zum Abbau.

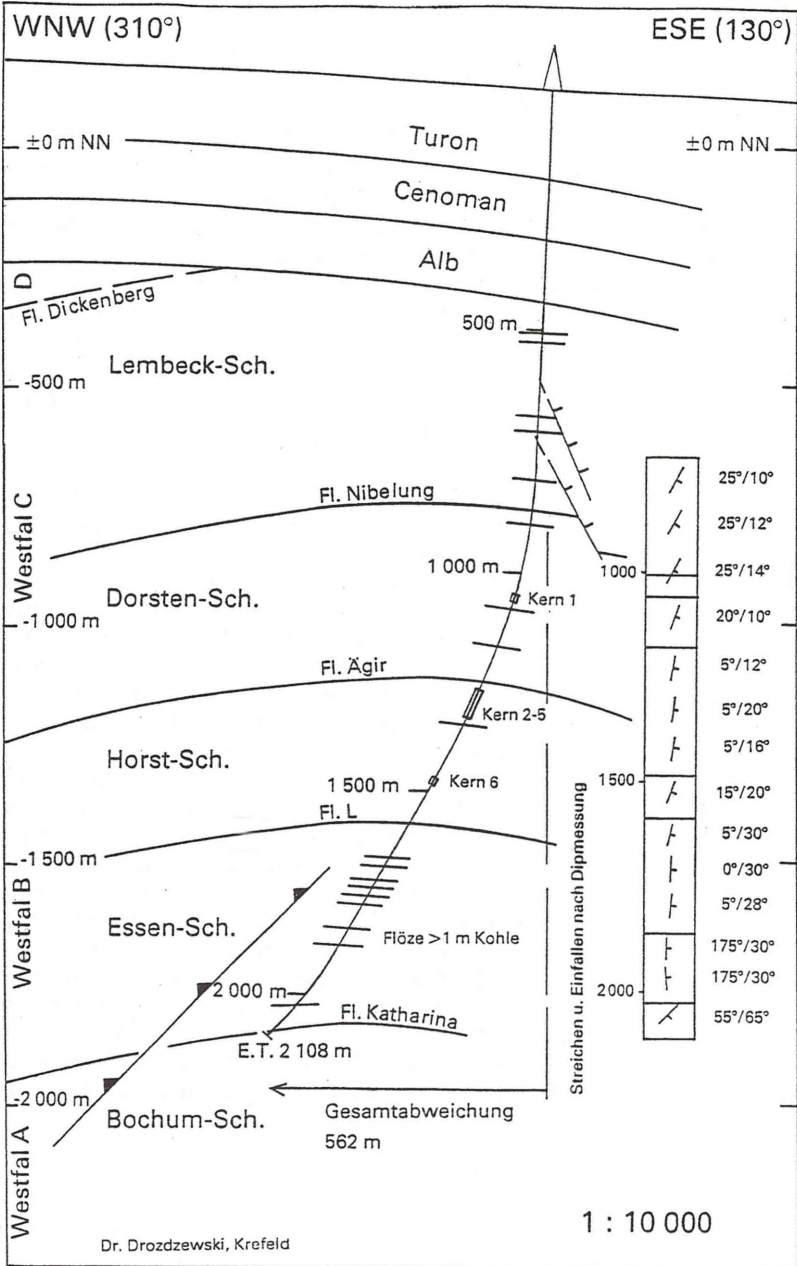
Bis zum Erreichen der Endteufe wurde mit den folgenden Bohrdurchmessern gebohrt:

bis Teufe 48 m	Bohrdurchmesser 23 "
bis Teufe 777 m	Bohrdurchmesser 16 "
bis Teufe 2108 m	Bohrdurchmesser 8 1/2 "

Ursprünglich war vorgesehen worden, eine Ablenkung des Bohrloches ab etwa 700 m Teufe mit ca. 2°/100 m in nördlicher Richtung anzustreben, um den vermuteten Top-Bereich des Rothenfelder Sattels zu treffen. Die Abweichung sollte danach etwa 400 m bei der ursprünglich angestrebten Endteufe von 2000 m betragen. Durch Verlegung des Bohransatzpunktes sollte dann eine Ablenkung in NW-Richtung vorgenommen werden. Tatsächlich erfolgte eine Ablenkung des Bohrstranges ab etwa 800 m Teufe zunächst in NW-Richtung und dann ab etwa 1700 m Teufe in WNW-Richtung (Abb. 5). Gemessen wurde die Abweichung bis in eine Teufe von 2089 m, wo sie schließlich 562,6 m in der azimuthalen Richtung von 307,32° betrug.

