Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Nordwestdeutsches Oberkarbon

Teil 1



Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Band 32

Nordwestdeutsches Oberkarbon

Teil 1

Beiträge zur Lagerstättenerkundung des nordwestdeutschen Steinkohlengebirges

Mit Beiträgen von

H. BARTENSTEIN, G. BUNTEBARTH, K. BURGER, R. CONZE, H. FIEBIG,
U. FREUDENBERG, J. GROSCURTH, H.-A. HEDEMANN, J. C. HESS,
M. HOFFMANN, K.-H. JOSTEN, I. KOPPE, B. KREGE, J.-P. LAVEINE,
H. J. LIPPOLT, J. LÖSCH, R. RÖDER, D. SCHMITZ, A. SCHUSTER,
G. STADLER, G. STANCU-KRISTOFF, O. STEHN, L. STEINBERG,
Ä. STRACK, M. TEICHMÜLLER, R. TEICHMÜLLER †, V. WEBER

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen Krefeld 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	32	339 S.	94 Abb.	34 Tab.	26 Taf.	Krefeld 1984
------------------------------------	----	--------	---------	---------	---------	--------------

Alle Urheberrechte vorbehalten

© 1984 Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen ISSN 0071-8009

Redaktion (verantwortlich): Dipl.-Geol. HANNS DIETER HILDEN

Gesamtherstellung: Joh. van Acken, Krefeld Printed in Germany/Imprimé en Allemagne

Vertrieb: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1 Best.-Nr. 80-0032

Vorwort

Das Oberkarbon oder Silesium ist die wichtigste geologische Formation für die Energieversorgung in Europa. Diese Formation enthält die bedeutendsten Steinkohlenlagerstätten der Bundesrepublik Deutschland und ihrer Nachbarländer. Zudem sind die meisten Erdgaslagerstätten in Nordwestdeutschland aus Inkohlungsgasen des flözführenden Oberkarbons entstanden.

Seit über zehn Jahren betreiben der Steinkohlenbergbau sowie die Erdölund Erdgasgesellschaften eine intensive Exploration auf diese Energierohstoffe, teilweise unterstützt aus dem Energieprogramm der Bundesregierung. Durch diese systematische Erkundungs- und Aufschlußtätigkeit konnten die Kenntnisse über die Stratigraphie und Tektonik des Oberkarbons und über seine Lagerstätten in entscheidender Weise verbessert werden. Die neuen Ergebnisse sind nicht nur von großem wissenschaftlichen Interesse, sie berühren zugleich in vielfacher Hinsicht wirtschaftliche Fragestellungen.

In der Schriftenreihe "Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen" erschienen im Jahr 1971 die Bände 18 "Das höhere Oberkarbon von Westfalen und das Bramscher Massiv" und 19 "Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland". In beiden Bänden wurde der damalige Kenntnisstand über das westdeutsche Oberkarbon zusammengefaßt. Es bot sich daher an, den heutigen Kenntnisstand ebenfalls in dieser Schriftenreihe zu publizieren. Mein besonderer Dank gilt den Bergbau-, Erdöl- und Erdgasgesellschaften, die dieses Vorhaben in jeder Weise unterstützten und durch ihr Entgegenkommen erst ermöglichten.

Die Anregung zur Veröffentlichung der neuen Ergebnisse gab ROLF TEICH-MÜLLER. Mit der ihm eigenen Zielstrebigkeit nahm er im September 1983 Kontakte mit Kollegen auf, entwarf ein erstes Konzept, und erste Beiträge aus seiner Feder nahmen Gestalt an – bis der Tod ihn am 6. Oktober 1983 mitten aus seiner Arbeit riß. Für Redaktion und Herausgeber war es selbstverständlich, dieses Werk so zu verwirklichen, wie es ROLF TEICHMÜLLER sich vorgestellt haben mag.

So konnten 44 Wissenschaftler und Praktiker unterschiedlicher Fachrichtungen des Steinkohlenbergbaus, der Erdölindustrie, von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, von Hochschulen des In- und Auslandes, von der Kernforschungsanlage Jülich, dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung und dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen gewonnen werden, sich mit Einzel- oder Gemeinschaftsbeiträgen an diesem Werk zu beteiligen. Ganz besonders freut es mich, daß auch zahlreiche jüngere Kollegen mit Arbeiten vertreten sind; denn stets war es ein Anliegen ROLF TEICH-MÜLLERs, junge Wissenschaftler zu fördern. Er vertrat die Ansicht, daß vielfach gerade jüngere Kollegen in der Lage sind, "neues Licht auf alte Probleme zu werfen". Da zahlreiche Beiträge eingingen, werden die Ergebnisse in zwei Bänden veröffentlicht. In dem hier vorliegenden Band 32 "Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 1" sind die mehr überregional ausgerichteten Beiträge zusammengefaßt, in Band 33 "Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 2" mehr spezielle Beiträge zu Problemen im Niederrheinisch-Westfälischen, im Ibbenbürener und im Aachener Steinkohlenrevier.

Der vorliegende Band 32 enthält als Anlage eine überarbeitete und ergänzte Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland im Maßstab 1:500 000 (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN). Für die Revision der 1979 in Band 27 der "Fortschritte" erschienenen 1. Ausgabe dieser Karte standen Inkohlungsdaten von 908 Proben aus 246 Bohrungen der Erdölindustrie und des Steinkohlenbergbaus zur Verfügung. Die Karte zeigt die Beziehungen zwischen dem Inkohlungsgrad an der Karbon-Oberfläche und den Erdgaslagerstätten in Nordwestdeutschland. Als Inkohlungsmaßstab wurde das mittlere Reflexionsvermögen des Vitrinits benutzt, das an Flözkohlen oder Gesteinsproben mit feindispers verteilter organischer Substanz bestimmt wurde. Eine gute Ergänzung zu dieser Karte bietet ein großregionaler geologischer Schnitt vom Ruhrgebiet durch Nordwestdeutschland und den Untergrund der Nordsee bis zum Ringköbing-Fünen-Hoch (STANCU-KRISTOFF & STEHN). Der Druck beider Anlagetafeln wurde von der Studiengesellschaft Kohlengewinnung 2. Generation e.V. (Essen) ermöglicht.

Bei der Erdgasexploration im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands wurden in über 250 Bohrungen korrelierbare Sandsteinhorizonte und Kohlenflöze des Oberkarbons angetroffen. Grundlage der stratigraphischen Einstufung und Konnektierung waren die in diesen Bohrungen vorgenommenen Bohrlochmessungen. Aus den Logs wurden Normalprofile für die einzelnen stratigraphischen Abschnitte des Oberkarbons entwickelt. Für das Niedersächsische Becken wurden Steinkohlenmengen abgeschätzt (HEDEMANN & SCHUSTER & STANCU-KRISTOFF & LÖSCH).

Die intensive Aufschlußtätigkeit des Steinkohlenbergbaus in den Steinkohlenrevieren Nordfrankreichs und Nordwestdeutschlands haben eine umfangreiche fossile Flora zutage gebracht. Vergleichende pflanzenstratigraphische Untersuchungen zeigen, daß bestimmte Pflanzenfossilien, die sich in diesen Steinkohlenrevieren als geeignete Zeitmarken erwiesen haben, auch für großräumige Konnektierungen der Schichten geeignet sind (JOSTEN & LAVEINE).

Wichtige Zeitmarken und Leithorizonte im oberkarbonischen Schichtenverband sind neben Pflanzen- und Faunenhorizonten die Kaolin-Kohlentonsteine. Solche Leithorizonte sind Voraussetzung zur erfolgreichen Identifikation und Konnektierung von Flözen und Flözniveaus in Explorationsbohrungen. Pyroklastische Sanidine aus solchen Kaolin-Kohlentonsteinen eignen sich als brauchbare K-Ar-Chronometer, an denen mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierungsmethode isotopische Alter mit geringen analytischen Fehlern bestimmt werden können. Mit solchen Altersbestimmungen konnte eine Zeitskala für die Oberkarbon-Stufen erstellt werden (LIPPOLT & HESS & BURGER).

Im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier sind 45 Kaolin-Kohlentonsteinhorizonte bekannt. Davon wurden im Zuge der Exploration der Reservezone zwischen 1980 und 1984 insgesamt 13 Horizonte neu entdeckt (BURGER & FIEBIG & STADLER). Im Z-1-Tonstein der Zeche Brassert wurden erstmals im Ruhrkarbon eindeutig vulkanogene Relikte nachgewiesen. Es handelt sich vorwiegend um kleine Fragmente, die eine für Aschenschmelztuffe charakteristische verschweißte Glasscherbentextur aufweisen. Der Nachweis des sicherlich aerisch abgelagerten Aschenmaterials im Z-1-Tonstein bestätigt die Annahme, daß am Aufbau des Sanidin und Montmorillonit haltigen Kaolin-Kohlentonsteintyps vulkanisches Material beteiligt ist (BURGER & STADLER).

Die systematische Beschreibung fossiler Ablagerungen durch sedimentäre Gesteinstypen wird in zunehmendem Maße als Arbeitsmethode angewandt. Eine derartige Typisierung erleichtert fazielle Auswertungen und Vergleiche mit rezenten Sedimenten. Für das Ruhrkarbon werden sechs Gesteinstypen der feinkörnigen Sedimentgesteine definiert, die nach ihren spezifischen Sedimentstrukturen weiter in Strukturtypen untergliedert werden (CONZE).

Die übertägigen Explorationsbohrungen im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier werden routinemäßig geophysikalisch vermessen. Das Standardmeßprogramm umfaßt Dichte-, Gammastrahlungs-, Schallaufzeitund Widerstandsmessungen einschließlich der Dipmetermessungen. Die Messungen dienen der Ergänzung von Kernverlusten, die hauptsächlich in Flözzonen auftreten, und zur stratigraphischen Korrelierung benachbarter Bohrungen (SCHMITZ).

Die zahlreichen neuen Aufschlüsse durch die Explorations- und Aufschlußtätigkeit des Steinkohlenbergbaus im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier ermöglichen Untersuchungen über die großräumige Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal A – C (STRACK & FREUDENBERG). Die neuen Aufschlüsse im nördlichen Ruhrrevier ermöglichen zudem eine noch engere Konnektierung des Westfals C im Ruhrrevier mit den Bohraufschlüssen in Nordwestdeutschland. Bereits bestehende Anschlüsse an das Ibbenbürener Revier konnten bestätigt werden. Für das Westfal C bietet sich nun eine Gliederung in Dorstener und Lembecker Schichten an (FIEBIG & GROSCURTH).

Eine empirische Berechnungsmethode erlaubt die Berechnung der ursprünglichen Westfal-C-Mächtigkeiten aus den Paläotemperaturgradienten, die aus Inkohlungsdaten abgeleitet werden. Wenn vorausgesetzt wird, daß bei maximaler Versenkungstiefe die maximale Inkohlung erreicht wurde, können die höchsten Reaktionstemperaturen errechnet werden. Diese Annahme ist gerechtfertigt, weil die Sedimente des Oberkarbons nach ihrer Hebung und Faltung, die schon im ausgehenden Oberkarbon und im Perm erfolgte, keiner großen tektonischen Beanspruchung mehr unterlagen, so daß präorogene Inkohlung vorliegt, wie M. & R. TEICHMÜLLER bereits 1971 (Band 19 der "Fortschritte") nachwiesen. Für die Flöze Sonnenschein (Westfal A) und Zollverein 2 (Westfal B) wurden die Inkohlungstemperaturen entsprechend dieser Annahme berechnet (BUNTEBARTH & KOPPE).

Die Möglichkeit zur Vorausberechnung von Gebirgstemperaturen erlangt für den Steinkohlenbergbau mit dem Fortschreiten des Abbaus in größere Teufenbereiche zunehmende Bedeutung. Seit 1975 werden bei der Bergbau-Forschung GmbH (Essen) Forschungsvorhaben zur Vorausberechnung von Gebirgstemperaturen durchgeführt. Als Beispiel wird eine Vorausberechnung für den Planungsraum der Schachtanlage Osterfeld im Ruhrrevier für das Niveau – 1 500 m NN vorgestellt (WEBER). Im Jahre 1978 wurde das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen im Zusammenhang mit dem Energieforschungsprogramm der Bundesregierung beauftragt, den Kohlenvorrat der wichtigsten Steinkohlenlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland zu erfassen und zu berechnen. An vier Beispielen aus dem Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier wird dargestellt, wie geologische Strukturen entsprechend einem geologischen Blockmodell so umgesetzt werden, daß sie digital verarbeitbar sind und berechnet werden können (HOFFMANN & KREGE & RODER & STEINBERG).

Band 32 und der sich anschließende Band 33 sollen dazu beitragen, neue Ergebnisse lagerstättenkundlicher Arbeiten im Bereich der genannten Energierohstoffe vorzustellen, noch offene Fragen aufzuzeigen und den Austausch wissenschaftlicher Erkenntnisse zu vertiefen.

Krefeld, im November 1984

Dipl.-Ing. ECKART REICHE Präsident des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

0	•	1 -
_	<u> </u>	
	-	
<u> </u>	•••	

Vorwort	3
M. TEICHMÜLLER, R. TEICHMÜLLER und H. BARTENSTEIN: Inkohlung und Erdgas – eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland	11
G. STANCU-KRISTOFF und O. STEHN: Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee	35
 HA. HEDEMANN, A. SCHUSTER, G. STANCU-KRISTOFF und J. LÖSCH: Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Nordwest- deutschland und ihre stratigraphische Einstufung Die Untersuchung des Oberkarbons im Untergrund Nordwestdeutschlands (HA. HEDEMANN) S. 40. Stratigraphische Einstufung des nordwestdeutschlands (HA. HEDEMANN) S. 40. Stratigraphische Einstufung des nordwestdeutschlands (BA. HEDEMANN) S. 40. Stratigraphische Einstufung des nordwestdeutschen Oberkarbons nach Bohrlochmessungen (A. SCHUSTER, unter Mitarbeit von J. LÖSCH) S. 43. Arbeitsmethodik S. 43. Normalprofile und Logkonnektierungen S. 47. Stefan S. 47. Westfal D S. 52. Westfal C S. 57. Westfal B und A sowie Namur C S. 59. Abschätzung der Steinkohlenmengen im nordwestdeutschen Oberkarbon-Becken (G. STANCU-KRISTOFF, mit Beitr. von HA. HEDEMANN) S. 62. Zur Arbeitsmethodik S. 62. Zur Flözkartierung und Schätzung der Koh- lenmächtigkeit S. 63. Flözbereiche des Westfal D S. 66. Flözbereiche des Westfal C S. 68. Flözführung des Westfal B S. 74. Flözführung des Westfal A und des Namurs S. 74. Schätzung der Steinkohlenmengen S. 75. Der Aufbau des nordwestdeutschen Steinkohlenbeckens des Oberkarbons S. 78. 	39
 KH. JOSTEN und JP. LAVEINE: Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C – D von Nordfrankreich und Nordwest- deutschland Einleitung S. 90. Pflanzenstratigraphische Untersuchungen S. 91. Persistente Spezies S. 93. Stratigraphisch charakteristische Spezies S. 94. Spezies von begrenztem stratigraphischen Leitwert S. 96. Stratigraphische Leitspezies S. 101. Ergebnis und Schlußfolgerungen S. 101. 	89
 H. J. LIPPOLT, J. C. HESS und K. BURGER: Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen aus Kaolin-Kohlentonsteinen als Korrelationsmarken für das mitteleuropäische Oberkarbon Einleitung und Zielsetzung S. 120. Geographische Übersicht S. 121. Stratigraphie und Petrographie der datierten Gesteine S. 121. Stratigraphische Betrachtungen S. 121. Petrographische Beschreibung S. 123. Altersbestimmungen S. 129. Probenaufbereitung S. 129. Kaliummessungen und Röntgendiffraktometrie S. 129. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersmessungen S. 130. Diskussion der Analysenergebnisse S. 131. Folgerungen aus den ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersbestimmungen S. 135. Zusammenfassung S. 138 	119

Seite

- K. BURGER, H. FIEBIG und G. STADLER: Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers
 151
 Einleitung S. 152. Überblick über die Explorationsräume S. 152. Stratigraphische Gliederung des Ruhrkarbons und Verteilung der wichtigsten Leithorizonte S. 155. Vorkommen, Mächtigkeit und Verbreitung der Kaolin-Kohlentonsteine S. 158. Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine S. 161. Geographische Verteilung der Fundpunkte einiger Kaolin-Kohlentonsteine S. 165. Kritik und Folgerungen S. 167. Ausführung der Bohrungen S. 168. Geologische Bearbeitung der Bohrkerne S. 168. Untersuchungen in den Laboratorien S. 168.
- K. BURGER und G. STADLER: Vulkanogene Glasscherbenrelikte im Z-1-Kohlentonstein des Ruhrkarbons
 171
 Einleitung S. 172. Beschreibung des Aufschlusses S. 173. Makroskopische Ausbildung S. 174. Mineralbestand und Gefüge S. 175. Vulkanogene Relikte S. 176. Vergleichende Betrachtungen S. 177. Genetische Aspekte S. 177. Laterale Verbreitung des Z-1-Tonsteins und das Vorkommen vulkanogener Relikte S. 179.
- R. CONZE: Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons
 187
 Einleitung S. 188. Methodik S. 192. Typisierung der feinklastischen Gesteine S. 197. Tonsteine bis Mittelsiltsteine S. 199. Ton - Silt - Feinsand-Wechsellagerungen S. 202. Homogene feinklastische Gesteine S. 205. Typisierung der Grobklastika im Überblick S. 206. Mineralzusammensetzung S. 207.
- Ä. STRACK und U. FREUDENBERG: Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers
 243
 Einleitung S. 244. Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Ruhrgebiet S. 245. Sprockhöveler Schichten S. 245. Wittener Schichten S. 245. Bochumer Schichten S. 246. Essener Schichten S. 248. Horster Schichten S. 249. Dorstener Schichten S. 250. Zusammenfassung der Ergebnisse S. 252. Blick über die Grenzen S. 253. Schlußbetrachtungen S. 255.
- H. FIEBIG und J. GROSCURTH: Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet 257 Einleitung S. 258. Das Westfal C in der Lippe-Mulde zwischen Graf-Moltke-Wilhelmine-Victoria-Sprung und Blumenthaler Sprung S. 259. Das Westfal C in der Raesfelder Mulde S. 263.
- G. BUNTEBARTH und I. KOPPE: Erwärmung der Flöze Sonnenschein und Zollverein 2 im Ruhrkarbon bei maximaler Versenkung . . . 275

Seite

 VEBER: Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen im Ruhrkarbon in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau S. 284. Auswertmethode S. 285. Beschreibung der Ausgangssitua- tion S. 285. Temperaturmeßstellen S. 285. Bohrungen S. 286. Geologische Auswertung der Aufschlußbohrungen S. 288. Mathematische Auswertung S. 288. Plausibilität S. 291. 									
M. HOFFMANN, B. KREGE, R. RÖDER und L. STEINBERG: Arbeitsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung – darge- stellt an Beispielen aus dem Ruhrkarbon Einleitung S. 298. Bruchtektonik und flachwellige Faltung im westlichen Ruhr- gebiet (M. HOFFMANN) S. 300. Steile Sattelflanke mit Überschiebungstektonik aus dem mittleren Ruhrgebiet (B. KREGE) S. 306. Engfaltenzone im östlichen Ruhrgebiet (R. RÖDER) S. 309. Vorratszahlen zweier benachbarter Großschol- len des östlichen Ruhrgebietes (L. STEINBERG) S. 313. Ausblick S. 322.									
Namenregister	323								
Sach- und Ortsregister	327								
Verzeichnis der Tafeln in der Anlage	339								



Inkohlung und Erdgas – eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland

Von MARLIES TEICHMÜLLER, ROLF TEICHMÜLLER † und HELMUT BARTENSTEIN*

Natural gas, coalification, coalification map, Carboniferous, NW-Germany

32

Kurzfassung: In Nordwestdeutschland werden die meisten Erdgaslagerstätten aus Inkohlungsgasen des flözführenden Oberkarbons gespeist. Aus diesem Grund wird eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche von Nordwestdeutschland (1:500000) vorgelegt, die eine Ergänzung und Revision einer im Jahre 1979 von denselben Autoren publizierten Karte darstellt. 130 Inkohlungsdaten (% Vitrinit-Reflexion) aus 72 Tiefbohrungen und 60 Oberflächenaufschlüssen wurden neu eingeführt. Der heutige Stand der Erkenntnisse über die Stratigraphie an der Karbon-Oberfläche und über ihre Tiefenlage wurde berücksichtigt. Die seit 1978 neu erschlossenen karbonbürtigen Erdgasfelder wurden nachgetragen.

Die Inkohlungsverhältnisse werden außerdem in einem Nord-Süd-Schnitt dargestellt, der vom Rheinischen Schiefergebirge bis an die Nordsee reicht.

- Das Inkohlungsbild an der Karbon-Oberfläche ist geprägt
- von der vorwiegend präasturischen Inkohlung des gefalteten Oberkarbons im Rhein Ruhr-Gebiet und Münsterland
- einer mehr oder weniger starken "Nachinkohlung" in den im Mesozoikum und Känozoikum tief abgesunkenen Teilen des norddeutschen Flachlandes
- von der telemagmatischen Einwirkung herzynisch streichender, oberkretazischer Intrusivkörper (Massive von Bramsche und Vlotho) mit ihren starken Inkohlungsmaxima

Im Gifhorner Trog und an der oberen Weser (südlich Hameln) zeichnen sich rheinisch streichende Inkohlungsmaxima ab, die auf starke Absenkung (besonders im Jura) und auf geothermische Maxima zurückgeführt werden. Auffallend schwach ist die Inkohlung an der Emsmündung, obgleich dort die Karbon-Oberfläche aus Unterem Westfal (A und B) besteht und 3 500 – 4 000 m tief liegt. Es wird angenommen, daß wegen der dort relativ jungen und noch heute stattfindenden starken Absenkung die Inkohlung noch nicht das der jetzigen Tiefe und Temperatur gemäße Gleichgewicht erreicht hat, so daß Gasbildung und-akkumulation noch im Gange sind.

Die Beziehungen zwischen Inkohlungsgrad und Erdgasvorkommen sind im allgemeinen die gleichen geblieben wie 1979 beschrieben: Die meisten Erdgasfelder liegen dort, wo die Vitrinit-Reflexion an der Karbon-Oberfläche 1 – 2 % Rmbeträgt und wo Speichergesteine des Oberkarbons (Westfal C und D, Stefan), des Perms (vor allem des Rotliegenden) und der Unteren Trias (Buntsandstein) durch Evaporite (des Perms, vor allem des Zechsteins und/ oder der Trias) abgedichtet sind. Eine große Ausnahme von der auch international anerkannten "death line" für Erdgas, die im allgemeinen mit 3–3,5 % Rm angenommen wird, macht das Feld Uchte mit 4,5 % Rm an der Karbon-Oberfläche. Diese "Diskrepanz" kann mit einer starken, aber nur kurzen telemagmatischen Aufheizung erklärt werden, bei der die Inkohlung der Gesteinsdiagenese (Abnahme der zur Speicherung notwendigen Porosität) voraneilte. Auch eine sekundäre tektonische Zerrüttung der Gesteine könnte hier die Migration und Akkumulation ermöglicht haben.

^{*} Anschriften der Autoren: Dr. M. TEICHMÜLLER, Am Hohen Haus 15, D-4150 Krefeld 1; Dr. H. BARTENSTEIN, Spördenstraße 102, D-3100 Celle

Insgesamt sprechen auch die neuen Ergebnisse dafür, daß die karbonbürtigen Erdgaslagerstätten der Bundesrepublik Deutschland relativ spät, das heißt im späten Mesozoikum und/oder im Känozoikum, entstanden sind – sei es durch eine zunehmende tiefe Versenkung des Oberkarbons oder durch telemagmatische Aufheizung.

[Coalification and natural gas deposits – a new coalification map for the top surface of the Carboniferous in northwestern Germany]

A b s t r a c t: In northwestern Germany most natural gas deposits have been sourced by coalification gases derived from the coal-bearing Upper Carboniferous (Silesium). This ist the reason why a new coalification map for the surface of the Carboniferous (1:500 000) is presented as a supplement and revision of a former map published in 1979 by the same authors. 130 new measurements of vitrinite reflectance (% Rm) from 72 deep boreholes and 60 outcrops have been introduced into the new map. Recent data on the stratigraphy of the top surface of the Carboniferous and its depth below the Permian, Mesozoic and Cainozoic cover, as well as new gas fields (since 1978) have likewise been incorporated.

The coalification pattern of the uppermost surface of the Carboniferous is demonstrated in a cross section running north – south from the Rhenish Massif (south of the Ruhr basin) to the North Sea. The coalification pattern of the Pre-Permian surface in northwestern Germany is controlled

- by the predominantly pre-orogenic (pre-Asturian) coalification of the folded Upper Carboniferous in the Rhine - Ruhr area and in the Münsterland
- by a more or less intense "re-coalification" in those parts of northwestern Germany which subsided by varying amounts during the Mesozoic and Cainozoic
- by the telemagmatic effects of Hercynian striking intrusive bodies of Upper Cretaceous age (the massifs of Bramsche and Vlotho) with their pronounced high rank maxima.

Rhenish striking rank maxima in the Gifhorn trough at the upper reaches of the River Weser (south of Hameln) are caused by deep subsidence, especially in Jurassic times, and probably also by geothermal maxima. At the mouth of the River Ems the degree of coalification is surprisingly low, although the Upper Carboniferous, comprising early Westphalian (A and B), is covered by younger sediments of 3500 - 4000 m thickness. Is is assumed that because of a basin that is still strongly subsiding, the degree of coalification will not yet have reached the equilibrium which would relate to the present depth and temperature, and that gas generation and accumulation are still taking place here.

The relationship between rank of coal and the occurrence of natural gas deposits generally remain the same as demonstrated in 1979: most gas fields occur where the vitrinite reflectance at the upper surface of the Carboniferous is between 1-2% Rm, provided, of course, that adequate reservoir rocks of the Upper Carboniferous (Westphalian C, D and Stephanian), Permian (mainly Rotliegendes) and Lower Triassic (Bunter) are present and sealed by evaporites of Permian and Triassic age. A striking exception from the internationally acknowledged "death line" for the occurrence of natural gas fields (commonly assumed at 3.0-3.5% Rm) is represented by the gas field Uchte where the vitrinite reflectance is 4.5% Rm at the surface of the Carboniferous. This anomaly can be explained by a strong but short telemagmatic heating by which the coalification process preceded the diagenesis (decrease of porosity) of the reservoir rocks, and/or by fracture porosity gained through tectonic disturbance of the rocks.

Altogether, the new findings support the conclusion that the natural gas deposits of the Federal Republic of Germany (derived from coalification gases of the Upper Carboniferous) accumulated in relatively recent geological times, i.e. during the late Mesozoic and/or the Cainozoic, either as a result of an additional subsidence and, as a consequence, additional heating of the Upper Carboniferous or of telemagmatic heating effects.

[Houillification et gaz naturel – une carte nouvelle de houillification du sommet du Carbonifère dans le nord – ouest d'Allemagne]

Résumé: Dans le nord – ouest de l'Allemagne fédérale, la plupart des gisements de gaz naturel est alimenté par les gaz de houillification des couches de charbon du Carbonifère supérieur. C'est pourquoi une carte nouvelle (1:500 000) de la houillification du sommet du Carbonifère dans le nord – ouest de l'Allemagne est publiée. Elle est un complément et une

Inkohlung und Erdgas...

révision d'une carte qui fut établie par les mêmes auteurs en 1979. 130 valeurs nouvelles de houillification (% du pouvoir réflecteur de la vitrinite) sont présentées sur la base de 72 sondages profonds et 60 affleurements à la surface. Les auteurs ont tenu compte du niveau actuel de la science de la stratigraphie et de la profondeur du sommet du Carbonifère, et ils ont ajouté les champs de gaz naturel développés depuis 1978.

En plus, les conditions de houillification sont démontrées dans une coupe nord-sud (de la mer du Nord jusqu'au Massif schisteux rhénan).

En tout, les résultats nouveaux semblent confirmer que les gisements de gas de l'Allemagne fédérale, dérivés du Carbonifère supérieur, se sont formés pendant une époque géoligique relativement récente, c'est-à-dire pendant le Mésozoïque avencé et/ou le Cenozoïque – soit par un enfouissement de plus en plus profond du Carbonifère supérieur, ou par échauffement télémagmatique.

1. Einleitung

Seit 1968 hat die Erdgasförderung in Nordwestdeutschland so stark zugenommen, daß die Bundesrepublik Deutschland schon 1983 etwa ein Drittel ihres Bedarfs an Erdgas (rd. 17,5 Mrd. m³) aus eigenen Lagerstätten decken konnte. Das ist vor allem die Folge einer intensiven Prospektionstätigkeit auf Speichergesteine, die karbonbürtiges Erdgas enthalten. Dazu gehören Sandsteine des Westfals C und D, untergeordnet auch des Stefans, vor allem jedoch Sandsteine des Rotliegenden, ferner Carbonatgesteine des Zechsteins und Sandsteine des Buntsandsteins. Das Erdgas hat sich im Verlauf der Inkohlung aus den Flözen und aus kohleführenden Ton- und Siltsteinen des nordwestdeutschen Oberkarbons bei der Absenkung und der damit einhergehenden Erwärmung dieser Schichten gebildet.

Die Zusammenhänge zwischen Inkohlung und der Erdöl- und Erdgasbildung sind seit langem bekannt. Zusammenstellungen der diesbezüglichen Literatur finden sich unter anderem bei M. TEICHMÜLLER (1971), BARTENSTEIN & R. TEICHMÜLLER (1974), TISSOT & WELTE (1978), HUNT (1979) und HÉROUX & CHAGNON & BERTRAND (1979). Erste Inkohlungskarten von Nordwestdeutschland mit den Erdöl- und Erdgaslagerstätten des Niedersächsischen Tektogens betrafen vor allem die mesozoischen Schichten und Lagerstätten (M. & R. TEICHMÜLLER 1958, 1966; BARTENSTEIN & M. & R. TEICHMÜLLER 1971), außerdem die Westfal C/D-Grenze des Oberkarbons (BARTENSTEIN & M. & R. TEICHMÜLLER 1971).

Nachdem bekannt war, daß die meisten Erdgaslagerstätten Nordwestdeutschlands aus Inkohlungsgasen des Karbons gespeist wurden – die ersten Hinweise kamen von PATIJN (1963, 1964) und FÜCHTBAUER (1963/64) – nahm das Interesse der in Nordwestdeutschland prospektierenden Erdölindustrie an Inkohlungsuntersuchungen im Oberkarbon stark zu. Im Jahr 1979 haben wir daher eine erste Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche von Nordwestdeutschland im Maßstab 1:500 000 publiziert, die auch die karbonbürtigen Erdgaslagerstätten des Westfals, Perms und der Unteren Trias enthielt (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979). Als Inkohlungsmaßstab wurde das mittlere Reflexionsvermögen des Vitrinits (% Rm) benutzt, das an Flözkohlen oder an Gesteinsproben mit feindisperser organischer Substanz bestimmt worden war. Die Kern- und Spülproben aus dem Oberkarbon, dem Zechstein und dem Präkarbon stammten fast ausschließlich aus Tiefbohrungen der in Nordwestdeutschland tätigen Erdölfirmen (insgesamt 837 Proben aus 175 Bohrungen).

In den letzten Jahren wurde die Prospektion auf karbonbürtiges Erdgas, vor allem aus dem Rotliegenden, in Nordwestdeutschland wesentlich verstärkt. Es erschien daher zweckmäßig, unsere 1979 erschienene Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche durch neue Inkohlungsuntersuchungen in weiteren Bohrungen der Erdölindustrie zu ergänzen. Hinzu kommt, daß diese Inkohlungskarte eine ganz neue Bedeutung gewonnen hat durch Bestrebungen, tiefliegende, vom Bergbau nicht mehr erreichbare Kohlen durch in-situ-Vergasung oder -Verflüssigung zu gewinnen. Für die Nutzung solcher Kohlen spielen Tiefenlage und Inkohlungsgrad der Flöze eine große Rolle. In diesem Zusammenhang sei auf eine Studie über die "Verbreitung und Eigenschaften tiefliegender Steinkohlen in der Bundesrepublik Deutschland" hingewiesen (M. & R. TEICHMÜLLER 1984), die von der Studiengesellschaft Kohlegewinnung zweite Generation e.V. (Essen) in Auftrag gegeben wurde. Dies führte dazu, daß in die neue Inkohlungskarte (Taf. 1 in der Anl.) auch Inkohlungsdaten aus Tiefbohrungen des Steinkohlenbergbaus, vor allem aus dem südlichen Münsterland und vom Niederrhein, aufgenommen wurden. Außerdem wurden Reflexionswerte von Vitriniten aus Publikationen und aus Archivberichten des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen entnommen, so daß für die neue Karte Daten von insgesamt 908 Proben aus 246 Bohrungen und von ca. 60 Oberflächenproben zur Verfügung standen.

Auch die geologischen Grundlagen, wie stratigraphische Grenzen und Tiefenlinien für die Karbon-Oberfläche, wurden aufgrund der neuen Erkenntnisse überprüft und gegebenenfalls geändert. Bei der Revision der Karbon-Stratigraphie unter dem Deckgebirge wurden insbesondere die Arbeiten von HEDEMANN et al. (1982, 1984) berücksichtigt, die großenteils auf der von SCHUSTER (1968) entwickelten Methode zur Konnektierung von Schichten des flözführenden Oberkarbons aufgrund von Bohrlochmessungen beruhen.

Da unsere Aussagen zu der früheren Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche von Nordwestdeutschland (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979) im wesentlichen ihre Gültigkeit behalten, soll hier in erster Linie auf Ergänzungen, die sich durch die neuen Untersuchungen ergeben haben, eingegangen werden.

2. Proben und Methodik

Bohrproben, die zusätzlich zu den für die Inkohlungskarte von 1979 verwandten Proben (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979: Tab. 3-5) untersucht wurden, sind in den Tabellen 1-3 (S. 30-34) aufgeführt. Oberflächenproben, deren Werte aus der Literatur entnommen wurden, erscheinen nicht in den Tabellen. Sie sind in der Karte durch ein Kreuz gekennzeichnet und liegen vor allem im Namur und Dinant im Süden des Kartengebietes.

Die Methode mikroskopischer Reflexionsmessungen an Vitriniten (MACKOWSKY 1982), die heute – mit gewissen Abwandlungen – international auch für die Kohlenwasserstoffprospektion eingesetzt wird (M. TEICHMÜLLER 1971, 1982), wird hier als bekannt vorausgesetzt. Es wurde in allen Fällen das mittlere Reflexionsvermögen (% Rm) unter Ölimmersion bei 346 nm gemessen, zum Teil auch das maximale Reflexionsvermögen (% Rmax), das jedoch nur in den Tabellen erscheint. Die gemessenen Werte, die meist aus Flözen oder kohligen.Einlagerungen des Westfals und/oder Namurs stammen, wurden auf die Karbon-Oberfläche extrapoliert. Dazu diente das Diagramm der

Inkohlung und Erdgas...

Abbildung 1, das die Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe aufgrund von Inkohlungsprofilen aus 45 Tiefbohrungen Westdeutschlands zeigt. Dieses Diagramm konnte, gegenüber dem von uns bereits veröffentlichten Diagramm (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979: Abb. 2), durch Ergebnisse aus zehn neuen Bohrungen, vor allem aus dem Rhein-Ruhr-Gebiet und dem Ibbenbürener Raum, ergänzt werden.

Auf eine detaillierte Darstellung der Inkohlungsverhältnisse im Ruhrrevier wurde verzichtet, da dort das Inkohlungsbild der Karbon-Oberfläche zu kompliziert und zudem für die Kohlenwasserstoffprospektion ohne Interesse ist. Es sei jedoch erwähnt, daß – aufgrund der Flüchtigen Bestandteile von Vitriten - eine detaillierte Inkohlungskarte des Ruhrgebiets, bezogen auf ein bestimmtes Flöz, seit langem vorliegt (PATTEISKY & M. & R. TEICHMÜLLER 1962). Um den generellen Verlauf der Iso-Reflexionen 1% und 2% im Südwesten der Karte darstellen zu können, wurden die von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum, herausgegebenen Inkohlungskarten des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks (1952 - 1958) und die dazugehörigen Inkohlungsprofile (beide von K. PATTEISKY bearbeitet) mit ausgewertet. Dabei wurde der von PATTEISKY benutzte Inkohlungsmaßstab, nämlich der Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen, in das mittlere Reflexionsvermögen des Vitrinits transformiert. Dazu diente ein Diagramm, das die Beziehungen zwischen Flüchtigen Bestandteilen von isolierten Vitriten (wasser-, aschefrei) zum Reflexionsvermögen des Vitrinits (% Rm) zeigt und das in ergänzter Form soeben erschienen ist (M. & R. TEICHMÜLLER 1984).

Die von WOLF (1972, 1968 – 1984), VIETH-REDEMANN (1983, 1984), JORDAN & KOCH (1975) und LÜTKE & KOCH (1983) publizierten Rmax-Werte von Oberflächenproben des Namurs und Dinants wurden aufgrund eines Diagramms von M. & R. TEICHMÜLLER & WEBER (1979: Abb. 29), das die Beziehungen zwischen maximaler und mittlerer Vitrinit-Reflexion zeigt, in Rm-Werte transformiert.

3. Die Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland

Die Inkohlungskarte (Taf. 1 in der Anl.) zeigt die Verbreitung der einzelnen Stufen des Oberkarbons (Namur, Westfal A, B, C, D und Stefan) und des Unterkarbons (Dinant) unter dem Deckgebirge. Abgesehen von lokalen Ausbissen des Westfals C und D bei Ibbenbüren, am Hüggel und am Piesberg bei Osnabrück, tritt Karbon (Namur und Dinant) neben Devon nur im Rheinischen Schiefergebirge und seiner nördlichen Randzone sowie im Harz und im Flechtinger Höhenzug an die Oberfläche.

Die Mächtigkeit des Deckgebirges ergibt sich indirekt aus den Tiefenlinien für die Karbon-Oberfläche (- 1 000 bis - 7 000 m NN). Diese Tiefenlinien wurden zum Teil revidiert, und zwar nach Angaben von O. DEUTLOFF (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) für den Bereich Ostwestfalen und von H.-A. HEDE-MANN und G. STANCU-KRISTOFF (Niedersächs. L.-Amt Bodenforsch.) für den Norden des Kartengebietes. Danach sinkt das Karbon von Süden nach Norden in immer größere Tiefen ab, bis es im Raum der Unterelbe Tiefen von mehr als 7 000 m unter dem Deckgebirge erreicht. Dieser Trend wird allerdings unterbrochen durch die große Aufwölbung des Massivs von Bramsche, wo zwischen Ibbenbüren und Osnabrück das Westfal stellenweise sogar an die Oberfläche tritt. Auch zum Westrand der Karte hin steigt die Karbon-Oberfläche in Richtung auf den Niederländischen Rücken deutlich an. In Abbildung 3 (S. 22–23) kommt die wechselnde Tiefenlage der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland besonders anschaulich zum Ausdruck. Das trifft übrigens auch zu für frühere Schnitte vom Wiehengebirge zur danischen Bohrung Rödby (BARTENSTEIN & R. TEICHMÜLLER 1974: 154–155, BENDER & HEDEMANN 1983: 46) und vom Münsterland bis zur Dänischen Bucht (PLEIN 1978).

Zur Stratigraphie der Karbon-Oberfläche haben wir uns in unserer früheren Arbeit (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979: Kap. 3.) ausführlich geäußert. Es seien hier nur die Änderungen gegenüber der Karte von 1979 besprochen:

Der Darstellung im Südwestteil der Karte (Ruhrkohlenbecken, Niederrhein) wurde die Geologische Karte des Ruhrkarbons 1:100 000 (1982) zugrunde gelegt. Die Verbreitung des Westfals D südlich Bentheim und östlich der Weser (bei Hamwiede) wurde den Ergebnissen von HEDEMANN et al. (1984) angepaßt, nach denen die Bohrungen südlich Bentheim unter dem Deckgebirge nur noch Westfal C angetroffen haben. Allerdings sind Westfal-D-Vorkommen südlich Bentheim weiterhin möglich, wenn man die HOYERschen Auswertungen reflexionsseismischer und gravimetrischer Messungen zwischen den Bohrungen Münsterland 1 und Coesfeld S1 und dem nördlich anschließenden Gebiet berücksichtigt (HOYER & R. TEICHMÜLLER & WOLBURG 1969).

Die Verbreitung des Stefans in der Ems-Senke und im Nordosten der Karte wurde ebenfalls den Auffassungen von HEDEMANN et al. (1984) weitgehend angepaßt, wobei wir allerdings die Karbon-Oberfläche in der Bohrung Sellien 3Z mit FABIAN (1971) weiterhin als Namur und nicht als Stefan ansehen. Das namurische Alter ist nicht nur durch einen Sigillarienrest und Bruchstücke von Foraminiferen (die auch im Ruhrkarbon vorkommen) wahrscheinlich gemacht, sondern vor allem auch durch die mineralogisch-petrologische Zusammensetzung der Schichten, die der des roten Namurs in der 33 km südöstlich gelegenen Bohrung Wustrow Z1 gleicht (STADLER 1972).

Der Verlauf der Namur/Westfal-Grenze im Nordosten der Karte wurde – durch freundliche Vermittlung von E. PAPROTH (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) – nach JUBITZ & ZNOSKO & FRANKE (in Vorbereit.) eingezeichnet. Er ergibt sich unter anderem aus dem Namur, das man in der Bohrung Parchim (DDR) an der Karbon-Oberfläche angetroffen hat.

Insgesamt hat sich das stratigraphische Bild der Karbon-Oberfläche gegenüber unserer Karte von 1979 also wenig geändert.

Abb. 1 Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe nach Reflexionsmessungen aus 45 Tiefbohrungen Westdeutschlands und Vorkommen von karbonbürtigen Gaslagerstätten in Nordwestdeutschland in Beziehung zum Inkohlungsgrad an der Karbon-Oberfläche. Die Werte der Inkohlungsprofile der einzelnen Bohrungen wurden nach ihren Inkohlungsbereichen aneinandergehängt (nach M. & R. TEICHMÜLLER 1984)

Fig. 1 Increase of vitrinite reflectance with depth based on measurements in 45 deep boreholes in West Germany, and occurrence of Carboniferous-sourced gas fields in Northwest Germany in relation to vitrinite reflectance. The Rm-values obtained in single boreholes are linked together depending on their reflectance range (after M. & R. TEICHMÜLLER 1984).



4. Das regionale Inkohlungsbild an der Karbon-Oberfläche

Aufgrund vieler neuer Inkohlungsdaten stellt sich das Inkohlungsbild für das Rhein – Ruhr-Gebiet und seine südlichen Randbereiche nun differenzierter als im Jahr 1979 dar. Dort, im Südwesten des Kartenblattes, zeigt sich eine starke Abhängigkeit des Isoreflexionenverlaufs von der Stratigraphie an der Karbon-Oberfläche. Entsprechend folgen die Isoreflexionslinien 1% und 2% Rm mehr oder weniger den Schichtgrenzen. Darin macht sich die für das Ruhrgebiet schon seit langem bekannte präorogene Inkohlung (M. & R. TEICHMÜLLER 1949, 1971) bemerkbar. Auf eine Darstellung des sehr detaillierten und komplizierten Inkohlungsbildes der Karbon-Oberfläche im stark gefalteten Teil des Ruhrreviers mußten wir auch in der neuen Karte wegen des Maßstabs verzichten.

Die starke Abnahme des Inkohlungsgrades unmittelbar nördlich der Ennepe-Störung ist paläogeographisch bedingt und spiegelt die Beckenrandlage wider. Dort wurde das Namur zur Zeit des Westfals weniger tief versenkt, als es weiter nördlich der Fall war (R. TEICHMÜLLER 1962, HOYER & R. TEICHMÜLLER 1971).

Nach Ausdruck der Karte wurde von VIETH-REDEMANN (1984) im Namur des Karpetals am Rande des Rheinischen Schiefergebirges (ca. 10 km nordöstlich der Bohrung Nehden 1) ein Wert von 2,5 % Rm gemessen. Danach müßte die Umbiegung der 3-%-Isoreflexionslinie im Namur südöstlich des Lippstädter Gewölbes ca. 12 km weiter nach Südwesten verlegt werden.

Auffallend niedrige Reflexionswerte (0,6–0,7 % Rm) wurden an der Karbon-Oberfläche nördlich der Bergbauzone vor allem im Westfal C festgestellt. Dies ist zurückzuführen auf eine nur flache Absenkung der Schichten im Karbon und die relativ geringe Deckgebirgsmächtigkeit in späterer Zeit. Die Reflexionsdaten entsprechen dem Beginn des "Ölfensters". Jedoch ist in diesem Gebiet, entsprechend der frühen, im wesentlichen noch im Westfal verlaufenen Inkohlung natürlich nicht mehr mit Kohlenwasserstoff-Funden zu rechnen, um so weniger als abdichtende Schichten, insbesondere das Zechstein-Salz fehlen. Die 1-%-Rm-Isoreflexionslinie umschließt nicht nur die Ausbisse des Westfals C unter dem Deckgebirge, sondern auch Teile des Westfals B im Münsterland.

Am linken Niederrhein macht sich das Krefelder Gewölbe durch ein Umbiegen der Isoreflexionslinien nach Norden bemerkbar. Der im Devon der Bohrung Wachtendonk 1 gemessene Wert von 4,8 % Rm (1979) wurde mit 3,7 % Rm nun auf die Karbon-Oberfläche (Dinant) extrapoliert, allerdings über eine Tiefendifferenz von 500 m.

Im Raum südlich Bentheim ergaben die Bohrungen Gildehaus Z2 und Ochtrup Z2/Z2A relativ geringe Inkohlungswerte (1,0 bzw. 0,9 % Rm), obgleich in der nah benachbarten Bohrung Ochtrup Z1 auch nach neueren Kontrolluntersuchungen ein relativ hoher Wert (1,8 % Rm) festgestellt wurde. Diese vergleichsweise hohe Inkohlung wird auf den Einfluß des Bramscher Massivs zurückgeführt.

Östlich des Bramscher Massivs wurde das Inkohlungsmaximum des Massivs von Vlotho in die Karte übernommen, nachdem dieses von DEUTLOFFet al. (1980) zunächst für die Rhät/Lias-Grenze beschrieben worden ist und sich auch aus Ergebnissen von KOCH & ARNEMANN (1980) ergeben hat. DEUTLOFF

Inkohlung und Erdgas...

et al. haben dieses auffallende Inkohlungshoch bereits 1980 auf die Karbon-Oberfläche übertragen. Ähnlich wie das Bramscher Massiv wird auch das Massiv von Vlotho auf einen Intrusivkörper in großer Tiefe zurückgeführt. Dafür sprechen neben dem Inkohlungsmaximum auch ein magnetisches und gravimetrisches Maximum. Wie Abbildung 2 zeigt, laufen die Linien gleicher Vitrinit-Reflexion mit den Linien gleicher magnetischer Totalintensität und gleicher gravimetrischer Daten fast parallel.

Aufgrund der guten Illit-Kristallinität im Oberen Muschelkalk (Trochitenkalk) nimmt BRAUCKMANN (1984) eine "Fortsetzung des Massivs von Vlotho" nach Südosten mit Umbiegung nach Süden in die Richtung Hessische Senke an. Obgleich Inkohlungsdaten aus diesem Untersuchungsgebiet fehlen, spricht der hohe Rm-Wert an der Karbon-Oberfläche in der Bohrung Solling-Devon 1 tatsächlich für einen ähnlich starken Wärmezufluß wie im Massiv von Vlotho. Vielleicht muß die 4-%-Isoreflexionslinie des Massivs von Vlotho, ähnlich wie die 3-%-Isolinie nach Südsüdosten bis in den Raum Solling-Devon 1 verlängert werden (die eben erschienene Arbeit von BRAUCKMANN wurde uns erst nach Ausdruck der neuen Inkohlungskarte zugänglich).



Abb. 2 Schnitt durch das Massiv von Vlotho nach Inkohlung (Rhät/Lias-Grenze), Gravimetrie und Magnetik (nach DEUTLOFF et al. 1980)

Fig. 2 Cross-section through the Vlotho Massif on the basis of vitrinite reflectance (at the boundary Rhaetic/Liassic), gravimetry and magnetics (after DEUTLOFF et al. 1980)

Nach Inkohlungsuntersuchungen im Wealden der Bohrung Ellerburg Z1 (3.0 % Rm) führten DEUTLOFF et al. für die Karbon-Oberfläche in dieser Bohrung den schon 1979 ermittelten, jedoch damals nicht in die Karte eingetragenen Wert von 4,3 % Rm ein, den wir nun auch in unsere Karte übernommen haben. Diese Bohrung liegt zwischen den beiden Inkohlungsmaxima von Bramsche im Westen und Vlotho im Osten. Dort liegt offenbar eine lokale Aufheizung vor, ähnlich wie im Norden des Massivs von Vlotho bei den Bohrungen Stolzenau, Uchte und Bahrenborstel, deren Inkohlungsmaxima vielleicht mit dem "zusätzlichen Intrusivgürtel" in Zusammenhang gebracht werden können, den NODOP (1971) aufgrund tiefenrefraktionsseismischer Befunde nördlich des Bramscher Massivs annimmt. Für einen hydrothermalen Einfluß bei der Inkohlung in diesen Bohrungen und auch in den Rehden-Bohrungen sprechen die starken Reflexionsschwankungen innerhalb der gleichen Bohrung und/oder von nah benachbarten Bohrungen ebenso wie Vorkommen von epigenetischen Erzmineralen wie Bleiglanz und Kupferkies, die in den zur Reflexionsmessung benutzten Anschliffen beobachtet wurden. Auf die Möglichkeit, daß nördlich der Massive von Bramsche und Vlotho noch stark inkohltes Karbon in der Tiefe ansteht, deuten auch die Reflexionsdaten von KOCH & ARNEMANN (1975) aus Tagesaufschlüssen im Rhät und Lias. Für eine Graphitisierung der karbonischen Kohlenflöze in größerer Tiefe des Bramscher Massivs sprechen die ungewöhnlich kleinen elektrischen Widerstände ($< 1 \Omega$ m), die WAGENITZ (1982) im Verlauf tellurisch-magnetotellurischer Untersuchungen im Bereich der Anomalie von Bramsche feststellte.

Im Harz und seinem südlichen Vorland wurden die von JORDAN & KOCH (1975) und LÜTKE & KOCH (1983) veröffentlichten Inkohlungsuntersuchungen für die neue Inkohlungskarte ausgewertet. Aus diesen Arbeiten ergeben sich die Isoreflexionen von 2 % und 3 % Rm im Dinant des Harzes und der 2-%-Rm-Wert an der Karbon-Oberfläche der Bohrung Wulften 1. Durch den Verlauf der 2-%-Rm-Isoreflexionslinie in Richtung Hessische Senke macht sich ein rheinisch streichendes Element im Inkohlungsbild der Karbon-Oberfläche bemerkbar, das auch im Gifhorner Trog zum Ausdruck kommt, wo die Bohrung Bokel Z1 einen Wert von 2,9% Rm, also Anthrazit-Stadium an der Karbon-Oberfläche ergeben hat. Die relativ starke Inkohlung ist hier nicht zuletzt auf die großen Jura-Mächtigkeiten zurückzuführen. Das hat auch die Bohrung Solling-Devon 1 dürfte dagegen durch die große Mächtigkeit des Namurs und durch einen zeitweise hohen paläogeothermischen Gradienten bedingt sein.

Im Nordostteil des Kartengebietes wurde das Oberkarbon wegen seiner großen Tiefenlage in den Aufschlußbohrungen nicht erreicht. Deshalb wurden für diesen Raum Proben aus dem Kupferschiefer untersucht, die Werte zwischen 1,3 und 1,8 % Rm lieferten. Dabei ist zu bedenken, daß sich dort zwischen Karbon-Oberkante und Kupferschiefer noch ein mehrere hundert bis über tausend Meter mächtiges Rotliegendes einschiebt, so daß man mit Reflexionswerten von 2,0 – 2,5 % Rm an der Karbon-Oberfläche rechnen muß. Nach PHILIPP & REINICKE (1982: 86) hat hier eine starke Nachinkohlung in der Trias und – vor allem – im jüngeren Känozoikum stattgefunden. Auffallend hoch und nicht erklärbar ist die Reflexion im Kupferschiefer der Bohrung Dreilingen Z1 (2,4 % Rm), die im Oberrotliegenden gasfündig wurde. Die besondere tektonische Lage dieser Bohrung in einem tiefen Graben (DRONG et

Inkohlung und Erdgas...

al. 1983) kann nicht die Ursache sein für die hohe Inkohlung, denn dieser Graben war zur Zeit des Zechsteins schon gefüllt. Man muß aber berücksichtigen, daß Reflexionsmessungen in bituminösen oder ehemals bituminösen Gesteinen, wie dem Kupferschiefer, mit gewissen Unsicherheiten belastet sind und echte Vitrinite hier selten auftreten.

Von besonderem Interesse ist die auffallend geringe Inkohlung am Top des Oberkarbons in Bohrungen an der Emsmündung. Trotz einer heutigen Tiefe von ca. 4000 m wurden zum Beispiel im Westfal A der Bohrung Emshörn Z1A nur 1 % Rmermittelt und im Westfal B der Bohrung Norddeich Z1 1,1 % Rm. Die Bohrungen Randzelgat Z1 und Mövensteert Z1 ergaben etwas höhere Werte (1,3 bzw. 1,7 % Rm). Verglichen mit gleichalten Schichten im Ruhrkarbon, die keinesfalls tiefer gelegen haben als 4000 m, sind das sehr niedrige Reflexionswerte. Sie erklären sich dadurch, daß an der Emsmündung das Karbon schon präpermisch aufgewölbt wurde und selbst das ältere Westfal erst in sehr junger Zeit in größere Tiefen abgesunken ist, bei einem wesentlich kleineren geothermischen Gradienten (30° C/km), als er für die Karbon-Zeit im Ruhrrevier (60 – 80° C/km) errechnet worden ist (BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICH-MÜLLER 1982). Offenbar ist die Inkohlung des Westfals an der Emsmündung noch heute im Gange und sorgt für eine ständige Neubildung von Erdgas.

Abbildung 3 zeigt die Änderung des Inkohlungsgrades an der Karbon-Oberfläche nach einem von STANCU-KRISTOFF & STEHN (1984: Taf. 1) entworfenen Schnitt. Der Schnitt reicht vom Rheinischen Schiefergebirge über das Ruhrgebiet, das Münsterländer Becken, die Karbon-Scholle von Ibbenbüren und das Niedersächsische Becken bis in die Nordsee. Es sei erwähnt, daß die Schnittlinie in Abbildung 3 von der Bohrung Groothusen Z1 (Emsmündung) weiter nach Norden etwas anders verläuft als in dem Schnitt von STANCU-KRI-STOFF & STEHN.

Im Süden kommt die relativ schwache Inkohlung des Namurs nördlich der Ennepe-Störung (1,5 % Rm) und die rasche Zunahme des Inkohlungsgrades nach Norden zum Zentrum des Namur-Troges (2,5 % Rm) zum Ausdruck (vgl. HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1971: Abb. 3). Im Ruhrgebiet und im Münsterländer Becken werden die Rm-Werte im wesentlichen von dem Alter der an der Karbon-Oberfläche anstehenden Westfal-Stufen bestimmt: Bohrungen, die das Westfal C angetroffen haben, ergaben Werte kleiner als 1 % Rm, solche mit Westfal B oder A am Top Karbon Werte von 1 % Rm und mehr. Es fällt auf, daß die heutige Tiefenlage der Karbon-Oberfläche keine oder bestenfalls eine sehr kleine Rolle spielt. Selbst in der Bohrung Bevergern 1, wo unmittelbar südlich des Münsterländer Abbruchs die Karbon-Oberfläche auf 2352 m abtaucht, wurde im Westfal B mit 1.15 % Rm praktisch der gleiche Inkohlungsgrad festaestellt wie in den Bohrungen Münsterland 1 (1,1 % Rm) und Südkirchen 1 (1.0 % Rm), in denen die Karbon-Oberfläche wesentlich höher liegt. Die Bohrung Südkirchen 1 hat die Karbon-Oberfläche sogar im Westfal A bei nur 806 m Teufe angetroffen. Man sieht daraus, daß die "Nachinkohlung" im Münsterland an der Karbon-Oberfläche kaum eine Rolle gespielt hat. Sie dürfte jedoch in tieferen Horizonten des flözführenden Karbons stattgefunden haben. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß wir in der Bohrung Bevergern 1 eine ungewöhnlich rasche Inkohlungszunahme mit der Tiefe festgestellt haben, die dort wahrscheinlich mit einer Nachinkohlung durch Einfluß des Bramscher Massivs in Zusammenhang steht.



Abb. 3. Der Inkohlungsgrad an der Karbon-Oberfläche in einem Schnitt vom Rheinischen Schiefergebirge bis zur Nordsee. Als Grundlage diente der Schnitt von STANCU-KRISTOFF & STEHN (1984: Taf. 1).

Zweifellos die auffallendste Inkohlungsänderung ist das Maximum über dem Bramscher Intrusiv. Von der Bohrung Bevergern 1 aus steigen die Rm-Werte zur Ibbenbürener Karbon-Scholle von 1,15 % (im Westfal B) auf 2–3 % Rm (im Westfal D!) auf eine Entfernung von nur 12 km sprunghaft an, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß das Westfal D zutage tritt. Von hier aus nimmt der Inkohlungsgrad weiter nach Norden ungewöhnlich stark zu bis auf 4,8 % Rm (nahe der Geländeoberfläche!), um danach im Niedersächsischen Becken zum Nordrand des Bramscher Massivs hin relativ langsam wieder auf ca. 2 % Rm abzunehmen.

Im Niedersächischen Becken, wo die Karbon-Oberfläche in 4000 – 5000 m Tiefe liegt, hat (auch unabhängig von der Aufheizung durch das Bramscher Intrusiv) offenbar eine starke postkarbonische Nachinkohlung stattgefunden, vor allem infolge der großen Mächtigkeit mesozoischer Schichten. Darauf und auf die gute Abdichtung durch Evaporite des Zechsteins und des Oberen Buntsandsteins dürfte die große Zahl der Gasfelder auf der schon variscisch aufgewölbten Struktur des Südoldenburger Rückens zurückzuführen sein (ZIEGLER 1980: 682–683).

An der Emsmündung und in der südlichen Nordsee nehmen die Rm-Werte stark ab (1,0-1,3%), obgleich die Karbon-Oberfläche – wie Abbildung 3 deutlich zeigt – dort nur wenig höher, in der Bohrung Norderney Z1 sogar wesentlich tiefer als auf dem Südoldenburger Rücken liegt. Dies läßt sich erklären durch eine relativ späte Absenkung dieser präpermischen Aufwölbung in jüngster Zeit. Dabei hat die Inkohlung offenbar noch nicht ihr der heutigen Tiefe, beziehungsweise Temperatur gemäßes Gleichgewicht erreicht (vgl.







TISSOT & WELTE 1978: 168, Abb. II. 5. 12, und HUNT 1979: 372 – 374). Sie ist hier auch nahe der Oberfläche (ca. 4000 m und 130°C) noch im Gange.

Der auffallend niedrige Rm-Wert in der Bohrung Holthusen Z2 (die in den Schnitt hineinprojiziert wurde) könnte mit dem "Schornstein-Effekt" (HEDE-MANN 1967: 342) des überlagernden Salzstockes in dieser Bohrung erklärt werden.

Insgesamt bestätigen die neuen Resultate das schon 1979 gewonnene Inkohlungsbild: Während im Süden die vorwiegend präorogene Inkohlung den Verlauf der Isoreflexionen entlang der Schichtgrenzen bestimmt, spielt nach Norden zu die postkarbonische Überlagerung eine immer größere Rolle, wenn man von den Massiven von Bramsche und Vlotho absieht. So befindet sich zum Beispiel die Westfal C/D-Grenze in der Bohrung Arsten Z1 in einer Teufe von 6 180 m mit 3.5 % Rm an der Grenze vom Anthrazit- zum Meta-Anthrazit-Stadium (für die Karbon-Oberfläche bei 5700 m ergibt sich daraus ein Wert von 2,8 % Rm). Da der Südoldenburger Rücken und seine östliche Fortsetzung eine Aufwölbung des Westfals C zwischen dem Westfal D im Süden und dem Stefan im Norden bilden, ist hier die Inkohlung relativ gering. Sie schwankt zwischen 1.4 und 1.8 % Rman der Karbon-Oberfläche. Im Bereich der Massive von Bramsche und Vlotho und in ihren nördlichen und östlichen Grenzgebieten haben paläogeothermische Ereignisse, vor allem in der Oberkreide, das Inkohlungsbild geprägt. Hier fand durch die Intrusion großer Magmenkörper eine telemagmatische Anthrazitisierung statt, die bis zur Bildung von Meta-Anthraziten (im Westfal D des Piesberges bei Osnabrück) und - in größerer Tiefe - auch zum Semigraphit- (Bohrung Alfhausen Z1) und Graphit-Stadium

23

führte. Nach ROBERT (1983, **2**: 51–56) steht dieser Magmenaufstieg mit der Inversion des herzynisch streichenden, tief abgesunkenen Jura/Unterkreide-Beckens ("fosse") und einer Anhebung des oberen Mantels in Verbindung.

5. Beziehungen zwischen Inkohlung und Erdgaslagerstätten

Die Beziehungen, wie wir sie in unserer Arbeit von 1979 im einzelnen beschrieben haben, bleiben auch nach den neuen Inkohlungsdaten und unter Berücksichtigung der neu entdeckten Erdgasfelder im großen und ganzen bestehen. Sie sind in Abbildung 1 (S. 17) (unten links) schematisch dargestellt. Die meisten Erdgasfelder liegen dort, wo die Vitrinit-Reflexion an der Karbon-Oberfläche zwischen 1 % und 2 % Rm schwankt. Jedoch sind einige Felder, wie Apeldorn und Bahrenborstel am Nordrand des Bramscher Massivs sowie Alfeld Elze westlich Hildesheim und die Felder Barrien (südlich Arsten) und Wustrow mit relativ hohen Vitrinit-Reflexionen verknüpft (2,5-2,8 % Rm). Auch für die Gasfelder Osthannovers (Söhlingen, Munster, Dreilingen, usw.) muß man mit Werten von 2,0-2,5 % Rm an der Karbon-Oberfläche rechnen angesichts der großen Mächtigkeit des Rotliegenden, das sich hier zwischen dem Kupferschiefer (gemessene Werte) und der Karbon-Oberfläche einschiebt (s. S. 20). Nach einem interessanten Diagramm von PHILIPP & REINICKE (1982: 86) dürfte hier die Gasbildung und -akkumulation noch im Gange sein.

Betrachtet man, wie allgemein üblich, eine Vitrinit-Reflexion von 3,0-3,5 % Rm als "death line" für Erdgaslagerstätten, so fällt die "Diskrepanz" zwischen Inkohlungsgrad und Gasvorkommen im Feld Uchte besonders auf. Dort wurden Werte von 4,4 und 4,7 % Rm und bis zu 8,8 % Rmax im Westfal D nahe der Karbon-Oberfläche gemessen. NODOP (1971) hat aufgrund seismischer Untersuchungen bei Uchte einen sauren bis intermediären Plutonit in großer Tiefe wahrscheinlich gemacht. Das Feld Uchte fördert aus dem Hauptdolomit des Zechsteins von Uchte Z3 und aus dem mittleren Buntsandstein, basalen Zechstein und dem Rotliegend-Vulkanit von Uchte Z2 – allerdings aus wesentlich flacheren Tiefen als der der Karbon-Oberfläche. Da die Uchte-Bohrungen in einem tektonisch stark gestörten Bereich liegen, die Vitrinit-Reflexionen stark schwanken (4,5-5,2% Rm, 6,5% Rmax) und wir unter dem Mikroskop Erzminerale (Kupferkies) in den Bohrproben feststellten, kann es sich um ein lokales, hydrothermal beeinflußtes Inkohlungsmaximum handeln. Wahrscheinlich waren zur Zeit der Migration und Akkumulation der Gase die notwendigen Porositäten der Speichergesteine noch vorhanden¹⁾, oder konnten die Inkohlungsgase hier infolge einer "fracture porosity", hervorgerufen durch tektonische Zerrüttung der Gesteine, migrieren und gespeichert werden (val. BARTENSTEIN & SCHMIDT 1980: 431).

Die Bohrung Bahrenborstel Z2 hat steil stehendes, mesothermal vererztes Oberkarbon durchteuft mit Pyrophyllit, Flußspat und Baryt (STADLER 1964). Der relativ hohe Rm-Wert von 2,7 % wurde an Meta-Bituminit und Meta-Exsudatiniten in Carbonaten (!) gemessen. Bei dem Exsudatinit könnte es sich um ascendentes Sekundärbitumen handeln, das erst nach seiner Platznahme durch hydrothermale Einflüsse stark inkohlte.

¹⁾ Soeben hat BRAUCKMANN (1984) wieder bewiesen, daß bei einer relativ kurzen, aber starken telemagmatischen Aufheizung die Inkohlung der Diagenese der Gesteine vorauseilt (s. auch STADLER & M. TEICHMÜLLER 1971).

Inkohlung und Erdgas...

Große Reflexionsschwankungen in der gleichen Bohrung und/oder in nah benachbarten Bohrungen und auffallend häufiges Auftreten von Erzmineralen wie Kupferkies und Bleiglanz wurden auch in Anschliffen aus den Rehden-Bohrungen beobachtet. Das Gasfeld Rehden schließt sich im Westnordwesten an die Felder Uchte und Bahrenborstel an. Diese drei Felder liegen in einer Westnordwest-Ostsüdost streichenden tektonischen Schwächezone am Nordrand des Bramscher Massivs, die dem "zusätzlichen Intrusivgürtel" von NODOP (1971) und/oder den von STADLER & R. TEICHMÜLLER (1971) beschriebenen "relativ späten, tiefreichenden Abbrüchen, die den erzbringenden Hydrothermen die besten Aufstiegswege boten" zuzuordnen ist.

Nach BARNARD & COOPER (1983) sind die karbonbürtigen Gaslagerstätten Nordwesteuropas – im großtektonischen Bild gesehen – großenteils an die Ränder von mesozoischen Inversionsbecken gebunden. Das trifft auch für die Gaslagerstätten am Rande des Bramscher Massivs zu, dort, wo die nötigen Speichergesteine die Inkohlungsgase aufnehmen konnten. Als besonders geeignet dafür haben sich die Wüstensandsteine des Rotliegenden erwiesen (PLEIN 1978). Die Gasfelder im Norden der Bundesrepublik Deutschland (Emsmündung, Südoldenburger Rücken, Osthannover) befinden sich dort, wo das flözführende Oberkarbon heute seine größte Versenkungstiefe erreicht hat. Ähnlich wie in den Niederlanden (VAN WIJHE & LUTZ & KAASSCHIE-TER 1980) dürfte hier das "Gasfenster" (bei einem geothermischen Gradienten von 32° C/km) in Tiefen von 4000–6000 m liegen.

BARTENSTEIN & SCHMIDT (1980) sowie PRATSCH (1982, 1983) haben versucht, Beziehungen zwischen den Struktureinheiten des präkarbonischen Untergrundes und dem Vorkommen von Kohlenwasserstofflagerstätten aufzuzeigen. Ein Vergleich der "Basements Highs" oder "Regional Highs" von PRATSCH (1982: Abb. 21 und 22) mit unserer Karte zeigt jedoch, daß solche Beziehungen für die karbonbürtigen Erdgasfelder in Nordwestdeutschland nicht bestehen. Die Hochlagen des Oberkarbons, wie der Niederländische Rücken, das Groninger Hoch, das Krefelder Gewölbe, der Südoldenburger Rücken, das Lippstädter Gewölbe, das Rehburger Gewölbe und der Wustrower Sporn, folgen ebenso wenig den präkarbonischen Strukturen von PRATSCH (1982, 1983), BARTENSTEIN (1979) und auch von PFLANZL (1977/78), wie die Muldenlagen der Ems-Senke und des norddeutschen Stefan-Beckens und auch nicht anderen Strukturen, wie dem Bramscher und Vlothoer Massiv, dem Münsterländer Abbruch und der Steinhuder-Meer-Linie.

Trotzdem bleibt die tektonische Struktur-Analyse, wie sie von den genannten Autoren und früher auch schon von BARTENSTEIN & R. TEICHMÜLLER (1974) durchgeführt wurde, für die Kohlenwasserstoff-Prospektion unerläßlich. Das zeigen die erdgasführenden Strukturformen des Wustrower Sporns, des Rehburger Gewölbes, des Südoldenburger Rückens und des Groninger Hochs. Bei ihnen handelt es sich um karbonische und/oder postkarbonische Aufwölbungen.

Abschließend sei auf die Frage eingegangen, ob das Prä-Oberkarbon in Nordwestdeutschland Aussichten auf Erdgasfunde bietet. Seit Erscheinen unserer Inkohlungskarte von 1979 hat keine Aufschlußbohrung das Prä-Oberkarbon daraufhin getestet, obgleich immer wieder auf die Bedeutung solcher Untersuchungen hingewiesen wurde (PRATSCH 1982, 1983; BARTEN-STEIN & SCHMIDT 1980; PFLANZL 1977/78; BENDER & HEDEMANN 1983). Sicher liegt das Prä-Oberkarbon im Raum zwischen Unterweser und Unterelbe so tief (8000 – 10000 m), daß man hier mit Gasfunden nicht mehr rechnen kann. Wenn man zum Beispiel von in den Bohrungen Hoya Z1, Dorfmark Z1 oder Wittorf Z1 im Karbon festgestellten Rm-Werten ausgeht und diese nach Abbildung 1 (S. 17) auf eine Tiefe von 9 000 m extrapoliert, so erhält man Werte von über 6 % Rm, das heißt höchstes Meta-Anthrazit-Stadium. Hier ist die "deathline" für Erdgas längst überschritten. Bessere Erfolgsaussichten bestehen im südlichen Randbereich der "Central Variscan Platform" (BARTENSTEIN & SCHMIDT 1980) innerhalb des nordwestdeutschen Sedimentationsbeckens. Bei der Prospektion in diesem Gebiet können die im Oberkarbon festgestellten Inkohlungsgradienten (Abb. 1, S. 17) zusammen mit den Werten der mittleren Vitrinit-Reflexion aus der Inkohlungskarte eine brauchbare Hilfe bieten.

Dank: Wirdanken den Erdölfirmen BEB Gewerkschaften Brigitta und Elwerath Betriebsführungsgesellschaft mbH, C. Deilmann AG, Deutsche Schachtbau- und Tiefbohrgesellschaft mbH, Deutsche Texaco AG, ITAG, Mobil Oil AG, Preussag AG und Wintershall AG sehr für Bohrproben, Inkohlungsdaten aus ihren Archiven und die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Inkohlungskarte. Sehr dankbar sind wir der Ruhrkohle AG für die Freigabe von Reflexionswerten aus ihren Explorationsbohrungen durch freundliche Vermittlung der Studiengesellschaft Kohlegewinnung zweite Generation e.V. Dieser Gesellschaft sei auch gedankt für ihre finanzielle Hilfe, durch die der Farbdruck der Inkohlungskarte ermöglicht wurde. Für Beratungen und Diskussionen bei der Überprüfung der stratigraphischen Unterlagen sind wir vor allem Prof. Dr. H.-A. HEDEMANN (Erlangen) und seinen früheren Mitarbeitern beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Dipl.-Ing. J. LOSCH und Dipl.-Geol. G. STANCU-KRISTOFF, zu großem Dank verpflichtet, außerdem Dr. L. BISEWSKI (Bentheim), Dr. M. J. M. BLESS (Maastricht), Dr. H. FIEBIG (Bochum) und Dr. E. PLEIN (Hannover) sowie folgenden Mitarbeitern des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen (Krefeld): Dr. O. DEUTLOFF, Dr. G. DROZDZEWSKI, Dr. K. KÖWING, Dr. E. PAPROTH, Dr. B. PIEPER, Dr. A. RABITZ und Dr. O. STEHN, der auch den Schnitt für die Abbildung 3 zur Verfügung stellte. Für zusätzliche Inkohlungsdaten danken wir Dr. G. STADLER, Dipl.-Geol'in A. VIETH-REDEMANN und Dr. D. BÜTTNER.

6. Schriftenverzeichnis

- BARNARD, P. C., & COOPER, B. S. (1983): A review of geochemical data related to the northwest European gas province. – In: BROOKS, J.: Petroleum geochemistry and exploration of Europe. – 19–33, 7 Abb.; Oxford, London, Edinburgh (Blackwell Sci. Publ.).
- BARTENSTEIN, H. (1979): Essay of the coalification and hydrocarbon potential of the northwest European Palaeozoic. - Geol. en Mijnb., **58** (1): 57-64, 8 Abb.; den Haag.
- BARTENSTEIN, H., & SCHMIDT, W. J. (1980): Future hydrocarbon exploration. Are the geological limits for the hydrocarbon prospection in northern Germany in sight? – Erdöl u. Kohle, **33**(9): 425–432, 6 Abb.; Leinfelden.
- BARTENSTEIN, H., & TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die Umwandlung der organischen Substanz im Dach des Bramscher Massivs. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 501–538, 6 Abb., 7 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- BARTENSTEIN, H., & TEICHMÜLLER, R. (1974): Inkohlungsuntersuchungen, ein Schlüssel zur Prospektierung von paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten? – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 129–160, 17 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- BENDER, F., & HEDEMANN, H.-A. (1983): Zwanzig Jahre erfolgreiche Rotliegend-Exploration in Nordwestdeutschland – weitere Aussichten auch im Präperm? – Erdoel-Erdgas-Z., 99(2): 39 – 49, 7 Abb.; Hamburg.
- BRAUCKMANN, F. J. (1984): Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. – Bochumer geol. geotechn. Arb., **14**: 195 S., 54 Abb., 45 Tab.; Bochum.
- BUNTEBARTH, G., & KOPPE, I., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Palaeogeothermics in the Ruhr Basin. – In: ČERMAK, V., & HAENEL, R. [Hrsg.]: Geothermics and geothermal energy.: 45–53, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

- DEUTLOFF, O., & TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R., & WOLF, M. (1980): Inkohlungsuntersuchungen im Mesozoikum des Massivs von Vlotho (Niedersächsisches Tektogen). – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1980** (6): 321–341, 4 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- DRONG, H. J., & PLEIN, E., & SANNEMANN, D., & SCHUEPBACH, A., & ZIMDARS, J. (1982): Der Schneverdingen-Sandstein des Rotliegenden – eine äolische Sedimentfüllung alter Grabenstrukturen. – Z. dt. geol. Ges., 133: 699 – 725, 9 Abb., 1 Tab., 5 Taf.; Hannover.
- FABIAN, H.J. (1971): Stratigraphie und Tektonik. In: Die Karbonablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III.A.4. Das Oberkarbon im Untergrund von Nordwestdeutschland und dem angrenzenden Nordseebereich. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 87–100, 6 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- FÜCHTBAUER, H. (1963/64): Porosität und Gasinhalt der Karbonatgesteine des norddeutschen Zechsteins. – Z. dt. geol. Ges., **114**: 484 – 531, 10 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Hannover.
- Geologie (1976). Deutscher Planungsatlas, 1 (8): 3 Kt. 1:500000, mit Erl. u. Textbeil. Hrsg. Akad. Raumforsch. u. Landesplanung, Bearb. DAHM, H.-D., & DEUTLOFF, O., & HERBST, G., & KNAPP, G., & THOME, K. N., mit Beitr. von BACHMANN, M., & BRAUN, F. J., & DROZDZEWSKI, G., & GLIESE, J., & GRABERT, H., & HAGER, H., & HILDEN, H. D., & HOYER, P., & LUSZNAT, M., & THIERMANN, A.; Hannover (Schroedel).
- Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000, dargestellt an der Karbonoberfläche (1982). – Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., Bearb. DROZDZEWSKI, G., & JANSEN, F., & KUNZ, E., & PIEPER, B., & RABITZ, A., & STEHN, O., & WREDE, V.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A. (1967): Geologische Auswertung von Temperaturdaten aus Tiefbohrungen. – Erdöl u. Kohle, **20**: 337 – 343, 7 Abb.; Hamburg.
- HEDEMANN, H.-A., & FABIAN, H.J., & FIEBIG, H., & RABITZ, A. (1971): Einführung in die Geologie des Gastlandes. 1. Das Karbon in marin-paralischer Entwicklung. – C. R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 1: 29 – 47, 10 Abb., 1 Taf.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J., & SCHUSTER, A. (1982): Verbreitung und Stratigraphie von Kohleflözen und Sandsteinfolgen des Oberkarbon in Niedersachsen. 2. Programm Energieforschung und Energietechnologien. – Statusreport 1982, Geotechnik und Lagerstätten, 2: 649 – 662, 4 Abb.; Jülich (Projektleitung Energieforschung (PLE); KFA).
- HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J. (1984): Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Nordwestdeutschland und ihre stratigraphische Einstufung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 39–88; 16 Abb.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 129 – 142, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- HÉROUX, Y., & CHAGNON, A., & BERTRAND, R. (1979): Compilation and Correlation of major thermal maturation indicators. – Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 63: 2128–2144, 2 Abb.; Tulsa.
- HOYER, P., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Vorlage einer abgedeckten Karte des Ruhrkohlenbeckens mit Bemerkungen zur tektonischen Entwicklung des Steinkohlengebirges. – C. R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, 3: 961–970, 7 Abb.; Maastricht.
- HOYER, P., & TEICHMÜLLER, R., & WOLBURG, J. (1969): Die tektonische Entwicklung des Steinkohlengebirges im Münsterland und im Ruhrgebiet. – Z. dt. geol. Ges., **119**: 549 – 552, 1 Taf.; Hannover.
- HUNT, J. M. (1979): Petroleum geochemistry and geology. 617 S., 230 Abb., 76 Tab.; San Francisco (Freeman).
- Inkohlungskarten und Schnitte 1:25 000 (1952 1958). Hrsg. Westf. Berggewerkschaftskasse zu Bochum, Bearb. PATTEISKY, K.; Bochum.
- JORDAN, H., & KOCH, J. (1975): Inkohlungsuntersuchungen im Unterkarbon des Nordwestharzes. – Geol. Jb., **A29**: 33 – 43, 2 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- JUBITZ, K.-B., & ZNOSKO, J., & FRANKE, D. [Hrsg.]: Lithologic palaegeographical map, Westphalian A/B, 1:1500000. – IGCP project, **86**. – [In Vorbereit.]
- KOCH, J., & ARNEMANN, H. (1975): Die Inkohlung in Gesteinen des Rhät und Lias im südlichen Nordwestdeutschland. – Geol. Jb., **A29**: 45–55, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover.

- LÜTKE, F., & KOCH, J. (1983): Das Inkohlungsbild des Paläozoikums im Westharz und seine Interpretation. – Geol. Jb., A69: 3-42, 3 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Hannover.
- MACKOWSKY, M. TH. (1982): Rank determination by measurement of reflectance on vitrinites. – In: STACH, E., & MACKOWSKY, M. TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R. (1982): STACHS Textbook of coal petrology. – 3. Aufl.: 319–328, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Borntraeger).
- NODOP, I. (1971): Tiefenrefraktionsseismischer Befund im Profil Versmold-Lübbecke-Nienburg. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 411-422, 5 Abb., 1 Taf.; Krefeld.
- PAPROTH, E., & WOLF, M. (1973): Zur paläogeographischen Deutung der Inkohlung im Devon und Karbon des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1973 (8): 469 – 493, 11 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

PATIJN, R. J. H. (1963): Het Carboon in de ondergrond van Nederland en de oorsprong van het Massief van Brabant. De vorming van aardgas ten gevolge van nainkoling in het noordosten van Nederland. – Geol. en Mijnb., **42**: 341–349, 3 Abb.; 's-Gravenhage.

- (1964): Die Entstehung von Erdgas infolge der Nachinkohlung im Nordosten der Niederlande. – Erdöl u. Kohle, 17: 2–9, 5 Abb., 1 Tab.; Hamburg.
- PATTEISKY, K., & TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1962): Das Inkohlungsbild des Steinkohlengebirges an Rhein und Ruhr, dargestellt im Niveau von Flöz Sonnenschein. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 687 – 700, 8 Abb., 2 Taf.; Krefeld.
- PFLANZL, G. (1977/78): Geologie und Explorationswürdigkeit des unterkarbonischen Kohlenkalkes und des Namurs in Norddeutschland. – Comp. Erdöl u. Kohle: 406–433, 7 Abb., 9 Tab.; Leinfelden – Echterdingen.
- PHILIPP, W., & REINICKE, K. M. (1982): Zur Entstehung und Erschließung der Gasprovinz Osthannover. – Erdoel-Erdgas-Z., 98 (3): 85 – 90, 9 Abb.; Hamburg.
- PLEIN, E. (1978): Rotliegend-Ablagerungen im Norddeutschen Becken. Z. dt. geol. Ges., 129 (1): 71 – 98, 10 Abb., 6 Taf.; Hannover.
- PRATSCH, J.-C. (1982): Focused gas migration and concentration of deep-gas accumulations. - Erdöl u. Kohle, **35** (2): 59-65, 23 Abb.; Leinfelden.
- (1983): Gasfields, NW German Basin: secondary gas migration as a major geologic parameter. – J. Petrol. Geol., 5 (3): 229–244, 22 Abb.; London.
- ROBERT, P. (1983): L'histoire géothermique des bassins sédimentaires par la diagenèse organique. – Diss. Univ. Bordeaux, Tl. 1: 119 S., 52 Abb.; Tl. 2: 82 S., 66 Abb., 13 Taf.; Bordeaux.
- SCHUSTER, A. (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. Erdoel-Erdgas-Z., 84: 439–457, 35 Abb.; Hamburg.
- STADLER, G. (1964): Bericht über mineralogische Untersuchungen an Kluftmineral-führenden Karbonproben aus der Bohrung "Bahrenborstel Z2". – 10 S., 7 Abb.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]
- (1972): Bericht über mineralogische Untersuchungen einer roten, tonigen Sedimentfolge im Präzechstein der Bohrung Sellien 3Z. – 4 S., 2 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]
- STADLER, G., & TEICHMÜLLER, M. (1971): Die Umwandlung der Kohlen und die Diagenese der Ton- und Sandsteine in der Untertagebohrung 150 der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 125 – 146, 4 Abb., 4 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- STADLER, G., & TEICHMÜLLER, R. (1974): 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.
- STANCU-KRISTOFF, G., & STEHN, O. (1984): Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 35–38, 1 Taf.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, M. (1971): Anwendung kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion. Erdöl u. Kohle, **24**: 69–76, 6 Abb.; Hamburg.
- (1982): Rank determination on sedimentary rocks other than coal. In: STACH, E., & MACKOWSKY, M. TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜL-

LER, R.: STACHS Textbook of Coal petrology. - 3. Aufl.: 361-374, 4 Abb.; Stuttgart (Borntraeger).

- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1949): Inkohlungsfragen im Ruhrkarbon. Z. dt. geol. Ges., 99: 40–77, 15 Abb.; Stuttgart.
- -, & (1958): Inkohlungsuntersuchungen und ihre Nutzanwendung. Geol. en Mijnb., N. S., **20**: 41-66, 21 Abb., 2 Taf.; Maastricht.
- -, & (1966): Inkohlungsuntersuchungen im Dienst der angewandten Geologie. Freiberger Forsch.-H., C210: 155 - 195, 36 Abb., 12 Tab., 16 Anl.; Leipzig.
- -, & (1971): Die Inkohlung im Rhein-Ruhr-Revier (Ruhrkohlenbecken). Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 47-56, 7 Abb.; Krefeld.
- -, & (1984): Verbreitung und Eigenschaften tiefliegender Steinkohlen in der Bundesrepublik Deutschland. Glückauf-Forsch.-H., **45** (3): 140-153, 20 Abb.; Essen.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R., & BARTENSTEIN, H. (1979): Inkohlung und Erdgas in Nordwestdeutschland. Eine Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 137 – 170, 2 Abb., 5 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R., & WEBER, K. (1979): Inkohlung und Illit-Kristallinität. Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 201–276, 31 Abb., 15 Tab.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER,R. (1962): Die Entwicklung der subvariscischen Saumsenke nach dem derzeitigen Stand unserer Kenntnis. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1237 – 1254, 2 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- TISSOT, B. P., & WELTE, D. H. (1978): Petroleum formation and occurrence. 538 S., 243 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- VIETH-REDEMANN, A. (1983): Inkohlungsuntersuchungen an Sedimentproben aus kartierbegleitenden Bohrungen im Bereich der TK 25, Nr. 4506 Duisburg. – 3 S.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]
- (1984): Inkohlungsuntersuchungen an Sedimentgesteinsproben aus dem Namur im Karpetal SE Fürstenberg (TK 25: 4418 Wünnenberg). – 3 S.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]
- Beschaffenheit der Kohle und Inkohlung. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000, Erl.,
 4506 Duisburg; Krefeld. [In Vorbereit.]
- WAGENITZ, V. (1982): Tellurisch-magnetotellurische Untersuchungen zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit in der oberen Kruste im Bereich der Anomalie von Bramsche und des Niedersächsischen Tektogens. – Diss. Univ. Münster: 138 S., 37 Abb., 6 Tab.; Münster.
- WIJHE, D. H., VAN, & LUTZ, M., & KAASSCHIETER, J. P. H. (1980): The Rotliegend in the Netherlands and its gas accumulation. – Geol. en Mijnb., **59**: 3–24, 18 Abb.; Den Haag.
- WOLF, M. (1972): Beziehungen zwischen Inkohlung und Geotektonik im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **141** (2): 222 – 257, 10 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- (1968 1984): Inkohlungsverhältnisse. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1: 25 000, Erl., 4615
 Meschede: 111 114, 1 Abb., 1 Tab. (1968); 4611 Hohenlimburg: 109 112, 1 Abb., 1 Tab. (1972); 4510 Witten: 92 98, 1 Abb. (1980); 4516 Warstein: 95 98, 1 Abb., 1 Tab. (1984); Krefeld.
- ZIEGLER, P. A. (1980): Northwest European basin: geology and hydrocarbon provinces. Can. Soc. Petr. Geol. Spec. Mem., 6: 653 – 706, 34 Abb., 1 Tab.; Calgary.

Eingang des Manuskriptes: 28. 6. 1984

Tafel 1 in der Anlage

Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons in Nordwestdeutschland aufgrund der Vitrinit-Reflexion (1:500 000)

Plate 1 in the annex

Coalification Map of the Top Upper Carboniferous in Northwestern Germany on the basis of vitrinite reflectance (1:500 000)

	Entrahmestelle locality	Blatt-Nr, (TK 25) sheet-N ⁰ (topographic map 1:25000)	Proben-Nr sample-N ⁰	Art der Probe (K = Kernprobe, S = Spülprobe) type of sample (K = core, S = cuttings)	Teufe (m) depth (m)	Karbon-Oberfläche (erbohrte Teufe in m) top Carboniferous (drilling depth in m)	Stratigraphie stratigraphy	mittlere Reflexion (Řm), gemessen (%) mean average reflectance (Řm), measured (%)	Anzahl der Einzelmessungen (n) individual measurements for the mean value (n)	mittlere Reflexion (Řm) an der Karbon- oberfläche, errechnet (%) mean average reflectance (Řm) for the top Carboniferous, calculated (%)	Bemerkungen und Bearbeiter remarks and operator
	Bad Waldliesborn	4216	15062	К	706	_	do	3,9	7		4,7% Āmax (n = 3) M. TEICHMÜLLER
	Bokel Z1	3229	19637 - 19638	K	4793	4651	cn od. cwA	3,08	100	2,9	M. TEICHMÜLLER
	Bommelsen Z1	3023	17789	К	4853	4 557	cwC	1,76	111	1,4	M. WOLF
	Brüggen Z1	3924	16 855 - 16 856	K	2613	2517	cnC	2,20	55	2,1	M. TEICHMÜLLER
	Emshörn Z1A	2507	19800	К	3 496	3 435	cwA	1,06	100	1,0	Flözkohle M. Teichmüller
X	Gildehaus Z2	3708	18936 18971	Sp Sp	2 252 2 240	2082	cwC	1,05 1,02	100 118	1,0 1,0	A. VIETH-REDEMANN
	Hameln Ost Z1	3922	16842	K	2313	2 146	cnB od. cnC	3,15	120	2,9	3,56 % Āmax (n = 120) M. TEICHMÜLLER
	Hamwiede Z3	3022	17 662	Sp	4 4 4 8	4 3 5 9	cwC	1,23	50	1,2	M. WOLF
	Hamwiede Z4	3122	18756 - 18758	К	4703	4618	cwC	1,45	400	1,4	G. STADLER
	Hemmelte Z2	3213	19786	К	3772	3725	cwC	2,34?	34	2,2?	roter Tonstein mit grauen Schlieren Semi-Inertinit? M. TEICHMÜLLER

Tabelle 1 Inkohlungsdaten aus dem Karbon Nordwestdeutschlands

M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & H. BARTENSTEIN

30

Hiltrup 1	4011		K K K	1 136 1 314 1 487	1 117	cwC	0,87 0,90 1,00	?	0,9 0,8 0,8	Flözkohle W. Pfisterer, Ruhrkohle AG
Mövensteert Z1	2406	16711 - 16712	Sp	3 496	3 404	cwB	1,76	50	1,7	M. TEICHMÜLLER
Norddeich Z1	2308	19790	Sp	4 506	4 433	cwB	1,14	60	1,1	Flözkohle M. Teichmüller
Ochtrup Z2/2A	3709	16 622 - 16 627	Sp	2 402 - 2 453	2369	cwC	0,90	413	0,9	M. TEICHMÜLLER
Randzelgat Z1	2407	19784	Sp	3826	3770	cwB	1,36	70	1,3	zum Teil Flözkohle M. Teichmüller
Sagermeer Nord Z1	2914		К	4442	4 160	cwC	1,73	100	1,4	M. WOLF
Sagermeer Süd Z3	3014	19802	К	4260	4 180	cwC	1,51	188	1,4	sehr stark anisotroper Vitrinit in Tonstein M. TEICHMÜLLER
Uchte Z2	3419	16763-16766	Sp	3 093 - 3 384	2 995	cwD	4,97 - 5,57	9 18	4,7	6,5 - 7,7 % Řmax; 7,8 % Řmax (20 %) 3,6 % Řmin; 1,2 % Řmin (20 %) M. TEICHMÜLLER
Walsrode Z1A	3123	16843-16849	К	4830	4 532	cwC	1,93	60	1,6	2,04 % Āmax (n = 60) M. TEICHMÜLLER
Wietingsmoor Z4	3217	16319-16322	Sp	4 069 - 4 146	3866	cwC	1,77 - 1,88	200	1,7	M. TEICHMÜLLER
Wildsöden (= Weltsöden)	4317	18682	К	340	319	cn	4,6	27	4,6	5,46 % Āmax (in Grauwacke) A. VIETH-REDEMANN
Wittorf Z1	2923		К	5276	4 650	cwC unter cst	2,32	40	1,6	Kohlen,,rinde" W. PFISTERER, Ruhrkohle AG
Wulften 1	4327	10114 (BRG)	К	690	684	cd	2,0	30	2,0	2,15% Āmax J. Косн, BGR Hannover
Wybelsum Z1	2608	19801	Sp	3 580	3 436	cwC	1,05	100	1,0	Flözkohle M. Teichmüller

Tabelle 2
Inkohlungsdaten aus Bohrungen im Rhein-Ruhr-Gebiet
(Ruhrkohle AG und Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen)

Bohrung borehole	Blatt-Nr. (TK 25) sheet Nº. (topogra-	Karbon top Ca Bohrtiefe depth	-Oberfläche rboniferous Stratigraphie stratigraphy	Kohle coal Bohrtiefe depth	enprobe sample Ām Vitrinit ¹⁾ Ām vitrinite	Rm, extrapoliert auf Karbon-Oberfläche Rm, extrapolated to top Carboniferous	Messungen von measurements by	
	1 : 25 000)	(m)		(m)	(%)	(%)		
Annaberg 1	4209	909	cwC	910	0,82	0,8	RAG ²⁾	
Bärenstrasse	4605	228	cwA	248	2,44	2,4	GLA ³⁾	
Bruckerfeld 1	4405	652	cwB	691	1,00	1,0	GLA	
Dachsbruch	4504	266	cwA	285	1,30	1,3	GLA	
Drostenfeld 2	4208	647	cwC	694	0,64	0,6	RAG	
Egelsberg	4605	221	cwA	275	(2,49)	2,4	GLA	
Flothkamp 1	4307	566	cwC	605	0,66	0,65	RAG	
Hagen 1	4210	1004	cwB	1 008	0,83	0,8	RAG	
Hammfeld 2	4405	612	cwB	682	0,96	0,9	RAG	
Hamsfeld	4404	313	cwA	401	1,63	1,5	GLA	
Herbern 43	4212	1018	cwB	1075	0,95	0,9	RAG	
Holderberg 3	4505	177	cwA	235	1,54	1,5	GLA	
Klied	4605	232	cn	360	(2,87)	2,7	GLA	
Lamershof	4505	250	cwA	278	(2,36)	2,3	GLA	
Lange Heide 1	4308	749	cwC	773	0,65	0,6	RAG	
Larfeld 2	4505	203	cwA	225	1,55	1,5	RAG	
Lembeck 1	4208	804	cwC	849	0,66	0.6	RAG	
Leucht 2	4404	517	cwA	538	1.20	1.2	BAG	
Neukirchen 4	4505	205	cwA	290	1.40	1.3	BAG	

M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & H. BARTENSTEIN

32

Niederberg 5 (Schacht)	4505	221	cwA	339	1,95	1,8	GLA
Niederwald 2	4404	407	cwA	667	1,38	1,1	RAG
Rembergshof 1	4306	816	cwB	832	0,93	0,9	GLA
Rheurdt	4504	274	cwA	278	1,71	1,7	GLA
Saalhoff 2	4405	685	cwB	723	0,99	1,0	GLA
Schlägersheide 2	4407	469	cwC	699	0,78	0,7	RAG
Schwarzer Bach 6	4407	492	cwC	560	0,68	0,7	RAG
Siebenstern 1	4306	1 075	cwC	1 085	0,75	0,75	RAG
Specking 1	4208	896	cwC	908	0,69	0,7	RAG
Spick 1	4306	1013	cwC	1 055	0,66	0,65	RAG
Stürbruch 1	4307	1 0 2 2	cwC	1077	0,66	0,7	RAG
Süchteln- Sittard 1	4704	225	Grenze cd/do	260	4,85 ⁴⁾	4,75	GLA
Südkirchen 1	4311	806	cwA	852	0,98	1,0	RAG
Traar 2	4605	230	cwA	247	(2,42)	2,4	GLA
Venn 1	4307	609	cwC	643	0,68	0,7	RAG
Wachtendonk 1	4503	290	cd	789	4,79	3,7	GLA
Walstedde 12	4406	770	cwB	824	0,91	0,9	RAG
Wohnungswald 2	4212	1017	cwC	1 0 2 0	0,91	0,9	RAG

¹⁾Werte in Klammern ermittelt aus % Flüchtigen Bestandteilen (waf) nach einem Diagramm von M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1984: Abb. 2) values in brackets obtained via percent volatile matter (d.a.f.), according to a diagram of M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1984: Abb. 2)

 $^{2)}$ RAG = Ruhrkohle AG

³⁾GLA = Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen

⁴⁾als Rmax gemessen, in Rm transformiert nach M. & R. TEICHMÜLLER & WEBER 1979: Abb. 29) measured as Rmax, transformed to Rm according to M. & R. TEICHMÜLLER & WEBER 1979: fig. 29 Inkohlung und Erdgas..

Entnahmestelle locality	Blatt-Nr. (TK 25) sheet-N ⁰ (topographic map 1:25000)	Proben-Nr. 1) sample-No 1)	Art der Probe (K = Kernprobe, Sp = Spülprobe) type of sample (K = core, Sp = cuttings)	Teufe (m) depth (m)	Karbon-Oberfläche, (erbohrte Teufe in m) top Carboniferous, (drilling depth in m)	mittlere Reflexion (Řm), gemessen (%) mean average reflectance (Řm), measured (%)	Anzahl der Einzelmessungen (n) individual measurements for the mean value (n)	Bemerkungen und Bearbeiter remarks and operator
Betzendorf Z1	2827	17 115	Sp	4364	n.e. ²⁾	1,43	9	M. WOLF
Dreilingen Z1	3028	16 602	Sp	4 3 9 3	n.e.	2,41	20	M. TEICHMÜLLER
Liether Kalkwerke	2224	19332	Stück	Oberfl.	_	1,54	100	G. STADLER
Mölln Tief 1	2329	(8 007)	К	4 652	n.e.	2,60	4	Staßfurt-Carbonat BGR Hannover
Munster Z2	3026	12 359	Sp	4 4 4 0	n.e.	1,33	4	Zwickelbitumen 3,18 % Ām (n = 13) M. TEICHMÜLLER
Niendorf II Z1	3029	(LEP 1975)	Sp	4 0 5 6	n.e.	(1,60)	(50)	BGR Hannover
Rosche Z2	3030	16603	Sp	3894	n.e.	1,69	40	M. TEICHMÜLLER
Steinbeck Z1	2826	16851	Sp	4 4 3 9	5463	1,83	52	M. TEICHMÜLLER
Syke Z1	3018	15778	Sp	4 6 4 9	n.e.	1,91 2,91	8 15	Vitrinit Bituminit M. TEICHMÜLLER
Texas Z1	3425	(18782)	Sp	4 590	4871	1,77	37	KFA Jülich
Fehmarn Z1	1532	(LEP 1976)	К	3795	n.e.	(ca. 1,23)	?	Bohrung außerhalb der Karte BGR Hannover

Tabelle 3 Inkohlungsdaten aus dem Zechstein, insbesondere dem Kupferschiefer

¹⁾ Für Proben, die nicht im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen untersucht wurden, stehen die Nummern der betreffenden Laboratorien in Klammern.

For samples not studied in the Geologisches Landesamt NW, the sample-numbers of other laboratories are in brackets.

²⁾ n. e. = nicht erreicht n. e. = not reached

≤. **TEICHMÜLLER &** Ъ. **TEICHMÜLLER &** H. BARTENSTEIN, Inkohlung und Erdgas...