4.1. Stratigraphie der Bohrung Bad Laer Z 1

In stratigraphischer Hinsicht bot die Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 unerwartete und überraschende Ergebnisse. So war nach den geologischen und geophysikalischen Voruntersuchungen (Kap. 3) mit einer wenigstens 1800 m mächtigen permo-mesozoischen Schichtenfolge im Untergrund des Kleinen Berges gerechnet worden, welche das Oberkarbon diskordant überlagern sollte. Als dann in einer Teufe von nur 439 m hellgraue Sandsteine mit Kohleschmitzen und dann gar ausgesprochene Kohlenflöze auftraten, waren diese zunächst mit dem Wealden verwechselt worden (GÜNTHER 1994), in welchem, beispielsweise bei Borgloh nördlich des Osnings, ebenfalls Kohlenflöze in Sandsteinen anzutreffen sind. Als dann allerdings ständig weiter Sandsteine mit Steinkohlenflözen auftraten, wurde es zur Gewißheit, daß das produktive Oberkarbon in überraschend geringer Tiefe im Untergrund des Kleinen Berges ansteht und daß die vorher postulierte mächtige Schichtenfolge vom Zechstein bis zur älteren Unterkreide überhaupt nicht vorhanden war. Weitergebohrt wurde dennoch bis in die Teufe von 2108,0 m, da angenommen werden mußte, daß die Aufwölbung des Kleinen Berges einer von Störungen begrenzten tektonischen Struktur (Überschiebungsmasse?, Inversionsstruktur?) ihre Entstehung verdankt. Als dann allerdings bis in über 2000 m Bohrtiefe keine erkennbare Verwerfung angetroffen worden war und darüber hinaus die zunächst bewußt angestrebte Ablenkung der Bohrung größere Dimensionen annahm, wurde die Bohrung eingestellt.



4.1.1. Stratigraphie der Kreide in der Bohrung Bad Laer Z 1 (M.Hiss)

Die Bohrung Bad Laer Z 1 hat bis zur Teufe von 439 m Kreide angetroffen. Das Kreide-Profil (Tab. 2) umfaßt die Schichtenfolge vom Oberen Turonium bis zum Albium in ähnlicher lithologischer Ausbildung und Mächtigkeit, wie sie auch aus benachbarten Bohrungen (z.B. Münsterland 1, Versmold 1, Heidental 4/79n) bzw. Tagesaufschlüssen am Teutoburger Wald (Raum Halle und Bielefeld) bekannt ist (Tab.1). Auffällige Mächtigkeitsänderungen, etwa eine reduzierte Mächtigkeit in Verbindung mit einer Schwellenposition, sind nicht zu beobachten. Lediglich im Bereich Hilter/Hankenberge (Profil an der Autobahn A 33, Blatt 3814 Bad Iburg) treten mit ca. 130 m im Mittleren Turonium und wahrscheinlich auch im Oberen Turonium deutlich höhere Mächtigkeiten als in der Bohrung Bad Laer Z 1 und in den übrigen genannten Aufschlüssen auf.

Das Unterkreideprofil umfaßt im wesentlichen Mittleres und Oberes Albium mit Flammenmergel, *minimus*-Ton und Osning-Grünsand. An der Kreide-Basis (Probe aus 435 m sowie Nachfall in der Probe aus 440 m Teufe) wurden neben glaukonitischen Sandsteinen auch Cuttings von rötlichbraunem, glaukonitfreiem Sandstein beobachtet. Dabei wird es sich um einen Rest von älteren unterkretazischen Ablagerungen (Osning-Sandstein, ggf. Gault-Sandstein) handeln. Dieser Sandstein dürfte jedoch nur wenige Meter mächtig sein. Er läßt sich weder biostratigraphisch, noch nach den Bohrlochmessungen sicher abgrenzen.

Die Grenze zwischen Kreide und Karbon konnte erst nach palynologischen Untersuchungen endgültig festgelegt werden (Bearb.: C.HARTKOPF-FRÖDER, GLA NRW). In der Teufe 439-446 m folgt unter den sicher kretazischen Schichten zunächst ein grauer, teils rötlich-grauer Tonstein, darunter bis 470,5 m erneut ein Sandstein. In der Spülprobe aus 450 m Teufe wurde ein Cutting eines grauen Tonsteins mit einem Pflanzenfossil gefunden, bei dem es sich um den Rest eines Cordaitenblattes handeln könnte (Bestimmung H.W.J.VAN AMEROM, GLA NRW). Es kann nur als Nachfall aus dem Tonsteinhorizont von 439-446 m stammen. Die mikrofloristische Untersuchung dieses Cuttings ergab eine spärliche Karbon-Mikroflora. Somit läßt sich der genannte Tonsteinhorizont bereits dem Karbon zuordnen. Die Grenze Kreide/Karbon wird daher nach Log an den Top des Tonsteinhorizontes von 439-446 m Teufe gelegt.

Die stratigraphische Gliederung des Kreide-Profiles (Tab. 2) erfolgte überwiegend nach lithostratigraphischen Kriterien anhand der vorliegenden Bohrproben (Cuttings) sowie durch log-stratigraphische Konnektierungen (u.a. mit den oben genannten Bohrungen) und Vergleiche mit Aufschlußprofilen. Mikropaläontologische Untersuchungen (Bearbeiter Dr. RESCHER, GLA NRW) aus dem Bereich Unteres Cenomanium und Albium unterstützen