34

Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee

32

Von GEORG STANCU-KRISTOFF und OTTO STEHN*

Geological section, Rhenish-Westphalian basin, NW-German Silesian basin, Northrhine-Westphalia, Lower Saxony, Danmark

Kurzfassung: Die neuen Ergebnisse aus Bohrungen der Steinkohlen- und Erdölindustrie bilden das Gerüst für die Erkenntnisse über Stratigraphie und Tektonik des nordwestdeutschen Oberkarbon-Beckens. In einem großregionalen Schnitt wird der heutige Stand des Wissens über den Aufbau des Deckgebirges und die Lagerungsverhältnisse des Karbons von der Engfaltungszone des Ruhrkarbons über die flachwelligen Falten in Niedersachsen bis zum vermuteten Nordrand des Karbon-Beckens am Ringköbing-Fünen-Hoch verdeutlicht.

[Section across the Northwest-German Silesian basin from the Ruhr district to the North Sea]

A b s t r a c t: New results of boring-activities of the coal-mining industry and of the petroleum industry are the framework to the understanding of stratigraphy and tectonics in the Northwest-German Silesian basin. A regional cross-section comprises the actual knowledge of stratigraphical composition and structures of the cover rocks as well as the Carboniferous rocks. It stretches from the narrowly folded Ruhr district across the broad folds of Lower. Saxony to the supposed northern margin at the Ringkøbing-Fyn-High (Danmark).

[Coupe à travers le basin silésien nord-ouest allemand, de la Ruhr jusqu'à la mer du Nord]

R é s u m é: Les nouveaux résultats des sondages de l'industrie houillère et de l'industrie pétrolière sont le fondement des connaissances sur la stratigraphie et la tectonique du basin silésien au Nord-Ouest de l'Allemagne. Une coupe transversale a pour but d'éclaircir les connaissances actuelles sur la structure des couches de couverture et sur la stratification du Carbonifère de la zone du plissement intense dans la Ruhr, passant par les plis faiblement ondulés en Basse-Saxe jusqu'à la bordure Nord supposée du bassin houiller au soulèvement de Ringkøbing-Fyn (Danemark).

In einem großregionalen Schnitt (Taf. 1 in der Anl.) wird versucht, den heutigen Stand des Wissens über den tektonischen Bau und die Schichtenfolge des Oberkarbons und des Deckgebirges in Nordwestdeutschland darzustellen. Anlaß hierfür waren das Forschungsvorhaben "Verbreitung und stratigraphische Einstufung der Kohlenflöze und Sandsteinfolgen im Niedersächsischen Oberkarbonbecken" (HEDEMANN et al. 1984) sowie die Veröffentlichung der neubearbeiteten Geologischen Karte des Ruhrkarbons 1:100000,

^{*} Anschriften der Autoren: Dipl.-Geol. G. STANCU-KRISTOFF, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, D-3000 Hannover 51; Dr. O. STEHN. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1
dargestellt an der Karbon-Oberfläche (1982) einerseits und die ergänzte Neuauflage der "Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons in Nordwestdeutschland" (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1984) andererseits. Beim Betrachten des Schnittes ist die 10fache Überhöhung zu beachten, wodurch die Einfallswinkel der Schichtgrenzen und der tektonischen Störungen erheblich steiler erscheinen.

Die Schichten des Oberkarbons sind durch die Exploration auf Kohlenwasserstoffe bis in die Nordsee hinein erschlossen worden. Eine erste stratigraphische Einstufung erfolgt mit Hilfe von Fauna und Flora. Auch Inkohlungsuntersuchungen tragen zur Klärung bei. Durch die Auswertung von geophysikalischen Bohrlochmessungen (SCHUSTER 1968) ist es vielfach möglich, eine differenzierte stratigraphische Horizontierung der Karbon-Schichten zu erreichen. Außer den im Schnitt dargestellten Bohrungen wurden weitere bei der Konstruktion verwendet.

Der Nordteil des Schnittes – vom Ringköbing-Fünen-Hoch bis etwa zur Ibbenbürener Karbon-Scholle – mußte schematisiert dargestellt werden, da eindeutige Aussagen über eventuelle Bruchtektonik in den Oberkarbon-Schichten nicht gemacht werden können. Die Tektonik im Deckgebirge, insbesondere die komplizierte Salztektonik, wurde ebenfalls vernachlässigt. Die Geologie der Ibbenbürener Karbon-Scholle selbst und ihrer Umrandung ist hinreichend bekannt (z. B. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**, 1971), obwohl die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Oberkarbon-Stufen zur Teufe hin bisher nicht dargestellt wurden. Seismik und einige Bohrungen belegen die Tektonik im Münsterländer Becken. Erheblich bessere Kenntnisse haben wir in der Explorationszone und Bergbauzone des Ruhrgebietes sowie im Bereich des zutage tretenden variscischen Gebirges. Deutlich kommt in diesem Südabschnitt die enge Faltungs- und Überschiebungstektonik zum Ausdruck.

Die Karbon-Oberfläche fällt vom Ruhrgebiet aus leicht nach Norden ein. Da der Schnitt seine Richtung – etwa von der Bohrung Münsterland 1 ab – ändert, kommt ab dort dieses Absinken nicht mehr so deutlich zum Ausdruck. Eine flache Wellung ist zu beobachten, die in ein starkes Abtauchen bei der Bohrung Bevergern 1 bis auf 2352,5 m mündet.

Es folgt das Großschollen begrenzende Element der Osning-Zone mit einem südlich vorgelagertem Störungsbündel. Bezogen auf die Oberkreide bildet das nordöstlich gelegene Gebiet die gehobene Einheit. Auf das Grundgebirge bezogen, ist das Nordostgebiet dagegen die abgesunkene Scholle (LOTZE 1953). Der Ibbenbürener Karbon-Aufbruch mit seinen Störungen großen Verwurfsbetrages ist während der laramischen Orogenese entstanden. Bei der nördlich gelegenen Mulde dürfte es sich um eine Art Massenausgleich zu dieser Hebung handeln (THIERMANN & WOLBURG in THIERMANN 1975). Die wiederum nördlich davon erscheinende Sattelstruktur ist Teil der Piesberg – Pyrmonter Achse. Der gesamte Abschnitt gehört zur Nordwestfälisch-Lippischen Schwelle. Im Untergrund dieser Strukturen liegt das Bramscher Intrusiv. Die südliche Begrenzung und die wahrscheinliche Hauptaufstiegsbahn ist nach M. & R. TEICHMÜLLER (1984) im Störungsbündel der Osning-Zone zu suchen. Wie die Lagerungsverhältnisse in der Kontaktzone sind, läßt sich bis jetzt noch nicht sagen. Auf eine Darstellung wurde daher verzichtet.

Von der Bohrung Limbergen 2 aus fällt die Karbon-Oberfläche rasch nach Norden bis zu einer Teufe von -4000 m NN ab. Im Schnittbereich liegt die

Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken

größte Mächtigkeit des Deckgebirges mit 5 500 m in der Nordsee; es sind an anderer Stelle auch Teufen der Karbon-Oberfläche von über – 7 000 m NN bekannt. Zum Ringköbing-Fünen-Hoch steigt die Karbon-Oberfläche wieder leicht an, außerdem sind die einzelnen Karbon-Stufen erodiert worden und werden diskordant vom Rotliegenden überlagert. Zu wenig Bohrungen haben jedoch präpermische Schichten erreicht, um eine eindeutige Aussage über die Nordbegrenzung des Oberkarbon-Beckens machen zu können. Im vorliegenden Schnitt wurde eine plausibel erscheinende Annahme dargestellt, die auf Nachbaraufschlüssen beruht. Es wurde dabei der Auffassung von HEDEMANN (1980) über das Aushalten der Namur-Sedimentation nach Norden gefolgt.

Die zahlreichen, in den letzten Jahren im niedersächsischen Oberkarbon-Becken niedergebrachten Bohrungen haben zwar jeweils nur Teilstücke der verschiedenen Oberkarbon-Stufen erschlossen, konnten jedoch das Bild dieser Region vervollständigen. Aus ihrer Synthese ist abzuleiten, daß die Mächtigkeiten im Vergleich zum Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebiet nur wenig geringer werden. Lediglich das Namur bildet eine Ausnahme. Während wir am Südrand des Beckens, im Ruhrgebiet, Mächtigkeiten bis zu 3 000 m antreffen, verringert sich diese in der Bohrung Münsterland 1 bereits auf 2600 m, und in Norddeutschland muß mit einer Mächtigkeit von unter 1 000 m gerechnet werden. In der Sedimentationszeit vom Westfal A bis zum Westfal D herrschten dagegen im gesamten Raum relativ gleichmäßige paläogeographische Verhältnisse. In einem paralischen Becken mit geringer Meerestiefe und gleichmäßiger Subsidenz, wurden in zyklischer Folge Tone, feinsandige Tone und Sande abgelagert. Die Schüttung klastischer Sedimente wurde durch Phasen autochtoner Moorbildung unterbrochen. Nach dem Westfal D hat eine Hebung und Abtragung stattgefunden; denn das Stefan liegt diskordant auf den älteren Oberkarbon-Stufen. Unter der Nordsee reichte die Abtragung vermutlich bis zum Westfal A.

Schriften- und Kartenverzeichnis

- ARNOLD, H. (1963): Regionalgeologische Betrachtungen zum Kreideprofil der Bohrung Münsterland 1. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **11**: 459 – 468, 4 Abb.; Krefeld.
- BÄSSLER, R. (1970): Hydrogeologische, chemische und Isotopen-Untersuchungen der Grubenwässer des Ibbenbürener Steinkohlenreviers. – Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrochem.: 209–286, 28 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- BREYER, F. (1971): Geophysikalische und geologische Beiträge zur oberflächennahen Tektonik im Dach des Bramscher Massiv. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 353 – 386, 13 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- DAY, G. A., & COOPER, B.A., & ANDERSON, G., & BURGERS, W. F. J., & RØNNEVIK, H. G., & SCHÖNEICH, H. (1981): Regional Seismic Structure Maps of the North Sea. – In: ILLING, L. V., & HOBSON, G. D.: Petroleum Geology of the Continental Shelf of North-West Europe: 76 – 84, 3 Abb., 7 Taf.; London (Inst. Petrol.).
- FABIAN, H. J. (1971): Das Oberkarbon im Untergrund von Nordwestdeutschland und dem angrenzenden Nordseebereich. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 87 – 99, 6 Abb.; Krefeld.
- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen (1971): Das höhere Oberkarbon von Westfalen und das Bramscher Massiv. – **18**: I – XII, 1 – 596, 115 Abb., 50 Tab., 29 Taf., 1 Anl.-Bd.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A. (1980): Die Bedeutung des Oberkarbon für die Kohlenwasserstoffvorkommen im Nordseebecken. – Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochem., **33**: 255–266, 10 Abb.; Leinfelden.

HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J. (1984): Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Nordwestdeutschland und ihre stratigraphische Einstufung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 39–88, 16 Abb.; Krefeld.

HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 128 – 141, 6 Abb.; Krefeld.

LOTZE, F. (1953): Einige Probleme der Osningtektonik. – Geotekt. Forsch., 9/10: 7-17, 2 Abb.; Stuttgart.

SCHUSTER, A. (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. – Erdöl-Erdgas-Z., 84: 439 – 457, 35 Abb.; Wien, Hamburg.

SORGENFREI, TH., & BUCH, A. (1964): Deep Tests in Denmark 1935-1959. - Dan. geol. Unders., (3) **36**: 146 S., 22 Abb.; København.

THIERMANN, A. (1975), mit Beitr. von BRAUN, F. J., & KALTERHERBERG, J., & REHAGEN, H.-W., & SUCHAN, K. H., & WILL, K.-H., & WOLBURG, J.: Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000, Erl., **3611**:214 S., 21 Abb., 9 Tab., 5 Taf.; Krefeld.

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1984): Verbreitung und Eigenschaften tiefliegender Steinkohlen in der Bundesrepublik Deutschland. – Glückauf-Forsch., 45: 140–153, 20 Abb.; Essen.

- 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.
- VEIT, E. (1975): Die Verbreitung, Mächtigkeiten und Fazies des Oberkarbon in NW-Europa und in der Nordsee. – 25 S., 18 Abb., 5 Kt.; Hannover (Niedersächs. L.-Amt f. Bodenforsch.). – [Unveröff.]

Karten

- Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000 (1982). Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., Bearb. DROZDZEWSKI, G., & JANSEN, F., & KUNZ, E., & PIEPER, B., & RABITZ, A., & STEHN, O., & WREDE, V.; Krefeld.
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100000, m. Erl. Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; Krefeld.

Blatt C 4306 Recklinghausen (1973), Bearb. ARNOLD, H., & BRAUN, F. J., & DAHM-ARENS, H., & HAGER, H., & HERBERHOLD, R., & HILDEN, H. D., & HOYER, P., & INDANS, J., & KNAPP, G., & PIEPER, B., & THIERMANN, A.

Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000. – Hrsg. B.-Anst. f. Geowiss. u. Rohst. i. Zusammenarb. m. Geol. L.-Ämter Bundesrep. Deutschland; Hannover.

Blatt CC 3910 Bielefeld (1975), Bearb. ARNOLD, H., & BRANDES, H., & HÖFLE, H.-CH., & LOOK, R., & MENGELING, H., & MEYER, K.-D., & REUTERS, G., & ROHDE, P., & SCHNEE-KLOTH, H., & VINKEN, R., & VOSS, H.-H., Schnittentwurf: JARITZ, W.

Eingang des Manuskriptes: 14. 5. 1984

Tafel 1 in der Anlage

Schnitt durch das Oberkarbon-Becken Nordwestdeutschlands und der Nordsee

Plate 1 in the annex

Cross-section through the Silesian Basin of Northwest Germany and the North Sea

Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Nordwestdeutschland und ihre stratigraphische Einstufung

32

Von HANS-ADOLF HEDEMANN, ALFRED SCHUSTER, GEORG STANCU-KRISTOFF und JOACHIM LÖSCH*

Stephanian, Westphalian, Namurian, borehole log, log correlation, coal seam, coal volume, NW-Germany

Kurzfassung: Die ausgedehnte Erdgasexploration im nordwestdeutschen Perm-Becken und auf das liegende Oberkarbon mit mehr als 250 Tiefbohrungen führte in den vergangenen drei Jahrzehnten zu einer wesentlich besseren Kenntnis der Mächtigkeit, der Fazies, der Kohlenführung und der heutigen Verbreitung der Oberkarbon-Stufen.

Das transgredierende Stefan, das Restbecken des Westfal D, die Kohlenführung des unteren Westfal D sowie der weitverbreiteten Stufen Westfal C und B wurden durch Logkonnektierungen in regionalen und Referenzprofilen bearbeitet. Bohrungsaufschlüsse im Westfal A und Namur ergänzen das Bild.

Die stratigraphische Einstufung der Flöze erlaubt es, genauere Vorstellungen über die Verbreitung und Mächtigkeit der Kohlenführung zu entwickeln. Für Westfal D und C konnten die im Untergrund Nordwestdeutschlands nördlich des Münsterlandes und bis etwa 40 km östlich der Weser sowie im weiteren Emsmündungsgebiet vorhandenen Steinkohlenmengen mit etwa 180 x 10⁹ m³ abgeschätzt werden. Für die älteren Oberkarbon-Stufen ist mangels Aufschlüssen eine ähnlich fundierte Abschätzung noch nicht möglich.

[The spreading of Upper Carboniferous coal seams in Northwest Germany, and their stratigraphic correlation]

A b s t r a c t: The extensive exploration for natural gas which has been carried out with more than 250 boreholes in the Permian basin of NW Germany and in the underlying Upper Carboniferous has provided us, over the last three decades with an increasingly comprehensive knowledge of the thickness, facies, coal seams and the present extent of the different stages of the Upper Carboniferous.

Cross-sections of borehole logs on a regional scale and reference sections on a more local scale are presented in order to demonstrate the transgressive Stephanian, the truncated Westphalian D basin, the coal bearing beds of the lower part of Westphalian D and of the widespread Westphalian stages C and B. Occurrences in wells of Westphalien A and Namurian complete the picture.

The stratigraphic correlation of the coal seams give a better knowledge of the spreading and thickness of the coal sedimentation. The amount of coal in the subsurface of Northwest Germany, North of the Muensterland and up to about 40 km East of the Weser River and in the outer mouth of the River Ems is estimated for Westphalian D and C about 180 x 10⁹ m³. Too few borehole occurences in lower stages of the Upper Carboniferous prevent a similar well-founded estimation.

^{*} Anschriften der Autoren: Prof. Dr. H.-A. HEDEMANN, Institut für Geologie und Mineralogie der Universität Erlangen - Nürnberg, Schloßgarten 5, D-8520 Erlangen; Dr. A. SCHUSTER, Kornblumenstraße 6, D-4458 Neuenhaus - Veldhausen; Dipl.-Geol. G. STANCU-KRISTOFF, Dipl.-Ing. J. LÖSCH, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Stilleweg 2, D-3000 Hannover 51

[L'extension des couches de charbon du Carbonifère supérieur en Allemagne du Nord-Ouest et leur identification stratigraphique]

Résumé: L'exploration étendue du gas naturel dans le bassin Permien et le Carbonifère supérieur sousjacent nord-ouest allemand a abouti dans les trois décennies passées par plus que 250 sondages profonds, à une connaissance bien approfondie de l'épaisseur, du faciès, du contenu en houille et de l'extension actuelle des étages du Carbonifère supérieur.

Le Stéphanien transgressif dans le bassin réduit du Westphalien D, le contenu en charbon du Westphalien D inférieur ainsi que des étages répandus du Westphalien C et B ont été étudiés par des connexions de diagraphies en coupes de référence et régionales. Cette image est complétée par des sondages atteignant le Westphalien A et le Namurien.

L'identification stratigraphique des couches de charbon a permis de développer des idées précises sur l'étendue et l'épaisseur du contenu houiller. Dans le Westphalien D et C on a pu évaluer à environ 180 x 10⁹ m³ des quantités de houille, se situant dans le sous-sol du Nord de l'Allemagne au Nord du pays de Münster et jusqu'à 40 km à l'est de la Weser ainsi que dans la région de l'embouchure de l'Ems. Une évaluation semblablement fondée des étages plus anciens du Carbonifère supérieur n'est pas encore possible à cause du manque de sondages.

1. Die Untersuchung des Oberkarbons im Untergrund Nordwestdeutschlands (H.-A. HEDEMANN)

Das Oberkarbon ist das wichtigste stratigraphische System für die Energieversorgung Europas. Es enthält nicht nur große Mengen von Steinkohlen in zahlreichen Revieren, sondern die Inkohlung hat auch enorm viel Erdgas aus den Kohlenflözen freigesetzt, das in hangenden Formationen weiträumiger Sedimentbecken in Erdgaslagerstätten akkumuliert wurde. Diese genetische Beziehung zwischen Kohle und Erdgas ist seit zwei Jahrzehnten bekannt (FÜCHTBAUER 1964, PATIJN 1963, GEDENK & HEDEMANN & RÜHL 1964). Bei der intensiven Erdgasexploration im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands wurden und werden unterhalb des Perms oft Schichten des Oberkarbons, nicht selten mit Kohlenflözen, angetroffen.

Vielfach zielte die Erdgasexploration auch unmittelbar auf Sandsteinpartien des Oberkarbons. Seit 20 Jahren wird in Nordwestdeutschland aus dem Oberkarbon Erdgas gefördert (vgl. BENDER & HEDEMANN 1983). Die Bedeutung des Oberkarbons als Muttergesteinsformation für die Erdgaslagerstätten Nordwest- und Mitteleuropas einerseits und das Vorkommen von Sandsteinpartien, die als Erdgasspeichergesteine in Betracht kommen, andererseits begründen das Interesse, das die Erdgasexploration dem Oberkarbon zuwendet (vgl. HEDEMANN & SCHÖNEICH & SCHRÖDER 1983, SCHRÖDER 1980).

Zwar waren schon in früheren Jahrzehnten die gelegentlichen Erdöl- und häufigen Erdgasaustritte in den westdeutschen Steinkohlenrevieren Anregung für Explorationsanstrengungen, erinnert sei unter anderem an die Vingerhoets-Bohrungen der 30er Jahre (vgl. RIEDEL 1942). Doch erst der Nachweis kohlenführenden Westfals bei Emden (TRUSHEIM 1959) und die Entdeckung des unweit gelegenen, im Weltmaßstab "Giant"-Erdgasfeldes Groningen eröffneten die planmäßige Erforschung des Oberkarbons außerhalb der Steinkohlenreviere. Im Verfolg dieser und mehrerer anderer besonders eingehend untersuchter Aufschlußbohrungen wurden bald die Zusammenhänge bekannt. Bereits 1962 wurde von Seiten der Erdöl-/Erdgasexploration mit mehreren Arbeiten (FABIAN & GAERTNER & MÜLLER 1962, FABIAN & MÜLLER 1962, HECHT et al. 1962, HÜTTNER 1962, SCHUSTER 1962) zum Sammelband "Das Karbon in der subvariscischen Saumsenke" der Reihe "Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen", Band 3 (1960–1962) beigetragen.

ROLF TEICHMÜLLER faßte damals den Stand der Kenntnis zusammen (R. TEICHMÜLLER 1962) und ihm ist nicht nur das Zusammenkommen dieser Beiträge, sondern auch manche Arbeitsanregung zu verdanken, mit denen er ebenso wie in den folgenden Jahren mit kombinationsreichen Gedanken die Forschungen zur Erdöl- und Erdgasentstehung und zu diagenetischen Gesteinsveränderungen befruchtete. Fast ein Jahrzehnt später faßte er den dann erreichten Kenntnisstand über das Oberkarbon in Nordwestdeutschland mit dem Autor erneut zusammen (HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1971), der ihm für viele Anregungen aus dieser und anderen Gemeinschaftsarbeiten dankbar ist.

Ende der 70er Jahre war zwischen Ems und Weser ein einigermaßen ausreichendes Netz von Oberkarbon-Bohraufschlüssen (vgl. Abb. 14 u. 15, S. 69 u. 70) geschaffen, das sich bis nach Ostfriesland und in die südliche Nordsee erstreckte. Erste Erdgasbohrungen, die Oberkarbon erschlossen hatten, waren auch bereits östlich der Weser und Leine niedergebracht worden. Die oft schwierige stratigraphische Einstufung des Oberkarbon-Profils dieser Bohrungen gelang nur in wenigen glücklichen Fällen mit paläobotanischen oder paläozoologischen Methoden. Fazies- und Sedimentationseigentümlichkeiten des Oberkarbons erschweren außerdem die in den meisten anderen stratigraphischen Systemen mehr oder weniger problemlose Gliederung nach Bohrungslogs, die sich beispielsweise bei der überregionalen stratigraphischen Gliederung des paläontologisch ziemlich sterilen Buntsandsteins im Untergrund Nordwestdeutschlands so hervorragend bewährt hat (BOIGK 1959, 1961; TRUSHEIM 1961, 1963 u. a.). Diesem schwierigen Gebiet hat sich seit mehr als zwei Jahrzehnten ALFRED SCHUSTER mit Erfolg gewidmet (SCHU-STER 1963, 1968). Es erschien an der Zeit, diese Loggliederung systematisch zu überarbeiten, regional auszuwerten und zusammenzustellen. Auf der dadurch geschaffenen stratigraphisch-lithostratigraphischen Basis sollte der Versuch gemacht werden, einen Überblick zu erhalten über die Mengen an Steinkohle, die in verschiedenen Tiefenstufen im Untergrund Nordwestdeutschlands vorhanden sind, um zur Bilanzierung der Energierohstoffe beizutragen.

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) konnte 1979 für die Förderung eines vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung getragenen Forschungsvorhabens gewonnen werden, das von der Kernforschungsanlage Jülich, Projektleitung Energieforschung, unter der Bezeichnung 03E-2047-A (früher ET 2047 A) betreut wurde. Eine enge Zusammenarbeit mit dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen sowie die Unterstützung der in der Erdgasexploration in Nordwestdeutschland tätigen Erdöl-/Erdgasgesellschaften trugen zum Gelingen des 1984 beendeten Forschungsprojekts bei. Den im Wirtschaftsverband Erdöl-Erdgas zusammengeschlossenen Gesellschaften, die die Bearbeitung durch ständiges Interesse und die rasche Verfügbarkeit neuer Ergebnisse unterstützten, ist für die Genehmigung zu danken, mehrere bisher unveröffentlichte Logabschnitte aus Oberkarbon-Bohrungen für diese Publikation zu verwenden.

Die Publikation zahlreicher wichtiger Bohrungsabschnitte ist zur Zeit aus naheliegenden Gründen noch nicht möglich, so daß es in einigen Fällen bei der verbalen Schilderung und dem Hinweis auf den nicht allgemein zugänglichen Forschungsbericht (H.-A. HEDEMANN & A. SCHUSTER & G. STANCU-KRISTOFF & J. LÖSCH 1984) bleiben muß. Der Preussag AG Kohle (Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren) ist für die Genehmigung zur Veröffentlichung einer Steinkohlen-Untersuchungsbohrung zu danken, der Ruhrkohle AG für die Genehmigung zur Verwendung einer Steinkohlen-Explorationsbohrung. Für die Bearbeitung der Logs konnte dankenswerterweise der Begründer der stratigraphischen Logkonnektierung im Oberkarbon Mitteleuropas, Dr. A. SCHUSTER, gewonnen werden, so daß die Erfahrungen von zwei Jahrzehnten in die Bearbeitung eingegangen sind. Dipl.-Geol. G. STANCU-KRI-STOFF führte eine erste Mengenabschätzung für den Rohstoff Kohle im Untergrund des Niedersächsischen Beckens bis in die südliche Nordsee durch.

Bei der Erdgasexploration im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands wurden in mehr als 250 Bohrungen Sandsteinpartien und Kohlenflöze des Oberkarbons angetroffen. Deren Stratigraphie, Verbreitung und Mächtigkeit wurden ermittelt und kartiert – getrennt nach den einzelnen Stufen des Oberkarbons, die für die Rohstoffe Kohle und Erdgas von unterschiedlicher Bedeutung sind. Die Einbindung in die Oberkarbon-Stratigraphie im Norden des Ruhrgebietes und im Ibbenbürener Gebiet zur Schaffung eines einheitlichen Bildes für Nordwestdeutschland wurde durch die erwähnte Zusammenarbeit gesichert. Grundlage der Arbeiten waren die Bohrlochmessungen der Erdgas-Explorations- und Produktionsbohrungen. Aus den Logs wurden Normalprofile für die regionalen Bezirke des Oberkarbon-Beckens und für die einzelnen stratigraphischen Stufen vom Hangenden zum Liegenden, das heißt von jüngeren zu älteren Stufen, entwickelt.

Endziel der Arbeiten war es, die Größenordnung der wahrscheinlich vorhandenen Steinkohlenmengen abzuschätzen sowie die Verbreitung charakteristischer Sandsteinfolgen herauszuarbeiten. Bei der Abschätzung der vorhandenen Steinkohlenmengen zeigte es sich, daß für die obersten Flöze, das heißt Westfal D und Teile des Westfal C, sogar eine Mengenerfassung für wichtige Einzelflöze möglich war. Um einer Bilanzierung der Energierohstoffe näher zu kommen, wäre es wünschenwert, eine ähnliche Mengenerfassung der Steinkohle auch für das Münsterland bis zum Anschluß an die Ruhrkohle-Reserveschätzungen zu erstellen.

Während der Laufzeit des Forschungsvorhabens vermehrte sich die Zahl der östlich der Weser und nordöstlich der Aller niedergebrachten Erdgas-Explorationsbohrungen aufgrund der Erdgasfündigkeiten in diesem Gebiet (vgl. BENDER & HEDEMANN 1983). Deren Bearbeitung läßt die Schlußfolgerung zu, daß es mit den dort verwendeten Methoden auch in Zukunft gelingen wird, das Oberkarbon zu gliedern – zwischen Weser und Elbe ebenso wie in den westlich gelegenen Gebieten. Dieser Aufgabe kommt beträchtliches Gewicht zu angesichts der Tatsache, daß die Kohlenführung des Westfals und Namurs vom niedersächsischen Raum nach Nordosten erheblich abnimmt (vgl. SCHMIDT & FRANKE 1977).

Für die Beiträge unserer Arbeitsgruppe konnte auf eine besondere Übersichtskarte und einen großregionalen Schnitt verzichtet werden, weil die Ergänzungen in der Inkohlungskarte von M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN (1979, 1984) sowie der großregionale Profilschnitt von STANCU-KRISTOFF & STEHN (1984), die diesem Band als Anlagetafeln beiliegen, in ständigem Erfahrungsaustausch bearbeitet wurden. Diese geben daher, von geringfügigen Abweichungen abgesehen, die Auffassung der Autoren auch dieses Beitrages im Hinblick auf die Verbreitung und tektonische Position der Oberkarbon-Stufen wieder.

2. Stratigraphische Einstufung des nordwestdeutschen Oberkarbons nach Bohrlochmessungen (A. SCHUSTER, unter Mitarbeit von J. LÖSCH)

2.1. Arbeitsmethodik

In Nordwestdeutschland wird Erdgas ausschließlich aus den jüngeren Stufen des Oberkarbons gefördert: Stefan, Westfal D und höheres Westfal C. Die Suche nach neuen Erdgasvorkommen und die Durchführung produktionsfördernder Maßnahmen verlangen eine exakte Einstufung der jeweils erbohrten Schichtenfolge und eine feinstratigraphische Ansprache der gasführenden Sandsteine.

Die Verbreitung des Stefans beschränkt sich in Nordwestdeutschland auf die nördlichen Gebiete. Die Fossilfunde in den wenigen im Stefan gezogenen Kernen waren spärlich. Paläontologische Gesichtspunkte kommen somit für eine Feingliederung nicht in Betracht. Geochemische und mineralogische Untersuchungen dürften zur Zeit noch keine Ergebnisse für stratigraphische Vergleiche bringen. Allein mit Hilfe der geophysikalischen Bohrlochmessungen ist es möglich, das Stefan stratigraphisch zu unterteilen.

Westfal D ist, abgesehen vom Raum Osnabrück – Ibbenbüren, auf das niedersächsische Oberkarbon-Becken beschränkt. Eine Übertragung stratigraphischer Ergebnisse von Faunen- und Florenbestimmungen aus dem Ruhrkarbon, das stratigraphisch im höheren Westfal C endet, ist also nicht gegeben. Aus den Erdgasbohrungen Nordwestdeutschlands liegen aus fossilführenden Tonsteinpartien nur kürzere Kernstrecken vor, weshalb – wie im Stefan – eine Feingliederung nur nach Bohrlochmessungen möglich ist.

Im höheren Westfal C reichen die paläontologischen Befunde für eine hinreichend genaue feinstratigraphische Datierung nicht aus. Deshalb wurden Bohrlochmessungen von stratigraphisch durch Kernbefunde geeichten Bohrprofilen aus neueren Karbon-Bohrungen des Ruhrgebietes mit Logs aus nordwestdeutschen Erdgasbohrungen konnektiert. Mit diesen speziellen Logkonnektierungen war es möglich, das für die Gasexploration in Nordwestdeutschland besonders wichtige höhere Westfal C feinstratigraphisch zu erfassen und in die im Ruhrgebiet übliche Karbon-Gliederung einzuhängen.

Nur eine kleine Anzahl von Bohrungen hat im niedersächsischen Oberkarbon-Becken Abschnitte des tieferen Westfal C sowie des Westfal B und Westfal A erbohrt. Die in Kernen gefundene Fauna und Flora ermöglichte den Sacharbeitern des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen und der Westfälischen Berggewerkschaftskasse aufgrund der im Ruhrgebiet gewonnenen Kenntnisse eine genaue Einstufung von Teilen der Bohrprofile in Nordwestdeutschland. Als Beispiele seien die Fossilfunde genannt, die in den Ergasbohrungen Itterbeck-Halle Z5, Balderhaar Z1 und Stolzenau Z1 zur Bestimmung der marinen Horizonte Ägir, Domina und Katharina führten; ferner der Nachweis der Kaolin-Kohlentonsteine Hagen und Erda in den Bohrungen Wielen Z4 beziehungsweise Norddeutschland 8. Für eine feinstratigraphische Gliederung der Karbon-Profile genügten jedoch diese Bestimmungen nicht, so daß auch in diesen Schichtenfolgen die Bohrlochmessungen für die Stratigraphie unentbehrlich sind.

Die seit über zehn Jahren anhaltende rege Explorationstätigkeit des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet, vor allem am nördlichen Rand der Bergbau-

H.-A. HEDEMANN et al.

zone, brachte zahlreiche neue Erkenntnisse. Alle Bohrungen wurden im Karbon durchgehend gekernt und geophysikalisch vermessen.

Während der Bearbeitung dieses umfangreichen Logmaterials war es möglich, die bereits bei der Gliederung des Oberkarbons der Bohrung Münsterland 1 angewandte (SCHUSTER 1963) und später ausführlich begründete und veröffentlichte geophysikalische Methode zur feinstratigraphischen Bestimmung der Karbon-Schichten (SCHUSTER 1968, 1971 a, 1971 b; RACK & FIEBIG & SCHUSTER 1974) praktisch anzuwenden und wesentlich zu vervollkommnen. Parallel dazu wurden die Messungen aus nordwestdeutschen Erdgasbohrungen in stratigraphischer Hinsicht ausgewertet.

Diese geophysikalische Methode beruht auf der Erkenntnis, daß jedes Gestein besondere physikalische Eigenschaften hat. Es ist also erforderlich, daß verschiedene Messungen gefahren werden, um Gammastrahlung, Schallaufzeit, elektrischen Widerstand und Dichte bestimmen zu können. Je mehr Diagramme unterschiedlicher Meßverfahren vorliegen, desto sicherer ist das stratigraphische Ergebnis.

Im allgemeinen genügt eine Meßstrecke von ca. 200 – 250 m, um die Schichtenfolge feinstratigraphisch in die Oberkarbon-Gliederung einhängen zu können. Nicht nur im flözführenden Bereich, wo die sehr unterschiedlichen Gesteinsparameter von Tonstein und Kohle ein gut differenziertes Log ergeben, sondern auch in ausreichend mächtigen tonig-schluffigen Partien mit Feinsandsteinen sind charakteristische Logbilder vorhanden.

Für die Feinauswertung der Logs wurden nur die im Maßstab 1:200 aufgenommenen Diagramme verwendet. Im Maßstab 1:1000 sind die Details nicht hinreichend genau zu erkennen. Der bei geophysikalischen Bohrlochmessungen in den Kohlenbohrungen des Ruhrgebietes (vgl. SCHMITZ 1984) zusätzlich gefahrene Maßstab 1:40 wird ausschließlich für die Bestimmung der Flözmächtigkeiten und -strukturen verwendet.

Die Großgliederung des Oberkarbons erfolgt, von einigen Ausnahmen abgesehen, nach paläontologisch belegten marinen Horizonten, die jeweils an der Basis eines Abschnittes liegen:

- Ägir-Horizont an der Basis der Dorstener Schichten
- Domina-Horizont an der Basis der Horster Schichten
- Katharina-Horizont an der Basis der Essener Schichten

Diese grobe Gliederung kann in Tiefbohrungen aufgrund von Bohrlochmessungen nach dem gleichen Gesichtspunkt wesentlich verfeinert werden. Nach Logauswertung liegen zwischen "marinen" und "limnischen" Ablagerungen noch zahlreiche Abstufungen des Sedimentationsmilieus, die als "marin beeinflußt" bezeichnet werden sollen.

Die Kriterien eines marinen Horizontes im Log sind

- erhöhte Gammastrahlung
- längere Schallaufzeit
- niedriger elektrischer Widerstand
- geringere Dichte

Die Kriterien eines marin beeinflußten Horizontes sind die gleichen wie diejenigen eines marinen Horizontes, jedoch sind sie weniger stark ausgeprägt.

Jeder marine oder marin beeinflußte Horizont zeichnet sich in den Bohrlochmessungen durch ein typisches Logbild ab und kennzeichnet dadurch ein bestimmtes Flöz oder eine Flözpartie. Im Bereich eines solchen Horizontes kann die Gamma-Ray-Kurve zum Beispiel charakterisiert sein durch

- eine etwa gleichbleibend erhöhte Strahlung
 z. B. im marin beeinflußten Horizont über den Flözen Zollverein 7, Albert 4, Johann 1, Präsident
- zum Flöz hin allmählich ansteigende Strahlungswerte
 z. B. in den marinen Horizonten Ägir, Wasserfall 1, Plaßhofsbank
- einen insgesamt bogenförmigen Verlauf
 z. B. über Flöz Laura 1
- eine Anomalie an der Basis des marinen Horizontes
 z. B. über den Flözen Katharina, Finefrau-Nebenbank, Sarnsbank

Auch Schallaufzeit- und elektrische Widerstandskurve haben markante Merkmale. Sie können im marinen oder im marin beeinflußten Horizont etwa gleichbleibend erhöht beziehungsweise erniedrigt sein oder zum Flöz hin allmählich oder stufenweise ansteigen beziehungsweise abnehmen.

Die Mächtigkeit eines marinen oder marin beeinflußten Horizontes kann auch in nahestehenden Bohrungen sehr unterschiedlich sein. Sie wird durch das ungleichmäßige Einsetzen der hangenden sandigen Schichtenfolge bedingt. Bisweilen ist der gesamte Horizont vor Ablagerung des hangenden Sandsteins erodiert worden.

Nicht nur das Logbild eines Horizontes im Hangenden eines Flözes kann zur Identifizierung des Flözes herangezogen werden, sondern auch das Diagrammbild im Liegenden, das heißt im Bereich des Wurzelbodens und seiner Liegendschichten. In allen Westfal-Stufen haben bestimmte Flöze im Liegenden ein Gammastrahlungs-Maximum. Es kann etwa gleichbleibend hoch sein oder zum Flöz hin ansteigen beziehungsweise abfallen. Als Charakteristikum ist es oft allein ausreichend für die Identifizierung eines Flözes oder einer Flözgruppe. Zahlreiche Gammastrahlungs-Maxima sind überregional verbreitet, so beispielsweise das Maximum im Liegenden des unteren Chriemhilt-Flözes, unter den Flözen Baldur, Ägir, P4, G2, F1, Anna 2, Hugo 2, Albert 3, Dickebank 2, Sonnenschein 2 und Plaßhofsbank.

Ein Flöz kann also in den Bohrlochmessungen mittels eines Horizontes im Hangenden und/oder eines Gammastrahlungs-Maximum im Liegenden identifiziert werden.

Sowohl marine und marin beeinflußte Horizonte im Hangenden der Flöze als auch Gammastrahlungs-Maxima im Liegenden sind zumeist zwei- oder mehrfach geteilt. Das ist ein weiteres typisches Kennzeichen für bestimmte Flöze und erhöht die Zahl der markanten und einprägsamen Logbilder.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß charakteristische Logbilder nicht nur an Flöze oder Flözniveaus gebunden sind. Sie können auch in flözleeren Schichten auftreten – zum Beispiel im Stefan und im höheren Westfal D – und dort wichtige feinstratigraphische Hinweise geben.

Die Auswertung fast aller im Niederrheinisch-Westfälischen und im Aachener Steinkohlenrevier sowie in nordwestdeutschen Erdgasbohrungen aufgenommenen Bohrlochmessungen im flözführenden und flözleeren Oberkarbon

H.-A. HEDEMANN et al.

ergibt, daß die einzelnen Logbilder nicht nur auf Nachbarbohrungen beschränktsind, sondern zumeist weiträumig verbreitet sind. Sie stellen wichtige stratigraphische Leitmarken dar.

Auf eine besondere Art von Gammastrahlungs-Anomalien sei noch besonders hingewiesen. Nach neueren Messungen im Ruhrkarbon zeichnen sich die für stratigraphische Einstufungen wichtigen Kaolin-Kohlentonsteine Nibelung, Hagen 1 und Erda als geringmächtige Strahlungsspitzen oder -anomalien ab. Insbesondere der ca. 10 cm starke Hagen-1-Tonstein ist durch seine auffällige Gammastrahlungs-Anomalie zu erkennen. Dieses Charakteristikum war zum Beispiel für die Gliederung der Schichtenfolge in den Erdgasbohrungen Hiltrup 1 und Hoya Z2 von wesentlicher Bedeutung. Das Auftreten der Anomalie in diesen Bohrungen ist zugleich ein Beweis für ihre großräumige Verbreitung.

Bereits früher ist gezeigt worden (SCHUSTER 1968), daß der mehr oder weniger zusammenhängende Sedimentationsraum des Oberkarbons in Westeuropa es möglich macht, charakteristische Logbilder als stratigraphische Leitmarken über das Ruhrgebiet hinaus im gesamten nordwestdeutschen Raum bis in die Niederlande und bis Mittelengland zu verfolgen.

In den letzten Jahren ist ein neues Meßverfahren, das spektrale Gamma Ray (Dresser Atlas = Spectralog, Schlumberger = Natural Gamma Ray Spectrometer) zur Anwendung gekommen. Hierbei wird die Radioaktivität des Gebirges einerseits als Summe der gesamten Strahlung gemessen (= Gamma Ray) und anderseits zusätzlich das Strahlungspektrum in die drei Hauptkomponenten Uran 238, Thorium 232 und Kalium 40 zerlegt. Die von diesen drei Elementen ausgehende Strahlung wird separat oder als Verhältnis zweier Elemente aufgezeichnet (SCHLUMBERGER Co. 1982: 83–91, DRAXLER 1983).

Die Meßgenauigkeit spektraler Gamma-Ray-Messungen ist zur Zeit noch nicht befriedigend, wie Vergleiche zwischen Haupt- und Kontrollmessungen zeigen. Dennoch sollten diese Logs künftig öfter als bisher im Oberkarbon nordwestdeutscher Bohrungen als Zusatzmessung durchgeführt werden.

Wie Messungen aus den Aufschlußgebieten der Bergbau AG Lippe und der Bergbau AG Westfalen im Ruhrgebiet zeigen, liefert das spektrale Gamma Ray nützliche Charakteristiken für die Identifizierung von Flözen und für die stratigraphische Einstufung von tonig-schluffigen Schichtenfolgen. So wird beispielsweise das Gammastrahlungs-Maximum unter Flöz Baldur in den Unteren Dorstener Schichten vorwiegend durch Uran hervorgerufen. Der Kaolin-Kohlentonstein Hagen 1 wird durch eine Uran-Spitze und eine auffällige Thorium-Anomalie gekennzeichnet. Nach diesen Erkenntnissen war es möglich, die markante Gammastrahlungs-Anomalie in den Erdgasbohrungen Hiltrup 1 und Hoya Z2, die sich als Thorium-Anomalie erwies, dem Hagen-1-Tonstein zuzuordnen und damit die bereits aufgrund der Gammastrahlungs-Anomalie gegebene Einstufung des betreffenden Flözes als Hagen 1 eindeutig zu bestätigen.

Die Profile der Bohrungen im folgenden Abschnitt sind durch Bestimmung ausgeprägter Logbilder in den Messungen und die Konnektierung dieser Messungen mit anderen Bohrungen, deren Profile teilweise stratigraphisch geeicht sind, ermittelt worden. Auf die Verknüpfung der Logs mit solchen im Norden des Ruhrgebietes, deren Logstratigraphie durch Kernbefunde gesichert sind, wurde besonderer Wert gelegt. Die stratigraphischen Einstufungen

in den Logs der Normalprofile und der Profilschnitte (Abb. 1–10) ist das Ergebnis der Auswertung aller in der jeweiligen Bohrung gefahrenen Bohrlochmessungen im Maßstab 1:200.

Schwarz	=	Kohlenflöz
Punktierung	=	Sandstein
Schrägschraffur	=	Laufzeit-Maximum oder Widerstands-Minimum
Kreuzschraffur	=	erhöhte Gammastrahlung, Gammastrahlungs-Maximum oder Gammastrahlungs-Anomalie

2.2. Normalprofile und Logkonnektierungen

Die Darstellung muß sich auf wenige Beispiele aus dem Forschungsbericht (vgl. S. 41) beschränken.

Stefan und Westfal D werden eingehender behandelt, da die Feinstratigraphie dieser Karbon-Stufen ausschließlich auf Bohrlochmessungen begründet ist.

2.2.1. Stefan

Die hier aufgestellte Gliederung ist eine Logstratigraphie, das heißt die Unterteilung der Schichtenfolge im Stefan erfolgt ausschließlich anhand geophysikalischer Bohrlochmessungen. Nach Auswertung sämtlicher bisher im Stefan Nordwestdeutschlands durchgeführten Messungen wurde eine Gliederung in insgesamt vier Logeinheiten vorgenommen. Bei der Abgrenzung der einzelnen Einheiten wurde der allgemeine Grundsatz beachtet, die oberkarbonische Schichtenfolge nach marinen Einschaltungen zu gliedern.

Auch im flözleeren Stefan sind, wie in den Westfal-Stufen, in den Logs Horizonte zu erkennen, die mehr oder weniger stark marin beeinflußt sind. Ihre Kriterien sind allerdings weniger deutlich ausgeprägt als zum Beispiel in den marinen Horizonten Ägir, Domina oder Katharina.

Einige besonders charakteristische Logbilder, die als stratigraphische Leitmarken anzusehen sind, wurden ausgewählt, um die Basis der Logeinheiten Stefan 2, 3 und 4 zu kennzeichnen.

Zur besseren Ansprache der Sandsteine wurden diese von unten nach oben fortlaufend numeriert. Die nachstehenden Profile enthalten jeweils eine Auswahl der Numerierung.

Normalprofile

Zur Erläuterung der Lithologie, für Logkonnektierungen und um die stratigraphisch wichtigen Logbilder zu zeigen, schien es zweckmäßig, ein Normalprofil des Stefans nach Bohrlochmessungen aufzustellen. Wegen der großflächigen Verbreitung und der vielfach erheblichen Faziesunterschiede auf engstem Raum sind mehrere regionale Normalprofile ausgewählt worden:

- Bohrung Apeldorn Z2 in der Ems-Senke für die tonige Fazies (Abb. 1)
- Bohrung Hebelermeer Z2 in der Ems-Senke für die sandige Fazies (Abb. 2)
- Bohrung Wedehof 2T im Weser-Elbe-Gebiet (Abb. 3)

Auf diese Normalprofile ist schon früher hingewiesen worden (HEDEMANN & SCHUSTER 1980: 533). Ein aus Messungen (Gamma Ray und Soniclog) ver-





schiedener Bohrungen zusammengesetztes Normalprofil des Stefans wurde bereits veröffentlicht (SCHUSTER 1968: Abb. 29).

Das älteste in Nordwestdeutschland bekannte Stefan, die Logeinheit Stefan 1, beginnt mit dem Basissandstein, der in wechselnder Mächtigkeit und unterschiedlicher Ausbildung diskordant über stratigraphisch verschiedenen Schichtenabschnitten des Westfal D oder C liegt. In einigen über das gesamte Verbreitungsgebiet verteilten Bohrungen (u. a. Kalle Z4, Arsten Z1, Scheeßel Z1, Sprengel Z1) wird der Basissandstein in seinem oberen Teil durch eine auffällige Gammastrahlungs-Anomalie gekennzeichnet.

Von den übrigen Sandsteinen des Stefan 1 ist vor allem Sandstein 10 bemerkenswert. Sein U-förmiges Gamma-Ray-Logbild ist in allen Stefan-Profilen vom Westemsland bis in das Weser – Elbe-Gebiet vorhanden und leicht zu erkennen. In einer überwiegend sandigen Schichtenfolge (z. B. in der Bohrung Hebelermeer Z2) ist er naturgemäß mächtiger als in einer hauptsächlich tonigen (z. B. in der Bohrung Apeldorn Z2). Wegen der Beständigkeit des Gamma-Ray-Logbildes und seines weitverbreiteten Vorkommens kann Sandstein 10 als stratigraphische Leitmarke angesehen werden.

Das Stefan 2 beginnt mit einem mehrfach unterteilten marin beeinflußten Horizont, der sich in allen Messungen einer mehr tonigen oder sandigen Schichtenfolge durch die Kriterien eines marinen Horizontes charakteristisch abzeichnet und demzufolge eine wichtige stratigraphische Leitmarke darstellt. Im Bereich dieses Horizontes fand E. PAPROTH (JOSTEN 1966: 627) in der Bohrung Apeldorn Z2 im Kern *Palaeestheria* sp.

Im unteren Teil des Stefan 2 fallen die Sandsteine 20 und 21 auf, die nahe beieinander liegen. Dieser Doppelsandstein ist, wie Sandstein 10 im Stefan 1, ebenfalls in seiner Verbreitung sehr beständig und daher bei Logvergleichen eine gute stratigraphische Leitmarke. Seine Mächtigkeit wird durch die Fazies des gesamten Bohrprofils bedingt. Die Sandsteine sind in der tonigen Fazies der Bohrung Apeldorn Z2 geringer mächtig als in der sandigen der Bohrung Hebelermeer Z2. Im höheren Teil des Stefan 2 sind die Sandsteine 25 und 30 zu erwähnen, die auch in der tonigen Fazies ausgebildet sind.

Abb. 1	Normalprofil des Stefans nach Bohrlochmessungen für die tonige Fazies in der
	Ems-Senke; Typlog: Bohrung Apeldorn Z2 (Maßstab 1:1250)

- Fig. 1 Type section of the Stephanian for the pelitic facies in the Ems depression, after borehole logs; type log: Apeldorn Z2 (scale 1:1250)
- Abb. 2 Normalprofil des Stefans nach Bohrlochmessungen für die sandige Fazies in der Ems-Senke; Typlog: Bohrung Hebelermeer Z2 (Maßstab 1:1250)
- Fig. 2 Type section of the Stephanian for the clastic facies in the Ems depression, after borehole logs; type log: Hebelermeer Z2 (scale 1:1250)
- Abb. 3 Normalprofil des Stefans nach Bohrlochmessungen für das Gebiet zwischen Weser und Elbe; Typlog: Bohrung Wedehof 2T (Maßstab 1:1250)
- Fig. 3 Type section of the Stephanian for the region between the Weser and Elbe rivers, after borehole logs; type log: Wedehof 2T (scale 1:1250)

Das Stefan 3 beginnt ebenfalls mit einem geteilten marin beeinflußten Horizont. Die gegenüber dem Basishorizont des Stefan 2 andersartige typische Kurvenführung im Gamma Ray und Soniclog läßt ihn in den Logs gut erkennen und macht ihn zu einer stratigraphischen Leitmarke. Er ist sowohl im Emsland als auch im Weser – Elbe-Gebiet erbohrt worden und demzufolge weiträumig verbreitet. In der Bohrung Apeldorn Z2 fand E. PAPROTH auch in diesem Horizont im Kern *Palaeestheria* sp.

In der Nordseebohrung E1 ist das Stefan in der ungewöhnlich großen Mächtigkeit von 464 m in toniger Fazies durchteuft worden (FABIAN 1971). Es erschien daher zweckmäßig, in diesem stratigraphisch am höchsten reichenden Stefan-Profil über dem Stefan 3 eine weitere Logeinheit auszuscheiden. Die Obergrenze des Stefan 3 wurde deshalb in der Bohrung Nordsee E1 an die Basis eines in den Logs gut ausgeprägten marin beeinflußten Horizontes gelegt und die darüber bis zum Rotliegenden reichende 91m mächtige Schichtenfolge als Stefan 4 bezeichnet. Auf dem Festland ist das Stefan 3 bisher noch nicht in seiner vollständigen Mächtigkeit erschlossen worden.

Im gesamten Stefan sind noch weitere marin beeinflußte Horizonte an ihrer charakteristischen Kurvenführung in den Diagrammen zu erkennen. Sie gestatten eine zusätzliche Gliederung der Schichtenfolge und geben nützliche Anhaltspunkte bei Logkonnektierungen.

Logkonnektierungen

Abbildung 4 zeigt eine ca. 102 km lange, Nord – Süd gerichtete Logkonnektierung der Gamma-Ray-Messungen zwischen den Bohrungen Leer Z2– Hebelermeer Z2–Norddeutschland 8 in der Ems-Senke. Bezuglinie ist die Grenze Stefan 1/2. Von der Bohrung Leer Z2 ist nur der Profilabschnitt im Grenzbereich der Stefan-Stufen 1/2 dargestellt.



Abb. 4

Konnektierung von Gamma-Ray-Logs des Stefans in der Ems-Senke zwischen Ostfriesland und Westemsland (Bohrungen Leer Z2, Hebelermeer Z2, Norddeutschland 8); Bezugslinie: Grenze Stefan 1/2 (Maßstab 1:4000)

Fig. 4

Connection of gamma ray logs of the Stephanian in the Ems depression between Ostfriesland and Westemsland (boreholes Leer Z2, Hebelermeer Z2, Norddeutschland 8); datum: boundary Stephanian 1/2 (scale 1:4000)



- Konnektierung von Gamma-Ray-Logs des Stefans zwischen Ostfriesland und We-Abb. 5 ser - Elbe-Gebiet (Bohrungen Leer Z2, Hude Z1, Arsten Z1, Wedehof 2T, Scheeßel Z1); Bezugslinie: Grenze Stefan 1/2 (Maßstab 1:4000)
- Fia. 5 Connection of gamma ray logs of the Stephanian between Ostfriesland and the Weser - Elbe area (boreholes Leer Z2, Hude Z1, Arsten Z1, Wedehof 2T, Scheeßel Z1); datum: boundary Stephanian 1/2 (scale 1:4000)

Der marin beeinflußte Horizont an der Basis des Stefan 2 sowie der Sandstein 10 im Stefan 1 und der Doppelsandstein 20 + 21 sind als stratigraphische Leitmarken im Gamma Ray der einzelnen Bohrungen klar erkennbar. Wie zu erwarten, zeigt der Schnitt eine in nördliche Richtung zunehmende Mächtigkeit der dargestellten Stefan-Schichten.

Logkonnektierungen in Ost-West-Richtung durch die Ems-Senke, unter anderem zwischen den Bohrungen Dalum Z5 und Emlichheim Z7 sowie den Bohrungen Nordhorn Z1 und Itterbeck-Halle Z10 lassen die allmähliche Abnahme der Stefan-Mächtigkeit unter dem transgredierenden Zechstein von der Ems-Senke zu ihrem westlichen Rand erkennen. Während in der Ems-Senke unter dem Zechstein noch unteres Stefan 3 sowie Stefan 2 und 1 vorhanden sind, ist das Stefan im Westen bis auf unteres Stefan 1 gekappt.

Abbildung 5 zeigt eine ca. 142 km lange West – Ost verlaufende Konnektierung der Gamma-Ray-Logs von der Bohrung Leer Z2 in Ostfriesland über die Bohrungen Hude Z1 und Arsten Z1 nach den im Weser - Elbe-Gebiet stehen-

W

den Bohrungen Wedehof 2T und Scheeßel Z1. Bezugslinie ist wiederum die Grenze Stefan 1/2. Die Basis der Sandsteine 10 und 20 sind durch punktierte Linien miteinander verbunden.

Das Gamma Ray in diesem überregionalen West-Ost-Schnitt durch das Verbreitungsgebiet des Stefans zeigt – ebenso wie die nicht abgebildeten entsprechenden Sonic- und Widerstandslogs – deutlich, daß die in der Ems-Senke herausgestellten stratigraphischen Leitmarken im Stefan 1 und 2 auch im Weser – Elbe-Gebiet vorhanden sind: marin beeinflußter Horizont an der Basis des Stefan 2 sowie die Sandsteine 10, 20 und 21. Auch andere Horizonte und Sandsteine (z. B. Sandsteine 15, 17, 18) können gut miteinander parallelisiert werden. In den hier nicht wiedergegebenen Logs einer anderen Bohrung dieses Gebietes ist auch der aus der Bohrung Apeldorn Z2 bekannte marin beeinflußte Horizont an der Basis des Stefan 3 ausgeprägt.

Somit können alle nordwestdeutschen Stefan-Profile durch Bestimmung charakteristischer Logbilder und durch Konnektierung der Bohrlochmessungen feinstratigraphisch gegliedert werden.

Auf die Wahrscheinlichkeit, daß die in Ostniedersachsen unweit der Elbe stehende Bohrung Sellien 3Z (FABIAN 1971, HEDEMANN et al. 1972) Stefan angetroffen hat, sei noch hingewiesen. Von der unter dem Rotliegend-Vulkanit erbohrten Schichtenfolge konnten aus technischen Gründen nur die oberen ca. 125 m vermessen werden (Gamma Ray + Soniclog und Formation Density). Die in dem Sandstein von 5 285,5 – 5 289,0 m liegende Gammastrahlungs-Anomalie könnte unter anderem mit derjenigen im Basissandstein von Schee-Bel Z1 parallelisiert werden. Auch eine marin beeinflußte Tonsteinpartie und einige Sandsteine bieten Anhaltspunkte für Logkonnektierungen mit anderen Stefan-Bohrungen. Demnach könnten in Sellien 3Z die zuoberst durchteuften 98 m dem unteren Stefan 2 und Stefan 1 angehören.

2.2.2. Westfal D

Da nur der untere Teil des Westfal D im Raum Ibbenbüren – Osnabrück ansteht, der mittlere und obere jedoch ebenso wie das gesamte Stefan lediglich aus Bohrungen bekannt ist, wird auch hier eine stratigraphische Feingliederung des Westfal D nach Bohrlochmessungen unter Berücksichtigung der Ibbenbürener Schichtenfolge gegeben. Alle bisher im Westfal D Nordwestdeutschlands ausgeführten Bohrlochmessungen wurden ausgewertet und miteinander konnektiert. Wegen der großen Gesamtmächtigkeit und um besser überschaubare geringmächtige Einheiten zu erhalten, wurde die gesamte Schichtenfolge des Westfal D in zehn Logeinheiten aufgeteilt.

Im Westfal D sind, wie im Stefan und in den tieferen Westfal-Stufen, marin beeinflußte Horizonte, Gammastrahlungs-Spitzen und Sandsteine zu erkennen, deren Logbilder nicht nur lokal, sondern weiträumig auftreten und sich daher als stratigraphische Leitmarken gut eignen. Solche charakteristischen Kurvenbilder sind für die Abgrenzung der einzelnen Logeinheiten herangezogen worden. Die Sandsteine im Westfal D sind wie im Stefan von unten nach oben fortlaufend numeriert worden.

Die Grenze Westfal D/C liegt an der Oberkante des Flözes Dickenberg, bei einer Aufspaltung dieses Flözes an der Oberkante des Teilflözes.

Abb. 6

Normalprofil des unteren Westfal D (Bereiche D1-D3) nach Gamma Ray und Acoustilog im Raum Ibbenbüren; Typlog: Bohrung Bockraden 6 (Maßstab 1:1250)

Fig. 6

Type section of lower Westphalian D (D1 – D3) in the Ibbenbüren area, after gamma ray and acoustic logs; type log: Bockraden 6 (scale 1:1250)



GR

Flgr.

Normalprofile und Logkonnek- ≥ tierungen

Als Normalprofile wurden folgende Bohrungen ausgewählt:

- Bockraden 6 im Ibbenbürener Karbon für die Bereiche Westfal D1-D3 (Abb. 6)
- Osnabrück-Holte Z1 im Osnabrücker
 Raum für die Bereiche Westfal D1, D2 und D3 unten (Abb. 7)
- Rehden 21 f
 ür das Gebiet des Gasfeldes Rehden f
 ür die Bereiche Westfal D1, D2 und D3 unten (Abb. 7)
- Norddeutschland 8 im Emsland f
 ür die Bereiche Westfal D1-D10 (Abb. 7 u. 8)
- Ortland Z2 im Raum Südoldenburg für die Bereiche Westfal D1-D3

Ein Normalprofil des Westfal D, das aus Gamma Ray und Soniclog mehrerer Bohrungen zusammengestellt wurde, ist schon veröffentlicht worden (SCHU-STER 1968: Abb. 28).

Im Bockradener Graben der Ibbenbürener Karbon-Scholle sind die unteren drei Logeinheiten mehrmals erbohrt und geophysikalisch vermessen worden.

Über die Messungen der Bohrungen Bockraden 4 und 5 sowie ihre Konnektierung mit denen der Bohrung Norddeutschland 8 wurde bereits früher ausführlich berichtet (SCHUSTER 1971 b). Die im Jahre 1975 abgeteuften Bohrungen Bockraden 6 und 7 haben noch höhere Schichten des Westfal D erschlossen, weshalb die Bohrung Bockraden 6 als Normalprofil festgelegt wurde.

In Abbildung 6 sind von den in dieser Bohrung ausgeführten Messungen Gamma Ray und Acoustilog in zwei Säulen nebeneinander gestellt. Flöznamen und die Grenzen der Logeinheiten sind eingetragen.

In der Bohrung Bockraden 6 reicht die unterste Logeinheit Westfal D1 von der Oberkante des Grenzflözes Dickenberg bis an die Tonsteinpartie mit



- Abb. 7 Normalprofil des unteren Westfal D (Bereiche D1 D5) nach Gamma Ray in der Ems-Senke (Typlog: Bohrung Norddeutschland 8) und seine Konnektierung mit Normalprofilen im Raum Ibbenbüren – Osnabrück – Diepholz (Typlogs: Bohrungen Bockraden 6, Osnabrück-Holte Z1, Rehden 21); Bezugslinie: Grenze Westfal D/C (Maßstab 1:4000)
- Fig. 7 Type section of the lower Westphalian D (D1 D5) in the Ems depression (type log: Norddeutschland 8), after gamma ray logs, and its connection with type sections in the Ibbenbüren – Osnabrück – Diepholz area (type logs: Bockraden 6, Osnabrück-Holte Z1, Rehden 21); datum: boundary Westphalian D/C (scale 1:4000)

- Abb. 8 Normalprofil des höheren Westfal D (Bereiche D6 D10) nach Gamma Ray in der Ems-Senke; Typlog: Bohrung Norddeutschland 8 (Maßstab 1:4000)
- Fig. 8 Type section of upper Westphalian D (D6-D10)in the Ems depression, after gamma ray logs; type log: Norddeutschland 8 (scale 1:4000)

dem Flöz Franz. In dieser überwiegend sandigen Fazies liegen zwei Tonsteinpartien. Die untere enthält die Flözgruppe Alexander, die obere das Flöz Flottwell, das aus Hauptflöz und geringmächtigem Nebenflöz besteht.

Das Westfal D2 beginnt mit einer Tonsteinpartie, in deren unterem Teil das Flöz Franz liegt. Im Hangenden folgen mächtige Sandsteine, die nur durch drei geringmächtige tonig-schluffige Partien getrennt sind. In der unteren ca. 2 m starken Tonsteinpartie liegt Flöz Bockraden.

An der Basis des Westfal D3 liegt die durch eine sandige Einschaltung geteilte Tonsteinpartie Itterbeck mit einigen gleichnamigen Flözen. Dieser Bereich hat durch einen marin beeinflußten Horizont besonderen stratigraphischen Leitwert. Über die Verbreitung dieses Horizontes im Ibbenbürener Karbon (Bohrungen Bockraden 2–5) und im Westemsland (u. a. Itterbeck-Halle Z5 und Z6, Norddeutschland 8, Frenswegen 5) ist bereits ausführlich berichtet worden (SCHUSTER 1968, 1971b).

Unmittelbar über der Tonsteinpartie Itterbeck folgt der Sandstein 20, der an seiner typischen Kurvenführung im Gamma Ray sicher zu erkennen ist. Die nächsten ca. 8,5 m und 11,5 m mächtigen Tonsteinpartien sind durch das Flöz Mettingen, das in der Bohrung Bockraden 6 als Niveau ausgebildet ist, beziehungsweise die Farbgrenze Rot/Grau kennzeichnet. Die Farbgrenze ist kein stratigraphischer Leithorizont. Sie liegt zum Beispiel im Vergleich zu der Bohrung Norddeutschland 8 in den ca. 41 km ostwärts stehenden Bockradener Bohrungen um ca. 25 m in stratigraphisch tieferen Schichten. In der ca. 65 km nordostwärts liegenden Bohrung Rehden 21 hat FABIAN (1963: 38) die Farbgrenze bei 2 460 m bestimmt. Das ist stratigraphisch ca. 300 m tiefer als in der Bohrung Bockraden 6, das heißt ca. 40 m unterhalb der Westfal D/C-Grenze. Hier sei erwähnt, daß die stratigraphische Einstufung der Bohrung Rehden

Norddeutschland 8



21 in diesem Aufsatz von der Gliederung abweicht, die FABIAN (1963) vorgeschlagen hat. Er übertrug damals die stratigraphische Position der Rot/Grau-Grenze von Ibbenbüren nach Rehden noch unter der Voraussetzung, daß sie isochron sei; eine Auffassung, die er später geändert hat (HEDEMANN et al. 1972). Die Grenze Westfal D/C in der Bohrung Rehden 21 liegt bei 2421 m, nicht wie früher vermutet bei 2700 m Teufe.

Auch oberhalb der Farbgrenze sind in den Tonsteinpartien der Roten Schichtenfolge noch Flöze oder Flözniveaus vorhanden, so zum Beispiel in den Bohrungen Bockraden 6 und Rehden 21 zwei Flözniveaus beziehungsweise die Flöze Itterbeck bis Alexander. In der Bohrung Bockraden 6 ist das Gamma Ray in der obersten Partie des Westfal D3 infolge der bis 55,6 m zementierten Rohrtour nicht mehr gut auswertbar.

Abbildung 7 zeigt die Konnektierung der Gamma-Ray-Logs der Bohrungen Norddeutschland 8, Bockraden 6, Osnabrück-Holte Z1 und Rehden 21. Bezugshorizont ist die Grenze Westfal D/C. Die Basis der Flözbereiche Franz und Itterbeck, also die Grenzen Westfal D1/D2 und Westfal D2/D3, sind durch gestrichelte Linien miteinander verbunden. Das Gamma Ray der Bohrungen Osnabrück-Holte Z1 und Rehden 21 kann als Normalprofil im unteren Teil des Westfal D im Osnabrücker Raum beziehungsweise im Gebiet Rehden angesehen werden.

Während im östlichen Teil des niedersächsischen Westfal-D-Beckens nur tieferes Westfal D erbohrt wurde, ist die Mächtigkeit im westlichen Teil, besonders in der Ems-Senke, erheblich größer. Dort wurde die Schichtenfolge der Bohrung Norddeutschland 8 (= ND8) als Normalprofil des gesamten Westfal D festgelegt. Das Gamma Ray dieser Bohrung wurde mit seinem unteren Teil, Westfal D1 bis D5, in die Logkonnektierung der Bohrungen Bockraden 6 – Osnabrück-Holte Z1 – Rehden 21 (Abb. 7) aufgenommen. Der obere Teil, Westfal D6 bis D10, ist in Abbildung 8 gesondert dargestellt.

In der Bohrung Norddeutschland 8 weist eine dünne Tonsteinlage inmitten des mächtigen Dickenberg-Sandsteins auf den Flözbereich Dickenberg hin. Die Flözgruppe Alexander und das Doppelflöz Flottwell sind als Flözniveaus ausgebildet.

Die Reduzierung der Mächtigkeit der Schichtenfolge des Westfal D2 und D3 dürfte wohl durch die Nähe der Ostholländischen Schwelle bedingt sein. Der Bereich Itterbeck ist deutlich geringer mächtig als in den anderen Bohrungen (Abb. 7).

Auch die Logeinheiten Westfal D4 bis D10 beginnen, wie D3, jeweils mit einem marin beeinflußten Horizont, der in D4 und D7 durch eine Gammastrahlungs-Anomalie besonders charakterisiert ist (s. Abb. 7 u. 8). Diese Anomalien sind auch in anderen Westemsland-Bohrungen vorhanden und wichtige stratigraphische Leitmarken. Auf die stratigraphische Bedeutung der Gammastrahlungs-Anomalien wurde bereits hingewiesen (SCHUSTER 1968: Abb. 21 – 24).

In der Bohrung Norddeutschland 8 transgrediert über Westfal D10 (Abb. 8) der Basissandstein des Stefans. Nach Logkonnektierung sind in der ca. 29 km nördlich in der Ems-Senke stehenden Bohrung Dalum Z4 gegenüber der Bohrung Norddeutschland 8 noch ca. 25 m stratigraphisch höhere Schichten erbohrt worden, über denen ebenfalls Stefan transgrediert. Es ist nicht auszuschließen, daß inmitten der Ems-Senke etwas weiter nördlich stratigraphisch noch höhere Westfal-D-Schichten anstehen.

Logkonnektierungen zwischen Bohrungen in der Ems-Senke und im westlichen Teil des Westemslandes am Beckenrand zeigen eindeutig eine Reduzierung der Westfal-D-Schichtenfolge zum Beckenrand hin unter Fortfall stratigraphisch höherer Schichtenpakete. Der Lage im westlichen Randgebiet der Ems-Senke entsprechend sind die einzelnen Bohrprofile im Vergleich zur Bohrung Norddeutschland 8 transgressiv gekappt.

Aufgrund dieser Feststellung konnte im Erdgasfeld Itterbeck-Halle eine Prästefan-Tektonik nachgewiesen werden. In der Bohrung Itterbeck-Halle Z10 reicht das Westfal-D-Profil stratigraphisch um ca. 10m höher hinauf als in der ca. 420m östlich stehenden Bohrung Itterbeck-Halle Z6. Entsprechend der regionalen Tendenz einer Abnahme der Westfal-D-Mächtigkeit nach Westen müßte das Gegenteil erwartet werden. Daraus folgt, daß beide Bohrungen auf verschiedenen Westfal-D-Schollen stehen, über die das Stefan transgrediert.

2.2.3. Westfal C

Das Westfal C ist entsprechend der Bedeutung für die Erdölindustrie unter Vorlage zahlreicher Konnektierungsprofile in dem eingangs genannten Forschungsbericht besonders eingehend behandelt worden. Hier kann nur für das höhere Westfal C eine Kurzfassung gegeben werden.

Die vorherrschend sandige Fazies, insbesondere im oberen Teil, bereitet bei der Durchführung einer feinstratigraphischen Gliederung besondere Schwierigkeiten. Nur die geophysikalische Methode, das Bestimmen markanter Logbilder und die Konnektierung geophysikalischer Messungen verschiedener Bohrungen, kann die für vergleichende Untersuchungen und für die Kenntnis der Lagerstätten notwendige Datierung der einzelnen Sandsteinpartien liefern.

Auch das höhere Westfal C hat in Bohrlochmessungen seine eigenen charakteristischen Logbilder, die insbesondere im oberen Teil nicht an Flöze gebunden sind. Ihre große Anzahl und ihr zumeist überregionales Vorkommen ergibt hinreichend gute stratigraphische Leitmarken für eine Feinstratigraphie in der vorwiegend sandigen Schichtenfolge. Die bereits früher durchgeführte Parallelisierung des höheren Westfal C der Bohrungen Bockraden 1–5, Ibbenbüren UB 150 sowie Norddeutschland 8 mit dem Ruhrkarbon (SCHUSTER 1968; 1971 a, b) ist seitdem durch Logauswertungen und Konnektierungen von Messungen aus zahlreichen Bohrungen in Nordwestdeutschland und im Ruhrrevier bestätigt worden.

Normalprofile und Logkonnektierungen

Als Normalprofil des höheren Westfal C sind die Schichtenfolgen der Bohrungen Norddeutschland 8, Oythe Z2 und Rheden 21 anzusehen, außerdem Victorbur Z1 in Ostfriesland, das hier nicht dargestellt wird. Abbildung 9 zeigt eine ca. 114 km lange, Südwest-Nordost gerichtete Konnektierung der Gamma-Ray-Kurven dieser Bohrungen im höheren Teil des Westfal C. Von



- Abb. 9 Normalprofil des höheren Westfal C nach Gamma Ray in der Ems-Senke (Typlog: Bohrung Norddeutschland 8) und seine Konnektierung mit Gamma-Ray-Logs im Raum Südoldenburg - Diepholz (Bohrung Ortland Z2, Typlogs: Bohrungen Oythe Z2 und Rehden 21); Bezugslinie: Grenze Westfal D/C (Maßstab 1:4000)
- Fig. 9 Type section of the upper Westphalian C in the Ems depression (type log: Norddeutschland 8), after gamma ray logs, and its connection with gamma ray logs of the Südoldenburg - Diepholz area (Ortland Z2, type logs: Oythe Z2 and Rehden 21); datum boundary Westphalian D/C (scale 1:4000)

den Bohrprofilen Ortland Z2 und Oythe Z2 ist nur der obere Teil dargestellt worden. Bezugslinie ist die Grenze Westfal D/C.

Die Bereiche Volker, Parsifal und Nibelung sind als stratigraphische Leitmarken durch Kreuzschraffur besonders gekennzeichnet. Der Bereich Volker ist durch gestrichelte Leitlinien miteinander verbunden. Diese Flözgruppe wurde im Ruhrgebiet erstmalig in der Bohrung Specking 1 (1982) erbohrt

NE

(FIEBIG & GROSCURTH 1984). Das oberste mächtige Flöz dieser Gruppe ist mit Flöz Glücksburg im Ibbenbürener Karbon zu parallelisieren (SCHUSTER 1971 b). Nur in den Bohrungen Norddeutschland 8 und Rehden 21 ist in diesem Bereich ein Flöz ausgebildet.

Die hangende Schichtenfolge bis zur Grenze Westfal D/C ist durch eine vorwiegend sandige Fazies charakterisiert. Im Ibbenbürener Karbon sind vier Tonsteinpartien mit Flözen oder Flözniveaus eingeschaltet, die dort als Zwischenflöz-Gruppen I– IV bezeichnet werden. In der Bohrung Specking 1 liegen über der Flözgruppe Volker noch zwei durch einen Sandstein getrennte Tonsteinpartien mit Flözen. Es sind die Flözgruppen Walküre und Xanten (FIEBIG & GROSCURTH 1984). Diese Bereiche sind im Gamma Ray der Bohrung Oythe Z2 besonders gut zu erkennen, sind aber flözleer. Nach Logkonnektierung ist der Bereich Walküre mit der Zwischenflöz-Gruppe IV in Ibbenbüren und der Bereich Xanten mit der Zwischenflöz-Gruppe III zu parallelisieren. Die in der Bohrung Specking 1 zuoberst erbohrten Karbon-Meter dürften bereits der Zwischenflöz-Gruppe II angehören. Die Sandsteine 84 und 85 sind der untere Teil des Dickenberg-Sandsteins.

In der Bohrung Norddeutschland 8 folgt unter dem Bereich Volker ein größeres Schichtenpaket in vorherrschend sandiger Fazies mit den Sandsteinen 70–60 und darunter eine mächtigere Tonsteinpartie, die nach Logkonnektierung mit Bohrungen im Ruhrrevier dem Bereich der Flözgruppe Parsifal entspricht. Im Gamma Ray der Bohrungen Norddeutschland 8 und Rehden 21 ist dieser Bereich, der in Rehden 21 flözführend ist, gut ausgeprägt.

Der Bereich Odin ist im allgemeinen in sandiger Fazies ausgebildet. Die eingeschalteten, geringmächtigen, tonig-schluffigen Partien enthalten einige Flöze. Abgesehen von Flöz Volker beginnt damit in der Bohrung Norddeutschland 8 – vom Hangenden aus gesehen – die Flözführung.

Von besonderer Bedeutung ist die liegende Tonsteinpartie Nibelung, die sich im Gamma Ray der Bohrungen Norddeutschland 8 und Rehden 21 durch höhere Strahlung gut abzeichnet. In der Bohrung Norddeutschland 8 ist ein Flöz ausgebildet. Nach Gamma Ray, Laterolog und Soniclog liegt im oberen Teil der Tonsteinpartie ein ca. 1,5 m mächtiger, unterteilter, marin beeinflußter Horizont. Dieser Horizont dürfte das Top Marine Band sein, das in Nordwestdeutschland unter anderem aus der Bohrung Hoya Z1 durch Fossilfunde bekannt geworden ist (HECHT et al. 1962).

Künftig wird das Westfal C zweigeteilt (FIEBIG & GROSCURTH 1984: 266). Die Grenze liegt an der Basis eines marinen beziehungsweise marin beeinflußten Horizontes im Hangenden der Nibelung-Flözgruppe, bei erosiver Verdrängung dieses Horizontes durch einen Sandstein an der Basis dieses Sandsteins. Das tiefere Westfal C wird als Dorstener Schichten bezeichnet, für das höhere Westfal C wird die Bezeichnung Lembecker Schichten eingeführt.

2.2.4. Westfal B und A sowie Namur C

Nur verhältnismäßig wenige Bohrungen haben diese mächtigen Karbon-Stufen mit mehr oder weniger langen Profilstrecken erschlossen. Eine Gasfündigkeit ist in ihnen bisher nicht erzielt worden. Für die Konnektierung der Bohrlochmessungen stehen im Ruhrgebiet eine beachtliche Anzahl neuerer Bohrungen zur Verfügung.



Abb. 10 Konnektierung von Gamma-Ray-Log + Soniclog im Bereich des marinen Domina-Horizontes an der Basis der Horster Schichten im Westfal B vom Westemsland bis zum Weser – Elbe-Gebiet (Bohrungen Balderhaar Z1, Uelsen Z1, Kampen Z1); Bezugslinie: Basis des Domina-Horizontes (Maßstab 1:800)

Fig. 10 Connection of gamma ray log + sonic log in the range of the marine Domina horizon at the base of the Horst beds (Westphalian B) from the Westemsland to the Weser - Elbe area (Balderhaar Z1, Uelsen Z1, Kampen Z1); datum: base of the Domina horizon (scale 1:800)

Auch im Westfal B und A sowie im Namur C sind zahlreiche marine und marin beeinflußte Horizonte sowie Gammastrahlungs-Maxima vorhanden, die in den Bohrlochmessungen charakteristische Logbilder darstellen. Nach den bisherigen Erkenntnissen sind diese stratigraphischen Leitmarken großräumig verbreitet, ebenso wie im Stefan, im Westfal D und C. Im folgenden werden einige der für das Ruhrkarbon und das nordwestdeutsche Oberkarbon wichtigen Leitmarken des Westfal B genannt:

- marine Horizonte Domina und Katharina an der Basis der Horster beziehungsweise Essener Schichten
- marin beeinflußter Horizont über dem oberen R-Flöz, über den Flözen Zollverein 1, 5 und 7 sowie mehrere Horizonte im Bereich der Flözgruppen Grimberg, Laura und Viktoria
- Gammastrahlungs-Maxima unter den Flözen Ägir und P4, im Bereich der Flözgruppe N/M, unter Flöz K2, unter den Flözgruppen G, F und D

Als Ergänzung der bisher veröffentlichten Profilschnitte im Westfal B (SCHUSTER 1963: Abb. 2 u. 3; 1968: Abb. 4–14) wird in Abbildung 10 eine überregionale, ca. 193 km lange, Westsüdwest – Ostnordost gerichtete Konnektierung der Gamma-Ray- und Soniclogs im Bereich des marinen Domina-Horizontes von den Bohrungen Balderhaar Z1 und Uelsen Z1 im Westemsland zur Bohrung Kampen Z1 im Weser – Elbe-Gebiet gegeben. Bezugslinie ist die Basis des Domina-Horizontes, die Grenze Horster/Essener Schichten. In der Bohrung Uelsen Z1 ist die Logauswertung von H. FIEBIG (Westf. Berggewerkschaftskasse, Bochum) durch den Fund einer *Lingula* im Kern bestätigt worden.

Sowohl das Logbild des marinen Domina-Horizontes als auch die Logbilder der tieferen marinen Horizonte (z. B. Katharina, Wasserfall, Plaßhofsbank) zeigen Hangendschiefer mit deutlich ausgeprägten Kriterien eines marinen Horizontes, die zum Flöz hin ausgeprägter werden. Im unteren Teil des Domina-Horizontes ist eine Gamma-Anomalie (wiez. B. in den Horizonten Katharina, Finefrau-Nebenbank und Sarnsbank) bisher nicht beobachtet worden.

Über das Logbild des marinen Katharina-Horizontes an der Basis des Westfal B ist wiederholt berichtet worden (SCHUSTER 1963: Abb. 4 u. 5; 1968: Abb. 4, 5, 32 u. 33).

Im Westfal A ließ sich die weiträumige Verbreitung der durch die stratigraphische Auswertung neuerer Messungen im Ruhrgebiet erkannten Logbilder nicht nur in Logs nordwestdeutscher Westfal-A-Profile (Bohrungen Balderhaar Z1, Stolzenau Z1, Lehrte Z1), sondern auch in Bohrlochmessungen im Aachener Steinkohlenrevier wiedererkennen. Das ermöglichte eine Flözparallelisierung in den Oberen, Mittleren und Teilen der Unteren Bochumer Schichten zwischen den Kohlenrevieren Ruhr, Niederrhein und Aachen (SCHUSTER 1979). Als stratigraphische Leitmarken dieser Logkonnektierungen sind hervorzuheben:

- marine Horizonte Katharina und Wasserfall
- marin beeinflußter Horizont über den Flözen der Gretchen-Gruppe, über dem oberen Anna- und dem oberen Matthias-Flöz, über den Flözen Albert 4, Johann 1 und 2, Präsident, Luise und Karoline
- Gammastrahlungs-Maximum im Liegenden des unteren Anna-Flözes, der Hugo-Flöze, der Flözgruppen Röttgersbank und Sonnenschein.

Der Grenzbereich Westfal A/Namur C wird im Gamma-Ray-Log durch eine auffällige Gammastrahlungs-Anomalie an der Basis des marinen Sarnsbank-Horizontes besonders gekennzeichnet. Die Bedeutung dieser Anomalie als stratigraphische Leitmarke ist bereits früher herausgestellt worden (SCHU-STER 1962: Abb. 12, 1968: Abb. 31). Die veröffentlichte Konnektierung der Gamma-Ray-Logs aus den Bohrungen Staatsmijnen LXXVI im niederländischen Peelgebiet, Stenden 2 und Lamershof am Niederrhein sowie Münsterland 1 im nördlichen Vorland des Ruhrgebietes kann nunmehr durch Bohrungen im Bereich der Bergbau AG Lippe und Bergbau AG Westfalen ergänzt und nach Osten bis zu einer neueren Erdgasbohrung bei Hameln an der Weser fortgeführt werden. Mit diesen neuen Aufschlüssen hat sich das bisher nachgewiesene Verbreitungsgebiet dieser Gammastrahlungs-Anomalie wesentlich vergrößert.

Auf die zahlreichen marinen und marin beeinflußten Horizonte sowie die Gammastrahlungs-Anomalien in den Bohrlochmessungen des Namur C kann hier nicht eingegangen werden.

Ohne Zweifel können auch noch ältere Karbon-Stufen ebenso wie jüngere Formationen nach der beschriebenen geophysikalischen Methode mehr oder weniger detailliert unterteilt werden.

Nicht nur das Oberkarbon in den Kohlenrevieren Ruhr, Niederrhein, Aachen und Ibbenbüren sowie in den nordwestdeutschen Erdgasbohrungen und im Bereich der deutschen Nordsee kann – wie vorstehend nachgewiesen – nach Bohrlochmessungen feinstratigraphisch gegliedert werden, sondern auch die Vorkommen in den Niederlanden, in Belgien, Nordfrankreich und Mittelengland. Hierauf ist mit der Konnektierung von Messungen aus den Niederlanden und Mittelengland schon früher hingewiesen worden (SCHUSTER 1968: Abb. 31–35; vgl. auch VAN WIJHE & BLESS 1974).

3. Abschätzung der Steinkohlenmengen im nordwestdeutschen Oberkarbon-Becken

(G. STANCU-KRISTOFF, mit Beiträgen von H.-A. HEDEMANN)

Grundlage für die Durchführung der Bearbeitung waren die Logs der Tiefbohrungen der Erdgasexploration und ihre lithostratigraphische Einstufung nach der Methode der von A. SCHUSTERgeschilderten Logkonnektierung (vgl. Kap. 2). Bearbeitungsgebiet war Nordwestdeutschland nördlich des Münsterländer Abbruchs und soweit sich das Areal der bisherigen Oberkarbon-Bohraufschlüsse ausdehnte, das heißt bis etwa 40 km östlich der Weser beziehungsweise nordöstlich der Aller (vgl. Abb. 11), ohne Nordoldenburg, aber bis in das Gebiet der südlichen Nordsee nördlich der Emsmündung.

3.1. Zur Arbeitsmethodik

Grundlagen für die Abschätzung der Steinkohlenmengen im tieferen Untergrund bilden die bei der Exploration auf Kohlenwasserstoffe abgeteuften Bohrungen und die in ihnen durchgeführten Untersuchungen und Bohrlochmessungen sowie deren Interpretation. Da die Unterlagen für diese Schätzun-



Abb. 11 Verbreitung des Stefans in Nordwestdeutschland. Bohrungen mit Stefan sind eingetragen. Von den benannten Bohrungen sind in den Abbildungen 1–5 Logabschnitte dargestellt.



gen keinen Vergleich mit den für die Ermittlung von Steinkohlen-"Vorräten" oder - "Reserven" im Steinkohlenbergbau zu fordernden Berechnungsgrundlagen zulassen, sind diese Termini vermieden worden.

Aus den Daten der Bohrungen wurden unter möglichst weitgehender Berücksichtigung der bei der Logauswertung auftretenden Schwierigkeiten und Fehlerquellen die Steinkohlenmengen für die jüngeren Westfal-Stufen abgeschätzt. Alle Flöze oder Flözgruppen, für die eine Mächtigkeit über 0,20 m angenommen werden kann, wurden in die Mengenabschätzung einbezogen. Erwähnt sei, daß nur selten Flöze gekernt wurden, und die wahre (bankrechte) Mächtigkeit oft nur unsicher zu ermitteln ist. Da es sich bei den ausgewerteten Bohrungen überwiegend um Erdgasbohrungen handelt, fehlen meist die Spezialmessungen, die zur Bestimmung von Flözmächtigkeiten erforderlich sind. Der Maßstab der üblichen Bohrlochmessungen ist zudem meist zu klein für genauere Mächtigkeitsangaben. Aus diesem Grund können auch Bergemittel nicht immer ausgehalten werden. Andererseits kommen aufgrund der physikalischen Parameter der Kohle selbst geringmächtige Flöze erfahrungsgemäß in den Bohrlochmessungen zum Ausdruck.

Im Stefan kommen weder Kohlenflöze noch Flözstreifen, wenn auch gelegentlich Wurzelböden, vor. Die anderen Stufen des Oberkarbons sind flözführend angetroffen worden. Die nach Logs ausgewerteten Kohlenflöze wurden zur Erstellung von Mächtigkeitskarten herangezogen. Die Identifizierung von Einzelflözen ist nur in Ausnahmefällen möglich. Deshalb wurden für die Mengenabschätzungen "Flözbereiche" benutzt, in denen oft mehrere Flöze zusammengefaßt worden sind. Für die in den jeweiligen Bohrungen nicht angetroffenen Flözbereiche wurden diese aus benachbarten Bohrlöchern berücksichtigt – bei der geringen Aufschlußdichte oft über größere Entfernungen – und eingearbeitet. Rein spekulativ sind die Mächtigkeiten der Kohlenflöze östlich des Westemslandes im engeren Bereich der Ems-Senke sowie im Gebiet um Bremen. Dort wurde wegen der großen Teufe von keiner Bohrung das flözführende Karbon angetroffen.

Die Steinkohlenmengen sind volumetrisch nach Tiefenstufen (0-1000 m, 1000-2000 m, 2000-3000 m, 3000-4000 m unter Oberfläche) der Flöze berechnet worden. Die Flächen, die von zwei Tiefenlinien begrenzt sind, wurden planimetriert und mit dem Mittelwert aus benachbarten Isopachen multipliziert. Die so errechneten Kohlenmengen sind nach dem Grad der Aussagesicherheit in drei Kategorien unterteilt worden:

- wahrscheinliche Kohlenmengen: abgeschätzte Mengen (ohne Berücksichtigung der Tektonik), Kohlenflöze sind durch Bohrungen nachgewiesen
- vermutete Kohlenmengen: abgeschätzte Mengen, die sich in unmittelbarer Nähe oder zwischen zwei Zonen mit wahrscheinlichen Kohlenmengen befinden
- spekulative Kohlenmengen: durch Analogieschlüsse abgeschätzte Mengen; Kohlenflöze und deren Mächtigkeiten sind noch nicht durch Bohrungen nachgewiesen

3.2. Zur Flözkartierung und Schätzung der Kohlenmächtigkeit

Das Hauptziel der bearbeiteten Bohrungen war die Erdgasexploration, daher sind die tonigen Partien und die Kohlenflöze wenig gekernt worden. Unmittelbare Daten über Flöze und ihre Mächtigkeiten liegen deshalb selten vor. Bei der Feststellung und Mächtigkeitsauswertung der Kohlenflöze aus den Bohrlochmessungen ist es erforderlich, Logs mehrerer Meßarten zu vergleichen. Die Dichtemessungen (FDC, LDL, CDL) wurden erst in der zweiten Hälfte der 60er Jahre nach und nach eingeführt; daher sind sie bei den großenteils älteren Tiefbohrungen nur selten bis in den flözführenden Bereich des Westfals durchgeführt worden. So konnten vielfach nur die Gamma-Ray-, Sonic- und Kalibermessungen (GRL, BHC, CAL) benutzt werden. Aus einem Kern/Logvergleich (Gamma Ray und Sonar), der im Rahmen des Forschungsprojekts speziell bearbeitet wurde, war folgendes zu erkennen:

- Im Gamma-Ray-Log heben sich bekanntlich die Sandsteinhorizonte von den Tonsteinpartien, die eine höhere Strahlung haben, gut ab; Kohlenflöze müssen theoretisch eine sehr niedrige Gammastrahlung, ähnlich den Sandsteinen, besitzen. Sie haben praktisch je nach ihrer Zusammensetzung (Tonstein- oder "Brandschiefer"gehalt) eine geringere als die Tonsteinserien, aber ± stärkere Gammastrahlung als die Sandhorizonte.
- Im Soniclog (Schallgeschwindigkeit), welches früher bei der Abschätzung der Flözmächtigkeiten am häufigsten verwendet wurde, treten die Kohlenflöze durch die längere Schallaufzeit der elastischen Kohlen kräftig hervor, die Mächtigkeit erscheint jedoch oft etwas übertrieben.
- Die Bedeutung der Dichtemessung (FDC, Densilog) ergibt sich durch den erheblichen Dichteunterschied zwischen Kohle und Nebengestein von >1 von selbst; ohne diese Messungen ist es in manchen Bohrungen kaum möglich, Flöze zu erkennen und deren Mächtigkeiten einigermaßen zuverlässig abzuschätzen; für moderne Auswertungen sind diese Messungen zu bevorzugen.
- Bekanntlich wird die wahre bankrechte Mächtigkeit einer Schicht, in unserem Falle eines Flözes, durch das Einfallen und die Bohrlochneigung (ggf. Teufenverlust zu beachten) unterschiedlich verändert; bei der allgemein geringen Anzahl der Kerne, von denen außerdem ein großer Anteil aus Sandsteinhorizonten mit Schrägschichtung stammen kann, sind in sehr vielen Bohrungen die wahren Einfallswerte kaum oder nur über Spezialmessungen zu ermitteln.

Aus diesem Grunde wurde die erbohrte Mächtigkeit der Flöze in Rechnung gestellt, die je nach Bohrung mit 5 – 13 % größer als die wahre Mächtigkeit sein kann. Die Abschätzung der Flözmächtigkeiten aus Bohrlochmessungen ist weiterhin vom Maßstab, in dem die Messung durchgeführt wurde, abhängig. Auch hier zeigten sich Schwierigkeiten, da der größte Maßstab, in dem Bohrlochmessungen in Nordwestdeutschland – abgesehen von Sonderfällen – aufgezeichnet sind, 1:200 ist. Dieser Maßstab ist zu klein, um eine genaue Mächtigkeitsabschätzung der Flöze zu erlauben, besonders wenn sie schmaler als 0,50 m sind. Bei dem verwendeten Maßstab ist die Ermittlung eventueller Bergemittel (Tonstein oder "Brandschiefer") innerhalb eines Flözes nur in Ausnahmefällen möglich. Außerdem ist sehr schwer einzuschätzen, inwieweit die ermittelten Flözmächtigkeiten durch Bohrloch-Auskesselung verfälscht sind. Durch Auskesselungen im Bereich von Wurzelböden können in den Logs bei Flözniveaus regelrecht Flöze vorgetäuscht werden.

Diese Punkte zeigen die Schwierigkeiten bei der Berechnung von Flözmächtigkeiten aus Bohrlochmessungen. Im Interesse einer wenigstens unge-

fähren Mengenermittlung wurden diese Unsicherheiten in Kauf genommen. Die daraus gewonnenen Zahlen sind dementsprechend zu bewerten.

Das Auftreten von Kohlenflözen in Tiefbohrungen kann jedoch – ungeachtet der schwierigen Mächtigkeitsbestimmung – im allgemeinen recht gut anhand der genannten Logs festgestellt werden, selbst dann, wenn aus irgendeinem Grund die Spülproben keine Kohlenbröckchen enthielten oder die Spülungsgasmessungen keine Gasanzeige aufwiesen.

Daher war es mit einiger Zuverlässigkeit möglich, auf der Grundlage der Bohrungsaufschlüsse und deren Logauswertung eine Übersichtskarte der Tiefenlage des obersten Kohlenflözes des Oberkarbons in Nordwestdeutschland zu erstellen. Diese Übersichtskarte (Abb. 12) stellt jedoch keine paläogeographische Karte dar, weil sie quer durch die Stratigraphie verläuft (vgl. Abb. 13 u. 14). Sie integriert ebenso das langsame Ausklingen der Steinkohlenablage-



Abb. 12 Tiefenplan des jeweils obersten Kohlenflözes des Oberkarbons in Nordwestdeutschland (Interpolation stratigraphisch unterschiedlicher Flöze ohne Berücksichtigung der Tektonik)

Fig. 12 Depth lines of the uppermost coal seams of Upper Carboniferous in NW-Germany. Stratigraphically different coal seams are interpolated without regard of tectonic structures. rung im höheren Westfal C und tiefen Westfal D wie die Subsidenz durch jüngere Oberkarbon-Sedimentation (z. B. Stefan, vgl. Abb. 11), postwestfälische Tektonik und die meso- oder känozoische Absenkung. Die Abbildung 12 verdeutlicht, warum bei den Kohlenmengenabschätzungen infolge des lokalen Mangels an Bohraufschlüssen mit Kohlenflözen das Gebiet der südlichen zentralen Ems-Senke und des östlichen Ostfrieslands besonders zurückhaltend bewertet werden mußten.

3.2.1. Flözbereiche des Westfal D

Das bis heute bekannte niedersächsische Westfal-D-Becken erstreckt sich ca. 130 km in West - Ost-Richtung, ist ca. 60 km breit und liegt im Südraum des Weser – Ems-Gebietes. Die westlichsten Bohraufschlüsse mit Westfal Dliegen im Westemsland (Emlichheim Nord Z3 u. a.), die östlichsten im Bereich der Erdgasfelder Rehden, Bahrenborstel und Uchte. Im Süden ist das Becken durch den Münsterländer Abbruch begrenzt, nach Norden ist seine Begrenzung im Oldenburger Gebiet durch Bohrungen ziemlich gut bekannt, in der Ems-Senke jedoch noch offen (vgl. Abb. 13). Die heute isoliert gelegenen Bohrungen Groothusen Z1, Wybelsum Z1 sowie eventuell Nordsee D1 deuten auf die ursprünglich weitere Verbreitung des Westfal Dhin (BLESSet al. 1977). Die zur Zeit größte bekannte Mächtigkeit des Westfal D beträgt 689m (Brg. Norddeutschland 8 bei Bentheim, BISEWSKI 1971), dort allerdings flözfrei. Die gesamte Schichtenfolge, einschließlich der Flözbereiche, läßt sich von der Emsmündung über das westliche Emsland und Ibbenbüren bis zum Erdgasfeld Rehden gut parallelisieren, eine Zusammenstellung von Einzelschnitten in dem in Kapitel 1 erwähnten Forschungsbericht hat das gezeigt. Für den flözfreien Bereich zeigen die Gamma-Ray-Profile der Abbildung 7 die stark von Sandsteinbänken durchsetzte Schichtenfolge. Nach den bisherigen Aufschlüssen scheinen im Westfal D Kohlenflöze nur im unteren Teil dieser Oberkarbon-Stufe - recht kleinregional und oft am Rande des heutigen Restbeckens - ausgebildet zu sein, wie Abbildung 13 zeigt. Die Aufschlüsse westlich Emden wurden nicht für die Mengenschätzung herangezogen.¹⁾

Die Schichtenfolge der Flözbereiche Mettingen/Itterbeck (Abb. 13a) ist 40 – 50 m mächtig und ist vom Westemsland bis Bentheim vorwiegend tonig ausgebildet. Nach Osten werden die tonigen Partien mehr und mehr durch Sandsteine und konglomeratische Sandsteine abgelöst. Flöz Mettingen

¹⁾ Die im folgenden genannten Flözmächtigkeiten im Westfal D und obersten Westfal C (bis Flöz Tristan) beschränken sich – im Unterschied zu dem Forschungsbericht (vgl. Kap. 1.), in dem auch die Angaben aus älterer Literatur für die Berechnungen verwertet wurden – auf Schätzungen aus neueren Bohrungen.

Abb. 13 Steinkohlenverbreitung und -mächtigkeit im Westfal D von Nordwestdeutschland; Flözbereich Franz/Flottwell. Indexkarten: Flözbereiche Mettingen/Itterbeck (a), Flözbereiche Alexander/Dickenberg (b). Umrahmt ist das erhalten gebliebene Westfal-D-Becken nach heutiger Kenntnis, das Restbecken westlich Emden wurde nicht zur Mengenabschätzung verwendet.

Fig. 13 Extent and thickness of hard coal of the Westphalian D in NW-Germany; seam group Franz – Flottwell. Index maps: sema groups Metingen – Itterbeck (a), Alexander – Dickenberg (b). The Westphalian D basin as preserved, according to present knowledge, has been framed; the rest of the basin west of Emden has not been used for estimation of amount of hard coal.



ist mit einer Mächtigkeit von 0,2–0,5 m nur in der Bohrung Groothusen Z1 bei Emden sowie im Osnabrücker Karbon angetroffen worden. Flöz Itterbeck, ca. 0,2–0,6 m mächtig, wurde außer in diesen Gebieten auch mehrfach im Westemsland sowie in einer Rehdener Bohrung erbohrt. Die Kohlenverbreitung wurde dennoch (vgl. Abb. 13a) vorerst konservativ angenommen. Das Flöz Itterbeck (SCHUSTER 1968) ist das oberste Leitflöz des Westfal D und besteht oft aus einem Haupt- und mehreren Nebenflözen oder Flözniveaus, getrennt durch 0,5–0,8 m Tonmittel.