Geologie			Mächtigkeit (in m)	Lithologie	
Quartär	Holozän		Talauenablagerungen	bis > 2	Sand, Schluff, Ton, Kies, Torf
			Quellkalk	bis 6	Kalk-/Mergelstein, z.T. porös, z.T. bröckelig
			Verwitterungsböden	0,4 bis 1	Ton, schluffig; Löß
	Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit	Löß-/Lößlehm	bis > 2 m	Schluff, feinsandig, tonig
			Dünen	bis > 2	Feinsand, mittel-/grobsandig
			Fluviatile Ablagerungen	insge-	Fein- u. Mittelsand, schluffig, kiesig
	Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium)	Schmelzwasserablagerungen	samt	Sand, Kies, Schluff	
		Geschiebemergel/-lehm	bis	Schluff, tonig, sandig, steinig, z.T. Sandlagen	
	Beckenablagerungen	30	Schluff, tonig, wechsellagernd mit Schluff, feinsandig		
Kreide	Oberkreide	Santon	Graue Mergel	bis 700	Tonmergel-/Kalkmergelstein, dunkelgrau bis grau
			Mittel-/Oberconiac	Graue Mergel	bis 500
		Unterconiac	<i>schloenbachi</i> -Schichten	120	Mergel-/Kalkmergelstein, grau, dünnbankig, klüftig, z.T. verkarstet
			Turon	Scaphiten-Schichten	145
			<i>lamercki</i> -Schichten	150	Mergel-/Kalkstein, hellgrau bis grau, dickbankig, klüftig, z.T. verkarstet
			<i>labiatus</i> -Schichten	70	Mergelstein, grau, an der Basis rot, wenig Kalkstein, klüftig
	Cenoman	Cenoman-Kalk	50	Kalkstein, hellgrau, fest, stark klüftig, z.T. verkarstet	
		Cenoman-"Pläner"	70	Mergel-/Kalkmergelstein, grau, dickbankig, klüftig	
		Cenoman-Mergel	60	Mergel-/Tonmergelstein, dunkelgrau, wenig Kalkstein	
	Unterkreide	Oberalb	Flammenmergel	240	Ton-Tonmergelstein, dunkelgrau, kieselig

Tab. 1: Schichtenfolge im Bereich des Kleinen Berges mit Angaben zur Stratigraphie, Lithologie und Schichtmächtigkeit (verändert nach HAUPT 1992).

die vorliegende Gliederung. Die angegebenen stratigraphischen Einstufungen basieren auf dem derzeitigen biostratigraphischen Kenntnisstand (vgl. die in den Fußnoten von Tab. 2 aufgeführten Literaturhinweise).

Tab. 2: Stratigraphische Gliederung der Kreide in der Tiefbohrung Bad Laer Z 1 ((M.Hiss).

¹⁾ vgl. KAPLAN (1991)

²⁾ vgl. FRIEG, HISS & MÜLLER (1989)

³⁾ in Anlehnung an KAPLAN & BEST (1985)

⁴⁾ im Sinne von KEMPER (1984)

⁵⁾ Grenze Mittel/Oberalb im Sinne von BECKER & KAEVER (1982)

0 - 191 m	Turonium
-ca. 100 m	Oberes Turonium
bis ca. 23 m	grau-weiße Wechselfolge ¹⁾
bei 30 m	Rothenfelder Grünsand
bis ca. 75/80 m	weiß-graue Kalkstein-Einheit ¹⁾
bei 75 m	Mergellage ME oder eine Tufflage im Bereich von ME (Tuff T _{D2} oder T _E) ¹⁾
bei 99 m	Tufflage T _{D1} ¹⁾
-144 m	Mittleres Turonium
75/80 m-144 m	untere Plänerkalkstein-Einheit ¹⁾
bei 124 m	Mergellage M _{Tauto} ¹⁾
-191 m	Unteres Turonium (im Sinne der Log-Stratigraphie)²⁾
bis ca. 180 m	grün-graue Wechselfolge ¹⁾
ab ca. 180 m	schwarz-bunte Wechselfolge (= Grenzbereich Cenomanium/Turonium im Sinne der Biostratigraphie ¹⁾
191 - ca. 315 m	Cenomanium
-ca. 235 m	Mittleres und Oberes Cenomanium³⁾
-ca. 315 m	Unteres Cenomanium⁴⁾
bis 227 m	Cenoman-Kalk
bis 265 m	Cenoman-Pläner
bis 315 m	Cenoman-Mergel
315 - 448 m	Albium (Mittleres und Oberes) und ältere Unterkreide?
-405 m	Oberes Albium (Flammenmergel)⁵⁾
-439 m	Mittleres Albium, z.T. Unteres Albium
	vermutlich Schichtlücke im Bereich der <i>splendens</i> -Schichten
bis 425 m	<i>minus</i> -Ton
bis 439 m	Osning-Grünsand (rotbrauner glaukonitischer Sandstein bis ca. 433 m; Mittelalb) und Reste von Osning-Sandstein (rotbrauner glaukonitfreier Sandstein, Gault-Sandstein?; Unteralb, ggfs. ältere Unterkreide?)
ab 439 m	Karbon

4.1.2 Stratigraphie des Karbon in der Bohrung Bad Laer Z 1 (G. DROZDZEWSKI)

Nach den geologischen und geophysikalischen Voruntersuchungen (Kap. 3) war ursprünglich am Ansatzpunkt der Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 unterhalb eines ca. 1200 m mächtigen Kreideprofiles bis in ca. 1850 m Teufe Buntsandstein, dann bis ca. 2000 m Teufe Zechstein und erst darunter Oberkarbon vermutet worden.