Die Mächtigkeiten der Flözbereiche Franz/Flottwell werden vom Westemsland nach Osten zunehmend größer, sie schwanken zwischen 40 und 110 m (vgl. Abb. 13). Die Tonsteinserien, die im Westemsland überwiegen, nehmen in Richtung Osten ab und werden nach und nach durch Sandsteine und Konglomerate ersetzt. Flöz Franz (zwischen 0,2 und 0,5 m) besteht oft aus zwei Flözen, die durch 1,5 – 6 m Stigmarienschichten, Tonstein oder Sandstein getrennt sind. Das Hangende enthält 40 – 60 m Sandstein und Konglomerat mit 2–3 je 6–8 m mächtigen Tonsteinserien. Flöz Flottwell (zwischen 0,5 und 2,1 m) ist oft als Doppelflöz, einmal sogar als ein Paket aus sechs Flözstreifen angetroffen worden, das durch 0,2–1,0 m Tonstein geteilt ist. Das Hangende bilden 1–7 m Tonstein, darüber 20–30 m Konglomerat, konglomeratischer oder fein- bis mittelkörniger Sandstein. Der Flözbereich Franz/Flottwell ist nach Anzahl und Mächtigkeit der Kohlenflöze einer der wichtigsten Kohlenabschnitte des Westfal D, doch fehlt die Kohlenführung offenbar im Westemsland.

Lithologisch sind die Flözbereiche Alexander/Dickenberg (Abb. 13b) vorwiegend sandig (feinsandig bis konglomeratisch) und besitzen eine Gesamtmächtigkeit von 30 m im Westemsland bis 70 m im Osten des Westfal-D-Beckens. Flöz Alexander schwankt sehr in der Mächtigkeit (0,20–0,70 m) und wurde nur im Raum von Ibbenbüren und in der Bohrung Groothusen Z1 angetroffen. Im Hangenden ist die flözführende Tonsteinserie von einem 20 bis 25 m mächtigen, oft konglomeratischen Sandstein überlagert. Flöz Dickenberg, das nach BODE (1953) die Grenze Westfal D/C bildet, ist außer im Westemsland in fast allen Bohrungen vorhanden. Seine Mächtigkeit wechselt zwischen 0,25 und 0,60 m. Eine 2–5 m mächtige Tonsteinserie im Hangenden ist von 16–30 m Fein- bis Grobsandstein und Konglomeraten überlagert. Das Liegende des Flözes besteht aus einer 1–8 m mächtigen dunklen Tonsteinpartie.

3.2.2. Flözbereiche des Westfal C

Mehr als 150 Erdgasbohrungen haben bisher Teile des ziemlich einheitlich 800-850 m mächtigen Westfal C in Nordwestdeutschland bis in die Nordsee hinein erschlossen. Auch die Fazies ist im gesamten Gebiet recht gleichförmig: eine mehr oder weniger zyklische Wiederholung von Tonpartien (mit marinen bzw. marin beeinflußten Horizonten) und Sandsteinserien, die gute Marker in den Logs bilden. Die Flözbereiche lassen sich daher in allen Bohrungen konnektieren, obwohl die Kohlenflöze selbst auf manchmal kurze Entfernung auskeilen oder durch Flözniveaus ersetzt werden können. Das höhere Westfal C – von der Basis des Westfal D (Flöz Dickenberg) bis zum Hangenden des Flözes Hagen – ist zwischen 370-400 m (Westemsland) und ca. 600 m mächtig. Die gesamte Schichtenfolge dieses Abschnitts wurde in Ibbenbüren, in den Bohrungen Osnabrück-Holte Z1 und Norddeutschland 8, sowie im Erdgasfeld Itterbeck durchteuft. Ein Vergleich der im Forschungs-



- Abb. 14 Steinkohlenverbreitung und -mächtigkeit im Westfal C von Nordwestdeutschland; Flözbereiche Hagen bis Baldur (zusammengefaßte Darstellung). Die Kohlenverbreitung wurde bis zur Nordgrenze des Münsterlandes und bis zur Westgrenze des Bundesgebietes abgeschätzt (Zeichenerklärung s. Abb. 13).
- Fig. 14 Extent and thickness of hard coal of the Westphalian C in NW-Germany; seam groups Hagen Baldur (combined presentation). The extent of hard coal has been estimated southwards to the northern margin of the Münsterland region, and westwards to the western frontier of the Federal Republic of Germany (for legend see fig. 13).

programm subtil konnektierten Bohrungslogs von der Nordsee bis zum Ruhrgebiet und bis östlich der Weser zeigte, daß in Nordwestdeutschland die Flözführung im Westfal C, vom Hangenden her gesehen, ab Flözbereich Odin, Nibelung oder mindestens Midgard allgemein verbreitet ist. Abbildung 14 im Vergleich mit den Kärtchen der Abbildung 15 zeigen entwicklungsmäßig den langsamen Rückgang von der wahrscheinlich nahezu flächenhaften Verbreitung der Torfmoore, der heutigen Kohlenflöze, in der Zeit des tieferen West-



fal C bis etwa Flöz Loki bis zur Auflösung in mehrere Einzelareale einer Torfbeziehungsweise Kohlenablagerung (Abb. 15a-c).

Die Flözbereiche Walküre/Volker (Gesamtkohlenmächtigkeitzwischen 0,25 und 1,2m) wurden nur in dem in Abbildung 15a gezeigten südlichen Weser-Ems-Gebiet kohlenführend angetroffen. Die Flöze keilen auf relativ kurze Distanz aus oder werden durch Flözniveaus ersetzt (SCHUSTER 1971 b: "Zwischenflöz-Gruppen I bis IV" im Raum Ibbenbüren = Walküre). Flöz Volker ist fast bis zur Weser (Gasfelder Rehden und Uchte) verbreitet, etwa 0,25 – 1,0 m mächtig und wird von 15 – 35 m Sandsteinen mit häufig konglomeratischer Basis überlagert; das Liegende besteht aus 5 – 20 m Tonstein.

Die Flözbereiche Undine/Tristan sind nur im weiteren Raum Ibbenbüren und westlich Emden angetroffen worden (Abb. 15b). Flöz Undine ist dabei in seiner Mächtigkeit und Zahl der Flözstreifen recht unterschiedlich: in Ibbenbüren meist ein Einzelflöz von 0,2 – 0,7 m, andernorts zwei bis fünf Flöze. Zwischen 0,2 und 0,4 m Mächtigkeit wechselt Flöz Tristan.

Die Schichtenfolge der Flözbereiche Siegfried/Rübezahlistrelativ einheitlich 70 – 80 m mächtig. Flözführung konnte nicht nur im Emsland, im Ibbenbürener Raum und fast bis zur Weser sowie in Ostfriesland festgestellt werden, sondern auch noch nordöstlich von Weser und Aller (Abb. 15c).



Abb. 15

Steinkohlenverbreitung und -mächtigkeit im höheren Westfal C von Nordwestdeutschland. Flözbereiche Walküre/Volker (a), Undine/Tristan (b), Siegfried/Rübezahl (c), Parsifal/Odin (d), Nibelung/ Midgard (e), Loki - Kobold/Iduna (f). Die Kohlenverbreitung wurde bis zur Nordgrenze des Münsterlandes und bis zur Westgrenze des Bundesgebietes abgeschätzt (Zeichenerklärung s. Abb. 13).

Fig. 15

Extent and thickness of hard coal of the upper Westphalian C in NW-Germany. Seam groups Walküre - Volker (a), Undine - Tristan (b), Siegfried - Rübezahl (c), Parsifal - Odin (d), Nibelung - Midgard (e), Loki - Kobold - Iduna (f). The extent of hard coal has been estimated southwards to the northern margin of the Münsterland region, and westwards to the western frontier of the Federal Republic of Germany (for legend see fig. 13).

In der 85–130 m mächtigen Schichtenfolge der Flözbereiche Parsifal/Odin befinden sich zwei bis fünf Kohlenflöze (zwischen insgesamt 0,3–1,8 m Kohle schwankend). Die Verteilung der Flözführung in den Bohrungen gibt erstmals (entwicklungsmäßig gesehen: "letztmals") Anlaß, eine Kohlenverbreitung fast durch den gesamten nordwestdeutschen Raum flächenhaft anzunehmen (zwischen Rehden und der Weser ist dieser stratigraphische Bereich wahrscheinlich weithin erodiert) wie in Abbildung 15d dargestellt. Ein weiträumiger Vergleich zeigte, daß die Sandsteinpartien dieser Bereiche gleichmäßig ausgebildet sind, während die Mächtigkeit der tonigen Partien in Richtung Süden zunehmen. Die Zahl der Kohlenflöze verändert sich lokal, wobei sie durch Flözniveaus oder Wurzelböden ersetzt werden.

Die Mächtigkeit der Flözbereiche Nibelung/Midgard wird vom Westemsland in Richtung Norden und Osten zunehmend größer; sie schwankt zwischen 50 und 95 m. Lithologisch sind diese Bereiche die unregelmäßigsten Schichtenfolgen des höheren Westfal C. Der Sandstein ist oft stark mit dünnen Tonsteinlagen durchsetzt und geht in einen "sandstreifigen Schieferton" über, der häufig auf den Schichtflächen Kohlenbeläge aufweist. Ein schneller Fazieswechsel läßt sich sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen beobachten.
H.-A. HEDEMANN et al.

Wie die Lithologie, ist auch die Flözführung sehr unterschiedlich. Die Kohlenflöze spalten rasch auf, keilen aus oder werden durch Flözniveaus ersetzt, sind aber weit verbreitet (Abb. 15e).

Zwischen 80m (Westemsland) und 170m (Bohrung Wietingsmoor Z2) wechseln die Gesamtmächtigkeiten der Flözbereiche Loki/Kobold/ Id un a. Wegen der Zahl der Flöze, die besonders im Bereich Loki-Kobold angetroffen werden, und wegen des bekannten Iduna-Sandsteins, einer der markantesten Oberkarbon-Sandsteine Nordwestdeutschlands, handelt es sich um einen Abschnitt des höheren Westfal C, der die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Mit gutem Grund darf eine flächenhafte Kohlenverbreitung in dieser Schichtenfolge in Nordwestdeutschland vermutet werden, wie in Abbildung 15f angenommen. Flözgruppe Loki-Kobold ist in fast sämtlichen Bohrungen, die bis in das mittlere Westfal C abgeteuft worden sind, mit ausgebildeten Kohlenflözen nachgewiesen. Der Loki-Kobold-Bereich ist unterschiedlich mächtig: im Westemsland 30-40m, in Ostfriesland, bei Osnabrück und im Weser-Aller-Gebiet 60-70m, nur in der Bohrung Wietingsmoor Z2 sind es 82m.

Lithologisch ist der Bereich ziemlich unregelmäßig ausgebildet: vorwiegend tonig, schluffig bis feinsandig, mit lokalen Einschaltungen von Sandsteinbänken zwischen 1 und 4 m; im hangendsten Teil sind die Tonsteinpartien gelegentlich durch 2 – 20 m mächtige Sandsteinfolgen ersetzt. Die fazielle Ausbildung der Tonsteine und im Zusammenhang damit die Ablagerung der 0,2 – 1,0 m mächtigen Flöze wechselt überall stark. Auf relativ kurze Entfernung keilen die Einzelflöze aus oder spalten sich in zwei oder drei Flöze auf, die durch wechselnd mächtige Tonsteinpartien oder Wurzelböden getrennt sind (vgl. SCHRÖDER 1975: Abb. 4).

Der Iduna-Sandstein, auf dessen Bedeutung SCHRÖDER anhand von zehn bis 1971 bekannten Bohrungen in Nordwestdeutschland hinwies, wurde bisher von 29 Tiefbohrungen erreicht. Daher konnten mehrere regionale Profilschnitte mit dem Top dieses Sandsteins als Bezugshorizont erstellt werden. Sie zeigen, daß seine Mächtigkeit und Lithologie im einzelnen manchmal auf relativ kurze Entfernung wechseln kann, daß die Sandsteinpartie als solche aber regelmäßig und weitverbreitet auftritt, daß seine größte Mächtigkeit mit 86 m in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (SCHUSTER 1971 a: Abb. 8) und in Wietingsmoor Z2 eine vergleichbare, eventuell aber scheinbare Mächtigkeit angetroffen wurde. Seine durchschnittliche Mächtigkeit wechselt aber zwischen 30 und 70 m und nimmt nach Norden generell ab (vgl. SCHRÖDER 1975; Abb. 1). Der gesamte Iduna-Bereich, die Flözgruppe einschließend, ist vorherrschend sandig, oft grobkörnig, teilweise konglomeratisch; wechselnd mächtige tonige Einschaltungen mit Kohlenflözen teilen die Iduna-Sandsteinfolge in zwei bis drei Sandsteinpartien. Der untere Teil des Bereichs wird von einer 1-20m mächtigen Tonsteinserie mit ein bis zwei Kohlenflözen (0,3-1,0 m) gebildet.

Über Mächtigkeit, Lithologie und Flözführung des tieferen Westfal C läßt sich bisher noch kein vollständiges Bild gewinnen, weil zwar 30 Tiefbohrungen in Nordwestdeutschland diese Schichtenfolge erreicht, aber nur neun durchörtert haben, und weil die regionale Verteilung sehr ungleich ist. Der stratigraphische Abschnitt zwischen Flöz Hagen und dem marinen Ägir-Horizont dürfte in Nordwestdeutschland zwischen 200 und 180 m mächtig sein. Er Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons...

ist vorwiegend tonig ausgebildet und flözreicher als das höhere Westfal C. In Abbildung 14 ist die weite Verbreitung der Kohlenführung in Nordwestdeutschland für diesen stratigraphischen Abschnitt ersichtlich, aber auch die noch bestehenden regionalen Aufschlußlücken. Die lokal tektonisch modifizierte Verbreitungsgrenze des Westfal C im Ems – Weser – Aller-Gebiet ist jedoch relativ gut bekannt (Bohrungen ohne Westfal C nicht eingetragen).

Ein großer Teil des mit der für "spekulative" Kohlenmengen verwendeten Tönung angelegten Gebietes dürfte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die gleichen Flözbereiche mit ausgebildeten Kohlenflözen enthalten wie die Areale in der südlichen Nordsee, in Ostfriesland, Oldenburg und am südlichen Beckenrand. Für die Mengenabschätzung wurde jedoch eine konservative Wertung vorgenommen. (Da diese Schätzung das Münsterland nicht mit enthält, endet die Tönung im Westen südlich Bentheim; bekanntlich geht die Kohlenführung jedoch ohne Unterbrechung bis in das Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlenrevier weiter). Die Sandsteinbänke zwischen den Flözgruppen dieses Schichtenabschnittes sind nicht in allen Bohrungen zu verfolgen.

Die Flözgruppe Hagen besteht aus ein bis zwei Kohlenflözen (0,2-1,3m) in einer 10-35m mächtigen Tonsteinserie (vgl. SCHUSTER 1971 a: 206, Abb. 2).

Die Flözbereiche Gudrun/Freya/Erda sind 60-110 mmächtig und oft zusammengeschart wie zum Beispiel in der Bohrung Norddeutschland 8 und wahrscheinlich im Weser-Aller-Gebiet. In den Bohrungen Osnabrück-Holte Z1 und Ibbenbüren UB 150 sind diese Bereiche vorwiegend sandig, flözleer oder schwach flözführend angetroffen worden. Diese Sandsteinlagen werden sowohl nach Osten wie nach Westen durch Tonsteinlagen ersetzt. Auch in der südlichen Nordsee sind die entsprechenden Bereiche auffallend reich an tonigen Serien mit geringmächtigen sandigen Einschaltungen und fünf bis acht Kohlenflözen von 0,2-1,4 m, meist über 0,5 m Mächtigkeit.

|FlözgruppeDonaristeineetwa20-30mmächtigeTonsteinseriemitein bis drei Kohlenflözen und einem an der Basis grobkörnigen 1-20mmächtigen Sandstein im Hangenden (vgl. SCHUSTER 1971 a: Abb. 4). Diese Kohlenflöze zwischen 0,2 und 1,4 m, meist über 0,5 mmächtig, wurden in allen Bohrungen, die diesen stratigraphischen Bereich erreicht haben, angetroffen.

Die Flözgruppe Chriemhilt besteht aus zwei Kohlenflözen (0,3-1,3m) mit einer 2-7m mächtigen Tonsteinzwischenlage und einem überlagernden hellgrauen Fein- bis Mittelsandstein.

Flöz Baldur (etwa 0,3–1,4 m) liegt in einer 10–50 m mächtigen dunkelgrauen Tonserie und wechselnd mächtigen Feinsandeinschaltungen, sowohl in der südlichen Nordsee wie in Oldenburg und im Wesergebiet. Dabei schwankt die Sandsteinmächtigkeit sehr stark von 1–30 m. Die Westfal C/B-Grenze im Liegenden des Ägir-Horizontes wurde in Nordwestdeutschland einige Male durchteuft, sowohl in der südlichen Nordsee wie im Westemsland, in Oldenburg und im Weser – Aller-Gebiet. Das Flöz Ägir wurde dabei nur in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 schwach ausgebildet angetroffen (SCHU-STER 1971 a).

H.-A. HEDEMANN et al.

3.2.3. Flözführung des Westfal B

Von den 18 Erdgas-Explorationsbohrungen, die bisher in Nordwestdeutschland das Westfal B erreicht haben, befinden sich die meisten im Westemsland und im Weser – Aller-Raum. Es standen kaum vollständige Profile zum direkten Vergleich zur Verfügung.

Sorgfältige Korrelationen zwischen diesen Bohrungen bestätigten, daß in Nordwestdeutschland die gleichen deutlichen Unterschiede zwischen dem oberen (Horster Schichten) und unteren Westfal B (Essener Schichten) wie im Rhein – Ruhr-Gebiet festzustellen sind. Im oberen Westfal B herrscht die sandige Fazies vor, besonders im höheren Bereich, der untere ist dagegen toniger und flözreicher. Das untere Westfal B ist vorwiegend tonig entwickelt; die Zahl der Flöze ist geringer, manche sind nur lokal entwickelt.

Die Mächtigkeit des gesamten Westfal B in Nordwestdeutschland beträgt nach den erneuten Bohrungskonnektierungen bis in den Raum der südlichen Nordsee hinein zwischen 800 und 850 m. Damit bestätigen sich die früheren Schlußfolgerungen (THIADENS 1963; HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1966, 1971), daß sich in dieser Stufe kaum Mächtigkeitsänderungen von den Steinkohlenrevieren nach Norden einstellen. Aus den Bohrungen Balderhaar Z1 und Ibbenbüren UB 150 wurde ein Westfal-B-Profil kombiniert, das 840 m mächtig ist und 38 Kohlenflöze enthält. Diese sind zusammen 23,3 m mächtig, von denen:

20 Flöze zwischen 0,20 und 0,50 m, 13 Flöze zwischen 0,50 und 1,00 m, 5 Flöze mächtiger als 1,00 m sind, maximal 1,65 m erreichen.

Das bedeutet einen Anteil der Flöze an der erbohrten Mächtigkeit von 2,77 %. Im nördlichen Rhein – Ruhr-Gebiet ist demgegenüber nach zwei neuen Kohlen-Explorationsbohrungen der Anteil der Flöze im Westfal B größer als 4,70 %.

Aus der Konnektierung aller nordwestdeutschen Westfal-B-Bohrungen ist zu entnehmen, daß die Flözführung ähnlich der des Ruhrgebietes ist, die Zahl und Mächtigkeit der Flöze aber nach Norden abnimmt. In dieser Beziehung konnte durch die Aufschlußtätigkeit der letzten zwölf Jahre die Zahlen und Schlußfolgerungen von HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER (1971) wesentlich ergänzt werden.

3.2.4. Flözführung des Westfal A und des Namurs

Westfal A ist im nordwestdeutschen Raum bisher nur an wenigen Stellen erschlossen worden, seine Ausbildung und Flözführung daher nur lückenhaft bekannt. Die Mächtigkeit scheint in Nordwestdeutschland etwa gleich zu bleiben mit der in der Bohrung Münsterland 1 (HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1966) erbohrten. Der Gesamtanteil an Kohlenflözen scheint aber nach Norden geringer zu werden. In der Bohrung Münsterland 1 wurde vom Flöz Katharina bis zur Wasserfall-Gruppe eine 436 m mächtige Schichtenfolge mit 51 Kohlenflözen, deren gesamte Mächtigkeit 22,00 m beträgt, erbohrt, was einem Kohlenanteil von 5,04 % entspricht. Demgegenüber ist in der Bohrung Balderhaar Z1 dieselbe Schichtenfolge 385 m mächtig mit 20 Kohlenflözen von insgesamt 11,05 m angetroffen. Der Kohlenanteil an der erbohrten Mächtigkeit beträgt in diesem Fall 2,87 %. Die Bohrung Münsterland 1 zeigt bekanntlich den gleichen Flözreichtum wie das Westfal A des Ruhrkarbons. Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons...

Angesichts der nur sporadischen Aufschlüsse können für Nordwestdeutschland noch keine zahlenmäßig definierbaren Schlußfolgerungen gezogen werden. Es ist durch die Steinkohlen-Explorationsbohrungen im nördlichen Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier während der letzten Jahre bekanntgeworden, daß die Flözführung des Westfal A nach Nordwesten deutlich abnimmt (FIEBIG & PALM & PIEPER 1983). Aufschlüsse bis weit östlich der Weser zeigten, daß die Flözführung im oberen Westfal A korrelierbar vorhanden ist (u. a. Brg. Stolzenau Z1; SCHUSTER 1968). Daher dürfte sich die ausgesprochene Flözarmut des Westfal A, von der SCHMIDT & FRANKE (1977) in Nordmecklenburg berichteten, erst weiter im Nordosten in der rund 300km-Distanz zwischen Hannover und Stralsund nach und nach einstellen.

Infolge der großen Versenkungstiefe im permisch-mesozoischen Beckenzentrum ist das Namur bisher nur in der Namur-Senke im südlichen Nordwestdeutschland erbohrt worden (vgl. FABIAN 1956; HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1966, 1971; WOLBURG 1970). Nur wenige Bohrungen sind in den letzten Jahren hinzugekommen und haben das bereits Bekannte bestätigt: Die trogähnliche Namur-Senke erstreckt sich mit deutlich geringeren Mächtigkeiten weiter nach Nordosten, die Flözführung des Namur C bleibt bis weit jenseits der Weser erhalten, scheint aber ärmer zu werden. Die ersten Flöze zeigen sich möglicherweise noch lokal - bereits im Namur B. Dies ist auch aus Mecklenburg bekannt (SCHMIDT & FRANKE 1977), wo Namur C bis 1977 nicht angetroffen wurde und das Namur-B-Profil der Bohrung Parchim 1 bisher noch nicht publiziert worden ist. Letzteres gilt auch für das Namur der Tiefbohrung Tjuchem 1 bei Groningen. Kohlenführung im Namur wird erst wieder aus der mittleren Nordsee berichtet (HEDEMANN 1980). Schlußfolgerungen für eine mögliche Namur-Kohlenführung in sehr großer Tiefe unter dem nordwestdeutschen Becken sind somit kaum zu ziehen. In der Abbildung 16 sind in einem schematischen Faziesprofil die derzeitigen Kenntnisse für den Südteil. die eigentliche Namur-Senke, zusammengestellt worden.

3.3. Schätzung der Steinkohlenmengen

Aus den zur Verfügung stehenden Bohrungsdaten und unter Berücksichtigung der angesprochenen Fehlermöglichkeiten wurden für das Westfal D und C Steinkohlenmengen im Untergrund des niedersächsischen Anteils des nordwestdeutschen Beckens abgeschätzt, für Westfal B ist nur eine grob spekulative Annahme möglich, Westfal A und Namur C müssen außer Betracht bleiben.

Für die Mengenabschätzungen waren die aus den Bohrlochmessungen ermittelten Flözmächtigkeiten Grundlage, deren Fehlergrenzen, wie zuvor dargelegt, nur schwer festzustellen sind. Allgemein wurde – besonders wenn das Soniclog die einzige Grundlage war – nach unten abrundend ausgewertet. Jedoch sind Mächtigkeitsfehler von \pm 20 oder 30% trotz aller Sorgfalt nicht auszuschließen. Aber diese Fehlermöglichkeit konnte in Kauf genommen werden, weil sie keine allein ausschlaggebende Rolle als Rechnungsfaktor spielt. Hier wirkt sich vielmehr die Fläche stärker aus, und bei deren Ermittlung mußte in großer Tiefe zwischen den Resultaten von Bohrlöchern mit 0,1 – 0,2 m Durchmesser in oftmals 30 – 40 km Abstand (vgl. Abb. 13 – 15) interpoliert werden. Auf dieser Basis war auf die Verbreitung von Kohlenflözen, deren oft rasches Auskeilen oder plötzliches Einsetzen wohlbekannt ist, in manchmal



Abb. 16 Schematischer Faziesschnitt vom Niederrhein bis zum Hannoverschen Wendland längs der Namur-Senke

>100 km² zu schließen. Für die berechnete Einzelfläche können sich bei den gegebenen Voraussetzungen Maximalmengen ergeben haben. Aber große Flächen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls Kohlenflöze im Untergrund enthalten, konnten mangels Aufschlüssen noch gar nicht in die Betrachtung einbezogen werden oder wurden eine Kategorie tiefer eingestuft. Daher sind alle folgenden Mengenangaben als das zu betrachten, was sie nur sein können und wollen: ein erster Versuch, Zahlenvorstellungen über den Rohstoff Kohle im Untergrund Nordwestdeutschlands zu gewinnen.

Die nach Bohrlochmessungen ausgewerteten Flöze dienten zur Erstellung von Mächtigkeitskarten der Kohle, für die die Abbildungen 13 – 15 Beispiele geben. Für die jeweils nicht erbohrten Flözbereiche sind die Kohlenmächtigkeiten von Nachbarbohrungen herangezogen worden. Östlich des Westemslandes im engeren Bereich der tief abgesenkten Ems-Senke und um Bremen hat keine Bohrung flözführende Schichtenfolgen des Westfals erreicht. Hier sind die Mächtigkeiten der Kohlenflöze rein spekulativ. Die Steinkohlenmengen sind volumetrisch berechnet worden, nach Flözen oder Flözbereichen und deren Tiefenstufen unterteilt. Die Flächen, die von zwei Isopachen oder zwei Tiefenlinien begrenzt sind, wurden planimetriert und mit dem Mittel aus



Fig. 16 Schematic facies section from the Lower Rhine area to the Hannover Wendland, along the Namurian depression

den benachbarten Isopachen multipliziert. Die so errechneten Kohlenmengen sind nach dem Grad der Aussagesicherheit, der seinerseits von der Menge der zur Verfügung stehenden Daten bestimmt wird, in drei Kategorien unterteilt worden (s. S. 63).

Wie schon erwähnt, ist das Westfal D bisher nur im Westemsland, in den Ibbenbürener und Bockradener Bohrungen sowie im Gebiet nordöstlich Osnabrück und im Raum Rehden flözführend nachgewiesen (vgl. Abb. 13), die Flözführung bei Emden blieb außer Betracht. Die geschätzten Steinkohlenmengen betragen insgesamt 5,0 Mrd. m³. Davon sind 2,1 Mrd. m³ wahrscheinliche Mengen, 1,0 Mrd. m³ vermutete Mengen und 1,9 Mrd. m³ spekulative Mengen.

Etwa die Hälfte von diesen Steinkohlenmengen liegen in Teufen von mehr als 2000 m, 0,5 Mrd. m³ von den vermuteten und spekulativen Mengen sogar unterhalb 4000 m Teufe (vgl. dazu Abb. 12).

Für das gesamte Westfal C wurden ca. 170 Mrd. m³ wahrscheinliche, vermutete und spekulative Steinkohlenmengen geschätzt, 90 % davon in Teufen von mehr als 2 000 m, 66 % sogar unterhalb 4 000 m (vgl. Abb. 12). Diese Steinkoh-

NE

H.-A. HEDEMANN et al.

lenmengen des Westfal C wurden für die in den Abbildungen 14 und 15 kenntlich gemachte 17726 km² große Fläche abgeschätzt. Über die gesamte Fläche integriert bedeutet das für die ca. 800 m mächtige Schichtenfolge des Westfal C eine addierte Gesamtmächtigkeit sämtlicher Kohlenflöze von 9,5 m und damit einen Flözanteil von 1,19 % an der Westfal-C-Mächtigkeit. Die Bohrungen Norddeutschland 8, Itterbeck-Halle Z5 und Z6, die fast das gesamte Westfal C durchörtert haben, zeigen im Vergleich damit einen Flözanteil von 1,17 – 1,24 % an der erbohrten Westfal-C-Mächtigkeit. Demnach dürfte die Schätzung den tatsächlichen Verhältnissen nahekommen.

Für die stratigraphisch und infolge ihrer Teufenlage noch differenziert abschätzbaren Westfal-Stufen D und C können ca. 67,8 Mrd. m³ Steinkohle gut begründet ("wahrscheinlich" und "vermutet") angenommen werden. Die bis heute bekannten geologischen Verhältnisse im Oberkarbon-Molassebecken lassen die den "spekulativen" Mengen zugrunde liegenden Annahmen als nicht abwegig erscheinen, wie die Abbildungen 13 – 15 zeigen. Nimmt man diese Mengen dazu, so ergeben sich maximal insgesamt ca. 175 Mrd. m³ Steinkohle für Westfal D und C im niedersächsischen Anteil des nordwestdeutschen Oberkarbon-Beckens bei vorsichtiger Abgrenzung gegen noch nicht explorierte Gebiete, davon nur 2,5 Mrd. m³ in der südlichen Nordsee ("wahrscheinliche" Steinkohlenmengen des unteren Westfal C im Bereich der Bohrungen Nordsee A1 und E1; "vermutete" und "spekulative" Mengen wurden hier nicht berücksichtigt; vgl. Abb. 14).

Eine Zusammenstellung der ausplanimetrierten Einzelflächen nach Tiefenstufen und geschätzten Kohlenmengen ist im Rahmen des in Kapitel 1 genannten Forschungsvorhabens durchgeführt worden.

Die wenigen Daten, die über das Westfal B bisher zur Verfügung stehen, reichen nicht aus, Steinkohlenmengen volumetrisch abzuschätzen. Einem synthetischen Schnitt, der aus Bohraufschlüssen kombiniert wurde, ist allerdings zu entnehmen, daß eine weitverbreitete Flözführung vorliegt, und daß der Anteil der Flöze an der jeweils erbohrten Mächtigkeit 2,77 % betragen könnte.

Es würde eine beim jetzigen Stand der Kenntnisse noch unzulässige Hochrechnung darstellen, diese spekulativen Mengen auf die für das Westfal C in Ansatz gebrachte Fläche von rund 17 700 km² zu multiplizieren. Für eine Karte der Verbreitung des kompletten Westfal B und insbesondere seiner Flözführung reichen nämlich die Aufschlüsse noch nicht aus.

Wenn auch für Westfal A und Namur C nicht einmal eine solche spekulative Hochrechnung möglich ist, so besteht doch kein Anlaß, mit einem gänzlichen Fehlen von Flözen in diesen Unterstufen des Oberkarbons im tiefen Untergrund Nordwestdeutschlands zu rechnen. Nach dem heutigen Stand der Kenntnis kann aber noch nicht abgesehen werden, ob diese Steinkohlenmengen noch einmal zusammen die gleiche Menge wie im Westfal B erreichen können.

4. Der Aufbau des nordwestdeutschen Steinkohlenbeckens des Oberkarbons (H.-A. HEDEMANN, J. LÖSCH, A. SCHUSTER und G. STANCU-KRISTOFF)

Das Steinkohlengebirge des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks ist in eingehenden Beschreibungen und Schichtenschnitten (z. B. FIEBIG 1969, HAHNE & SCHLOMS 1967, JOSTEN & R. TEICHMÜLLER 1971) mehrfach geschildert worden. Dieser Beitrag beschränkt sich daher im wesentlichen auf Nordwestdeutschland nördlich und nordöstlich des Münsterlandes und stellt die Kohlenablagerungen in den Vordergrund.

Nach bisheriger Kenntnis beginnen die Steinkohlenablagerungen in Norddeutschland im Namur. Erste Vorläufer wurden in einigen Tiefbohrungen im Namur Binnerhalb der vor den variscischen Faltenketten Westsüdwest - Ostnordost streichenden Vortiefensenken festgestellt. Der Mächtigkeit nach sind sie ohne Bedeutung, vielleicht von nur lokaler Verbreitung, wie es für die Flöze im Namur des Südrandes der Inde-Mulde bei Aachen gilt (vgl. HEDE-MANN & R. TEICHMÜLLER 1971). Dennoch ist es auffällig, daß auch aus Mecklenburg von Dezimeter mächtigen Flözchen im Namur B (unteres Kinderscoutian) berichtet wird (SCHMIDT & FRANKE 1977). Die beginnende "Molasse"-Sedimentation drückt sich eben in der Torfmoorbildung aus. Mit subregionaler und lokaler Verbreitung geringmächtiger Kohlenflöze im Namur B kann daher im Becken vor den variscischen Faltenketten gerechnet werden. Eine Verbindung mit der Kohlenführung des Visés und Namurs in der schottischen Faz ies des mittleren Nordseegebietes (HEDEMANN 1980) ist nicht zulässig. Für eine Vorstellung über Rohstoffe in großen Tiefen Nordwestdeutschlands können diese Vorkommen keine Rolle spielen, stellen jedoch gewiß ein Erdgasmuttergestein geringer Bedeutung dar, vielleicht ein ehemaliges.

Die regelmäßige Flözführung, das "produktive Karbon", beginnt im Rhein-Ruhr-Gebiet, im Münsterland und im Weser/Südhannover-Gebiet mit dem N am ur C. Nach wie vor ist zu vermuten, daß die eigentliche Vortiefenbildung - große Namur-A und -B-Mächtigkeit in der Namur-Senke nördlich vor dem Rheinischen Schiefergebirge – zu dieser Zeit im wesentlichen beendet war (HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1971). Die Umrisse dieser Namur-Senke mit mehr als 3000m Namur-Gesamtmächtigkeit sind gegenüber den früheren Vorstellungen etwas zu modifizieren, worauf CLAUSEN & JÖDICKE & R. TEICH-MÜLLER (1982) aufgrund der neuen Erkenntnisse über das Lippstädter Gewölbe bereits hingewiesen haben; sie bleiben im Grundzug aber erhalten, und die Verbreitung des Namur C in Nordwestdeutschland erfährt dadurch keine Einschränkung.

Neue wesentliche Aufschlüsse, die Namur C erfaßten, sind in den vergangenen zwölf Jahren nicht veröffentlicht worden. Aus ZIEGLERs Atlas (1982) ist – vermutlich aufgrund der Bohrung Tjuchem 1 bei Groningen – ersichtlich, daß die Gesamtmächtigkeit des Namurs auch dort 3 000 m beträgt, allerdings ohne Kohlenführung und nicht in der stark klastischen Molasse-, sondern in toniger Fazies. Die Ostausdehnung der Flözführung in der Namur-Senke des variscischen Vorlandes wurde durch Bohrungen erneut bestätigt, so daß das Faziesprofil im Streichen der Schichten (Abb. 16) auf sicheren Unterlagen beruht. Den früher berichteten Schlußfolgerungen (HEDEMANN & R. TEICH-MÜLLER 1971, HEDEMANN et al. 1972) ist daher nur das Fehlen von Namur C in Mecklenburg und Rügen (SCHMIDT & FRANKE 1977) hinzuzufügen.

Die Mächtigkeit des Namur C im mittleren und östlichen Ruhrgebiet und im Münsterland beträgt etwa 950 – 800 m (vgl. Abb. 16), die Zahl der marinen oder marin beeinflußten Horizonte ist vergleichsweise größer als in den älteren Karbon-Stufen. Der Kohlenanteil des Namur C beträgt durchschnittlich 1 % (von unten nach oben zunehmend), läßt aber nach Osten wohl etwas nach. Das Auskeilen der Kohlenflöze nach Westen hat R. TEICHMÜLLER (1973: Abb. 1) gezeigt. Für eine Abschätzung von Kohlenmengen in großen Teufen Nordwestdeutschlands mußte das Namur C mangels flächenhafter Verteilung von Bohraufschlüssen außer Betracht bleiben. Das Namur C gehört zu den Erdgas-Muttergesteinsfolgen.

Für die Oberkarbon-Molassesedimentation ist es typisch – beginnend im wesentlichen mit dem Namur C -, daß auffallend weitflächige Sandschüttungen die Schichtenfolge gliedern. Daß diesen ein gewisser leitender lithostratigraphischer Charakter nicht abzusprechen ist, darüber besteht seit zwei Jahrzehnten Einigkeit. Diese Tatsache bestätigte sich gerade bei der Konnektierung nach Bohrlochmessungen, wenn auch das stratigraphische Gerippe dieser Methode auf den Charakteristika marin beeinflußter Horizonte beruht, worauf A. SCHUSTER in Kapitel 2. hingewiesen hat. Eine Reihe von Faziesprofilen haben die durchgehende Verbreitung der charakteristischen Sandschüttungen in sämtlichen Unterstufen des Westfals gezeigt. Bei ziemlich niedrigem morphologischen Relief schnitten sich sandgefüllte Rinnen und lokale Deltafächer unterschiedlich tief in früher abgelagerte Sedimente – Torfmoore wie Tonpartien und sandige Ablagerungen - ein. Durch den so verursachten unregelmäßigen und häufigen Ausfall von Schichtenabschnitten in der Grö-Benordnung von Metern bis Dekametern oder gelegentlich kontinuierliche Sedimentation entstehen wahrscheinlich die Schwierigkeiten im Logvergleich. SCHUSTER (1968) hat auf diese Erosionslücken unter Sandsteinen hingewiesen, R. TEICHMULLER (1973) zeigte die Bedeutung der Deltaschüttungen im Westfal D.

Das Westfal A - die kohlenreichste Unterstufe des Westfals im Ruhrkarbon - wurde in Nordwestdeutschland sehr tief abgesenkt und liegt unter mächtigem jüngeren Oberkarbon und Perm sowie Meso- und Känozoikum. Daher kann ein auch nur teilweise vollständiger Aufschluß des Westfal A nördlich des Münsterlandes und der Osnabrücker Karbon-Schollen in nächster Zukunft nicht erwartet werden. Für ein vollständiges Bild des Westfal A in den nördlichen Bereichen liegen nur unzureichende Profilabschnitte vor, diese allerdings sowohl im Emsmündungsgebiet wie auch im Raum Hannover. Die Entwicklung eines oder mehrerer regionaler Standardprofile war noch nicht möglich; dafür muß bis auf weiteres die Bohrung Münsterland 1 mit ihrem kompletten Westfal-A-Profil. das sich vorzüglich mit den Schichtenschnitten des Ruhrgebietes parallelisieren läßt, als beste Vergleichs- und Korrelationsmöglichkeit dienen (HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1966). SCHUSTER (1963, 1968) konnte die Münsterland-1-Bohrlochmessungen weithin konnektieren. Neuere Aufschlüsse in den Niederlanden wurden noch nicht veröffentlicht. doch hält nach Tiefbohrungen in der östlichen Emsmündung die Kohlenführung bis zur Nordseeküste an. Allerdings zeigte die Bohrung Dwingelo 2 im südlichen Friesland eine deutliche Flözverarmung im Westfal A, während die Flözhäufigkeit bei Amsterdam (Bohrung Oostzaan 1) etwas größer und nicht unähnlich der im Westemsland und im Achterhoek (Winterswijk) ist (THIA-DENS 1963). Eine nach Nordwesten nördlich des Ruhrgebietes nachlassende Flözführung (FIEBIG & PALM & PIEPER 1983) paßt zu diesem noch weitgehend unvollständigen Bild. Östlich der Weser liegt zwar noch Flözführung in der Bohrung Lehrte Z1 vor, aber reduzierte Flözhäufigkeit. Etwa 300 km weiter nordöstlich in Nordmecklenburg ist nach SCHMIDT & FRANKE (1977) das Westfal A flözarm, nur noch 500-600m mächtig und liegt mit Kohlenschmitzen

führenden Sandsteinpartien diskordant über Namur B. Im Münsterland und in den mittleren Niederlanden bewegt sich die Westfal-A-Gesamtmächtigkeit um 800 – 900 m, im Ruhrgebiet erreicht sie bekanntlich 1 100 m. Trotz des noch unbefriedigenden Standes der Kenntnis dieser Westfal-Stufe scheinen die "leitenden" Sandsteinschüttungen (z. B. Finefrau- und Präsident-Sandstein) ebenso wie marine und marin beeinflußte Horizonte in Nordwestdeutschland weithin parallelisierbar zu sein. Eine Mengenschätzung für den Rohstoff Kohle im Untergrund Norddeutschland ist für diese Westfal-Stufe noch nicht möglich, ihre Bedeutung als Kohlenwasserstoffmuttergesteinsfolge liegt auf der Hand.

Im Westfal B ist bei nahezu gleichbleibender Gesamtmächtigkeit von 800-850 m bis zur Nordseeküste die typische Zweiteilung in eine untere. stärker tonige Unterstufe (Essener Schichten) und eine obere (Horster Schichten) mit häufigen Sandsteineinschaltungen, von denen einige regional durchzuhalten scheinen (z. B. Sandstein über Flöz P), in ganz Nordwestdeutschland ebenso wie im Ruhrgebiet gegeben. Soviel läßt sich heute trotz der bisher nur etwa 25 Tiefbohrungen, die Westfal B erreicht haben, bereits sagen, denn die Aufschlüsse sind regional einigermaßen gut verteilt, nur im Raum Oldenburg noch allzu spärlich. Mit Abbildung 10 wird als Beispiel eine Fernkonnektierung in West - Ost-Richtung gegeben, andere wurden bis in die Emsmündung durchgeführt und auf dieser Grundlage mehrere Schichtenschnitt-Übersichten erstellt. Es zeigte sich außer der Fazieszweiteilung, daß generell eine Flözführung bei starker Abnahme des durchschnittlichen Kohlenanteils an der Schichtenmächtigkeit vom Ruhrgebiet über das Münsterland und das Emsland bis in die südliche Nordsee erhalten bleibt. Allerdings weisen die Unteren und Mittleren Essener Schichten in Ostfriesland keine Kohlenführung auf, sondern es lassen sich nur Flözniveaus erkennen. Eine relative Flözarmut zeigten bereits die von THIADENS (1963) aus dem Raum Groningen publizierten Westfal-B-Profile, im Gegensatz zu dem Gebiet um Amsterdam. Zunächst muß offen bleiben, wo und wie sich die fast flözleere, wohl ca. 300 m mächtige Partie des unteren Westfals B erstreckt. Im oberen Teil dieser Stufe ist jedenfalls die Kohlenführung auch in der südlichen Nordsee noch vorhanden, während sie andererseits nordöstlich der Aller im oberen Westfal B deutlich verarmt, ohne daß irgendwo eine Gesamtmächtigkeitsverringerung erkennbar wäre. Es ist noch ungeklärt, wie dieses lückenhafte Bild zu einem maximal nur 210 m mächtigen Westfal B an der Mecklenburgischen Küste mit bis zu 14 Kohlenflözchen (max. 0,8-1,2m), die dort die konzentrierteste Kohlenführung im Westfal bilden, paßt, zumal dort der untere Teil der Schichtenfolge als sandiger beschrieben wird (SCHMIDT & FRANKE 1977). Mehr als eine ganz spekulative Betrachtung über die im Westfal B nördlich und nordöstlich des Münsterlandes im tiefen Untergrund vielleicht vorhandenen Kohlenmengen läßt sich mangels Tiefbohraufschlüssen noch nicht anstellen. Zweifellos hat das Westfal B Bedeutung als Kohlenwasserstoffmuttergestein.

Aus den vorangegangenen Kapiteln ergibt sich bereits die wesentlich bessere Kenntnis über das Westfal C in Nordwestdeutschland. Sandsteine des oberen Teils dieser Stufe sind Erdgasförderhorizonte in einigen Feldern. Der Aufschlußstand gestattete eine sehr weiträumige Logkonnektierung von der Nordsee zum Ruhrgebiet und vom Westemsland bis in den Raum Soltau mit sieben Profilschnitten und die Aufstellung von fünf Normalprofilen sowie darauf beruhende Entwürfe von Schichtenschnitten, Faziesprofilen und die Abschätzung von Kohlenmengen für einzelne Flözbereiche, die Teil des in Kapitel 1. erwähnten Forschungsberichtes sind. Daher wurde diese Stufe oben bereits ausführlich besprochen (vgl. Abb. 9, 14 u. 15). Hier soll nur das für den Aufbau und die Entwicklung des nordwestdeutschen Steinkohlenbeckens Wesentliche hervorgehoben werden.

Mit dem unteren Westfal C (Untere Dorstener Schichten) von ca. 180–200 m Mächtigkeit, im Ruhrgebiet bis ca. 240 m, wurde letztmalig eine vorwiegend tonige Westfal-Schichtenfolge sedimentiert. Für den Raum Osnabrück– Oldenburg gilt das für die Fazies mit Einschränkung, weil hier der Sandanteil – mindestens im oberen Teil – recht groß ist. Tiefgreifende Perm/Präperm-(+Prästefan?) -Erosion hat die Kohlenflöze des unteren Westfal C in Südoldenburg zu den obersten Kohlenflözen des Oberkarbons gemacht. Das Gebiet hebt sich in Abbildung 12 deutlich heraus, weil hier noch einmal die 4 000-m-Tiefenlinie auftritt, während die Kohlenflöze in der Umgebung bereits in große Tiefen versenkt sind. Auch in Abbildung 14 ist das Gebiet durch die Kartierung der Erosionsgrenze deutlich (erste Studien über die tektonischen Ursachen hat BOIGK 1978 vorgelegt). Die zuvor geschilderte, relativ dichte und häufige Flözführung ist weit verbreitet, abgesehen von den Gebieten mit starkem Sandanteil. Deshalb zeigt die Abbildung 14 auch das größte Areal mit Kohlenverbreitung unterschiedlicher Flöze beziehungsweise Flözbereiche.

Das höhere Westfal C, mit ca. 500 - 600 m wie im Ruhrgebiet auch in Nordwestdeutschland die mächtigere Unterstufe, ist stärker von Sandsteinbänken durchsetzt, in manchen Gebieten geradezu beherrscht davon. Der bekannteste Sandstein mit überregionaler Verbreitung ist der Iduna-Sandstein, mit dem die Serie einsetzt. Er war schon mehrfach Gegenstand spezieller Studien (z. B. SCHRÖDER 1975) und wurde oben eingehend behandelt. Mit der Abbildung 15 werden der Kohlenverbreitungskarte für das tiefere Westfal C (Abb. 14) die gleichen Karten für in sechs Stufen zusammengefaßte Flözbereiche des höheren Westfal C gegenübergestellt. Trotz der notwendigerweise starken Verkleinerung dieser Kärtchen, die Unterlagen für die Kohlenmengenschätzungen sind, ist ein Entwicklungsgang von den älteren Flözbereichen (Abb. 14f) zu den jüngsten (Abb. 14a) erkennbar: die Schrumpfung der Kohlenverbreitungsfläche. Bei der teilweise geringen Dichte der Bohraufschlüsse mag zwar an einzelnen Stellen auch der Zufall der Aufschlußgegebenheiten mitgespielt haben; nur mehrseitige Umrahmung durch flözführende Areale konnte zur Annahme ...spekulativer" Kohlenverbreitung im noch wenig explorierten tiefen Untergrund und damit zu flächenhafter Schraffur der betreffenden Gebiete berechtigen. Aber das Verschwinden einer Kohlenführung in weiten Gebieten um Südoldenburg ab den Flözbereichen Parsifal/Odin und in den jüngsten Flözbereichen auch östlich der Weser, sowie die Erhaltung der Kohlensedimentation bis zum Ende des Westfal C im Westemsland, im Raum Ibbenbüren/ Osnabrück und im Gebiet Rehden machen den Gang der Entwicklung im Oberkarbon-Molassebecken deutlich.

Die Gesamtmächtigkeit des Westfal C bleibt unbeeinflußt von vorhandener oder fehlender Kohlenführung – wie im Westfal B – über ganz Nordwestdeutschland hinweg einigermaßen gleich mit 800–850 m. Auch in Ostfriesland, für das BLESS et al. (1977) aus den vorliegenden Aufschlüssen zutreffend eine erschlossene Mächtigkeit von ca. 650 m angegeben haben, dürfte die vollständige Mächtigkeit, sofern sie irgendwo erhalten geblieben ist, noch ca. 750 m betragen. Nicht viel geringer als an der Nordseeküste ist die Westfal-C- Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons...

Mächtigkeit an der Ostseeküste in Nordmecklenburg, wo sie ca. 50 km nordöstlich Rostock (Bohrung Prerow 1) maximal 660 m beträgt, auf der Insel Rügen aber bis auf 360 – 240 m zurückgeht. SCHMIDT & FRANKE (1977) weisen ausdrücklich auf die zunehmende Sandführung nach Süden im Gebiet von Rügen und Mecklenburg hin. Das erscheint als weiteres Argument für eine vorwiegende Sedimentanlieferung aus den variscischen Faltungsgebieten. Für die von BLESS et al. (1977) zur Diskussion gestellte teilweise Schüttung vom Mittelholländischen Rücken (Texel – Ijsselmeer-Hoch) konnten in den Konnektierungen der Westemsland- und der Emsmündungsbohrungen noch keine Anhaltspunkte erkannt werden.