Tatsächlich wurden bereits in ca. 439 m Tiefe Steinkohlenflöze erbohrt, die dem Oberkarbon angehören. Die flözführende Schichtenfolge reicht bis zur Endteufe von 2108 m, ohne daß größere Verwerfungen durchörtert wurden. Damit hat die Bohrung Bad Laer Z 1 ein zusammenhängendes, rund 1670 m langes, flözreiches Oberkarbon-Profil erschlossen, welches eine wesentliche Bereicherung für die Karbon-Geologie des Ruhrbeckens darstellt. Die nächstgelegenen modernen Explorationsbohrungen mit vergleichbaren Schichten des Oberkarbon liegen rund 85-100 km weiter südwestlich in der Lippe-Mulde bei Dorsten. Das Ibbenbürener Oberkarbon-Vorkommen liegt zwar nur ca. 30 km nordwestlich der Bohrung Bad Laer Z 1, jedoch ist die Flözfazies von Ibbenbüren, verglichen mit der des Ruhrreviers, hinsichtlich Kohleführung und Flözabfolge, ausgesprochen verarmt und somit nicht vergleichbar mit den stratigraphischen Verhältnissen der Bohrung Bad Laer Z 1. Regionale Untersuchungen zur Mächtigkeitentwicklung des Oberkarbon im Ruhrbecken haben zudem ergeben, daß die Isolinien der Schicht- und Flözmächtigkeiten im allgemeinen Südwest-Nordost und damit parallel zu den Faltelementen verlaufen (STRACK & FREUDENBERG 1984, DROZDZEWSKI 1992, 1993). Unter der Voraussetzung, daß diese Regel auch für das nordöstliche Ruhrbecken zutrifft, ist das Karbonprofil der Bohrung Bad Laer Z 1 am ehesten mit den Aufschlüssen der Lippe-Mulde zu vergleichen.

Wie bereits erwähnt, hat die Bohrung Bad Laer Z 1 unter einem nur 439 m mächtigen kretazischen Deckgebirge ein rund 1670 m langes Oberkarbonprofil im Kern des flachen Rothenfelder Sattels durchörtert. Größere Verwerfungen hat die Bohrung offenbar nicht angetroffen (s.u.), so daß von einem weitgehend zusammenhängenden Profil ausgegangen werden kann (Abb. 5).

Bis in eine Teufe von 1560 m herrschen in der Schichtenfolge Sandsteine vor, darunter bis zur Endteufe in 2108,0 m Ton- und Schluffsteine. Daraus kann abgeleitet werden, daß der obere Abschnitt dem Westfal C und oberen Westfal B, der untere Abschnitt jedoch bereits dem unteren Westfal B angehört. Diese erste grobe Einstufung der angetroffenen Schichtenfolge wird untermauert durch faunistische und floristische Befunde. So fand sich im Hangenden des tiefsten Kohleflözes (Nr. 66, vgl. Tab. 3) bei 2108 m und 2106 m eine Mikrofauna mit Conodontenbruchstücken, Gastropoden, Ostra-

coden und Foraminiferen als Beleg für einen marinen Horizont. Berücksichtigt man zusätzlich die hohe Gammastrahlung bei 2108 m, den relativ hohen Schwefelgehalt der Kohle von Flöz 66 mit 2,14 % sowie das Vorkommen von Pyritkonkretionen im Hangendschiefer, dann kann es sich offensichtlich nur um den marinen Katharina-Horizont an der Grenze Westfal A/B handeln. Die darüberliegende flözarme Schichtenfolge bis 1870 m Teufe gehört damit den unteren Essen-Schichten an, während der flözreiche Abschnitt zwischen 1575 m und 1870 m in die Mittleren und Oberen Essen-Schichten zu stellen ist (Abb. 5).

Flöz-Nr.	Flözname	Flöz-Nr.	Flözname
1	Walküre	38	S
2	Volker	39	R
3-5	Undine	40	Q
6-7	Tristan	41a	P
8-11	Siegfried	41b/c	N/M
12-13	Rübezahl	42	L
14-15	Parzifal	43	I/K
17-18	Odin	44	H
19-20	Nibelung	45	G
21	Midgard/Loki	46	F
22	Kobold	47-48	D
23-24	Iduna	49	C
25-26	Hagen	50	B
27	Gudrun	51	A
28	Freya	52-53	Zollverein 1
29	Erda	54	Zollverein 2
30	Donar	55	Zollverein 3
31	Chriemhilt	56	Zollverein 4
32	Baldur	57	Zollverein 5
33	Ägir/Z	58	Zollverein 6
34	Y	59	Zollverein 7/8
35	X	60-62	Grimberg
36	U	63-65	Laura/Victoria
37	T	66	Katharina

Tab. 3: Flözbenennungen in der Bohrung Bad Laer Z 1 (G.DROZDZEWSKI)

Eine weitere paläontologische Einstufung erlaubte die Kernstrecke zwischen 1261 m und 1276 m. Die dort vorgefundene Floren- und Faunengemeinschaft spricht für ein Oberes Westfal B- bis Unteres Westfal C-Alter. Nach der vorliegenden Einstufung liegt die Kernstrecke am Top des Westfal B, wobei der marine Ägir-Horizont bei ca. 1240 m anzunehmen ist. Leider haben sich für diesen wichtigen Leithorizont keinerlei Belege in den Spülproben finden lassen. Möglicherweise resultiert dieses negative Ergebnis

auch aus der Tatsache, daß die Spülproben nur im Abstand von je 5 m genommen wurden.

Wie eingangs bereits festgestellt wurde, läßt sich das Oberkarbon der Bohrung Bad Laer Z 1 durch einen Vergleich mit Bohrungen der Lippe-Mulde im Raum Dorsten, trotz der großen Entfernung, erstaunlich gut gliedern (Tab. 3). Eine gute Übereinstimmung ergab sich besonders mit der Bohrung Lippermulde 2, z.T. auch mit der Bohrung Lippermulde 1. Als wichtigster Fixpunkt muß das Flöz Katharina im Bohrlochtiefsten der Bohrung Bad Laer Z 1 angesehen werden. Seine genaue Mächtigkeit läßt sich hier allerdings nicht ermitteln, da möglicherweise ein Teil des Flözes noch unterhalb der Endteufe ansteht. Bemerkenswert mächtig ist das Flöz 65 der Victoria-Flözgruppe. Es ist in dieser Mächtigkeit nur aus dem östlichen Ruhrgebiet im Dortmunder Raum bekannt.

Die flözreichste Partie des Bohrprofils befindet sich zwischen den Flözen 42 und 59 und ist gut vergleichbar mit den entsprechenden flözreichen Mittleren und Oberen Essen-Schichten der Lippe-Mulde. Auffällig kohlearm entwickelt sind dagegen die darüber folgenden Horst-Schichten von Flöz 33 bis Flöz 41. Auch für diese Ausbildung lassen sich Parallelen aus der Lippe-Mulde südwestlich von Dorsten nachweisen, wo insbesondere die untere Partie der Horst-Schichten lokal stärker versandet und an Flözen verarmt auftritt.

Bei Flöz 33 liegt vermutlich die Grenze Westfal B/C. Wie oben dargelegt, ließ sich der bedeutsame marine Ägir-Horizont mikrofaunistisch nicht belegen. Lediglich in der darunter folgenden Kernstrecke konnten über Flöz 35 Foraminiferen sowie nichtmarine Muscheln (*Naiadites* aff. *productus*) nachgewiesen werden.

Die Sandstein-dominierte Schichtenfolge zwischen den Flözen 33 und 19 wurde den Dorsten-Schichten zugeordnet. In dem Tonsteinpaket über Flöz 22 (=Kobold) sind in den Spülproben bei 975 m, 980 m und 985 m Teufe zahlreiche Foraminiferen, sowie in der Spülprobe bei 875 m, zwischen Flöz 19 und 20 (=Nibelung-Gruppe), einige wenige Foraminiferen nachgewiesen worden.

Die über Flöz 19 bis zur Karbonoberfläche folgenden Schichten wurden den Lembeck-Schichten zugeordnet. Die relativ flözreiche, ebenfalls Sandstein-dominierte Schichtenfolge enthält mehrere, teils über 2 m mächtige Kohlenflöze. Diese relativ reiche Kohleführung und die Mächtigkeit der Schichtenfolge sprechen insgesamt eher für ein Westfal C-Alter des obersten Teils des Karbonprofils, da im Westfal D lediglich ein dickeres Flöz auftritt. Die Bohrung Bad Laer Z 1 hat daher vermutlich unmittelbar im Liegenden der Westfal C/D-Grenze das Karbon erreicht und damit ein nahezu vollständiges

diges Westfal C- und ein vollständiges Westfal B-Profil aufgeschlossen. Die hier vorgelegte Flözbenennung kann aufgrund der großen Entfernung zu sicher eingestuftem Aufschlüssen des Ruhrkarbons oder des Osnabrücker Karbons jedoch nur als vorläufig gelten.

5. DIE TEKTONIK IM BEREICH DER BOHRUNG BAD LAER Z 1

(G.DRODZEWSKI)

Die Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 wurde auf der Südflanke des Rothenfelder Sattels angesetzt. Durch eine Ablenkung des Bohrlochs in nordwestliche Richtung wurde der Kernbereich dieser Struktur erreicht. Orientiertes Bohren bis etwa 1260 m Teufe führte zu einer Neigung des Bohrloches von ca. 23°. Nachdem die Bohrung das angestrebte Ziel, nämlich speicherfähige Gesteinsformationen im Kern des Sattels zu erbohren, nicht erreicht hatte, wurde ohne weitere Ablenkung bis zur Endteufe weitergebohrt. Dabei baute sich die Bohrlochneigung mehr oder weniger kontinuierlich bis auf einen Wert von 47,6° auf. Ab etwa 1600 m Teufe verließ das Bohrloch die nordwestliche Richtung und schwenkte in eine west-nordwestliche Richtung um. Dieses Umschwenken des Bohrlochs hängt vermutlich mit dem flachen Abtauchen des Rothenfelder Sattels generell in östliche Richtung zusammen, gegen welche sich das Bohrgestänge offensichtlich ausrichtete (Abb. 5).

Zur Klärung der tektonischen Struktur des Kleinen Berges trägt besonders das reflexionsseismische Querprofil VEW 8601 bei (HEDEMANN & BORTFELD 1989). Das etwa Nord-Süd verlaufende seismische Profil zeigt generell sehr gute Reflexionen im Bereich des Kleinen Berges, die jedoch etwa 300-500m südlich der Bohrung schlagartig abbrechen. Es liegt nahe, diesen Effekt auf steile bis stark gestörte Lagerungsverhältnisse in diesem Bereich zurückzuführen. Dies stützt die neue, durch die Uminterpretation der oben genannten Seismik gewonnene Auffassung, daß der sattelförmige Komplex des Kleinen Berges durch eine große Randstörung von seinem südlichen Vorland getrennt ist (vgl. Geol. Kt. 1:25 000, Bl. 3914 Versmold). Unmittelbar nördlich des Ansatzpunktes der Bohrung Bad Laer Z 1 verläuft im Karbon die Sattelfirste des flachen Rothenfelder Sattels mit Schichtneigungen von durchwegs unter 10° (Abb. 5). Das durch die Dipmeter-Messungen der Fa. Schlumberger ermittelte Schichteinfallen in östliche Richtung von rund 20° bis 1500 m Teufe und von ca. 30° bis etwa 2000 m Teufe dürfte bereits von dieser Randstörung beeinflußt sein. Zwar weist die migrierte Fassung des seismischen Querprofils in diesem Bereich noch flache, nach Osten gerichtete Reflektoren auf. Dies dürfte jedoch auf einen Schnitteffekt zurückzuführen sein, da das seismische Nord-Süd-Profil rechtwinklig zur ostfallenden Schichtung, wie sie sich aus den Dipmessungen ergibt, verläuft.