SCHMIDT & FRANKE (1977) berichten von einer geringen Kohlenführung im Westfal C Mecklenburgs, die aber offenbar bis in die höheren Schichten durchhält, während auf der Insel Rügen die Flözführung im tieferen Westfal C endet (HIRSCHMANN & HOTH & KLEBER 1975). Die Rotfärbung der Westfal-Schichten greift im Gebiet Mecklenburg – Rügen bis in den mittleren Teil des Westfal C, teilweise in den unteren Teil hinunter. Damit deutet sich eine gewisse Parallelität zu den Bohraufschlüssen im Raum nordöstlich der Aller an. Sicher ist es nicht abwegig, ein Durchhalten der Kohlenführung im Westfal C bei langsamer Verarmung nach Nordosten über die Elbe hinaus zu erwarten.

Das Westfal D ist in Nordwestdeutschland wegen seines Ausbeißens zu Tage und seiner jahrzehntelangen praktischen Bedeutung im Steinkohlenbergbau seit altersher eingehender geschildert worden. Bisher ist eine maximale Mächtigkeit im Südteil der Ems-Senke von rund 700 m erbohrt worden; es ist kaum anzunehmen, daß die ursprüngliche Gesamtmächtigkeit wesentlich größer gewesen ist. Sie könnte in der Tiefe unter der stefanischen Ems-Senke noch erhalten geblieben sein. Abbildung 13 zeigt die noch offene Nordbegrenzung des südlichen Westfal-D-Beckens im Weser-Ems-Gebiet, das eine Verbindung mit dem Restvorkommen westlich von Emden (TRUSHEIM 1959) gehabt haben muß. Weitere Restvorkommen des Westfal D können in der Tiefe des Norddeutschen Beckens und der südlichen Nordsee vorhanden sein. Die von A. SCHUSTER in Kapitel 2. angegebene Gliederung des Profils der Bohrung Sellien 3Z, unweit der Elbe, würde die rotbraun gefärbten Schichten unterhalb 5 289 m dem Westfal D zuweisen, dessen Vorkommen in Mecklenburg und Pommern bekannt ist. Die durch prästefanische, in weiten Gebieten außerdem durch tiefgreifende prä- und intrapermische Abtragung stark zurückgeschnittenen Westfal-D-Vorkommen sind Restbecken eines weiten postvariscischen Vorlandbeckens, das der Molassesedimentation angehörte. Mehrere solcher Westfal-D-Vorkommen in Mitteleuropa lassen die groben Umrisse des ehemaligen Gesamtbeckens noch erkennen (HEDEMANN 1983). In vielen dieser Vorkommen ist auch die zur Molassefazies gehörige Kohlenführung noch vorhanden, zum Beispiel in der südlichen Nordsee (D1), bei Emden, im Bereich der Insel Rügen und so weiter, sie klingt aber deutlich aus. Wenn in Abbildung 13 der im oberen Westfal C beginnende Schrumpfungsprozeß der Kohlenverbreitung anknüpfend an Abbildung 15 a sich fortzusetzen scheint, so ist doch zu beachten, daß die Westfal-D-Flöze auch durch Bohrungen westlich von Emden noch erschlossen worden sind. Die flächenhafte Verbreitung könnte ehemals größer gewesen sein. Andererseits ist ein Ausklingen der Erhaltung der Torfmoore in den Sedimentfolgen, was uns heute als "Kohlenverbreitung" erscheint, in zahlreichen lokalen und subregionalen Einzelbuchten des paralischen Westfal-D-Beckens plausibel, während gleichzeitig die Kohlenbildung in den intramontanen Westfal-D-Becken weiterging.

Die regionale Verbreitung von charakteristischen Sandschüttungen gilt auch für das sandreiche Westfal D. Abbildung 7 gibt davon ein Beispiel. Ein "leitender" Sandstein ist bereits der unterste, der Dickenberg-Sandstein; ob er dem Dornbusch-Sandstein des Gebietes Mecklenburg – Rügen parallelisiert werden darf, muß dahingestellt bleiben. Das nordwestdeutsche Westfal D ist in großen Teilen des Beckens durchgehend rotgefärbt, in anderen endet diese Färbung oberhalb des Flözbereiches Itterbeck.

Es ist hervorzuheben, daß ohne die Logkonnektierung eine praktikable Gliederung des Westfal D und eine erfolgreiche Parallelisierung der Aufschlüsse nicht möglich gewesen wäre. Die Auswertung der Bohrlochmessungen läßt zu, Faziesbereiche in den Restbecken auszuscheiden. Auf diese wurde in den vorangegangenen Kapiteln eingegangen. Zahlreiche Konnektierungen und Schichtenschnitte konnten als Teil des in Kapitel 1. erwähnten Forschungsberichtes erstellt werden. Die Bedeutung des Westfal D für den Rohstoff Kohle ist in Nordwestdeutschland durch seine relativ günstige Exposition bei mäßiger Verbreitung der Kohlenführung gegeben. Sandsteine des Westfal D können als Erdgasförderhorizonte dienen, nur die untere, maximal 300 m mächtige kohlenführende Schichtenfolge dieser Stufe kann als Muttergestein für Kohlenwasserstoffe angesprochen werden.

Das Stefan gehört zwar in Nordwestdeutschland und in der südlichen Nordsee nicht mehr zum Steinkohlengebirge im engeren Sinne, es ist nur noch zur Ausbildung von Wurzelböden gekommen. Die bis zu 600 m mächtige Schichtenfolge ist rötlich-buntfarbig und hat ihre Mächtigkeitszentren in der südlichen Nordsee sowie in der Ems-Senke im Raum des Gasfeldes Fehndorf. Das Stefan liegt im bisher durch Tiefbohrungen erschlossenen Gebiet mit einem mehr oder weniger charakteristischen Basissandstein stets diskordant über Westfal; nachweisbar sind tektonische Bewegungen vorangegangen, ein lokales Beispiel wurde von A. SCHUSTERbereits angeführt (s. S. 57). Es ist, wie erwähnt, denkbar, daß im Zentrum der Ems-Senke - vielleicht auch in der Unterelbe - Nordsee-Senke - ein kontinuierlicher Übergang Westfal/Stefan vorliegen könnte. In den bisher abgeteuften Bohrungen im südlichen Nordseebereich jedoch transgrediert das Stefan wie überall mit seinem Basissandstein über verschieden alte Westfal-Stufen. In ihrem großregionalen Schnitt vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee haben STANCU-KRISTOFF & STEHN (1984: Taf. 1) das deutlich gemacht.

Einzelheiten unterschiedlicher fazieller Entwicklung des Stefans – Gebiete stärker toniger oder sandiger Sedimentation, besonders "leitende" Sandsteinbänke – wurden durch die subtile Logkonnektierung herausgearbeitet ud in den vorgehenden Kapiteln beschrieben. Diese Methode zur stratigraphischen Gliederung konnte infolge der zahlreichen Aufschlüsse im Stefan besonders erfolgreich angewandt werden. Da dieselben, die Logvergleiche erschwerenden Erscheinungen wie im Westfal festzustellen sind, das heißt zum Beispiel tiefgreifende Erosion von Sandsteinen innerhalb toniger Komplexe, marin beeinflußte Horizonte und Wurzelböden auftreten, gehört das nordwestdeutsche Stefan noch dem gleichen Sedimentationstyp an wie das Molassebecken des Westfals. Es ist in Nordwestdeutschland im Gegensatz zu den intramontanen Stefan-Becken nur nicht mehr zu einer Erhaltung mächtiger Torfmoore und damit zu einer heute feststellbaren Kohlenverbreitung gekommen.

Schon früher wurde darauf hingewiesen (HEDEMANN et al. 1972), daß das Stefan bereits anderen tektonischen Leitlinien zu folgen scheint, wie seine vom Westfal-Becken völlig abweichenden Sedimentationszentren unterstreichen. Diese haben, ebenso wie die Becken des Perms und des Mesozoikums, beträchtliche Auswirkung auf die Tiefenlage der kohlenführenden Schichtenfolge gehabt. Auch das berechtigt dazu, das Stefan in diese Betrachtung aufzunehmen. Wenn laut Abbildung 12 die obersten Kohlenflöze im Raum Emsland-Ostfriesland-Westoldenburg erst in sehr großer Tiefe (mehr als 5000 m) angetroffen werden können, so liegt diese sehr große Versenkung an der Gestalt des Stefan-Beckens (vgl. Abb. 11) und außerdem an einer Addition von oberem flözfreien Westfal D zu mächtigem Perm (Rotliegend-Verbreitung) und Mesozoikum: für das Gebiet nördlich Bremen gilt ähnliches. Wegen der großen Subsidenz (mehr als 7 000 m, vgl. M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & H. BARTENSTEIN 1984: Taf. 1) des Perms im Zentrum des Unterelbetroges. der vielleicht schon vom Stefan vorgezeichnet sein kann, werden weitere Aufschlüsse in diesem für ein komplettes Bild des Stefans wichtigen Gebiet wohl noch auf sich warten lassen.

5. Schriftenverzeichnis

- BENDER, F., & HEDEMANN, H.-A. (1983): Zwanzig Jahre erfolgreiche Rotliegend-Exploration in Nordwestdeutschland – weitere Aussichten auch im Präperm? – Erdöl-Erdgas-Z., 99: 39 – 49, 7 Abb.; Hamburg.
- BISEWSKI, L. (1971): Das jüngere Oberkarbon der Bohrung Norddeutschland 8 bei Bentheim. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 263 – 280, 2 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- BLESS, M. J. M., & BOUCKAERT, J., & CALVER, M. A., & GRAULICH, J. M., & PAPROTH, E. (1977): Paleogeography of Upper Westphalian desposits in NW Europe with reference to the Westphalian C North of the mobile Variscan belt. – Meded. Rijks geol. Dienst, N. S., 28 (5): 101 – 127; Den Haag.
- BODE, H. (1953): Zur Stratigraphie des Osnabrücker Karbons. Z. dt. geol. Ges., **104**: 431–440; Hannover.
- BOIGK, H. (1959): Zur Gliederung und Fazies des Buntsandsteins zwischen Harz und Emsland. – Geol. Jb., **76**: 597–636, 6 Abb.; Hannover.
- (1961): Ergebnisse und Probleme stratigraphisch-paläogeographischer Untersuchungen im Buntsandstein Nordwestdeutschlands. – Geol. Jb., 78: 123 – 134, 7 Abb.; Hannover.
- (1978): Teilberichte zum Forschungsprogramm "Erkundung neuer Energiequellen in Niedersachsen". – Hannover (Niedersächs. L.-Amt f. Bodenforsch. u. B.-Anst. f. Geowiss. u. Rohstoffe). – [Unveröff.]
- CLAUSEN, C. D., & JÖDICKE, H., & TEICHMÜLLER, R. (1982): Geklärte und ungeklärte Probleme im Krefelder und Lippstädter Gewölbe. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 30: 413 – 432, 2 Taf.; Krefeld.
- DRAXLER,S.K. (1983): Geophysikalische Bohrlochmeßverfahren und ihre Anwendbarkeit in Kohleflözen. – In: Studienges. Kohlegewinnung Zweite Generation e.V. [Hrsg.]: Kurzfassung der Vorträge vom 13. 10. 1983 in Hannover; Essen.
- FABIAN, H.-J. (1956): Das Namur der Bohrung Bielefeld 1. Z. dt. geol. Ges., **107**: 66–72, 2 Abb.; Hannover.
- (1963): Das Jungpaläozoikum zwischen Diepholz und Twistringen (Konzession Ridderade) und seine Erdgasführung. – Erdöl-Z., **1963** (6): 33–49, 13 Abb., 2 Tab.; Wien, Hamburg.

- (1971): Stratigraphie und Tektonik. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III.A.4. Das Oberkarbon im Untergrund von Nordwestdeutschland und dem angrenzenden Nordseebereich. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 87–100, 6 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- FABIAN, H.-J., & GAERTNER, H., & MÜLLER, G. (1962): Oberkarbon und Perm der Bohrung Oberlanger Tenge Z1 im Emsland. – Forschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1 075 – 1 096, 2 Abb., 6 Taf.; Krefeld.
- FABIAN, H.-J., & MÜLLER, G. (1962): Zur Petrographie und Altersstellung präsalinarer Sedimente zwischen der mittleren Weser und der Ems. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1115 – 1140, 3 Abb., 4 Taf.; Krefeld.
- FIEBIG, H. (1969): Das Namur C und Westfal im Niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. – C.R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, **1**: 79 – 89, 9 Abb., 1 Taf.; Maestricht.
- FIEBIG, H., & GROSCURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257 – 267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- FIEBIG, H., & PALM, H., & PIEPER, B. (1983): New Aspects in Exploring the Upper Carboniferous in the Ruhr Area. – C.R. 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Madrid 1983. – [Im Druck]
- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen (1960–1962): Das Karbon der subvariscischen Saumsenke, Tl. 1–3. – **3** (1): 422 S., 117 Abb., 22 Tab., 38 Taf.; **3** (2): 442 S., 103 Abb., 52 Tab., 74 Taf.; **3** (3): 415 S., 83 Abb., 32 Tab., 56 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Fazies, Porosität und Gasinhalt der Karbonatgesteine des norddeutschen Zechstein. – Z. dt. geol. Ges., **114**: 484 – 531, 10 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Hannover.
- GEDENK, R., & HEDEMANN, H.-A., & RÜHL, W. (1964): Oberkarbongase, ihr Chemismus und ihre Beziehungen zur Steinkohle. C.R. 5. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Paris 1963, **2**: 431–450; Paris.
- HAHNE, C., & SCHLOMS, H. (1967): Das großräumige fazielle Verhalten der bauwürdigen Flöze im niederrheinischen-westfälischen Steinkohlengebiet (Ruhrrevier). – Mitt. westf. Berggewerkschaftsk., 26: 1–28, 31 Abb.; Bochum.
- HECHT, F., & HERING, O., & KNOBLOCH, J., & KUBELLA, K., & RÜHL, W. (1962): Stratigraphie, Speichergesteins-Ausbildung und Kohlenwasserstoff-Führung im Rotliegenden und Karbon der Tiefbohrung Hoya Z1. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1061– 1074, 1 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A. (1980): Die Bedeutung des Oberkarbons für die Kohlenwasserstoffvorkommen im Nordseebecken. – Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochem., **33**: 255–266, 10 Abb.; Stuttgart.
- (1983): Das nordwestdeutsche Oberkarbonbecken, sein Erdgas und seine Kohleflöze.
 C.R. 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Géol., Madrid 1983; [Im Druck]
- HEDEMANN,H.-A., & FABIAN,H. J., & FIEBIG,H., & RABITZ,A. (1972): Das Karbon in marin-paralischer Entwicklung. – C.R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 1: 29–47; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A., & SCHÖNEICH, H., & SCHRÖDER, L. (1983): Erdöl- und Erdgasexploration in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Vierjahres-Rückblick. – Z. Erdöl-Erdgas, 99: 218–233, 11 Abb.; Hamburg.
- HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A. (1980): Verbreitung und Stratigraphie von Kohleflözen und Sandsteinfolgen des Oberkarbon in Niedersachsen. – Programm Energieforschung und Energietechnologien 1979–1982. Statusreport 1980, Geotechn. u. Lagerst., 2: 531–537, 1 Abb.; Jülich (Projektleitung Energieforschung (PLE); KFA).
- HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J. (1982): Verbreitung und Stratigraphie von Kohleflözen und Sandsteinfolgen des Oberkarbon in Niedersachsen. – Programm Energieforschung und Energietechnologien 1979 – 1982. Statusreport 1982, Geotechn. u. Lagerst., 2: 649 – 662, 4 Abb.; Jülich (Projektleitung Energieforschung (PLE); KFA).

- HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1966): Stratigraphie und Diagenese des Oberkarbons in der Bohrung Münsterland 1. – Z. dt. geol. Ges., **115**: 787 – 825, 2 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- -, & (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. Der paralische Raum. -Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 129-142, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- HIRSCHMANN, G., & HOTH, K., & KLEBER, F. (1975): Die lithostratigraphische Gliederung des Oberkarbons im Bereich Rügen und Hiddensee. – Z. geol. Wiss., **3**: 985–996, 7 Abb.; Berlin.
- HÜTTNER, H. (1962): Das Stefan-Profil der Bohrung Adorf Z6. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1109–1114, 1 Abb.; Krefeld.
- JOSTEN, K.-H. (1966): Zur Flora des jüngeren Karbons (Westfal C bis Stefan) in Nordwestdeutschland und ihr Vergleich mit anderen Gebieten. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 565–644, 24 Abb., 1 Tab., 18 Taf.; Krefeld.
- JOSTEN, K.-H., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Zusammenfassende Übersicht über das höhere Oberkarbon im Ruhrrevier, Münsterland und Ibbenbürener Raum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 281–292, 1 Taf.; Krefeld.
- PATIJN, R. J. H. (1963): De Vorming van Aardgas ten Gevolge van Nainkoling in her Nordoosten van Nederland. – Geol. Mijnb., **42**: 341 – 349; 's-Gravenhage.
- RACK, P., & FIEBIG, H., & SCHUSTER, A. (1974): Lagerstättenerkundung durch Seismik und Bohrungen vom Tage. – Z. Glückauf, **110**: 319–324, 6 Abb.; Essen.
- RIEDEL, L. (1942): Zur Frage der Erdölhöffigkeit des Münsterlandes. Oel u. Kohle, **44**: 1331 1346; Berlin.
- SCHLUMBERGER Co. (1982): Natural Gamma Ray Spectrometry Tool. Well Evaluation Developments Continental Europe. - S. P. E. Schlumberger: 83-91, 12 Abb.; Rotterdam.
- SCHMIDT, K., & FRANKE, D. (1977): Zur lithologisch-faziellen Entwicklung des Präperms im Nordteil der DDR. Z. angew. Geol., **23**: 541–548, 2 Abb.; Berlin.
- SCHMITZ, D. (1984): Das Erscheinungsbild von Kohlenflözen in geophysikalischen Bohrlochmessungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 231–241, 6 Abb.; Krefeld.
- SCHRÖDER, L. (1975): Einige charakteristische Züge der Oberkarbon-Sedimentation im nordwestdeutschen Raum. – C.R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 4: 217–226, 6 Abb.; Krefeld.
- (1980): Die Erdöl- und Erdgasexploration in der Bundesrepublik Deutschland 1979. Erdöl-Erdgas-Z., 96: 253 – 264; Hamburg.
- SCHUSTER, A. (1962): Das Stefan in der Bohrung Wielen Z1. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1 097 1 108, 3 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- (1963): Konnektierung von Bohrlochmessungen im Westfal der Bohrung Münsterland 1 mit Messungen anderer Bohrungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 11: 487 – 516, 12 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. Erdöl-Erdgas-Z., 84: 439–457, 35 Abb.; Hamburg, Wien.
- (1971 a): Die stratigraphische Einstufung des Westfal-Profils der Untertagebohrung
 150 der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren nach Bohrlochmessungen. Fortschr.
 Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 201 224, 8 Abb.; Krefeld.
- (1971 b): Die Westfal-Profile der Bohrungen Bockraden 1 bis 5 bei Ibbenbüren und ihre Parallelisierung mit dem Bohrprofil Norddeutschland 8 und dem jüngsten Ruhrkarbon nach Bohrlochmessungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 233 – 256, 5 Abb.; Krefeld.
- (1975): Bohrprofile der Untersuchungsbohrungen Bockraden 6 und 7. Ibbenbüren (Preußag AG Kohle). – [Unveröff.]
- (1979): Flöz-Parallelisierungen in den Bochumer Schichten (Westfal A) zwischen den Steinkohlenrevieren Aachen und Niederrhein aufgrund von Bohrlochmessungen. 21 S., 14 Abb., 1 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]

- STANCU-KRISTOFF, G., & STEHN, O. (1984): Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 35–38, 1 Taf.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, R. (1962): Die Entwicklung der subvariscischen Saumsenke nach dem derzeitigen Stand unserer Kenntnis. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (3): 1237 – 1254, 2 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- (1973): Die paläogeographisch-fazielle Entwicklung eines Kohlebeckens am Beispiel des Ruhrkarbons. – Z. dt. geol. Ges., **124**: 149–165, 10 Abb.; Hamburg.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R., & BARTENSTEIN, H. (1979): Inkohlung und Erdgas in Norddeutschland. Eine Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 137 – 170, 2 Abb., 5 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- -, & -, & (1984): Inkohlung und Erdgas eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 11 – 34, 4 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- THIADENS, A. A. (1963): The Palaeozoic of the Netherlands. Verh. kon. nederl. geol.-mijnb. genootsch., geol. Ser., **21** (1): 9-28, 7 Tab., 12 Taf.; 's-Gravenhage.
- TRUSHEIM, F. (1959): Ergebnisse der Tiefbohrung Groothusen Z1 bei Emden (Ostfriesland). – Erdöl-Z., **75**: 273 – 278; Wien, Hamburg.
- (1961): Über Diskordanzen im Mittleren Buntsandstein Nodwestdeutschlands zwischen Weser und Ems. – Erdöl-Z., 77: 361–357; Wien, Hamburg.
- (1963): Zur Gliederung des Buntsandsteins. Erdöl-Z., 1963 (7): 277 292; Wien, Hamburg.
- WIJHE, D. H. VAN, & BLESS, M. J. M. (1974): The Westphalian of the Nederlands with special Reference to Miospore Assemblages. – Geol. en Mijnb., **53**: 295 – 328; 's-Gravenhage.
- WOLBURG, J. (1970): Zur Paläogeographie des Unterkarbons und Namurs im Münsterland. N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1970**: 735 – 740, 2 Abb.; Stuttgart.
- ZIEGLER, P. A. (1982): Geological Atlas of Western and Central Europe. Shell Internat. Petrol Maats.-B.V.: 130 S.; Amsterdam (Elsevier).

Eingang des Manuskriptes: 17. 9. 1984

Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C – D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland

32

Von KARL-HEINZ JOSTEN und JEAN-PIERRE LAVEINE*

Flora, Westphalian C-D, stratigraphic scale, stratigraphic limit, connection, Northern France coal basin, Ruhr coal basin, Ibbenbüren horst, Piesberg anticline

Kurzfassung: Die Schichtenfolge des Westfals C - D wird nach ihrer Flora charakterisiert und läßt sich in mehrere Abschnitte gliedern.

Dank der umfangreichen Aufschlußtätigkeiten der Bergbauindustrie – sowohl im Kohlenbecken von Nordfrankreich als auch im Ruhrkarbon – ist das Netz der Pflanzenfundpunkte so dicht, daß die stratigraphische Verbreitung der einzelnen Spezies in beiden Gebieten mit großer Genauigkeit bekannt ist. Vergleichende stratigraphische Untersuchungen zeigen, daß die Arten, die sich innerhalb der beiden Kohlenreviere als gute Zeitmarken bewährt haben, auch für die großräumige Konnektierung der Schichten geeignet sind. Insbesondere das jeweils erste Auftreten von *Reticulopteris münsteri, Neuropteris chalardi, Linopteris subbrongniarti* al. *L. neuropteroides* und *Linopteris regniezi* markiert von Nordfrankreich zum Ruhrrevier angenähert zeitgleiche Linien, die etwa parallel zu dem marinen Horizont Rimbert/Ägir verlaufen.

Angenähert synchron sind auch die jeweils ersten Fundpunkte von *Neuropteris ovata* in Nordfrankreich und im Karbon des Osnabrücker Raumes. Offensichtlich ist diese Spezies, als Leitfossil für die Basis des Westfals D, im nordwesteuropäischen Kohlengürtel eine gute Zeitmarke.

Voraussetzung für jede genauere pflanzenstratigraphische Konnektierung ist eine größere Anzahl von Pflanzenfundpunkten, damit Zufälligkeiten bei den Aufsammlungen oder auch pflanzensoziologische Besonderheiten möglichst ausgeschaltet werden.

Die pflanzenstratigraphischen Ergebnisse stehen im Einklang mit geochronologischen Untersuchungen der Kaolin-Kohlentonsteine im Oberkarbon von Nordwesteuropa.

[Palaeobotanic-stratigraphical studies in the Westphalian C-D (Carboniferous) of Northern France and Northwest Germany]

A b s t r a c t: The sequence of Westphalian C - D is characterized by fossil plants and can be subdivided into several units.

The extensive coal mining activities – in the coal basin of Northern France as well as in the Ruhr coal district – provide a dense net of sample localities. Therefore, the stratigraphic distributions of the various species in both basins is known very precisely. Comparative stratigraphic studies show that those species which have been proven as good time markers within each of the two basins can also be used for more widespread correlations. In particular, the first occurrences of *Reticulopteris münsteri*, *Neuropteris chalardi*, *Linopteris subbrongniarti* al. *L. neuropteroides* and *Linopteris regniezi* in Northern France and in the Ruhr coal basin are marking approximately isochronous lines that are rather parallel to the Rimbert/Ägir marine band.

^{*} Anschrift der Autoren: Dr. K.-H. JOSTEN, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1; Prof. Dr. J. P. LAVEINE, Université des Sciences et Techniques de Lille, Sciences de la Terre, Laboratoire de Paléobotanique et Biostratigraphie du Paléozoique, Greco 130007 associé au C. N. R. S., 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex

The first occurence of *Neuropteris ovata* in Northern France and in the Osnabrück area indicates as well a rather synchronous event. This species, as index fossil for the base of Westphalian D sequence, is obviously a good chronological marker within the NW-European coal belt.

Any stratigraphic correlation by means of fossil plants requires a great number of sample localities to avoid as far as possible the eventualities in sampling and to exclude eventual endemism of certain plant assemblages.

The phytostratigraphic results, presented here, are in accordance with the results of geochronological studies on the Upper Carboniferous tonsteins of NW-Europe.

[Études paléobotaniques-stratigraphiques dans le Westphalien C – D (Carbonifère) du Nord de la France et Nord – Ouest de l'Allemagne]

R é s u m é: Les terrains houillers d'âge Westphalien C et D sont caractérisés sur des bases floristiques et sont subdivisés en un certain nombre de faisceaux.

Grâce aux multiples ouvrages de creusement réalisés par l'industrie minière, tant dans le Nord de la France que dans la Ruhr, la densité des points de récolte de plantes fossiles est si forte que l'extension stratigraphique des diverses espèces est, dans les deux bassins, connue avec une grande précision. Des recherches stratigraphiques comparées montrent que des espèces qui s'étaient avérées être de bons marqueurs à l'intérieur de chacun des deux bassins sont également très utiles pour des corrélations à plus vaste échelle. En particulier les apparitions de *Reticulopteris münsteri, Neuropteris chalardi, Linopteris sub-brongniarti* al. *L. neuropteroides* et *Linopteris regniezi* déterminent des niveaux pratiquement isochrones dans les deux bassins, parallèles à l'horizon marin de Rimbert/Ägir.

Les premiers niveaux d'apparition de *Neuropteris ovata* dans le Nord de la France et dans le Carbonifère du secteur d'Osnabrück semblent pratiquement synchrones également. Apparemment cette espèce constitue, en tant que fossile caractéristique de la base du Westphalien D, un bon marqueur chronologique dans la ceinture carbonifère du Nord-Ouest de l'Europe.

La condition pour toute corrélation stratigraphique précise par la macroflore est de disposer d'un plus grand nombre de gisements afin d'exclure autant que possible les aléas des prélèvements, ainsi que les particularités phytosociologiques.

Les résultats phytostratigraphiques sont en accord avec les recherches géochronologiques menées sur les tonsteins du Carbonifère supérieur du Nord-Ouest de l'Europe.

1. Einleitung

In den Steinkohlengebieten von Nordfrankreich (Bassin Houiller du Nord et du Pas-de-Calais) und Nordwestdeutschland (Ruhrrevier sowie im Osnabrücker Raum bei Ibbenbüren und am Piesberg, vgl. Abb. 1) haben die verschiedensten Aufschlußtätigkeiten der Bergbauindustrie eine umfangreiche fossile Flora zutage gebracht. Das Netz der Bohrungen und anderen Aufschlüsse ist in Nordfrankreich und im Ruhrgebiet so dicht, daß die stratigraphische Verbreitung der einzelnen Florenelemente hinreichend bekannt ist und mit angenäherter Sicherheit eine Aussage über das jeweils erste Auftreten der Pflanzenarten getroffen werden kann. Im Karbon von Ibbenbüren sind die Aufschlüsse des tieferen Westfals C jedoch weniger zahlreich, und am Piesberg fehlen sie gänzlich.

Die Schichtenfolge des Westfals C – D ist durch die pflanzlichen Fossilien besonders gut gekennzeichnet und gegliedert. Das ist für die biostratigraphische Datierung dieser Sedimente von Bedeutung, weil markante und großräumig aushaltende marine Horizonte oberhalb des Niveaus Rimbert/Ägir, der Grenze Westfal B/C, fehlen. Die vergleichenden pflanzenstratigraphischen Untersuchungen in Nordfrankreich und Nordwestdeutschland sollen zeigen, welche Pflanzenarten die zuverlässigsten Zeitmarken darstellen und mit wel-



Abb. 1 Bergbaugebiete im nordwesteuropäischen Karbon-Kohlengürtel Fig. 1 Coal mining districts of the Northwest European coal belt

cher Genauigkeit derartige Untersuchungen im Rahmen des nordwesteuropäischen Kohlengürtels durchgeführt werden können.

Die photographischen Aufnahmen wurden von U. BELL (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) und von J. CARPENTIER (U.E.R. Sci. de la Terre Univ. Lille) hergestellt, denen wir für die sorgfältige Durchführung der Arbeiten an den schwierigen, kontrastarmen Objekten danken.

2. Pflanzenstratigraphische Untersuchungen

Den Untersuchungen wurden acht Schichtenschnitte des Westfals C – D zugrunde gelegt, die, von Westen nach Osten angeordnet, einen Eindruck geben von dem Fazieswechsel im nordwesteuropäischen Kohlengürtel (s. Taf. 1 in der Anl.). Über die Lage der Schichtenschnitte vermitteln die Abbildungen 2 und 3 einen Überblick. Auf französischem Gebiet sind es die Profilsäulen Bruay 1, Béthune Noeux 2, Lens Liévin 3, Hénin-Liétard 4 und Anzin (Cuvinot) 5. Sie sind nach bergbaulichen Aufschlüssen und Bohrungen zusammengestellt. Für das Ruhrkarbon wurde die Bohrung Specking 1 6 gewählt. Sie hat die jüngsten bislang bekannten Schichten des Ruhrkarbons erschlossen (vgl. FIEBIG & GROSCURTH 1984) und eine reiche Flora zutage gebracht. Die Stratigraphie des Westfals C – D des Osnabrücker Raumes stützt sich auf die Schichtenschnitte Ibbenbüren-Nordschacht und UB 150 7 sowie



Abb. 2 Lage der Schichtenschnitte in Nordfrankreich

Fig. 2 Position of the sections in Northern France

auf die Schichtenfolge der Aufschlüsse am Piesberg **8** (vgl. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., Bd. 19: Taf. 1). Die Pflanzenfossilien der genannten Bohrungen werden durch Funde aus benachbarten Bohrungen und Aufschlüssen ergänzt. Wegen einer besseren Übersicht sind in der Tafel 1 (in der Anl.) zu den acht Schichtenschnitten nur die stratigraphisch wichtigsten Pflanzenfossilien eingetragen worden (vgl. S. 96).

Die Pflanzenassoziationen des Westfals C – D beinhalten, wie die Sedimente anderer, mehr oder weniger eng umrissener stratigraphischer Einheiten des Oberkarbons, Fossilien von sehr unterschiedlichem Aussagewert für die Altersdatierung. Diese Pflanzen lassen sich in vier Gruppen zusammenfassen:

 Persistente Spezies. Sie haben eine große vertikale Verbreitung und sind f
ür eine detaillierte stratigraphische Aussage nur von sehr begrenztem Wert.



Abb. 3 Lage der Schichtenschnitte in Nordwestdeutschland Fig. 3 Position of the sections in Northwest Germany Gelegentlich kann jedoch die Häufigkeit ihres Vorkommens einen ersten Hinweis auf die genauere stratigraphische Zuordnung geben.

- Stratigraphisch charakteristische Spezies. Sie sind mehr oder weniger häufig und vorwiegend in dem betreffenden Schichtenkomplex verbreitet. Sie werden jedoch, wenngleich seltener, auch in älteren und/oder jüngeren Schichten als sogenannte Vor- oder Nachläufer angetroffen und nehmen in der Regel ganz allmählich an Häufigkeit zu oder ab. Sie sind regional und zumeist auch überregional stratigraphisch charakteristisch, haben jedoch keinen leitenden Wert.
- Spezies von begrenztem stratigraphischem Leitwert. Aufgrund des ersten Auftretens oder einer auffallenden Häufigkeit deuten sie auf einen eng begrenzten stratigraphischen Abschnitt hin oder erlauben die Identifizierung von Flözgruppen. Der Leitwert dieser Spezies kann regional begrenzt sein; die "Region" läßt sich durch ein dichtes Netz von Fossilfundpunkten angenähert festlegen.
- Stratigraphische Leitspezies. Mit dem ersten Auftreten der Leitspezies ist die biostratigraphische Grenze definiert.

2.1. Persistente Spezies

Wie im älteren Oberkarbon gehören auch im Westfal C und D die Stämme der Articulaten, insbesondere Calamites (Stylocalamites) suckowi BRONG-NIART, Calamites (Stylocalamites) cisti BRONGNIART, Calamites (Stylocalamites) undulatus STERNBERG, zu den häufigsten pflanzlichen Fossilien. Von den Blättern der Articulaten werden hauptsächlich Annularia radiata BRONGNIART, die jedoch im Westfal D verschwindet, Asterophyllites equisetiformis SCHLOTHEIM und Asterophyllites grandis STERNBERG gefunden.

Von den Sphenophyllaceae (Keilblattgewächse) ist Sphenophyllum cuneifolium STERNBERG im Westfal C noch häufig. Im aufsteigenden Profil wird die Blattform dann mehr und mehr von Sphenophyllum emarginatum BRONG-NIART abgelöst, bis sie im Westfal D ganz verschwindet.

Die Lycopsiden sind vorwiegend durch *Lepidodendron aculeatum* STERN-BERG, *Lepidodendron lycopodioides* STERNBERG und *Lepidostrobophyllum lanceolatum* LINDLEY & HUTTON vertreten. Daneben kommen mehrere rhytidolepe Arten der Gattung *Sigillaria* vor.

Die Pteridophyllen, denen im allgemeinen die größere stratigraphische Bedeutung zukommt, sind durch eine höhere Anzahl von Gattungen und Arten repräsentiert. Zu den häufigsten Spezies gehören beispielsweise Sphenopteris (Renaultia) gracilis BRONGNIART, Pecopteris (Asterotheca) miltoni ARTIS, Pecopteris (Senftenbergia) plumosa (ARTIS), Alethopteris serli BRONGNIART, Neuropteris tenuifolia SCHLOTHEIM und Paripteris pseudogigantea (H. POTO-NIÉ). Von den Gymnospermen tritt nur eine Spezies, Cordaites principalis GERMAR, zahlreicher in Erscheinung.

Diese Pflanzen werden im Westfal C-D des nordwesteuropäischen Kohlengürtels regelmäßig und meist auch in größerer Anzahl gefunden. Sie stellen einen wesentlichen Bestandteil der Pflanzenassoziationen dieser Schichtenfolge dar oder beherrschen gar das Vegetationsbild. Sie werden aber ebenso häufig in den älteren Westfal-Schichten angetroffen und sind keineswegs typisch für das Westfal C-D.

2.2. Stratigraphisch charakteristische Spezies

Die in der nachstehenden Liste zusammengestellten Pflanzenarten haben ihre Hauptverbreitung im Westfal C und/oder D. Es sind charakteristische Fossilien dieser jüngeren Westfal-Schichten. Eine Untergliederung der Schichtenfolge aufgrund dieser Spezies ist jedoch nicht möglich; allenfalls kann die Häufigkeit ihres Vorkommens einen Hinweis für die genauere Altersdatierung geben.

Annularia stellata SCHLOTHEIM Annularia sphenophylloides (ZENKER) Sphenophyllum emarginatum BRONGNIART Eusphenopteris striata GOTHAN Mariopteris sauveuri (BRONGNIART) Mariopteris nervosa (BRONGNIART) Mariopteris robusta KIDSTON Fortopteris latifolia (ZEILLER) Alethopteris serli (BRONGNIART) Alethopteris michauxi BUISINE Neuropteris attenuata LINDLEY & HUTTON al. N. rarinervis BUNBURY Neuropteris dussarti LAVEINE Neuropteris scheuchzeri HOFFMANN

Das erste, sehr vereinzelte Auftreten dieser Arten liegt meist im Westfal B; einige kommen auch schon im oberen Westfal A vor. Im aufsteigenden Profil nehmen sie dann mehr und mehr an Häufigkeit zu und erreichen sowohl in Nordfrankreich als auch in Nordwestdeutschland in den Schichten des Westfals C und/oder D ein Maximum.

Für die meisten der genannten Spezies ist in beiden Ländern keine nennenswerte Differenzierung hinsichtlich des stratigraphischen Vorkommens ersichtlich (JOSTEN 1962 a, LAVEINE 1977). Nur Annularia stellata, Mariopteris robusta, Alethopteris michauxi und Neuropteris dussarti zeigen eine etwas unterschiedliche stratigraphische Verbreitung oder die Verbreitung ist wegen ihres seltenen Vorkommens nicht genügend bekannt.

Annularia stellata findet sich in Nordfrankreich sporadisch schon bald oberhalb des marinen Niveaus Rimbert/Ägir und reicht bis in die jüngsten Karbon-Schichten hinauf. Dabei sind aber die Stücke im tieferen Westfal C (faisceau de Six-Sillons) wenig typisch ausgebildet. Im Westfal C des Ruhrgebietes wurde die Art, auch in den höchsten Schichten, bisher nicht gefunden. Aus dem Ibbenbürener Karbon gibt BODE (1927) Annularia stellata aus dem höchsten Westfal C und dem tiefsten Westfal D an, und zwar aus den Dachschichten der Flöze Dreckbank, Bentingsbank, Glücksburg und Alexander. Mit einiger Regelmäßigkeit, wenn auch nicht häufig, wurde die Art im Westfal D des Piesberges von Flöz Zweibänke bis Flöz Johannisstein angetroffen. Die einzelnen Blättchen dieser Pflanzenabdrücke sind bis 5 cm lang, 2–3 mm breit und in der Form linear bis schwach lanzettlich. Sie entsprechen den Stücken, die in Nordfrankreich im faisceau d'Ernestine und höher gefunden werden.

Mariopteris robusta tritt, ähnlich wie *Annularia stellata*, in Nordfrankreich etwas früher auf als in Nordwestdeutschland, und zwar im Westfal C, oberer Teil des faisceau de Six-Sillons und faisceau d'Ernestine. Dagegen wurde sie im deutschen Gebiet bisher nur im Westfal D des Piesberges gefunden. Die Pflanze ist jedoch in beiden Ländern sehr selten, so daß ihr stratigraphischer Wert für eine genaue Differenzierung der jüngeren Westfal-Schichten begrenzt ist. Die Seltenheit ihres Vorkommens kann auch mit ein Grund dafür sein, daß sie im Westfal C des nordwestdeutschen Gebietes noch nicht gefunden wurde.

A lethopteris michauxi ist im nordfranzösischen Kohlenbecken zwar nicht häufig, aber doch aus einer Anzahl Fundpunkten bekannt geworden (BUISINE 1961: 125 – 130). Diese Pflanze kommt vom höheren Westfal C bis zum mittleren Westfal D vor, das heißt im faisceau d'Ernestine und faisceau de Du Souich. Sie ist jedoch eine der seltener gefundenen Arten. Noch ärmer ist sie in den deutschen Karbon-Gebieten vertreten. Im Ruhrgebiet ist Alethopteris michauxi bislang nur im oberen Westfal C, in der Flözgruppe Xanten der Bohrung Specking 1, gefunden worden. Ein Exemplar aus dem Ibbenbürener Karbon wurde auf einer Halde gefunden und ist stratigraphisch nicht genau einzuordnen. Schon wegen der Seltenheit ist die Pflanze kein geeignetes Fossil für eine genauere Konnektierung der Schichten, sie kann jedoch den stratigraphisch charakteristischen Spezies des Westfals C-D zugeordnet werden.

Neuropteris dussarti (Taf. 2, S. 106: Fig. 1, 1a, 2, 2a; Taf. 3, S. 107: Fig. 1, 1a) ist offensichtlich ein charakteristisches Pflanzenfossil des Westfals D, das allerdings in Nordfrankreich und im Osnabrücker Karbon jeweils nur aus einem Horizont bekannt ist.

In einem neueren Aufschluß der Klöckner Durilit GmbH, die den quarzitischen Sandstein ("Karbonquarzit") des Piesberges abbaut, wurde in den Tonsteinen unmittelbar über dem Flöz Dreibänke ein Pflanzenhorizont mit Articulaten und einer reichen Pteridophyllen-Flora festgestellt, darunter die Spezies *Sphenophyllum emarginatum* BRONGNIART, *Eusphenopteris striata* GOTHAN, *Alethopteris grandini* BRONGNIART, *Neuropteris attenuata* LINDLEY & HUTTON al. *N. rarinervis* BUNBURY, *Neuropteris ovata* HOFFMANN, *Neuropteris dussarti* LAVEINE und *Reticulopteris münsteri* (EICHWALD). Alle Arten sind auch von anderen Stellen des Piesberges bekannt, mit Ausnahme von *Neuropteris dussarti*. Diese Pflanzenspezies wurde hier für das nordwestdeutsche Karbon erstmalig und in einer Anzahl von Exemplaren gefunden.

Der Fund von *Neuropteris dussarti* am Piesberg zeigt interessante Parallelen zu dem bis jetzt bekannten Vorkommen der Art im oberen Teil des faisceau d'Edouard im Kohlenbecken von Nordfrankreich:

- Die Spezies ist in beiden Gebieten jeweils nur in einem Horizont gefunden worden.
- Sowohl in Nordfrankreich als auch in den Karbon-Ablagerungen des Osnabrücker Raumes (Piesberg bei Osnabrück und Karbon-Scholle bei Ibbenbüren) liegen unterhalb des Neuropteris-dussarti-Horizontes die stratigraphisch ältesten Fundpunkte von Neuropteris ovata HOFFMANN, dem Leitfossil für das Westfal D.
- Die Floren in den Schichten über und unter dem *Neuropteris-dussarti*-Horizont sind in beiden Gebieten weitgehend gleich.

Inwieweit die Spezies für eine genauere Konnektierung nützlich sein kann, läßt sich noch nicht sagen, da die stratigraphische Verbreitung in diesen Gebieten nicht genügend bekannt ist. Dabei ist auch das Vorkommen der Art außerhalb der hier untersuchten Gebiete von Interesse. Im Gegensatz zu den vereinzelten Fundpunkten in Nordfrankreich und Nordwestdeutschland hat CLEAL (1978) *Neuropteris dussarti* im Steinkohlengebiet von Südwales in einer Anzahl Fundorten festgestellt, wobei die stratigraphische Verbreitung der Spezies etwa der von *Neuropteris ovata* entspricht.

2.3. Spezies von begrenztem stratigraphischen Leitwert (Tafel 4-11, S. 108-117)

Für die Untergliederung der Schichtenfolge des Westfals C – D im Karbon von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland haben sich die nachstehend angeführten Pflanzen als verläßliche Fossilien erwiesen:

Neuropteris semireticulata JOSTEN Reticulopteris münsteri (EICHWALD) Alethopteris corsini BUISINE Neuropteris chalardi LAVEINE Linopteris subbrongniarti GRAND'EURY al. L. neuropteroides (GUTBIER) Linopteris regniezi LAVEINE Alethopteris grandini BRONGNIART

Der stratigraphische Vergleich dieser Spezies in den beiden Ländern, wie er in der Abbildung 4 dargestellt ist, zeigt, daß diese Arten auch für eine großräumige Konnektierung geeignet sind und mit welcher Genauigkeit bei derartigen pflanzenstratigraphischen Untersuchungen gerechnet werden kann.

In der Tafel 1 (in der Anl.) sind stark vereinfachte Schichtenschnitte des Westfals C-D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland zusammengestellt. Sie sind an der Basis nach dem marinen Horizont Rimbert/Ägir als zeitgleichem Bezugshorizont ausgerichtet. Neben den Profilsäulen sind, wegen der besseren Übersicht, nur die Fundpunkte der stratigraphisch interessantesten Spezies eingetragen. Außerdem zeigt die Darstellung die bedeutendsten Kaolin-Kohlentonsteine¹⁾, die wichtige Leithorizonte darstellen (BURGER, im Druck) und nach denen die jungen Westfal-Schichten in Nordfrankreich gegliedert sind (vgl. Abb. 4, Taf. 1).

Neuropteris semireticulata ist im Ruhrgebiet und in der Ibbenbürener Karbon-Scholle aus den obersten Schichten des Westfals B und aus dem tiefsten Teil des Westfals C bekannt. Die Art ist in diesem stratigraphischen Bereich noch selten. Erst vom Flöz Erda an aufwärts wird sie häufiger angetroffen, so daß die Spezies, ebenso wie *Alethopteris corsini* (vgl. S. 98), bei der Bearbeitung von Bohrungen einen deutlichen Hinweis auf den Bereich oberhalb von Flöz Erda geben kann. Sie reicht bis in den mittleren Teil des Westfals C. Über Flöz Parsifal im Ruhrgebiet und Flöz Glücksburg im Ibbenbürener Karbon wurden die stratigraphisch jüngsten Stücke gefunden. Dabei handelt es sich oft nicht mehr um die typische Ausbildung der Spezies, sondern um Formen, die einzelne Anastomosen erkennen lassen und deutlicher als die typischen Formen an *Reticulopteris münsteri* erinnern.

¹⁾ in Frankreich meist als Tonstein bezeichnet

Nordfrankreich



Abb. 4 Vertikale Verbreitung der stratigraphisch bedeutendsten Pflanzenarten in Nordfrankreich und Nordwestdeutschland Fig. 4 Vertical distribution of the most important fossil plants of Westphalian C-D in Northern France and Northwest Germany

Das Vorkommen von Neuropteris semireticulata in Nordfrankreich reicht vom höchsten Westfal B bis zum Westfal C, das heißt bis zum mittleren und höheren Bereich des faisceau de Six-Sillons. Das entspricht etwa dem Vorkommen in Nordwestdeutschland, wo die Art höher hinaufreicht und insgesamt auch etwas häufiger notiert wurde. Ein stärkeres Hervortreten der Art, wie es im Ruhrgebiet oberhalb von Flöz Erda beobachtet wurde, ist in Nordfrankreich nicht festzustellen.

R e ti c u l o p t e r i s m ü n s t e r i ist morphographisch durch fließende Übergänge mit Neuropteris semireticulata verbunden. Der flexuose Verlauf der Fiederaderung bei Neuropteris semireticulata führt zu der Maschenaderung von Reticuloperis münsteri. Der phylogenetische Zusammenhang der beiden Spezies dürfte gesichert sein (vgl. JOSTEN 1962). Dem entspricht auch ihr stratigraphisches Vorkommen. Neuropteris semireticulata wird im Westfal C allmählich von Reticulopteris münsteri abgelöst, wobei beide Arten noch eine Zeitlang nebeneinander vorkommen.

In den älteren Aufschlüssen des Ruhrkarbons, auch in den höheren Westfal-C-Schichten, ist *Reticulopteris münsteri* nicht gefunden worden. Das ist sehr auffallend, da diese Pflanze nach den Funden im Ibbenbürener Karbon sogar recht häufig zu erwarten war (JOSTEN 1962 a: 764; 1966: 580). Das Ausbleiben ist, besonders bei Berücksichtigung der großen Zahl der untersuchten Proben, sicherlich nicht zufällig, sondern dürfte pflanzensoziologisch begründet sein (vgl. S. 102). Erst in jüngeren Aufschlußbohrungen am Nordrand des Ruhrreviers ist die Art in einer Anzahl von Stücken aufgetaucht. Sie wurde im unteren und im höheren Westfal C angetroffen, in den Flözgruppen Chriemhilt, Donar, Erda, Freya, Iduna, Parsifal, Rübezahl und Siegfried.

In den Karbon-Ablagerungen des Osnabrücker Raumes wurden die stratigraphisch ältesten Stücke von *Reticulopteris münsteri*, zusammen mit *Neuropteris semireticulata*, in der Flözgruppe 2 festgestellt, was nach der Flözgleichstellung von JOSTEN & TEICHMÜLLER (1971: Taf. 1) dem Niveau der Flözgruppe Kobold/Loki des Ruhrreviers entsprechen dürfte. Wahrscheinlich ist *Reticulopteris münsteri* sporadisch auch schon etwas früher vorhanden, was aber mangels Aufschlüssen in diesen Schichten des Osnabrücker Raumes nicht überprüft werden kann. Im aufsteigenden Profil bleibt die Pflanze bis in das jüngste Westfal D am Piesberg ein häufiges Fossil.

Die stratigraphische Verbreitung von *Reticulopteris münsteri* im Ruhrgebiet harmoniert nach den Funden in den neueren Bohrungen gut mit dem Vorkommen in Nordfrankreich, wo sie ebenfalls im tiefen Westfal C sporadisch einsetzt. Vom mittleren Bereich des faisceau de Six-Sillons an bis zum Top der Karbon-Aufschlüsse ist sie dann ziemlich regelmäßig vertreten.