Das flözführende Oberkarbon wird deutlich diskordant vom Kreide-Deckgebirge überlagert. Im Bereich der Bohrung überlagern Schichten der Unterkreide (Alb) höchstes Westfal C. Nach Norden hin dürfte zunehmend jüngeres Westfal unter dem Deckgebirge anstehen, so daß im Bereich der Remseder Mulde sicher noch einige hundert Meter Schichten des Westfal D anzutreffen sein werden.

Die Sattelachse der Rothenfelder Aufwölbung liegt innerhalb der Kreideschichten ca 800 m nördlich derjenigen des Karbonsattels. Insgesamt betrachtet, liegt damit im Untergrund des Kleinen Berges eine flache, variszisch deformierte Faltenstruktur vor, die durch spätkretazische Bewegungen eine weitere Einengung erfahren hat.

Obwohl die Bohrung Bad Laer Z 1 in unmittelbarer Nähe der Südrand-Störung des Rothenfelder Sattels steht, scheint das Bohrloch selbst weitgehend frei von Bruchtektonik zu sein. Am ehesten könnten bei knapp 600 m und bei 730 m Teufe Abschiebungen vorliegen. Dafür liefern sowohl Messungen der Schalllaufzeit, durchgeführt im Zuge von Geophon-Versenkmessungen, als auch die Reflexionsseismik gewisse Hinweise. In der vorliegenden Auswertung wurde jedoch von einem weitgehend störungsfreien Bohrloch ausgegangen, da die in dem seismischen Profil beobachteten Abschiebungen bei 600 und 750 m Teufe erst südlich der Bohrung eine größere Bedeutung zu bekommen scheinen. Im Bohrloch selbst ist daher eher mit Bereichen intensiver Klufftektonik zu rechnen.

In dem reflexionsseismischen Profil VEW 8601 (HEDEMANN & BORTFELD 1989) läßt sich außerdem nördlich des Bohrlochtieftes eine nach Norden hin einfallende Aufschiebung erkennen. Auch dieser Störung scheint für die Geologie des Bohrlochs keine größere Bedeutung zuzukommen. Insbesondere deutet nichts daraufhin, daß diese Aufschiebung von der Bohrung durchteuft wurde. Aus den Ergebnissen von Inkohlungsuntersuchungen kann zwar auf eine vermutete Überschiebung in ca. 1500 m Teufe geschlossen werden, der geforderte Überschiebungsbetrag von einigen hundert Metern mit Schichtverdoppelung ist jedoch anhand der Befunde aus der durchbohrten Schichtenfolge und der Bohrlochmessungen auszuschließen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND ERGEBNISSE

Als wichtigstes Ergebnis kann die Tatsache bewertet werden, daß die aufgrund der erwähnten geologischen und geophysikalischen Voruntersuchungen postulierte, mindestens 1800 m mächtige Schichtenfolge, die im Untergrund des Kleinen Berges von der Unterkreide bis zum Zechstein hinunterreichen sollte, überhaupt nicht vorhanden ist. Des weiteren kann als überraschendes Ergebnis angesehen werden, daß ab 439 m Teufe produktives Oberkarbon in Gestalt des obersten Westfal C (Lembeck-Schichten)

angetroffen worden ist. In der Bohrung ist nahezu das gesamte Westfal C und das Westfal B bis hinunter zum Flöz Katharina an der Grenze Westfal A zu B, vorhanden. Größere Verwerfungen oder gar Störungssysteme sind offenbar nicht durchteuft worden. Insgesamt wurden über 66 Flöze angetroffen, von denen viele, was die Mächtigkeiten anbelangt, durchaus als bauwürdig gelten können. Die Aufwölbung des Kleinen Berges muß tektonisch als Inversionsstruktur am Rande der Rheinischen Masse angesehen werden, welche sich im Zuge der Anlage der benachbarten Osning-Überschiebung zu Iaramischer Zeit herausgebildet hat.

Inkohlungsuntersuchungen an Bohrkernen, durchgeführt von Mitarbeitern des GLA NRW (A. VIETH-REDEMANN), zeigten in den untersuchten Proben einen mehr oder weniger kontinuierlichen Anstieg mit der Teufe, der offensichtlich durch Nachfall geringfügig gestört, dennoch hohe Inkohlungswerte vor allem für das Westfal C erbracht hat. Die offenbar durch das Bramscher Intrusiv erfolgte relativ hohe Nachinkohlung der Flöze des Westfal B und C reicht vom Stadium der Gasflammkohlen in einer Teufe bis zu 700 m über das Stadium der Gaskohlen bis ca. 1400 - 1600 m bis zum Fettkohlenstadium zwischen ca. 1600 m und der Endteufe von 2108 m. Aufgrund dieser Ergebnisse der Bohrung Bad Laer Z 1 ist die Inkohlungskarte der Karbonoberfläche (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1984) zu modifizieren.

Als überraschendes Ergebnis der Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 kann auch die im Vergleich zum westlichen Ruhrrevier ohne erkennbare Desorptionszone direkt unter dem Kreide-Deckgebirge einsetzende hohe Gasführung der Flöze angesehen werden. Wenn die Gasmessungen auch nur über die Untersuchung der Spülung erfolgten und dadurch mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, erscheint die Gasführung im Vergleich zu ähnlichen Flözen des Ruhrreviers dennoch sehr hoch zu sein und muß unter dem Gesichtspunkt des derzeitigen großen Interesses in Nordrhein-Westfalen an einer potentiellen Nutzung des Flözgases als Erfolg der Bohrung Bad Laer Z 1 betrachtet werden.

DANK

Die Autoren bedanken sich für wissenschaftliche und technische Beratung sowie für die gute Zusammenarbeit vor, während und nach dem Abteufen der Tiefbohrung Bad Laer Z 1 bei den Damen und Herren Dr. H.W.J.van Amerom, Krefeld, Dipl.-Geol. M.Bertram, Hannover, Prof. Dr. R.K.Bortfeld, Hannover, Dr. C.Hartkopf-Fröder, Krefeld, Dipl.-Geol. C.Haupt, Hannover, Dr. K.Köwing, Krefeld, Prof. Dr. G.Michel, Dannenberg, Dr. D.Schmitz, Bochum, Dipl.-Ing. G.Stachel, Freiberg, Dipl.-Ing. H.Toll, Celle, Dipl.-Ing. H.Tormann, Dortmund, Dipl.-Geol. A.Vieth-Redemann, Krefeld, sowie bei den Samplern der Fa. GEOdata, Garbsen und schließlich auch besonders bei Dr. J.-P.Groetzner, Hannover, für Beratung und Ermutigung.

LITERATUR

- ARNOLD, H. (1964): Analogien und Unterschiede im Bau des Waldhügels bei Rheine und des Kleinen Berges bei Bad Rothenfelde.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 7: 621-626, 5 Abb.; Krefeld.
- BECKER, L. & KAEVER, M.J. (1982): Das Kreideprofil der Bohrung Heidental 4/79n in der Kernzone des Osnings, südwestlich Detmold.- Münstersche Forsch. Geol. Paläont., 57: 1-31, 4 Abb.; Münster.
- BERTRAM, M. (1992): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen des Kleinen Berges im Raum Bad Rothenfelde (nordöstliches Münsterländer Kreide-Becken).- Dipl.-Arbeit, Univ. Hannover, 73 S., 9 Abb., 11 Tab., 5 Anl. u. 19 Abb., 13 Tab., 1 Taf. im Anhang; Hannover, (unveröff.).
- BORTFELD, R.K. (1987): Bericht über die reflexionsseismischen Messungen Kleiner Berg 1986.- Unveröff. Ber. für Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG; Clausthal-Zellerfeld.
- BORTFELD, R.K. & HEDEMANN, H.-A. (1986): Vorschlag eines Untersuchungsprogrammes für den tieferen Untergrund der Struktur "Kleiner Berg" bei Bad Rothenfelde auf Gasspeichermöglichkeit.- Unveröff. Ber. für Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG; Clausthal-Zellerfeld.
- BORTFELD, R.K. & HEDEMANN, H.-A. (1987): Bericht über die reflexionsseismische Vorkundung der Struktur "Kleiner Berg".- 30 S., 20 Anl.; Clausthal-Z. u. Erlangen, (unveröff.).
- DEUTLOFF, O., KÜHN-VELTEN, H. & MICHEL, G. (1986): Erläuterungen zu Blatt C 3914 Bielefeld.- Geol. Kt. Nordrhein.-Westf. 1:100 000, Erl. C 3914 Bielefeld: 104 S., 19 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- DROZDZEWSKI, G. (1988): Die Wurzel der Osnung-Überschiebung und der Mechanismus herzynischer Inversionsstörungen in Mitteleuropa.- Geol. Rdsch., 77: 127-141; Stuttgart.
- DROZDZEWSKI, G. (1992): Zur Faziesentwicklung im Oberkarbon des Ruhrbeckens, abgeleitet aus Mächtigkeitskarten und lithostratigraphischen Gesamtprofilen.- Z. angew. Geol., 38:41-48, 9 Abb.; Hannover.
- DROZDZEWSKI, G. (1993): The Ruhr coal basin (Germany): structural evolution of an autochthonous foreland basin.- Int. J. Coal Geol., 23: 231-250, 11 Abb.; Amsterdam.
- FRIEG, C., HISS, M. & MÜLLER, W. (1989): Stratigraphie im Turon und Unterconiac des südlichen und zentralen Münsterlandes.- Münstersche Forsch. Geol. Paläont., 69: 161-186, 5 Abb.; Münster.
- FRICKE, K. (1954): Eine chemisch-geologische Karte der Mineralquellen Nordrhein-Westfalens.- Geol. Jb., 69: 491-500, 1 Taf., 1 Kt.; Hannover.
- GÜNTHER, K. (1991): Hydrogeologisches Gutachten als Anlage zum Hauptbetriebsplan der Tiefbohrung "Kleiner Berg 301" an der Wiebeldehne zwischen Bad Laer und Bad Rothenfelde.- Gutachten, 33 S., 3 Abb., 3 Tab. u. 1 Anl.; Hannover, (unveröff.).
- GÜNTHER, K. (1994): Geologischer Abschlußbericht über die Untersuchungsbohrung Bad Laer Z 1 (Aufschlußbohrung A 3).- Bericht, 118 S., 20 Abb., 8 Tab. sowie 7 Anl. und 3 Bohrloch-Logs im Anlagenbd.; Hannover, (unveröff.).
- HAACK, W. (1930), mit Beitr. von GÖRTZ, G.: Erläuterungen zu Blatt Iburg.- Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1: 25 000: 95 S., 8 Abb.; Berlin.
- HAUPT, C. (1992): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen am Nordostrand des Münsterländer Kreide-Beckens im Raum Bad Laer (Kleiner Berg).- Dipl.-Arbeit Univ. Hannover, 94 S., 17 Abb., 14 Tab., 5 Anl. u. 20 Abb., 11 Tab., 2 Taf. im Anhang; Hannover, (unveröff.).
- HEDEMANN, H.-A. & BORTFELD, R.K. (1989): Die Ergebnisse der reflexionsseismischen Messungen 1988 zur Untersuchung der Struktur "Kleiner Berg".- 35 S., 10 Anl.; Clausthal-Z. u. Erlangen, (unveröff.).
- HILTERMANN, H. & LÜTTIG, G. (1960): Der Querkalk von Laer (Kreis Osnabrück-Land).- Veröff. naturw. Ver. Osnabrück, 29: 67-75, 8 Abb., 1 Kt.; Osnabrück.
- KANZLER, O. (1920): Geologie des Teutoburger Waldes und des Osnings.- 192 S., Holzwarth; Bad Rothenfelde.