Alethopteris corsini wurde von BUISINE (1961: 115) aus Nordfrankreich beschrieben. Sie beginnt dort sporadisch im höchsten Westfal B (assise d'Anzin, faisceau de Pouilleuse) und ist im Westfal C (mittlerer und höherer Bereich des faisceau de Six-Sillons) häufiger vertreten. Vereinzelte und nicht sehr typische Stücke wurden auch im Westfal D (faisceau de Du Souich) gefunden.

Im Ruhrgebiet hat die Spezies etwa die gleiche Verbreitung wie in Nordfrankreich. Sie beginnt ganz vereinzelt im höchsten Westfal B und wird oberhalb von Flöz Erda häufiger angetroffen. Die Pflanze setzt, zusammen mit *Neuropteris semireticulata* (vgl. S. 96), im Westfal C, das heißt oberhalb des Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D...

marin beeinflußten Grenzflözes Ägir, eine erste floristische Marke bei dem Flöz Erda. Nach oben reicht *Alethopteris corsini* vereinzelt bis zur Flözgruppe Parsifal. Im Osnabrücker Raum wurde die Art bisher nur bei Ibbenbüren über dem Flöz 2 angetroffen, was sicherlich auf den dortigen Mangel an Aufschlüssen in den tiefer liegenden Schichten zurückzuführen ist.

Neuropteris chalardi wurde aus dem Steinkohlenrevier von Nordfrankreich erstmalig beschrieben (LAVEINE 1967 a: 176). Die Art kommt stratigraphisch nur in einem kurzen Bereich des mittleren Westfals C vor, und zwar im höheren Teil des faisceau de Six-Sillons, wo ihr eine leitende Bedeutung zukommt (LAVEINE 1967 a: 180).

Dem entspricht die zeitlich kurze Verbreitung im Ruhrrevier, wo *Neuropteris chalardi* im Hangenden der Flöze Iduna, Midgard, Nibelung und Odin gefunden wurde. Offensichtlich gehört die Spezies zu den stratigraphisch interessantesten Pflanzen der jüngeren Westfal-Schichten, wobei die kurze Lebensdauer stratigraphisch sehr günstig ist.

Von Linopteris subbrongniarti al. L. neuropteroides findet man fast nur die vom Wedel losgelösten Einzelblättchen. In der Form und Größe gleichen sie denen von Paripteris gigantea (STERNBERG) und Paripteris pseudogigantea (H. POTONIÉ). An der Netznervatur mit den feinen Adern, die langgezogene schmale Maschen bilden, ist die Spezies jedoch gut von den verwandten Arten der Gattung Paripteris zu differenzieren.

In Frankreich werden die vorwiegend sichelförmig gebogenen und am Gipfel etwas zugespitzten Blättchen als *Linopteris neuropteroides* bezeichnet. Sie kommen hauptsächlich im Westfal A – B vor. Daneben werden die vorwiegend zungenförmigen und am Gipfel stärker abgerundeten Formen als eigenständige Spezies unter der Bezeichnung *Linopteris subbrongniarti* abgetrennt. Sie kommen vorwiegend im höheren Westfal C und D vor (vgl. JOSTEN 1966: 580). In der Literatur des nordwestdeutschen Oberkarbons werden die beiden Formen zumeist als eine Spezies aufgefaßt, weil zungenförmige und sichelförmige Blättchen häufig nebeneinander vorkommen und eine Trennung oft nicht möglich ist (vgl. GOTHAN 1953: 66–68; JOSTEN 1962 a: 765; 1966: 574–576; LAVEINE 1967 a: 279–291). Unabhängig von der Namengebung stellen die Autoren fest, daß es sich bei den in diesem Zusammenhang wichtigen Blattformen des mittleren und höheren Westfals C sowie des Westfals D um ein und dieselbe Pflanzenspezies handelt, die in der Form eine große Variationsbreite umfaßt.

Im Ruhrkarbon wurde die Art in den Basisschichten des Westfals C nur in einem Blättchen beobachtet, so daß sie, bei der Menge der untersuchten Proben, hier so gut wie fehlt. Mehrfach, insgesamt betrachtet jedoch noch relativ selten, ist sie über den Flözen Iduna, Kobold, Loki und Nibelung angetroffen worden, aber direkt massenhaft in den Flözgruppen Odin, Parsifal und Siegfried. Hier liegen die Blättchen oft pflasterartig auf den Schichtflächen angereichert und wurden mit Erfolg zur Identifizierung dieser Flözgruppen und Konnektierung von Bohrungen und Grubenaufschlüssen herangezogen. Dieses plötzliche und sehr starke Hervortreten in der Flözgruppe Odin macht die Pflanze zu einem der wichtigsten Fossilien für die Untergliederung des Westfals C im Ruhrkarbon. Im Ibbenbürener Karbon wurde das erste und gleichzeitig häufige Auftreten der Art im Hangenden des Flözes 2 festgestellt, was nach derzeitiger Kenntnis zeitlich früher liegt und der Flözgruppe Kobold/ Loki des Ruhrgebietes entsprechen dürfte (JOSTEN & TEICHMÜLLER 1971: Taf. 1). Als jüngstes Vorkommen ist die Spezies vereinzelt über Flöz Buchholz-Flottwell beobachtet worden.

Im Kohlenbecken von Nordfrankreich hat die Art ebenfalls einen besonderen stratigraphischen Wert. Dem Vorkommen im Ruhrgebiet vergleichbar kommt sie im Westfal C etwas unterhalb der Kaolin-Kohlentonsteine Maxence und Maurice in einem kurzen Abschnitt vereinzelt vor, um dann, oberhalb dieser Kaolin-Kohlentonsteine, bis zu den jüngsten karbonischen Ablagerungen permanent und gehäuft aufzutreten.

Dieses häufige Vorkommen findet eine weitere Parallele in Südwales, wo sie ebenfalls im mittleren und oberen Westfal C plötzlich in großer Anzahl gefunden wird (JOSTEN 1966: 597). Um so mehr ist es bemerkenswert, daß zwar der erste Einsatz der Spezies in den untersuchten Gebieten zeitlich etwa gleich ist, daß aber die Anhäufung im Ruhrkarbon offensichtlich zeitlich später einsetzt als im Ibbenbürener Karbon und auch in Nordfrankreich (s. Abb. 4, S. 97). Auffallend ist es ebenfalls, daß die Art in Nordfrankreich bis hoch in das Westfal D hinaufreicht, während sie im Westfal D des Piesberges in langjährigen Beobachtungen nicht gesehen wurde.

Linopteris regniezi ist ebenfalls aus dem Kohlenbecken von Nordfrankreich erstmalig beschrieben worden (LAVEINE 1967 a: 294; 1967 b: 211). Aus den Karbon-Ablagerungen von Nordwestdeutschland wurde die Spezies bisher nicht angeführt. Erst in neuerer Zeit ist sie in mehreren Tiefbohrungen am Nordrand des Ruhrgebietes in einer Anzahl von Bohrkernen festgestellt worden. Dabei handelt es sich ausnahmslos um vom Wedel losgelöste Einzelblättchen, wie sie auch aus Nordfrankreich abgebildet sind (LAVEINE 1967 a: Taf. 84, Fig. 7; 1967 b: Taf. 18, 19).

Die Art hat eine für den Stratigraphen erfreulich geringe vertikale Verbreitung. Sie wurde in Nordfrankreich nur in einem kurzen Abschnitt des Westfals C gefunden, und zwar im faisceau de Six-Sillons, im Bereich der Kaolin-Kohlentonsteine Maurice und Maxence.

In Nordwestdeutschland ist *Linopteris regniezi* bislang nur im Ruhrrevier, aus der Flözgruppe Iduna, bekannt. Nach derzeitiger Kenntnis kann man annehmen, daß die Art im Bereich dieser Flözgruppe kennzeichnend auftritt und hier ein gewisses Maximum erreicht.

Alethopteris grandini wurde im Ruhrgebiet von der Flözgruppe Parsifal an bis zu den jüngsten karbonischen Schichten ziemlich regelmäßig angetroffen, obgleich die Art keine besondere Häufigkeit erreicht. Dabei hat sich das erste sichere Vorkommen als recht gutes stratigraphisches Merkmal erwiesen, weil die Spezies in mehreren Tiefbohrungen in der Parsifal-Flözgruppe einsetzt. Zwei Stücke, die jedoch wegen der schlechten Erhaltung nicht sicher zu bestimmen sind, wurden in der Flözgruppe Nibelung gefunden. Im Osnabrücker Raum wurde sie nur über Flöz Theodor bei Ibbenbüren sowie über den Flözen Dreibänke und Mittel am Piesberg registriert.

In Nordfrankreich kommt die Art vereinzelt schon im älteren Westfal C (höherer Teil des faisceau de Six-Sillons) vor; die Hauptverbreitung liegt im höheren Westfal C (faisceau d'Ernestine), was gut mit dem Vorkommen im Ruhrgebiet harmoniert. Im tieferen Westfal D von Nordfrankreich (faisceau de Du Souich) wurde sie nur noch vereinzelt nachgewiesen. Damit zeigt sich Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D...

Alethopteris grandini bei dem Vergleich in beiden Ländern als recht zuverlässige Zeitmarke, wobei allerdings das sporadisch frühere Einsetzen in Nordfrankreich zu berücksichtigen ist, dem im Ruhrgebiet die zwei fraglichen Stücke über Flöz Nibelung entsprechen könnten.

2.4. Stratigraphische Leitspezies (Tafel 11, S. 117)

Definitionsgemäß ist mit dem ersten Auftreten von Neuropteris ovata HOFFMANN die Grenze Westfal C/D verbunden (BERTRAND 1937, REMY 1964, LAVEINE 1977). Im Ruhrkarbon wurde die Art noch nicht gefunden. Der Vergleich der Pflanzenfossilien der jüngsten aufgeschlossenen Karbon-Schichten im Ruhrrevier mit den Floren von Nordfrankreich und dem Osnabrücker Raum, ebenso der Vergleich der Schichtenschnitte (Taf. 1 in der Anl.) lehren, daß die Grenze Westfal C/D im Ruhrgebiet etwa 80 – 100 m oberhalb der jüngsten in der Bohrung Specking 1 angetroffenen Karbon-Schichten zu erwarten ist (vgl. FIEBIG & GROSCURTH 1984: 265).

Das stratigraphisch älteste Vorkommen von *Neuropteris ovata* im Karbon von Nordwestdeutschland liegt bei Ibbenbüren über Flöz Dickenberg, dem Locus typicus und Stratum typicum der Spezies (HOFFMANN 1826, SALTZWE-DEL 1969). Die Oberkante dieses Kohlenflözes wird – analog den anderen stratigraphischen Grenzen im Ruhrkarbon – als Grenzschicht Westfal C/D angesprochen. Am Piesberg wurde *Neuropteris ovata* über den Flözen Dreibänke, Mittel und Johannisstein festgestellt. Über dem Flöz Zweibänke, das mit Flöz Dickenberg des Ibbenbürener Karbons gleichgestellt wird (JOSTEN & TEICHMÜLLER 1971: Taf. 1), konnte die Spezies noch nicht nachgewiesen werden (JOSTEN & KÖWING & RABITZ 1984).

Der Vergleich des ersten Vorkommens von *Neuropteris ovata* in Nordfrankreich und im Karbon von Ibbenbüren zeigt, daß die Art eine gute, angenähert zeitgleiche Markierung bedeutet. Daß sie über Flöz Zweibänke des Piesberges nicht gefunden wurde, ist vielleicht dadurch begründet, daß es sich um eine der weniger häufigen Pflanzen handelt, was natürlich für eine Leitpflanze von Nachteil ist.

3. Ergebnis und Schlußfolgerungen

In der Abbildung 4 (S. 97) wird deutlich, daß die Pflanzenarten, die sich innerhalb der Kohlenreviere als gute Zeitmarken bewährt haben, auch für die großräumige Konnektierung der Schichten geeignet sind. Insbesondere das jeweils erste Auftreten von *Reticulopteris münsteri, Neuropteris chalardi, Linopteris subbrongniarti* al. *L. neuropteroides* und auch noch *Linopteris regniezi* markiert von Nordfrankreich zum Ruhrgebiet angenähert zeitgleiche Linien. Daß der erste Einsatz der genannten Pflanzen angenähert synchron ist, folgert sich zunächst aus dem angenähert parallelen Verlauf der Verbindungslinien. Dieses wird erhärtet durch die Untersuchungen von BURGER (im Druck), der den Kaolin-Kohlentonstein Hermance in Nordfrankreich mit Hagen 1 in Nordwestdeutschland gleichstellt und ebenso Maurice mit Nibelung, Patrice mit Odin und Prudence mit Siegfried verbindet. Die Verbindungslinien dieser Kohlentonsteine verlaufen fast parallel zu den Synchronen der genannten Pflanzenfossilien und ebenso zu dem marinen Niveau Rimbert/Ägir. Daraus folgert, daß man im nordwesteuropäischen Kohlengürtel von Nordfrankreich bis zum Ruhrgebiet mit dem ersten Auftreten der Pflanzenspezies stratigraphisch eine große Genauigkeit erreichen kann. Die Genauigkeit ist etwa die gleiche, wie man sie auch innerhalb der Reviere selbst erarbeiten kann.

Zwischen dem Ruhrgebiet und dem Ibbenbürener Karbon liegt hinsichtlich des ersten Auftretens von *Reticulopteris münsteri* und von *Alethopteris corsini* eine größere zeitliche Diskrepanz. Sie ist gegeben, weil insbesondere aus dem tieferen Westfal C von Ibbenbüren nur wenige Aufschlüsse und Bohrungen mit guter Pflanzenführung vorliegen. Das erklärt auch die spärlichen Funde von *Alethopteris grandini* sowie das Fehlen von *Neuropteris chalardi* und *Linopteris regniezi* in diesem Gebiet. Weitere fossilführende Aufschlüsse im Osnabrücker Raum dürften auch bei diesen Pflanzen zu einer Konnektierung führen, wie sie durch *Linopteris subbrongniarti* al. *L. neuropteroides, Alethopteris grandini* und *Neuropteris ovata* vorgezeichnet ist (vgl. Abb. 4, S. 97).

Außer dem ersten Einsatz der Pflanzenspezies sind auch deren Hauptverbreitung sowie ihre letzten Vorkommen von stratigraphischem Interesse. Insgesamt betrachtet zeigen die jeweiligen Abschnitte der Hauptverbreitung in Nordfrankreich und im Ruhrgebiet eine ziemlich gute Übereinstimmung. Sie sind bei *Neuropteris chalardi* fast deckungsgleich; bei anderen Spezies ist die Übereinstimmung weniger gut. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die quantitative Erfassung der Pflanzenfossilien sehr subjektiv ist und daß die unterschiedliche Erfassung in Aufschlüssen und Bohrungen gravierend sein kann.

Ausgehend vom Ruhrgebiet reichen die Aufschlüsse in Nordfrankreich in sehr viel jüngere karbonische Schichten hinauf; im Ibbenbürener Karbon sind die tieferen Schichten weniger zahlreich und am Piesberg gar nicht aufgeschlossen. Dadurch kann bei mehreren Arten der "Zeitpunkt des Aussterbens" nicht beurteilt werden. Das Beispiel von *Linopteris subbrongniarti* al. *L. neuropteroides* zeigt jedoch, daß das "Ende" der Pflanzenarten ziemlich unterschiedlich sein kann. Diese Spezies ist in Nordfrankreich bis zum Top der Karbon-Aufschlüsse zahlreich vorhanden; im Westfal D des Piesberges wurde sie dagegen nicht mehr angetroffen.

Das wichtigste Kriterium bei pflanzenstratigraphischen Untersuchungen ist demnach im ersten Auftreten der Spezies zu sehen. Die vorliegenden Untersuchungen betonen ebenso, daß für eine genauere Gleichstellung von Sedimentpaketen oder Flözgruppen (vgl. Taf. 1 in der Anl.) eine größere Anzahl von pflanzenführenden Aufschlüssen ausgewertet werden muß. Die Pflanzenassoziationen aus nur einzelnen Aufschlüssen sind, ähnlich wie solche aus einzelnen Bohrungen, wegen ihrer begrenzten Ausdehnung zu stark von Zufälligkeiten abhängig.

Dabei können auch pflanzensoziologische Gegebenheiten die stratigraphische Auswertung beeinträchtigen, wenn beispielsweise die eine oder andere Art dominierend auftritt (vgl. JOSTEN 1961).

Pflanzensoziologisch dürfte auch das Fehlen von *Reticulopteris münsteri* in den älteren Aufschlußbohrungen des Ruhrkarbons zu erklären sein. Wie auf Seite 98 erwähnt, ist die Art erst in den jüngeren Bohrungen am Nordrand des Ruhrgebietes festgestellt worden, während sie in älteren Bohrungen, die nur wenige Kilometer entfernt stehen, in den gleichen Schichten nicht auftauchte (JOSTEN 1962 a: 764; 1966: 580).

Ganz analog zu *Reticulopteris münsteri* ist auch das Vorkommen von *Neuropteris scheuchzeri* HOFFMANN. Diese charakteristische Pflanze wurde bisher im oberen Westfal B und im Westfal C des Ruhrkarbons nur ganz vereinzelt gefunden. Dagegen brachten acht jüngere Aufschlußbohrungen eine größere Anzahl Stücke von Flöz Erda an aufwärts zutage. Meist sind es die gleichen Bohrungen, die auch *Reticulopteris münsteri* enthalten. Im Ibbenbürener Karbon und ebenso in Nordfrankreich gehört *Neuropteris scheuchzeri* vom unteren bis mittleren Westfal C an aufwärts bis zum Top der karbonischen Schichten zu den regelmäßig vorkommenden Arten, was jetzt auch mit den neuen Funden im Ruhrgebiet harmoniert (vgl. JOSTEN 1966: 595). Im Westfal D des Piesberges sind die Blättchen dieser Spezies häufige Begleiter in den Dachschichten fast aller Kohlenflöze.

Diese Feststellungen im Vorkommen von *Reticulopteris münsteri* und *Neuropteris scheuchzeri* werden wegen der großen Anzahl der untersuchten Aufschlüsse nicht als zufällig betrachtet. Weitere Bohrungen am Nordrand des Ruhrgebietes mögen eine nähere Begründung dafür geben; bis dahin werden sie als pflanzensoziologische Besonderheiten betrachtet. Dabei sei bemerkt, daß auch von anderen Pflanzen stratigraphische Differenzierungen beim Vergleich von Nordfrankreich mit Nordwestdeutschland bekannt sind (JOSTEN 1966: 595).

4. Schriftenverzeichnis

- BERTRAND, P. (1937): Tableaux des flores successives du Westphalien supérieur et du Stephanien. – C. R. 2. Congr. Avanc. Ét. Strat. Carbonif., Heerlen 1935, 1: 67 – 79, 4 Tab.; Maestricht.
- BODE, H. (1927): Palaeobotanisch-stratigraphische Studien im Ibbenbürener Carbon. Abh. preuß. geol. L.-Anst., N. F., **106**: 72 S., 2 Taf.; Berlin.
- BUISINE, M. (1961): Contribution à l'étude de la Flore du Terrain Houiller. Les Aléthoptéridées du Nord de la France. – Ét. géol. Atlas Topogr. souterr., 1 (4): 317 S., 74 Taf.; Lille.
- BURGER, K.: Kohlentonsteine im Oberkarbon NW-Europas. Ein Beitrag zur Geochronologie. - C. R. 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol.; Madrid 1983; Madrid. - [Im Druck]
- CLEAL, C. J. (1978): Floral biostratigraphy of the upper Silesian Pennant Measures of South Wales. Geol. J., **13** (2): 165 194, 8 Abb., 2 Taf.; Merseyside.
- FIEBIG, H., & GROSCURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257 – 267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen (1971): Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. Eine Übersicht. – **19**: I-VIII, 1-242, 79 Abb., 15 Tab., 8 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- GOTHAN, W. (1953): Die Steinkohlenflora der westlichen paralischen Steinkohlenreviere Deutschlands, Lfg. 5. – Beih. geol. Jb., **10**: 83 S., 8 Abb., 1 Tab., 44 Taf.; Hannover.
- HOFFMANN, F. (1826): Untersuchungen über die Pflanzen-Reste des Kohlengebirges von Ibbenbüren und vom Piesberg bei Osnabrück. – Karsten's Arch. Bergb. u. Hüttenwesen, **13** (2): 266–282; Berlin.
- JOSTEN, K.-H. (1961): Pflanzensoziologische Beobachtungen an Steinkohlenbohrungen im Ruhrgebiet. Palaeontographica, (B) **108** (1-2): 39-42, 6 Abb., 1 Taf.; Stuttgart.
- (1962 a): Die wichtigsten Pflanzen-Fossilien des Ruhrkarbons und ihre Bedeutung für die Gliederung des Westfals. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 753 – 772, 2 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

- (1962 b): Neuropteris semireticulata, eine neue Art als Bindeglied zwischen den Gattungen Neuropteris und Reticulopteris. – Paläont. Z., 36 (1/2): 33 – 45, 5 Abb., 3 Taf.; Stuttgart.
- (1966): Zur Flora des jüngeren Karbons (Westfal C bis Stefan) in Nordwestdeutschland und ihr Vergleich mit anderen Gebieten, – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 13 (1): 565 – 644, 24 Abb., 1 Tab., 18 Taf.; Krefeld.
- JOSTEN, K.-H., & KÖWING, K., & RABITZ, A. (1984): Das Oberkarbon des Osnabrücker Berglandes. – In: Naturwiss. Mus. Osnabrück [Hrsg.]: Einführung in die Geologie des Osnabrücker Berglandes. – [Im Druck]
- JOSTEN, K.-H., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Zusammenfassende Übersicht über das höhere Oberkarbon im Ruhrrevier, Münsterland und Ibbenbürener Raum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 281–292, 1 Taf.; Krefeld.
- LAVEINE, J. P. (1967 a): Contribution à l'étude de la flore du terrain houiller. Les Neuropteridées du Nord de la France. – Ét. géol. Atlas Topogr. souterr., **1** (5): 344 S., 48 Abb., 4 Tab., 14 u. 84 Taf.; Lille.
- (1967 b): Supplément à l'étude des Neuroptéridées du Nord de la France. Figuration complémentaire du *Linopteris regniezi* LAVEINE. – Ann. Soc. Géol. Nord, 87, 4: 211 – 213, 2 Taf.; Lille.
- (1977): Report on the Westphalian D. Symposium on Carboniferous Stratigraphy. Meeting in Czechoslovakia 1973, Special Vol.: 71–83, 4 Tab., 2 Taf.; Prag.
- REMY, W. (1964): Zur Untergliederung des Stéphanien und Autunien, Grenze Stéphanien/ Autunien. – C.R. 5. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Paris 1963, 1: 177–187; Paris.
- SALTZWEDEL, K. (1969): Revision der *Imparipteris ovata* (HOFFMANN) GOTHAN, 1. Tl.: Typus und Typoid-Material vom locus typicus. – Arg. Palaeobot., **3**: 131 – 162, 14 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Münster.

Eingang des Manuskriptes: 12. 7. 1984

Tafel 1 in der Anlage

Vereinfachte petrographische Schichtenschnitte des Westfals C – D in Nordfrankreich und Nordwestdeutschland mit den stratigraphisch wichtigsten Pflanzenarten

Plate 1 in the annex

Simplified petrographic sections of Westphalian C-D in Northern France and Northwest Germany with the stratigraphically most important fossil plants

- Fig. 1 Neuropteris dussarti LAVEINE Westfal D, veine M Nordfrankreich, Bruay Fosse 6 nat. Größe
- Fig. 1 a Vergrößerung von Fig. 1; Vergr. 3 x
- Fig. 2 Neuropteris dussarti LAVEINE Westfal D, Flöz Dreibänke Piesberg bei Osnabrück nat. Größe
- Fig. 2a Vergrößerung von Fig. 2; Vergr. 3x

Tafel 3 (S. 107)

- Fig. 1 Neuropteris dussarti LAVEINE Westfal D, veine M Nordfrankreich, Bruay Fosse 6 nat. Größe
- Fig. 1a Vergrößerung von Fig. 1; Vergr. 3x

Tafel 4 (S. 108)

- Fig. 1 Neuropteris semireticulata JOSTEN Westfal C, Flözgruppe Chriemhilt Ruhrrevier, Zeche Prosper IV, Schacht 9 nat. Größe
- Fig. 1a Vergrößerung von Fig. 1; Vergr. 3x
- Fig. 2 Reticulopteris münsteri (EICHWALD) Westfal D, Flöz Dreibänke Piesberg bei Osnabrück nat. Größe
- Fig. 2a Vergrößerung von Fig. 2; Vergr. 3x
- Fig. 3 Alethopteris corsini BUISINE Westfal C, Flözgruppe Hagen Ruhrrevier, Bohrung Nordschacht der Zeche Osterfeld nat. Größe
- Fig. 4 Neuropteris chalardi LAVEINE Westfal C, Niveau à 1 029 m Nordfrankreich, Vimy-Fresnoy Fosse 1 bis nat. Größe
- Fig. 5 Neuropteris chalardi LAVEINE Westfal C, veine 16 Nordfrankreich, Anzin Fosse Cuvinot nat. Größe

Tafel 5 (S. 109)

Neuropteris chalardi LAVEINE Vergrößerung von Taf. 4, Fig. 5; Vergr. 3x



Tafel 2 (Erläuterung s. S. 105)



Tafel 3 (Erläuterung s. S. 105)


Tafel 4 (Erläuterung s. S. 105)



Tafel 6 (S. 111)

Fig. 1 Neuropteris chalardi LAVEINE Westfal C, veine 16 Nordfrankreich, Anzin Fosse Cuvinot nat. Größe

Fig. 1a Vergrößerung von Fig. 1; Vergr. 3x

Tafel 7 (S. 112)

Linopteris subbrongniarti (GRAND'EURY) al. Linopteris neuropteroides (GUTBIER) Westfal C, veine Omérine à 472 Nordfrankreich, Liévin Fosse 4 nat. Größe

Tafel 8 (S. 113)

Linopteris subbrongniarti (GRAND'EURY) al. Linopteris neuropteroides (GUTBIER) Vergrößerung von Taf. 7; Vergr. 3x Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D...



Tafel 6 (Erläuterung s. S. 110)



Tafe1 7 (Erläuterung s. S. 110)



Tafel 8 (Erläuterung s. S. 110)



Tafel 9 (Erläuterung s. S. 116)



Tafel 10 (Erläuterung s. S. 116)

Tafel 9 (S. 114)

- Fig. 1 Linopteris subbrongniarti (GRAND'EURY) al. Linopteris neuropteroides (GUTBIER) Westfal C, Flöz Siegfried Ruhrrevier, Bohrung Lippermulde 1 nat. Größe
- Fig. 1 a Ausschnitt von Fig. 1; Vergr. 3 x
- Fig. 2 Linopteris regniezi LAVEINE Westfal C, Flözgruppe Iduna Ruhrrevier, Bohrung Drostenfeld 2 nat. Größe
- Fig. 2 a Vergrößerung von Fig. 2; Vergr. 3 x
- Fig. 3 Gegendruck von Fig. 2; nat. Größe
- Fig. 3 a Vergrößerung von Fig. 3; Vergr. 3 x
- Fig. 4 Linopteris regniezi LAVEINE Westfal C, veine St. Augustin (Bienvenue inf.) Nordfrankreich, Noeux Fosse 2 nat. Größe
- Fig. 4a Vergrößerung von Fig. 4; Vergr. 3x

Tafel 10 (S. 115)

- Fig. 1 Linopteris regniezi LAVEINE Westfal C, veine Bienvenue inférieure Nordfrankreich, Noeux Fosse 4 nat. Größe
- Fig. 1a Ausschnitt von Fig. 1; Vergr. 3x

Tafel 11 (S. 117)

- Fig. 1 Alethopteris grandini BRONGNIART Westfal C, Flöz Siegfried Ruhrrevier, Bohrung Nordlicht Ost 2 nat. Größe
- Fig. 1a Vergrößerung von Fig. 1; Vergr. 3x
- Fig. 2 Neuropteris ovata HOFFMANN Westfal D, veine Arago Nordfrankreich, Liévin Fosse 7 nat. Größe
- Fig. 2a Vergrößerung von Fig. 2; Vergr. 3x
- Fig. 3 Neuropteris ovata HOFFMANN Westfal D, Flöz Johannisstein Piesberg bei Osnabrück nat. Größe
- Fig. 3 a Vergrößerung von Fig. 3; Vergr. 3 x

Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D....



Tafel 11 (Erläuterung s. S. 116)



Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen aus Kaolin-Kohlentonsteinen als Korrelationsmarken für das mitteleuropäische Oberkarbon

32

Von HANS J. LIPPOLT, JÜRGEN C. HESS und KURT BURGER*

Dating, K-Ar-isotope, coal tonstein, Upper Carboniferous, Central Europe (Saar-Nahe basin, Rhenish-Westphalian basin, Upper Silesian basin)

Kurzfassung: An Sanidinen aus Kaolin-Kohlentonsteinen einiger mitteleuropäischer Oberkarbon-Vorkommen (Saar-, Ruhr- und oberschlesisches Karbon) wurden Altersbestimmungen nach der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Methode durchgeführt. Die untersuchten Feldspäte ergaben gut ausgebildete ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersplateaus, die den Bildungsaltern der Kohlentonsteine entsprechen. Da die verwendeten Kohlentonsteine stratigraphisch gut einzustufen sind, können die Alterswerte zur Quantifizierung der stratigraphischen Korrelation dieser Gesteine herangezogen werden. Darüber hinaus ist es möglich, diese Altersergebnisse als Eichmarken für die geologische Zeitskala zu verwenden. Aufgrund der erhaltenen Alter kann eine Revision der oberkarbonischen Zeitskala vorgeschlagen werden. Im Oberschlesischen Becken (Ostrauer Revier) wurde eine Sedimentationslücke im Namur A nachgewiesen.

[Isotopic ages of pyroclastic sanidines from coal tonsteins as correlation marks for the Central European Upper Carboniferous]

A b s t r a c t: ⁴⁰Ar/³⁹Ar age determinations were carried out on sanidines from coal tonsteins of some Central European Upper Carboniferous deposits (Saar, Ruhr, and Ostrava Carboniferous). The investigated feldspars yielded well-shaped ⁴⁰Ar/³⁹Ar age plateaus, which correspond to the ages of formation of the coal tonsteins. Since the coal tonsteins are of wellknown stratigraphic position, the age values can be utilized to quantify the stratigraphic correlation of these rocks. In addition, it is possible to employ these ages as calibration marks for the geological time scale. On the basis of the measured ages a revision of the Upper Carboniferous time scale can be proposed. In the case of the Ostrava Carboniferous, a gap of sedimentation in the Upper Namurian A could be proven.

[Les âges isotopiques de sanidines pyroclastiques de tonsteins en tant que marques de correlation pour le Carbonifère supérieur de l'Europe Centrale]

R és u m é: Des déterminations d'âge sur des sanidines de tonsteins de quelques dépôts du Carbonifère supérieur de l'Europe Centrale (Carbonifère du bassin de la Saar, de la Ruhr et de l'Ostrava) ont été faites utilisant la méthode ⁴⁰Ar/³⁹Ar. Les feldspaths analysés ont fourni des plateaux d'âge de ⁴⁰Ar/³⁹Ar bien formés qui correspondent aux âges de formation des tonsteins. Lorsqu'on arrive facilement à classer stratigraphiquement les tonsteins utilisés, il est possible d'employer les valeurs d'âge à la correlation quantitative stratigraphique de ces roches. En outre, ces résultats d'âges peuvent servir comme marques de calibrage pour l'échelle des temps paléozoiques. Tenant compte des âges obtenus, la nécessité d'une révision de l'échelle numérique du Carbonifère supérieur semble évidente. Dans le cas du Carbonifère de l'Ostrava, on a réussi à démontrer une interruption de sédimentation dans le Namurien A.

^{*} Anschriften der Autoren: Prof. Dr. H. J. LIPPOLT, Dipl.-Geol. J. C. HESS, Laboratorium für Geochronologie, Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 234, D-6900 Heidelberg, Dr. K. BURGER, Halbe Höhe 10, D-4300 Essen 1

1. Einleitung und Zielsetzung

Im Zuge der variscischen Orogenese in Europa wie auch der appalachischen Orogenese in Nordamerika kam es im Oberkarbon zu intensiver plutonischer und vulkanischer Tätigkeit, die mit isotopischen Methoden im allgemeinen gut datiert werden kann. Aus dem Abbau karbonischer Kohlenvorkommen erwuchs eine ausgezeichnete Kenntnis der Stratigraphie des Oberkarbons. Beides sind wichtige Voraussetzungen für die Kalibrierung der geologischen Zeitskala. Dennoch ist sie für diesen Zeitraum noch nicht hinreichend gut bekannt. Vor allem die Alterswerte für die intra-karbonischen Grenzen sind nach wie vor unsicher. Dies hat zum einen seine Ursache in der oft noch ungesicherten stratigraphischen Einstufung der datierten magmatischen Gesteine, die für die Eichung der Zeitskala herangezogen wurden (BONHOMME & MENDES & VIALETTE 1961, BONHOMME 1967, HESS & LIPPOLT 1981). Zum anderen sind die Fehlerintervalle der Alter dieser Gesteine stets größer als \pm 6 bis \pm 10 Ma (FRANCIS & WOODLAND 1964, ODIN 1982). Diese Fehlerspanne macht bis zu 50 % und mehr der gesamten Dauer des Oberkarbons (etwa 30 Ma nach ODIN & GALE 1982) aus. Daher sind Altersbestimmungen mit solchen Fehlergrenzen für die präzise Eichung der Zeitskala nur von beschränktem Wert, selbst wenn die datierten Gesteine stratigraphisch gut eingeordnet werden können (z. B. BONHOMME et al. 1961, DAMON & TEICH-MÜLLER 1971).

Material für die Eichung der Stufengrenzen des Oberkarbons muß die Bedingungen erfüllen, daß sowohl das stratigraphische wie auch das analytische Unsicherheitsintervall hinreichend klein ist. Vulkanische Hochtemperaturfeldspäte aus pyroklastischen Gesteinen sind vom stratigraphischen Standpunkt aus gesehen für diesen Zweck am besten geeignet. Für die Verbesserung der karbonischen Zeitskala fiel unsere Wahl daher auf Kaolin-Kohlentonsteine, deren stratigraphische Positionen aufgrund ihres geologischen Auftretens in Kohlenflözen sehr gut bekannt sind. Sie enthalten als umgewandelte Pyroklastite gelegentlich gut erhaltene primär-vulkanische Mineralrelikte. Von diesen eignet sich für isotopische Altersbestimmungen besonders der Sanidin. Pyroklastische Sanidine gelten als brauchbare K-Ar-Chronometer (BAADSGAARD & LIPSON & FOLINSBEE 1961, BAADSGAARD & LERBEKMO 1982), an denen mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierungsmethode Alter mit geringen analytischen Fehlern bestimmt werden können (HELLMANN & LIPPOLT 1981).

Darüber hinaus können bei Anwendung dieser Altersbestimmungstechnik zusätzliche, stützende Informationen über die datierten Proben erhalten werden (z. B. besteht die Möglichkeit, mit dem Verfahren der stufenweisen Entgasung eventuelle Störungen des K-Ar-Systems eines Minerals zu erkennen; daneben können K-und Ca-Gehalte einer Probe bestimmt werden).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist, stratigraphisch gut abgesicherte und hinreichend genaue Alterswerte für die Grenzen der Oberkarbon-Stufen und -Unterstufen zu erhalten. Von vorrangigem Interesse ist das Karbon Westeuropas, weil sich hier die im Rahmen der internationalen Karbon-Kongresse (Heerlen 1927, 1935 bis Madrid 1983) als stratigraphisch verbindlich definierten Stratotypen befinden. Aus dieser Sicht kommt dem vorliegenden Arbeitsansatz grundlegende Bedeutung zu.

Mit einer detaillierten und gut definierten Zeitskala wird es in Zukunft möglich sein, die Korrelation von Oberkarbon-Vorkommen verschiedener Regionen zu quantifizieren. Ebenso wird ermöglicht, isotopisch datierbare Gesteine unbekannter stratigraphischer Zugehörigkeit Stufen oder Unterstufen des Oberkarbons zuzuordnen.

Der Ansatz zu dieser Arbeit wurde auf dem zehnten internationalen Kongress für Stratigraphie und Geologie des Karbons in Madrid 1983 vorgestellt (LIPPOLT & HESS, in Vorbereit.). Im folgenden werden die ersten Ergebnisse der von uns angestrebten präzisen Kalibrierung der geologischen Zeitskala des Oberkarbons beschrieben.

2. Geographische Übersicht

Da unsere Arbeit auf eine Korrelation geographisch weit auseinanderliegender Oberkarbon-Vorkommen zielt, sind in Abbildung 1 die Verbreitung des Oberkarbons (Silesium) in Nordwest- und Mitteleuropa sowie die durch Bergbau erschlossenen, explorierten und vermuteten Steinkohlengebiete dargestellt. Während die flächenmäßig größeren Steinkohlengebiete vorwiegend dem paralischen Bildungsraum angehören, der sich über 2500 km von Irland bis Polen erstreckt, befinden sich südlich davon die isolierten Vorkommen in limnischer Fazies.

Kaolin-Kohlentonsteine und Tuffsteine treten in beiden Faziesräumen auf. Man kann sie deshalb im Sinne der in der Einleitung genannten Zielsetzung als isotopische Zeitmarken nutzen.

Die im Rahmen mehrjähriger Bearbeitung durchgeführten Untersuchungen erstrecken sich auf folgende oberkarbonische Gebiete, die in Abbildung 1 durch Ziffern-Fettdruck hervorgehoben sind:

- 1 Saarkarbon und Saar-Nahe (limnische Fazies)
- 2 Baden-Baden (limnische Fazies)
- **3** Ruhrkarbon (paralische Fazies)
- 7 Oberschlesisches Steinkohlenbecken (Ostrauer Revier; paralische Fazies)

Die im physikalischen Zeitgerüst definierten isotopischen Korrelationsmarken überbrücken somit folgende, durch Aufschlußlücken bedingte Entfernungen:

Saarrevier – Baden-Baden	ca. 110 km
Ruhrrevier-Saarrevier	ca. 250 km
Ruhrrevier–Ostrauer Revier	ca. 800 km

3. Stratigraphie und Petrographie der datierten Gesteine

Die isotopischen Altersbestimmungen können den in der Einleitung erläuterten Zweck nur dann erfüllen, wenn sich die Gesteine als stratigraphisch gut definiert erweisen, und ihre petrographische Beschaffenheit gewährleistet, daß die Datierungsproben repräsentativ und brauchbar sind. Auf diese beiden Fragen wird im folgenden eingegangen.

3.1. Stratigraphische Betrachtungen

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die stratigraphische Stellung der in der Abbildung 1 aufgeführten Steinkohlenreviere Mitteleuropas. Es wird die jeweils gültige stratigraphische Gliederung der Schichtenfolge angegeben, wobei die Kohlenflözführung gerastert herausgestellt ist. Die Position der datier-



Abb. 1 Verbreitung des Oberkarbons und Lage der Steinkohlenreviere in Nordwest- und Mitteleuropa. Die Herkunftsgebiete der datierten Gesteine sind durch die Punkte 1, 2, 3 und 7 gekennzeichnet.

Fig. 1 Distribution of the Upper Carboniferous and location of the coal districts in Northwest and Central Europe. The dated rocks originate from the regions marked by points 1, 2, 3 and 7.

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

ten Kaolin-Kohlentonsteine oder Tuffe ist durch Punktsymbole markiert. Um die beachtliche Entfernung zwischen den westlichen Kohlengebieten und dem Oberschlesischen Steinkohlenbecken zu überbrücken, sind das dazwischen befindliche Mittelböhmische Kohlenbecken und das Innersudetische Kohlenbecken zusätzlich dargestellt worden.

Als stratigraphischer Korrelationsbezug dient die auf der rechten und linken Seite angeordnete, international verbindliche Abteilungs-, Stufen- und Unterstufengliederung (Beschlüsse der internationalen Karbon-Kongresse von Heerlen 1927 und 1935 bis Madrid 1983). Sie beruht im wesentlichen auf paläontologischen Kriterien. Wichtigste Grundlage für diese Gliederung sind im paralischen Faziesbereich die marine Mega- und Mikrofauna und im limnischen Faziesbereich die terrestrische Mega- und Mikroflora. Kaolin-Kohlentonsteine und Tuffe im Schichten- und/oder Flözverband paralischer und limnischer Steinkohlenreviere sind den biostratigraphischen Leithorizonten als ebenbürtige Identifikations- und Korrelationshorizonte (Zeitmarken) zur Seite gestellt worden (BURGER 1982, dort weitere Literaturhinweise).

Die stratigraphische Position der zur Isotopenaltersbestimmung verwendeten Kaolin-Kohlentonsteine und Tuffe ist zweifelsfrei gesichert. Nähere Informationen über diese Gesteine sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Aus ihr geht hervor, daß neun pyroklastische Korrelationshorizonte für das Oberkarbon Mitteleuropas mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierungstechnik analysiert worden sind. Sie entstammen dem oberen Namur A, dem obersten Westfal B, dem mittleren Westfal C, dem oberen Stefan A, dem Stefan C (B?) und dem Grenzbereich Oberkarbon – Unterperm.

3.2. Petrographische Beschreibung

Im Schichtenverband der genannten Steinkohlenreviere ist eine Vielzahl Kaolin-Kohlentonsteine nachgewiesen. Es befinden sich im Saarkarbon (Westfal C bis Stefan B) 35 bis 40 (BURGER 1982), im Ruhrkarbon (Namur A bis Westfal C) 45 (BURGER 1982, BURGER & FIEBIG & STADLER 1984) und im oberschlesischen Karbon (Namur A bis Westfal A) 20 Kaolin-Kohlentonsteine und 23 Tuffite (DOPITA & KRALIK 1977). Die überwiegende Zahl gehört zum Haupttypus "Kaolin-Kohlentonstein". Bei diesem Haupttypus unterlag das pyroklastische Ursprungsmaterial einem intensiven Verwitterungsprozeß im sauren Milieu von Torfmooren. Für unsere Untersuchungen wesentlich geeigneter sind demgegenüber die zum Haupttypus "Mixed-layer-Tonstein" gehörigen Typen "Dichter, kryptokristalliner Tonstein" und "Pseudomorphosentonstein", weil die in diesen Typen vorkommenden stabilen Minerale meist im frischen Zustand vorliegen.

Solche Typen sind jedoch relativ selten. Die petrographischen Untersuchungen konzentrieren sich daher auf die Erfassung der genannten Typen, wobei Qualität und Quantität des Mineralbestandes, insbesondere des für die Isotopen-Altersbestimmung brauchbaren vulkanischen Hochtemperaturfeldspats Sanidin, vorrangiges Kriterium waren. Die Identifikation von pyroklastischem Sanidin ist in Dünnschliffen bei orthoskopischer Betrachtung schwierig, da er im frischen Zustand von Quarz kaum zu unterscheiden ist, und er meist in Form winziger Kornsplitter (ehemals größerer Individuen) in den Proben vorliegt. Für quantitative Abschätzungen des Sanidingehalts kamen mehrere Verfahren in Anwendung: Röntgenanalysen am Originalgestein

Tabelle 1

Stratigraphische Gliederung des in den Kohlenrevieren Mitteleuropas anstehenden Gebirges und seine Korrelation zu den Perm- und Karbon-Formationsstufen



Schichtenfolgen mit Kohlenflözführung sind mit Raster umrahmt. Die stratigraphische Stellung der isotopisch datierten Kaolin-Kohlentonsteine bzw. Tuffe ist mit KTst bzw. Tuff, gefolgt von der Horizontbezeichnung, eingetragen.

Mitte	elböhmisches Becken		Innersudet	tisches Becken	Oberschlesisches Becken		s Becken	Glie	der	ung	
	ČSSR		ČSSR	Polen	ČSSR Polen						
	Rotliegend und jünger -Schichten mit Eruptiva Rotliegendes mit Eruptiva Rotliegendes mit Eruptiva			¢			Unterrotliegend Oberrotliegend	= Autun	Perm		
Lině-Sch		Chvale					 	id jünger	с		
Slaný- Sch.	·····································		Ludwikowice-Schichten	1				в	Stefan		
Týnec- Sch.		Svatoňovice-		Svatoňovice-			1	Rotliege	А		
Radnice-Sch.		opo	Schichten	Glinik-Schichten			Libiąź-Schichten	D		sium	
		Petrovice-Sch.		 1	ertiär			Chełm-Schichten Łaziska-Schichten	ы с В Westfal	= Sile	
		Prkenný Důl- Schichten		 Žacleř-Schichten 			hten	Urzesze-Schichten		West	rbon =
					ten .	⊢ Doubravá-Sch.	Ilöz-Schicl	Załąże-Schichten	A		Dberka
		Bia	aty Kamień-Sch.	 Biały Kamień-Sch. k:	ná-Schich	Suchá-Sch.	Mulder	Ruda-Schichten	с		.0
				Schichtlücke	Sattelflöz-Sch.			Zabize-Schichten	в	Vamur	
				Przedwojów-Sch. Wałbrzych-Sch.	Ostrava- Schichter	Poruba-Sch. Jaklovec-Sch. Hrušov-Sch. Petřkovice-Sch.		Jaklowece-Sch. Gruszow-Sch. Petrzkowice-Sch.	A 2		
				 Kulm		KTst 479 F KTst 365 F KTst 335 Kulm		Kulm		Visé	nantium
				 			 			Tournai	Di
N P	1ašek (1963) Ešek (1975)	Stře Rieg	DA) (persönl. ER∫Mittlg.1977)	BOJKOWSKI & BUŁA & PORZYCKI (1983)	D	opita & Králík (1969, 1977)		BOJKOWSKI & BULA & Porzycki (1983)			

Tabelle 1 (Fortsetzung)

der untersuchten Kaolin-Kohlentonsteine, Tuffe und Rhyolithe									
Formations- stufe	Schichten- gruppe	Gebiet	Fundort	analysierte Gesteine	Anal Abkürz.	Quelle			
Unterperm Oberkarbon	Grenzlager-Gr.	Saar — Nahe		Tuffsteine, Rhyolithe		LIPPOLT & HESS 1983			
Stefan B oder C		Baden-Baden	Bohrung	Tuffstein	159/71	HESS & BACKFISCH & LIPPOLT 1983			
Stefan A	Dilsburger Sch.	Saar	Göttelborn	Tonstein 0 (= 950)	COT 0/2	vorl. Arbeit			
Westfal C	Dorstener Sch.	Ruhr	Fürst Leopold	Hagen-1-Tonstein	COT H1	vorl. Arbeit			
Westfal C	Dorstener Sch.	Ruhr	Brassert	Hagen-4-Tonstein	COT H4	vorl. Arbeit			
Westfal B	Horster Sch.	Ruhr	Brassert	Z-1-Tonstein	COT-Z	vorl. Arbeit			
Namur A	Poruba-Sch.	Ostrava	Pr. Gottwald	Tonstein 479 (Max)	COT 479	vorl. Arbeit			
Namur A	Jaklovec-Sch.	Ostrava	Jan Fučík	Tonstein 365 (Gabriela)	COT 365	vorl. Arbeit			
Namur A	Jaklovec-Sch.	Ostrava	Jan Fučík	Tonstein 335 (Eleonora)	COT 335	vorl. Arbeit			

	Tabelle 2	
Überblick über die	stratigraphische und	geographische Herkunft
der untersuchten	Kaolin-Kohlentonstein	ne. Tuffe und Rhvolithe

(Ruhrkarbon: G. STADLER, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., oberschlesisches Karbon: DOPITA & KRALIK 1977), Färbeverfahren an Dünnschliffen und Mineralpräparaten (HESS & LIPPOLT 1980).

Im folgenden wird eine Charakterisierung des Untersuchungsmaterials dieser Arbeit und zweier weiterer damit zusammenhängender Arbeiten (HESS & BACKFISCH & LIPPOLT 1983, LIPPOLT & HESS 1983) unternommen. Es werden jeweils die Herkunft der untersuchten Gesteine und ihre stratigraphische Stellung sowie die petrographischen Untersuchungsbefunde angegeben.

Saar-Nahe

Tuffstein, südöstlich Hohlbusch Tuffstein, östlich Lohmühle Rhyolithe von acht verschiedenen Lokalitäten Oberkarbon-Unterperm, Grenzlager-Gruppe

Makroskopisches Aussehen und mikroskopische Befunde bei LIPPOLT & HESS (1983).

Saarkarbon

Tonstein O, Flöz Wahlschied (= Flöz 950), Grube Göttelborn, 4. Sohle Oberes Stefan A, Dilsburger Schichten (Taf. 1, S. 143: Fig. 1-4)

Makroskopisches Aussehen: bräunlichgraue Farbe, körnig; Mächtigkeit 5 cm. Mikroskopischer Befund: Kaolin-Kohlentonstein, Typus Kristalltonstein.