- KAPLAN, U. (1991): Zur Stratigraphie der tiefen Oberkreide im Teutoburger Wald (NW-Deutschland, 2: Turon und Coniac im Steinbruch des Kalkwerkes Foerth, Halle/Westfalen.- Ber. naturw. Ver. Bielefeld, **32**: 125-159, 11 Abb., 6 Taf.; Bielefeld.
- KAPLAN, U. & BEST, M. (1985): Zur Stratigraphie der tiefen Oberkreide im Teutoburger Wald (NW-Deutschland), 1: Cenoman.- Ber. naturw. Ver. Bielefeld, **27**: 81-103, 4 Abb.; Bielefeld.
- KEMPER, E. (1984): Ober-Alb und Unter-Cenoman in Nordwestdeutschland.- Geol. Jb., Reihe A, **75**: 465-487, 7 Abb.; Hannover.
- KÖTTER, K. (1958): Die Chloridgehalte des oberen Emsgebietes und ihre Beziehungen zur Hydrogeologie.- Fortschr.- Ber. Land Nordrhein.-Westf., **491**: 13-193, 37 Abb., 17 Tab., Köln und Opladen.
- KOSMAHL, W. (1957a): Hydrogeologisches Gutachten zur Ausweisung eines Schutzgebietes für die Solquellen von Bad Rothenfelde.- Gutachten Nieders. L.-Amt für Bodenforschg., 9 S., 2 Anl.; Hannover, (unveröff.).
- KOSMAHL, W. (1957b): Hydrogeologisches Gutachten zum Schutz der "Martinsquelle" in Laer (Ldkrs. Osnabrück). - Gutachten Nieders. L.-Amt für Bodenforschg., 8 S., 2 Anl.; Hannover, (unveröff.).
- KRONBERG, P. (1985): Photogeologische Interpretation für den Bereich des Rothenfelder Sattels.- Unveröffentlichter Bericht für Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG; Clausthal-Zellerfeld.
- MESTWERDT, A. (1930), mit Beitr. von GÖRTZ, G.: Erläuterungen zu Blatt Borgholtzhäusen.- Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern 1: 25 000: 84 S., 6 Abb.; Berlin.
- MIDDELSCHULTE, A. (1921): Gutachten über die Solquellen des Bades Rothenfelde. - Gutachten, 17 S.; Hamm/Westf., unveröff.
- STADLER, G. & TEICHMÜLLER, R. (1971): Zusammenfassender Überblick über die Entwicklung des Bramscher Massivs und des Niedersächsischen Tektogens.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 547-564, 3 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- STAUDE, H. (1992), mit Beitr. von DUBBER, H.-J., MICHEL, G. & VOGLER, H.: Erläuterungen zu Blatt 3914 Versmold.- Erl. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25 000, 3914 Versmold, 124 S., 10 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- STRACK, A. & FREUDENBERG, H. (1984): Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 243-256, 13 Abb.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, M., TEICHMÜLLER, R. & BARTENSTEIN, H. (1984): Inkohlung und Erdgas - eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 11-34, 3 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- THIERMANN, A. (1984): Kreide. - [In:] KLASSEN, H. [Hrsg.] Geologie des Osnabrücker Berglandes: 427-461, 9 Abb., 3 Tab., 2 Anl.; Osnabrück.
- VOIGT, E. (1962): Frühdiagenetische Deformation der turonen Plänerkalke bei Halle/Westf. als Folge einer Großgleitung unter besonderer Berücksichtigung des Phacoid-Problems.- Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, **31**: 146-275, 34 Abb., 33 Taf.; Hamburg.
- VOIGT, E. (1977) mit Beitr. von KOCH, W.: Neue Daten über die submarine Großgleitung turoner Gesteine im Teutoburger Wald bei Halle/Westf. - Z. dt. geol. Ges. **128**: 57-79, 5 Abb., 2 Taf.; Hannover.
- VOIGT, E. & HÄNTZSCHEL, W. (1964): Gradierte Schichtung in der Oberkreide Westfalens.- Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **7**: 495-568, 7 Abb., 3 Tab., 18 Taf.; Krefeld.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. Konrad Günther, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, Callinstr. 30, 30167 Hannover.

Dr. Günter Drozdewski und Dr. Martin Hiss, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, de-Greif-Str. 195, 47803 Krefeld.