Humose Grundmasse mit dichtgepackten Kaolinit-Formentypen. Vorwiegend Kaolinitkristalle in Säulen (bis 2,5 mm Länge), Tafeln und Spaltstücken. Vereinzelt Biotite und Hydrobiotite. Nach oben deutlich abnehmende Korngrößen. Quarz und Sanidin in Größen bis zu 0,6 mm in loser Verteilung, größere Körner im basalen Bereich angereichert. Vereinzelt Hochtemperaturquarz in typischen Formen. Sanidin tritt sowohl in scharf begrenzten Körnern als auch in unregelmäßigen Bruchstücken auf (Taf. 1: Fig. 2 – 4); bei starker Vergrößerung ist feinste Pigmentierung durch Flüssigkeitseinschlüsse erkennbar. Sporadisch Apatit und idiomorpher Zirkon.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (sehr gut kristallisiert), Quarz ca. 3%, Sanidin ca. 2%.

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

Baden-Baden

Tuff, Tiefbohrung Staufenberg T₃A (1978/79), Teufe 795 m Oberkarbon, Stefan C (B?)

Makroskopisches Aussehen: Mächtigkeit 25 cm, olivgraue bis grauoliv-grüne Farbe. Mikroskopischer Befund: Kristalltuff. Petrographische Beschreibung bei HESS & BACKFISCH & LIPPOLT (1983).

Ruhrkarbon

Hagen-1-Tonstein, Zeche Fürst Leopold, 3. Sohle, SH Mittleres Westfal C, Dorstener Schichten (Taf. 1, S. 143: Fig. 5-8)

Makroskopisches Aussehen: hellgraue Farbe, dicht; Mächtigkeit 15 cm. Mikroskopischer Befund: Mixed-layer-Tonstein, dichter, kristallarmer Typus.

Überwiegend mikrokristalline, feinstkörnige, schwach bräunliche Grundmasse von Kaolinit und Illit-Montmorillonit. Daneben homogene, fast optisch isotrope, dunkelbraune Bereiche von kaolinischer Substanz. Gelegentlich in die Schichtung eingelagerte kohlige Reste. In der Grundmasse in loser Verteilung Kaolinit-Formentypen in Größen bis zu 1 mm, vorwiegend Kaolinitknäuel mit partiellen Kristallisationsfeldern (Taf. 1: Fig. 5), in Auflösung begriffene, kaolinisierte Glimmer sowie vereinzelt säulige und wurmförmig gekrümmte Kaolinitkristalle.

Übriger Mineralbestand (Quarz, Sanidin, Pyrit und akzessorischer Zirkon) quantitativ untergeordnet. Quarz und Sanidin treten als scharf konturierte Körner auf (Taf. 1: Fig. 6 – 8). Ihre Größe reicht von 0,5 mm bis zu winzigen Splittern ehemals größerer Kristalle. Dies ist besonders beim Sanidin der Fall, bei dem leicht eine Teilung entlang Spaltrissen stattfindet (Taf. 1: Fig. 8).

In verschiedenen Aufschlüssen führt der Hagen-1-Tonstein vulkanogene Glasscherbenrelikte in sporadischer Verteilung.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (gut kristallisiert), Quarz ca. 10 %, Feldspat ca. 5 %, Illit-Montmorillonit ca. 15 %.

Hagen-4-Tonstein, Zeche Brassert, Querschlag 4 NO, 3. Sohle Mittleres Westfal C, Dorstener Schichten (Taf. 2, S. 147: Fig. 1-4)

Makroskopisches Aussehen: hellgraubeige Farbe, dicht; Mächtigkeit 5 cm. Mikroskopischer Befund: Mixed-layer-Tonstein, dichter, kristallarmer Typus.

Mikrokristalline feinstkörnige Grundmasse mit schwach bräunlicher Färbung aus Kaolinit und Illit-Montmorillonit. In loser Verteilung Aggregate ehemaliger Biotite, gelegentlich aufgeblättert. Vereinzelt Kaolinitknäuel, keine Kaolinitkristalle.

Übriger Mineralbestand im wesentlichen aus Quarz und Sanidin in Größen bis zu 0,4 mm. Sanidin oft mit Spaltrissen nach (001) (Taf. 2: Fig. 2–4); entlang diesen Zerteilung in winzige Splitter, die in der Grundmasse reichlich eingelagert sind. Alle Sanidine sind frisch, größere Kristallsplitter besitzen gelegentlich feinste Pigmentierung durch Flüssigkeitseinschlüsse. Zirkon ist nur sporadisch nachweisbar.

Auch der Hagen-4-Tonstein führt in verschiedenen Aufschlüssen vulkanogene Glasscherbenrelikte in sporadischer Verteilung.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (gut kristallisiert), Sanidin ca. 10 %, Quarz ca. 5 %, Illit-Montmorillonit ca. 10-15 %.

Z-1-Tonstein, Zeche Brassert, Hauptabteilung, 4. Sohle Oberstes Westfal B, Horster Schichten (Taf. 2, S. 147: Fig. 5-8)

Makroskopisches Aussehen: hellgraue Farbe, dicht; Mächtigkeit 5 cm. Mikroskopischer Befund: Mixed-layer-Tonstein, dichter, kristallarmer Typus.

Grundmasse vorwiegend Kaolinit und Illit-Montmorillonit in mikrokristalliner, feinstkörniger Ausbildung. Im Bereich der Basis zunehmende kohlige Einschaltungen mit optisch isotropen, dunkelbraunen Kaolinitgelballen. Kaolinitformentypen in loser Verteilung, bestehend aus Kaolinitknäuel mit partiellen Kristallisationsfeldern, in Umbildung begriffene Glimmerpseudomorphosen (Taf. 2: Fig. 7), vereinzelte Spaltstücke ehemaliger Biotite sowie einige Kaolinittafeln und -säulen. Scharf begrenzte Quarz- und Sanidinkörner (Taf. 2: Fig. 7, 8) in Größen bis zu 0,3 mm, sowohl in loser Verteilung als auch in lokaler Anreicherung; relativ häufig sind kleinste Sanidinsplitter. Sporadisch Zirkon und Pyrit.

Der Z-1-Tonstein führt in verschiedenen Aufschlüssen vulkanogene Glasscherbenrelikte und Glasblasenstrukturen (BURGER & STADLER 1984).

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (gut kristallisiert), Quarz ca. 5%, Sanidin ca. 5%, Illit-Montmorillonit ca. 10%.

Oberschlesisches Becken (Ostrauer Revier)

Tonstein 479, Flöz 20 (= Max), Grube President Gottwald Oberes Namur A, Poruba-Schichten (Taf. 3, S. 149: Fig. 1-4)

Makroskopisches Aussehen: graubräunliche Farbe, körnig; Mächtigkeit 10 cm. Mikroskopischer Befund: Typus Pseudomorphosentonstein.

Mikroskopisch feinstkörnige Kaolinitgrundmasse mit schichtig lagernden Humussubstanzen sowie Gefäßtracheiden mit homophanen Kaolinitinfiltrationen. Vorherrschend Biotite bzw. deren Pseudomorphosen mit gut geprägter Lamellenstruktur und Größen bis zu 0,4 mm. Drei Zustandsformen sind zu unterscheiden: Biotite mit deutlichem Pleochroismus, Pseudomorphosen mit partieller und solche mit vollständiger Kaolinisierung, ebenso Umwandlungen in Chlorit. Vereinzelte Säulen, Tafeln oder Spaltstücke von Kaolinit. Auffallend hohe Anteile von Quarz und Sanidin in Größen bis zu 0,3 mm in scharfbegrenzten Formen (Taf. 3: Fig. 1–4). Neben relativ großen Sanidinbruchstücken in der Grundmasse eine Vielzahl winziger Sanidinsplitter (Taf. 3: Fig. 4). Der Sanidin ist frisch, nur vereinzelte Körner zeigen partielle Kaolinisierung am Rand. Sporadisch Zirkon, idiomorph und in Form von Bruchstücken.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (sehr gut kristallisiert), Biotit ca. 15%, Quarz ca. 10%, Sanidin ca. 10%, Illit-Montmorillonit ca. 5%.

Tonstein 365, Flöz Gabriela, Grube Jan Fučik Oberes Namur A. Jaklovec-Schichten (Taf. 3, S. 149: Fig. 5, 6)

Makroskopisches Aussehen: dunkelgrau-bräunliche Farbe, feinkörnig, eingelagerte Kohleschmitzen; Mächtigkeit 15 cm.

Mikroskopischer Befund: Typus Pseudomorphosentonstein.

Grundmasse mikroskopisch feinstkörniger Kaolinit, von schichtig lagernden Humussubstanzen durchsetzt. Auffallend und zahlreich schichtungsorientierte Gefäßtracheiden, infiltriert von homophaner, stark doppelbrechender Tonsubstanz (Halloysit?). Biotitkristalle und -pseudomorphosen mit unterschiedlichem Kaolinisierungsgrad sowie deren Spaltstücke und Spleißen. Deutlicher Pleochroismus, verschiedentlich chloritische Umwandlungen. Säulen und Tafeln von Kaolinit bzw. Illit nur sporadisch vorhanden. Quarz- und Sanidinkörner mit Größen bis 0,5 mm, polygonal und scherbenartig, z. T. mit Flüssigkeitseinschlüssen (Taf. 3: Fig. 6). Unruhige Textur und Bereiche mit hoher Anreicherung von Quarz und Sanidin sind auffallend (Taf. 3: Fig. 5). Zirkone sind äußerst selten.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (sehr gut kristallisiert), Biotit ca. 20%, Quarz ca. 10%, Sanidin ca. 15%, Illit-Montmorillonit ca. 10%.

Tonstein 335, Flöz Eleonora, Grube Jan Fučik Oberes Namur A. Jaklovec-Schichten (Taf. 3, S. 149: Fig. 7, 8)

Makroskopisches Aussehen: graubräunliche Farbe, feinkönig, Kohleschmitzen; Mächtigkeit 10 cm.

Mikroskopischer Befund: Kaolin-Kohlentonstein, Mischtypus Pseudomorphosentonstein – Kristalltonstein.

Mikroskopisch feinstkörnige Grundmasse aus Kaolinit und Illit-Montmorillonit-Beteiligung; vereinzelt opake Kohlenreste mit Anwachssäumen kristalliner Kieselsäure (Chalcedon). Bereiche mit dicht gepackten Kaolinitkristallen aus Säulen (bis 1,8 mm Länge), Tafeln und Spaltstücke dominierend; gekrümmte Kristalle selten. Verschiedene Kaolinittafeln zeigen Biotitlamellen-Begrenzung (Taf. 3: Fig. 7). Biotite bzw. Biotitpseudomorphosen mit Längen bis 0,8 mm als schön geformte Kristalle (Taf. 3: Fig. 8) wie auch als Abspaltungen und Spleißen. Quarz und Sanidin mit maximalen Korngrößen bis 0,4 mm. Sanidin frisch, nur selten beginnende Kaolinisierung vom Rande her. Idiomorpher Zirkon oder seine Bruchstücke sporadisch.

Quantitativer Mineralbestand: Kaolinit (sehr gut kristallisiert), Biotit ca. 30%, Quarz ca. 15%, Sanidin ca. 10%, Illit-Montmorillonit ca. 5%.

Eine ausführliche Beschreibung der Kaolin-Kohlentonsteine des Ostrauer Steinkohlenreviers gaben DOPITA & KRALIK (1977).

4. Altersbestimmungen

Die isotopischen Alter der Kaolin-Kohlentonsteine wurden an Sanidinpräparaten mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Variante der K-Ar-Datierungsmethode bestimmt. Um die Signifikanz der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde die Sanidinstruktur der abgetrennten Feldspäte durch Röntgendiffraktometrie nachgewiesen. Prinzipiell würden sich auch die in einigen der Kohlentonsteine auftretenden Biotite für eine isotopische Altersbestimmung anbieten. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierungsversuche und andere zur Zeit laufende Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß sie aufgrund ihres Erhaltungszustandes als Eichmarken für die Zeitskala nicht zu gebrauchen sind (HESS & LIPPOLT 1983; LIPPOLT & HESS, in Vorbereit.).

4.1. Probenaufbereitung

Die Aufbereitung der Kaolin-Kohlentonsteine erfolgte mit den im Laboratorium für Geochronologie (Universität Heidelberg) gebräuchlichen Verfahren: Die Zerkleinerung erfolgte in Backenbrecher und Scheibenmühle. Bei einigen Proben (Kohlentonsteine des Ruhrkarbons) konnte auf mechanische Zerkleinerung verzichtet werden, da diese aufgrund ihres Mineralbestands (im wesentlichen Montmorillonit-Mixed-layer-Minerale) durch Einwirkung von Wasser zerfallen. Nach zweitägiger Behandlung mit destilliertem Wasser und anschließendem Naßsieben konnten aus diesen Gesteinen die Einsprenglinge (im allgem. Quarz, Feldspat) beinahe quantitativ in ihrer ursprünglichen Korngröße angereichert werden.

Die Feldspäte in den mechanisch zerkleinerten Proben reicherten sich wegen ihrer guten Spaltbarkeit in den Siebfraktionen kleiner Korngröße (< 200 μ m) an, so daß ihre Abtrennung sich schwierig gestaltete. Bei einigen Proben konnte in den Siebfraktionen > 50 μ m überhaupt kein Feldspat mehr gefunden werden, obwohl dieses Mineral mit Korngrößen von einigen hundert μ m in den Dünnschliffen reichlich zu erkennen war. Weil die Abtrennung von Feldspat-kristallen < 50 μ m bisher nicht gelang, mußte bei diesen Kaolin-Kohlentonsteinen auf eine Datierung verzichtet werden, wenngleich sie für isotopische Altersbestimmungen potentiell geeignet sind. Die Darstellung des Sanidins in einer für die Altersmessungen notwendigen Reinheit (im allgem. > 99%) erfolgte mit Magnetscheidung und Schweretrennung. In einigen Fällen (COTO/2, COT-Z) war zusätzliches Handauslesen notwendig, um diesen Reinheitsgrad zu erzielen.

4.2. Kaliummessungen und Röntgendiffraktometrie

Wenn neben der für die Altersbestimmungen benötigten Feldspatmenge (für unser Meßverfahren um 30 mg) noch genügend Material zur Verfügung stand, wurden als zusätzliche Untersuchungen K-Bestimmungen und Röntgendiffraktometrie-Analysen durchgeführt. Die flammenfotometrisch gemessenen K-Gehalte der Alkalifeldspäte sind in Tabelle 3 angegeben, zusammen mit K-Werten, die aus den ³⁹Ar-Analysen berechnet wurden.

Die Fehler der K-Gehalte belaufen sich auf 1 % (Flammenfotometrie) bzw. 3 % (Neutronenaktivierung). Der Fehler der Or-Bestimmung mittels Röntgenstrukturanalyse beträgt etwa \pm 3 Or (STEWART 1975). VOLK ist ein Referenzfeldspat bekannter Sanidinstruktur. Die flammenfotometrischen K-Bestimmungen wurden an den Röntgenpräparaten durchgeführt, die meist nur Reinheitsgrade von 90 % Sanidin oder weniger aufwiesen. Verunreinigungen von Quarz führten zu einer Verringerung des K-Gehaltes.

Einige der untersuchten Sanidine haben relativ niedrige K-Gehalte im Bereich von 5 – 7 % (COT335, -365 und -Z). Bei K, Na-Feldspäten mit K-Gehalten zwischen etwa 1 und 7 % sind Entmischungen in Orthoklas- und Albitphasen häufig (SMITH 1974), was auch für diese Feldspäte a priori nicht auszuschließen war. Da entmischte Alkalifeldspäte für radiogenes Argon im allgemeinen als nicht retentiv angesehen werden (DALRYMPLE & LANPHERE 1969), wurden an allen datierten Feldspäten (mit Ausnahme von Probe COTH4-1, von der zuwenig Material zur Verfügung stand) Röntgenstrukturanalysen durchgeführt. Sie hatten zum Ziel, eventuelle Orthoklas-Albit-Entmischungen, beginnende Al, Si-Ordnungen oder Anteile von Tieftemperaturbildungen zu erkennen.

Die Ergebnisse der Röntgenanalysen sind im bo, co-Diagramm (Abb. 2) dargestellt. In diesem Diagramm ordnen sich monokline, ungeordnete Hochtemperatur-Alkalifeldspäte längs der Verbindungsgeraden Hochsanidin-Analbit an. Trikline, geordnete Tieftemperatur-Alkalifeldspäte liegen längs der Linie Mikroklin – Tiefalbit, wobei mit steigendem Na-Gehalt die bo- und co-Werte jeweils kleiner werden. Mit zunehmender Al, Si-Ordnung vergrößern sich die co- und verkleinern sich die bo-Werte. Die hier untersuchten Feldspäte liegen alle nahe dem Hochtemperaturbereich Sanidin – Analbit. Es handelt sich in allen Fällen um monokline Hochtemperaturbildungen mit nur geringer Al, Si-Ordnung.

Ihre mineralogischen Zusammensetzungen (berechnet aus den K-Gehalten und aus den Gitterkonstanten) sind in Tabelle 3 aufgeführt. Solche Feldspäte sind im allgemeinen ausgezeichnete K-Ar-Chronometer. Wir sehen diese röntgenographischen Ergebnisse als gute Voraussetzungen an, ihre ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Alter als ungestörte Mineralbildungsalter interpretieren zu können.

Tabelle 3

K-Gehalt und mineralogische Zusammensetzung der mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Methode datierten Feldspäte

Probe	K-Gehalt, bestimmt durch Neutronen- Flammenfoto- aktivierung metrie		mineralo setzung K-Gehalt	g.Zusammen- berechnet aus Röntgenanalyse
COTO/2	9,9	> 9,74	Or 71 Al 29	Or ₇₄ Al 26
COTH1	8,5	-	Or ₆₁ Al 39	-
COTH4	9,3		Or ₆₆ Al ₃₄	0r ₆₀ Al ₄₀
COT-Z	6,7	> 6,21	Or ₄₈ Al 52	0r ₅₂ Al 48
COT479	11,9	> 10,32	Or ₈₄ Al 16	Or 78 Al 22
COT365	7,1	_	Or ₅₁ Al ₆₆	Or 63 AI 37
COT335	4,8	> 5,25	Or ₃₄ Al ₆₆	Or ₄₃ Al ₅₇
VOLK	11,5	11,75	0r ₈₄ Al ₁₆	0r ₈₁ Al ₁₉

4.3. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersmessungen

Die ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierungstechnik (MERRIHUE & TURNER 1966, TURNER 1970) ist eine Variante zur konventionellen K-Ar-Altersbestimmungsmethode und

Abb. 2

Gitterkonstanten der Kohlentonstein-Sanidine, dargestellt im bo, co-Diagramm. Die Größe der einzelnen Symbole entspricht dem analytischen Fehler der röntgenographischen bo- und co-Bestimmung.

Fig. 2

Lattice parameters of the coal tonstein sanidines plotted in a bo versus co diagram. The sizes of the symbols correspond to the analytical errors of bo and co X-ray determinations.



hat dieser gegenüber einige entscheidende Vorteile. Auf die Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode kann hier nicht näher eingegangen werden; es muß auf einschlägige Arbeiten (z. B. DALLMEYER 1979) verwiesen werden.

Die in Aluminiumfolie verpackten Feldspatpräparate wurden zusammen mit Referenzproben (USGS-Muskovitstandard P-207; in einem Fall [COTO/2-A] diente ein Sanidin [TSG79FMZ, HELLMANN & LIPPOLT 1981] als Bestrahlungsstandard) in evakuierten Quarzampullen im Reaktor des Kernforschungszentrums Karlsruhe – Linkenheim mit schnellen Neutronen bestrahlt (Neutronendosis etwa 5 · 10¹⁷ cm⁻², Cadmium-Ummantelung). Die Ar-Extraktionen wurden in einem induktiv geheizten Molybdäntiegel durchgeführt. Die isotopische Zusammensetzung wurde in einem MAT-Massenspektrometer (GD-150, 5.1 kG-Magnet, Ablenkwinkel 180°, -radius 5 cm) gemessen. Die Gesamtargon-Blindmeßwerte waren 10⁻⁸ cm³ STP und besser.

Die den Altersberechnungen zugrunde gelegten Konstanten sind $\lambda_{a} =$ 4,962 · 10⁻¹⁰ a⁻¹, $\lambda_{a} = 0,585 \cdot 10^{-10}$ a⁻¹, 4^{-1} K/K = 1,167 · 10⁻⁴ mol/mol (STEIGER & JÄGER 1977). Für den Standardmuskovit P-207 wurde ein Alter von 82.6 ± 1.0 Ma (LANPHERE & DALRYMPLE 1976) für die Altersberechnung verwendet. Das Alter des Sanidins TSG79FMZ beträgt 230 ± 2 Ma (HELLMANN & LIPPOLT 1981). Die Analysenergebnisse der Stufenaltersbestimmungen an den Sanidinen der oberkarbonischen Kaolin-Kohlentonsteine sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Abbildung 3 zeigt die Entgasungsspektren dieser Altersmessungen. Bei den jeweils angegebenen Standardabweichungen handelt es sich um die 1o-Fehler, bei denen der Altersfehler des Standards nicht berücksichtigt ist. Da bis auf eine Ausnahme (COTO/2-A) sämtliche Proben gegen denselben Standard kalibriert sind, kann bei Vergleichen der Altersergebnisse untereinander dieser Fehler außer acht gelassen werden. Bei Altersangaben für die Zeitskalaeichung muß er jedoch berücksichtigt werden, um die Vergleichbarkeit mit anderen Altersbestimmungen zu gewährleisten. Die 1o-Standardabweichungen unserer ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Alter erhöhen sich dadurch auf etwas mehr als ein Prozent.

5. Diskussion der Analysenergebnisse

Abgesehen von den ersten und gelegentlich den zweiten Entgasungsschritten, deren erniedrigte Alter (Ausnahme: COT335) auf geringfügige ⁴⁰Ar-Ver-

Schritt	⁴⁰ Ar _{rad} (%)	³⁹ Ar (%)	40Ar* ³⁹ Ar	Alter (Ma)
COT0/2-A	J = 0	00232		I
1 2 3 4 5 6 7 8 total	53,3 78,2 98,3 98,8 98,0 96,4 94,9 81,6 96,1	0,6 1,3 23,0 21,4 26,0 9,6 12,1 5,9 100,0	$\begin{array}{l} 33,89 \pm 5,69 \\ 55,20 \pm 2,84 \\ 78,98 \pm 0,39 \\ 78,96 \pm 0,29 \\ 79,88 \pm 0,35 \\ 78,10 \pm 0,54 \\ 78,56 \pm 0,43 \\ 76,35 \pm 0,73 \\ 78,32 \pm 0,47 \end{array}$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
COT0/2-1	J = 0,	00329		
1 2 3 4 5 6 7 total	94,8 97,6 98,4 99,0 99,3 99,2 97,9 98,6	3,9 7,6 10,0 22,1 24,3 16,3 15,8 100,0	$\begin{array}{l} 53,89 \pm 0,23 \\ 54,61 \pm 0,12 \\ 55,36 \pm 0,11 \\ 55,39 \pm 0,17 \\ 55,50 \pm 0,09 \\ 55,50 \pm 0,21 \\ 55,49 \pm 0,06 \\ 55,33 \pm 0,13 \end{array}$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
COTH1-1	J =0,0	0326		
1 2 3 4 5 6 7 total	96,0 98,9 99,5 99,6 99,4 98,9 93,3 98,1	6.2 9,2 18,7 24,6 24,6 12,6 4,2 100,0	$\begin{array}{c} 49.73 \pm 0.17 \\ 56.87 \pm 0.14 \\ 57.45 \pm 0.12 \\ 56.93 \pm 0.12 \\ 57.27 \pm 0.14 \\ 57.63 \pm 0.08 \\ 57.65 \pm 0.15 \\ 56.78 \pm 0.12 \end{array}$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
COTH4-1	J = 0,	00326		
1 2 3 4 5 6 total	94,6 98,7 99,4 99,4 99,6 98,5 99,0	3,3 8,7 13,9 18,7 29,8 25,6 100,0	$\begin{array}{l} 56.90 \pm 0.31 \\ 57.68 \pm 0.11 \\ 57.68 \pm 0.33 \\ 57.64 \pm 0.12 \\ 57.73 \pm 0.09 \\ 57.41 \pm 0.14 \\ 57.59 \pm 0.13 \end{array}$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
COT-Z	J = 0,	00342		
1 2 3 4 5 total	92,3 94,3 97,7 97,4 93,6 95,6	7,2 12,3 27,3 25,5 27,7 100,0	$54,41 \pm 0,48 \\ 54,39 \pm 0,11 \\ 55,08 \pm 0,16 \\ 55,02 \pm 0,22 \\ 54,72 \pm 0,14 \\ 54,83 \pm 0,18$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$

Tabelle 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersergebnisse der mit stufenweiser Entgasung gemessenen Oberkarbon-Sanidine

J ist ein Maß für die Bestrahlungsparameter

Schritt	⁴⁰ Ar _{rad} (%)	³⁹ Ar (%)	40Ar* ³⁹ Ar	Alter (Ma)
C0T479-1	J = 0,(0342		
1 2 3 4 5 6 7 total	94,5 99,5 99,7 99,5 99,2 98,1 94,6 98,7	3,5 11,6 25,0 20,8 16,0 13,6 9,5 100,0	$\begin{array}{r} 35.58 \pm 0.28 \\ 55.33 \pm 0.32 \\ 56.92 \pm 0.13 \\ 56.73 \pm 0.22 \\ 56.44 \pm 0.11 \\ 56.38 \pm 0.15 \\ 57.71 \pm 0.21 \\ 55.86 \pm 0.16 \end{array}$	$207,1 \pm 1,8 \\ 312,6 \pm 2,1 \\ 320,9 \pm 1,4 \\ 319,9 \pm 1,7 \\ 318,4 \pm 1,5 \\ 318,1 \pm 1,5 \\ 325,0 \pm 1,7 \\ 315,4 \pm 1,5 \\ $
C0T479-2	J = 0,0	0339		
1 2 3 4 5 6 7 total	98,4 99,2 99,5 99,3 99,0 99,0 93,8 98,9	9,8 17,6 17,3 18,3 16,3 16,4 4,3 100,0	$\begin{array}{r} 49,32 \pm 0,09 \\ 56,29 \pm 0,09 \\ 57,18 \pm 0,09 \\ 56,64 \pm 0,17 \\ 57,00 \pm 0,15 \\ 57,14 \pm 0,10 \\ 57,26 \pm 0,23 \\ 56,12 \pm 0,10 \end{array}$	$\begin{array}{c} 279,2 \pm 1,1 \\ 315,3 \pm 1,2 \\ 319,9 \pm 1,2 \\ 317,2 \pm 1,4 \\ 319,0 \pm 1,3 \\ 319,7 \pm 1,2 \\ 320,3 \pm 1,6 \\ 314,5 \pm 1,2 \end{array}$
COT365-1	J = 0,0	0329		
1 2 3 4 5 6 7 total	96,2 98,4 99,3 99,0 98,9 98,7 94,5 98,3	6,0 16,0 18,3 16,8 17,6 16,3 9,0 100,0	$58,75 \pm 0,20 60,03 \pm 0,24 60,15 \pm 0,33 59,62 \pm 0,10 59,92 \pm 0,13 59,59 \pm 0,13 59,96 \pm 0,68 59,81 \pm 0,23$	$\begin{array}{r} 319,2 \pm 1,1 \\ 325,6 \pm 1,3 \\ 326,2 \pm 1,7 \\ 323,6 \pm 0,6 \\ 325,1 \pm 0,8 \\ 323,4 \pm 0,9 \\ 325,2 \pm 3,4 \\ 324,5 \pm 1,2 \end{array}$
C0T335-1	J = 0,0	0342		
1 2 3 4 5 6 7 total	84,6 97,0 98,4 98,0 97,0 96,5 75,5 95,9	4,8 20,4 24,5 24,6 13,6 9,0 3,1 100,0	$\begin{array}{c} 63,39 \pm 0,25 \\ 57,63 \pm 0,13 \\ 57,51 \pm 0,26 \\ 57,51 \pm 0,08 \\ 56,96 \pm 0,21 \\ 57,31 \pm 0,23 \\ 56,50 \pm 0,64 \\ 57,69 \pm 0,17 \end{array}$	$\begin{array}{c} 354,1 \pm 1,7 \\ 324,7 \pm 1,2 \\ 324,0 \pm 1,6 \\ 324,1 \pm 1,1 \\ 321,2 \pm 1,4 \\ 323,0 \pm 1,5 \\ 318,9 \pm 3,4 \\ 325,0 \pm 1,3 \end{array}$
C0T335-2	J = 0,0	0342		
1 2 3 4 5 6 7 total	89,3 98,5 98,5 98,1 97,2 97,1 80,5 95,5	10,7 7,8 22,5 23,8 15,2 12,9 6,9 100,0	$\begin{array}{c} 60,62 \pm 0,41 \\ 58,85 \pm 0,94 \\ 57,98 \pm 0,20 \\ 58,01 \pm 0,17 \\ 57,41 \pm 0,30 \\ 58,49 \pm 0,22 \\ 57,48 \pm 0,62 \\ 58,28 \pm 0,31 \end{array}$	$\begin{array}{r} 339.4 \pm 2.5 \\ 330.8 \pm 5.0 \\ 326.4 \pm 1.7 \\ 326.5 \pm 1.6 \\ 323.4 \pm 2.0 \\ 329.0 \pm 1.7 \\ 323.8 \pm 3.5 \\ 327.9 \pm 2.0 \end{array}$



40 Ar/39 Ar-Altersspektren von Koh-Abb. 3 lentonstein-Sanidinen

- a) Kohlentonstein-Sanidin aus dem oberen Stefan A des Saarkarbons (Kohlentonstein O, COTO/2)
- b) Sanidine aus Kohlentonsteinen des mittleren Westfals C des Ruhrkarbons (Kohlentonsteine Hagen 1 und Hagen 4, COTH-1 und COTH4-1)
- c) Sanidine aus Kohlentonsteinen des obersten Westfals B des Ruhrkarbons (Kohlentonstein Z1, COT-Z) und des oberen Namurs A des Ostrauer Karbons (Kohlentonstein 365, COT365-1)
- d) Kohlentonstein-Sanidin aus dem oberen Namur A des Ostrauer Karbons (Kohlentonstein 479, COT479; stratigraphisch etwas jünger als Kohlentonstein 365, vgl. Tab. 1)

- a) Coal tonstein sanidine from the Upper Stefanian A of the Saar Carboniferous
- (coal tonstein O, COTO/2) b) Sanidines from Middle Westfalian C coal tonsteins of the Ruhr Carboniferous (coal tonsteins Hagen 1, COTH1-1, and Hagen 4, COTH4-1)
- c) Coal tonstein sanidines from the Uppermost Westfalian B of the Ruhr Carboniferous (coal tonstein Z1, COT-Z) and from the Upper Namurian A of the Ostrava Carboniferous (coal tonstein 365, COT365)
- d) Coal tonstein sanidine from the Upper Namurian A of the Ostrava Carboniferous (coal tonstein 479, COT479; of lower stratigraphic age than sample COT365, see Tab. 1)
- e) Coal tonstein sanidine from the Upper Namurian A of the Ostrava Carboniferous (coal tonstein 335, COT335; of higher stratigraphic age than sample COT365, see Tab. 1)

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

luste hindeuten, zeigen alle datierten Feldspäte gut ausgebildete und flache ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersplateaus, die sich meist über mehr als 90 % der Entgasungsspektren erstrecken. Die gegenüber den Plateaualtern bis 1,5 % erniedrigten Gesamtgasalter deuten auf Langzeit-Diffusionsverluste von radiogenem Argon bei moderaten Temperaturen hin. Daher dürften die Alter der Plateauschritte geologisch bedeutsamer sein als die Gesamtgasalter. Sie sind als Alter der Abkühlung der Sanidine unter ihre Argon-Speichertemperatur anzusehen und entsprechen somit den Zeitpunkten der Tuffablagerung beziehungsweise der Kaolin-Kohlentonsteinbildung (vgl. BURGER 1966).

Die geologische Bedeutung dieser isotopisch datierten Kohlentonstein-Sedimentationsalter wird in Kapitel 6. diskutiert.

Die Probe COTO/2-A (Abb. 3a: rechtes Spektrum) zeigt starke Altersschwankungen im hinteren Teil des Entgasungsspektrums. Dies hat jedoch keine geologischen Ursachen – die Aliquote COTO/2-1 (Abb. 3a: linkes Spektrum) zeigt ein ungestörtes Altersspektrum – sondern ist analytisch bedingt (Wahl der Heiztemperaturen bzw. -zeiten) und somit künstlich erzeugt. Auf solche Beeinflussungen von ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Entgasungsspektren, die auf die Meßtechnik zurückzuführen sind, wird an anderer Stelle eingegangen (vgl. HESS & LIPPOLT 1983).

Die erhöhten Alter des Sanidins COT335 (Abb. 3e) bei niedrigen Entgasungstemperaturen könnten auf nachträglichen, randlichen Einbau von Exzess-Argon zurückzuführen sein, was für einen vulkanischen Alkalifeldspat jedoch nicht wahrscheinlich ist. Möglicherweise sind diese Alterserhöhungen bei den ersten Entgasungsschritten dieser Probe ebenfalls Artefakte der Meßmethode (Umverteilung von ³⁹Ar durch Rückstoß in kaolinisierte Randpartien, vgl. Kap. 3.2.5.).

6. Folgerungen aus den ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersbestimmungen

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, zeigen alle von uns mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Technik datierten Sanidine gut entwickelte Altersplateaus. Abgesehen von unwesentlichen Diffusionsverlusten von ⁴⁰Ar waren diese Minerale seit der Abkühlung unter ihre Ar-Speichertemperatur zum Zeitpunkt der Tuffablagerung für K und Ar geschlossene Systeme. Daher können ihre ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Plateaualter, die in Tabelle 5 zusammengefaßt sind, als Sedimentationsalter der Tuffe beziehungsweise der aus ihnen entstandenen Kaolin-Kohlentonsteine angesehen werden.

Neben den vorliegenden Untersuchungen wurden unseres Wissens bisher nur drei Arbeiten mit Altersbestimmungen an oberkarbonischen Kohlentonsteinen veröffentlicht. Die Ergebnisse dieser früheren Arbeiten sind mit den von uns erhaltenen Altern in Übereinstimmung. DAMON & R. TEICHMÜLLER (1971) erhielten für einen Sanidin des Hagen-2-Tonsteins (Westfal C des Ruhrkarbons, identisch mit dem hier analysierten Hagen-4-Tonstein) ein konventionell bestimmtes K-Ar-Alter von $304 \pm 9 \text{ Ma}^{1)}$. Dieser Alterswert ist innerhalb der Fehler identisch mit den von uns gemessenen Hagen-1- und Hagen-4-Gesamtargonaltern.

¹⁾ Alter mit IUGS-Konstanten (STEIGER & JÄGER 1977) neu berechnet

Gebiet	Kaolin- Kohlentonstein	Stratigraphie	Probe	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar- Plateaualter (Ma)
Saarrevier	0	oberes Stefan A	COT0/2-1 COT0/2-A	302,7 ± 0,5 303,0 ± 2,7
Ruhrrevier	Hagen 1 Hagen 4 Z1	mittleres Westfal C mittleres Westfal C oberstes Westfal B	COTH1-1 COTH4-1 COT-Z	309,5 ± 1,6 310,7 ± 1,0 310,7 ± 1,3
Ostrauer Revier	479	oberes Namur A	COT479-1 COT479-2	319,9±1,7 319,0±1,6
(ČSSR)	365	oberes Namur A	COT365-1	324,8 ± 1,2
	335	oberes Namur A	COT335-1 COT335-2	323,7 ± 1,7 325,4 ± 2,5

Tabelle 5 Zusammenfassung der 40Ar/39Ar-Plateaualtersergebnisse

BOUROZ & ROQUES & VIALETTE (1972) und BOUROZ & TOURETTE & VIALETTE (1972) versuchten Kaolin-Kohlentonsteine des Stefans und Westfals französischer Vorkommen (Loire, Cévennen u. a.) mit der Rb-Sr-Methode unter Verwendung von Gesamtgesteinsproben zu datieren. Für die Proben des Stefans erhielten sie 300 ± 20 Ma¹) (Durchschnitt für die Proben des Loire-Beckens) und 311 ± 10 Ma¹) (Cévennen). Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Unsicherheitsintervalle in numerischer Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen. Methodische Schwierigkeiten, die von BOUROZ & TOURETTE & VIALETTE (1972) an Kaolin-Kohlentonsteinproben des Westfals aufgezeigt wurden, schränken die Verwendbarkeit ihrer Stefan-Ergebnisse jedoch ein.

Neben diesen Kohlentonsteindatierungen gibt es einige Altersbestimmungen von Tuffen des Oberkarbons. HESS & BACKFISCH & LIPPOLT (1983) erhielten für einen Sanidin des Baden-Badener Karbons (Stefan C) ein ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Plateaualter von 300,3 ± 3,7 Ma. BONHOMME et al. (1961) bestimmten für einen Tuff von der Basis des Stefans C (Puy-de-Dôme, Frankreich) ein Rb-Sr-Gesamtgesteinsalter von 298 ± 8 Ma¹).

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, können mit der ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersbestimmungstechnik interne Genauigkeiten von ca. 1 Ma (1 σ) erzielt werden. Externe Genauigkeiten (d. h. unter Berücksichtigung des Altersfehlers des Bestrahlungsstandards) sind etwa 4 Ma für diesen Altersbereich. Damit ist es möglich, intern und extern Sanidine aus unterschiedlichen Unterstufen des Oberkarbons anhand ihrer K-Arrad-Verhältnisse zu unterscheiden. Diese Verhältnisse werden somit zu Korrelationsmerkmalen der Muttergesteine dieser Sanidine.

Zwei Beobachtungen sind als sehr befriedigend herauszuheben: Die stratigraphisch erwartete Sequenz der Proben wurde durch die Altersbestimmungen gut reproduziert, und die Sanidine aus eng benachbarten Niveaus zeigen identische Alterswerte (Ruhrkarbon: Hagen-1- und Hagen-4-Tonstein; Ostrauer Karbon: Tonstein 365 und 335).

Die Altersbestimmungen von HESS & BACKFISCH & LIPPOLT (1983) und BONHOMME et al. (1961), welche wie die hier vorgestellten ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierun-

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

gen an Gesteinen gut bekannter stratigraphischer Stellung durchgeführt wurden, sowie die in dieser Arbeit beschriebenen Sanidindatierungen definieren signifikante Eichpunkte der geologischen Zeitskala des Oberkarbons. Sie sind an gut definiertem Material unter Verwendung überprüfbarer Standards und reproduzierbarer Techniken bestimmt.

In Tabelle 6 werden die von ODIN & GALE (1982) erarbeiteten Alterswerte für die Oberkarbon-Stufengrenzen mit jenen verglichen, die aus unseren Altersbestimmungen und der Arbeit von HESS & BACKFISCH & LIPPOLT (1983) abgeleitet sind. Bei den Fehlerangaben in Klammern handelt es sich um die analytischen Unsicherheitsintervalle unter Einbeziehung des Altersfehlers des Bestrahlungsmonitors. Sie sind mit etwa 4 Ma sehr viel größer als mögliche Fehler, die daraus resultieren, daß die von uns untersuchten Proben nicht in allen Fällen aus dem engeren Stufengrenzbereich stammen. Daher datieren die Proben 159/71S (HESS & BACKFISCH & LIPPOLT 1983), COTO/2, COT-Z und COT479 einige (Unter-)Stufengrenzen des Oberkarbons. Die Altersangaben in Klammern für die Grenzen Westfal C/D und Namur/Westfal sind interpolierte Werte, die auf der Annahme jeweils gleicher Zeitdauer der Unterstufen Westfal C und D (3 Ma), Namur B und C sowie Westfal A und B (2 Ma) basieren.

Verglichen mit unseren Ergebnissen sind die von ODIN & GALE (1982) empfohlenen Alterswerte für die Oberkarbon-Stufengrenzen alle um etwa 5 Ma zu jung. Diese Diskrepanz kann ihre Ursachen sowohl in der unsicheren strati-

FORMATI STUFEN	DNS- I	Zeitskalawerte aus ODIN & GALE (1982) (Ma)	aus Altern dieser Arbeit abgeleitete Zeitskalawerte (Ma)	Altersergebnisse dieser Arbeit (Ma)	datierte Proben
Autun		200 +10	200 + 1 (+ 4)		
	С	290 - 5	500 - 1 (- 47	— 300,3±0,6 (±3,7)*-	- 159/71 S *
Stefan	В		202 + 1 (+ 4)		
	А	(200)	$303 \pm 1(-4)$	302,9 ± 1,2 (± 3,7)	- COT 0/2
	D	(300)		5	
Montfol	С		(308)	$-310,1\pm0,9(\pm3,8)$	COTH1,-H4
westial	В			- 310,7 - 1,3 (- 3,9) -	- 601-2
	А	(210)	(215)		
	С	(310)	(315)		
Namur	В		$210 \pm 1 (\pm 4)$	210 5 +1 2 (+ 2 0)	COT 470
	А	220 +10	(2)	$-324.6 \pm 1.1 (\pm 4.0) -$	COT365,-335
Unterkar	bon	320 - 5	1:1		

Tabelle 6

Die von ODIN & GALE (1982) empfohlenen Alterswerte für die Stufengrenzen des Oberkarbons, verglichen mit den Altersdaten dieser Arbeit und den daraus abgeleiteten Zeitskala-Altern

* HESS & BACKFISCH & LIPPOLT (1983)

graphischen Stellung der bisher datierten Gesteine wie auch in den höheren analytischen Fehlern der Altersbestimmungen haben, auf denen die bisherige Zeitskala basiert (FRANCIS & WOODLAND 1964, ODIN & GALE 1982).

Neben dieser vorgeschlagenen Revision der oberkarbonischen Zeitskala resultieren aus den Ergebnissen unserer Altersdatierungen einige regionalgeologische Erkenntnisse: Die Altersdifferenz von etwa 5 Ma zwischen den Tonsteinen 335, 365 und 479 des Ostrauer Karbons konnte durch Doppelmessungen reproduziert werden. Da diese Kohlentonsteine im oberen Namur A in relativ geringer stratigraphischer Distanz (ca. 650 m bankrechter Abstand) auftreten, und die datierten Sanidine keine Zweifel an ihrer Datierungseignung geben, ist nach einer geologischen Erklärung zu suchen. DOPITA & KRALIK (1973) beschreiben Red-Bed-Ablagerungen im Ostrauer Karbon, die sie als autochthone Verwitterungs- beziehungsweise Paläosolhorizonte ansehen, und die auf mehrfache Unterbrechungen der normalen zyklischen Sedimentationsfolge unter anderem auch im oberen Namur A hindeuten. Unseren Messungen zufolge müssen eine oder mehrere solcher Erosionsdiskordanzen zwischen den Flözhorizonten 365 und 479 bestehen.

Die Proben COTH1-1 und COTH4-1 des Ruhrkarbons zeigen eine Altersdifferenz von 1,2 Ma, obwohl sie stratigraphisch gleiches Alter aufweisen. Diese Differenz ist analytisch nicht signifikant. Geologische Ursachen zu vermuten, würde eine Überinterpretation bedeuten.

Die Sedimentmächtigkeit zwischen den Z-1- und Hagen-1-Tonsteinen im Ruhrkarbon beträgt zwischen 200 und 250 m. Aufgrund des Altersunterschieds der Proben COT-Z und COTH1-1 von $1,2^{+2,1}_{-1,2}$ Ma kann eine Sedimentationsgeschwindigkeit von größer 75 m/Ma für das untere Westfal C des Ruhrkarbons abgeschätzt werden.

7. Zusammenfassung

Abgesehen von den regionalgeologischen Aspekten der hier vorgestellten Altersbestimmungen betreffen unsere Ergebnisse in erster Linie die Eichung der geologischen Zeitskala des Karbons. Die ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Alter der Sanidine aus den Kaolin-Kohlentonsteinen des Oberkarbons lassen eine Revision der Alterswerte für die Stufengrenzen des Oberkarbons als nötig erscheinen. Da diese vorgeschlagenen Änderungen allerdings auf Altersbestimmungen an nur sieben stratigraphisch verschiedenen Kaolin-Kohlentonsteinen und einigen Altersdaten aus der Literatur basieren, sollten sie zum jetzigen Zeitpunkt als noch vorläufig betrachtet werden. Mit zusätzlichen Altersbestimmungen an datierbaren oberkarbonischen Tuff- oder Kaolin-Kohlentonsteinmineralen kann eine präzisere und detailliertere Zeitskala für das jüngere Karbon erstellt werden. ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Altersbestimmungen an Tuffen oder Kaolin-Kohlentonsteinen des Saar- und Ruhrgebiets aus Böhmen, Spanien, Kentucky/USA, Australien und anderen Vorkommen sind für diesen Zweck in Vorbereitung.

Dank: Die Verfasser erhielten von zahlreichen Stellen freundliche Unterstützung. Für die Bereitstellung von Probenmaterial danken wir den Markscheidern Dipl.-Ing. A. GIESE-MANN (Grube Göttelborn, Saarbergwerke AG), Dipl.-Ing. H. W. BÖHNE (früher Zeche Brassert) und Dipl.-Ing. H. HOFFMANN (Zeche Fürst Leopold) sowie Dr. G. STADLER (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) und Prof. Dr. M. DOPITA und Dr. J. KRALIK (Ostrava/ČSSR). Für die Mitarbeit bei Probenaufbereitung und Messungen haben wir E. KÜHNLE und H. BOHRMANN sowie H. FUNKE und A. LUTZ vom Laboratorium für Geochronologie der Universität Heidelberg zu danken. Dr. K. H. BREUER (Heidelberg) unterstützte uns bei der Durchführung und Auswertung der Röntgenanalysen. Das Kernforschungszentrum Karlsruhe-Linkenheim führte die Neutronenbestrahlungen durch. Dipl.-Geol. P. R. BITSCHENE steuerte kritische Anmerkungen zu vorliegendem Text bei. Ihnen allen gebührt ebenfalls unser herzlicher Dank.

8. Schriftenverzeichnis

- BAADSGAARD, H., & LERBEKMO, J. F. (1982): The dating of bentonite beds. In: ODIN, G.S. [Hrsg.]: Numerical dating in stratigraphy: 423–440, 3 Abb., 5 Tab.; Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore (Wiley & Sons).
- BAADSGAARD, H., & LIPSON, J., & FOLINSBEE, R. E. (1961): The leakage of radiogenic argon from sanidine. – Geochim. Cosmochim. Acta, **25**: 147–157, 3 Abb., 3 Tab.; London.
- ВОЈКОWSKI, K., & BULA, Z., & PORZYCKI, J. (1983): Principles of lithostratigraphy of the coal-bearing Carboniferous deposits in the Polish coal basins. In: ВОЈКОWSKI, K., & PORZYCKI, J. [Hrsg.]: Geological problems of Coal basins in Poland: 60–95, 5 Abb., 1 Tab.; Warszawa (Inst. Geologiczny).
- BONHOMME, M. (1967): Ages radiométriques de quelques granites des Vosges moyennes. Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr., **20**: 101 – 106, 2 Abb., 1 Tab.; Strasbourg.
- BONHOMME, M., & MENDES, F., & VIALETTE, Y. (1961): Ages absolus au strontium des granite de Sintra et de Castro Daire au Portugal. – C. R. Acad. Sci. Paris, **252**: 3305–3306; Paris.
- BONHOMME, M., & PHILIBERT, J., & ROQUES, M., & VIALETTE, Y. (1961): Ages absolus dans le Viséen et dans le Stéphanien du Massif Central français. – C. R. Acad. Sci. Paris, **252**: 3 084 – 3 086; Paris.
- BOUROZ, A., & ROQUES, M., & VIALETTE, Y (1972): Etude de la cinérite au sommet de la zone 2 du bassin des Cévennes. – Mém. B. R. G. M., **77**: 503 – 507, 2 Abb., 2 Tab.; Orléans.
- BOUROZ, A., & TOURETTE, M., & VIALETTE, Y. (1972): Signification de mésures d'âges de cinérites, tonsteins et rhyolites de bassins houillers français. – Mém. B.R.G.M., 77: 951 – 956; Orléans.
- BURGER, K. (1966): Zur Entstehung der Kaolinit-Formentypen (Graupen und Kristalle) in Kaolin-Kohlentonsteinen. Beobachtungen am KÜT-Typus des Zollverein 8-Tonsteins aus dem Ruhrkarbon. – Geol. Mitt., 6: 43 – 86, 17 Abb., 1 Tab.; Aachen.
- (1982): Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung f
 ür die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerst
 ätten. – Z. dt. geol. Ges., 133: 201 – 255, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- BURGER, K., & FIEBIG, H., & STADLER, G. (1984): Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 151 – 169, 10 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- BURGER, K., & STADLER, G. (1984): Vulkanogene Glasscherben-Relikte im Z-1-Kohlentonstein des Ruhrkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 171 – 186, 3 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- DALLMEYER, R. D. (1979): ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating: Principles, Techniques, and Applications to Orogenic Terranes. – In: JÄGER, E., & HUNZIKER, J. C. [Hrsg.]: Lectures in Isotope Geology: 77 – 104, 16 Abb., 4 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- DALRYMPLE, G. B., & LANPHERE, M. A. (1969): Potassium-argon dating. Principles, techniques and applications to geochronology. – 285 S., zahlr. Abb. und Tab.; San Francisco.
- DAMON, P. E., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Das absolute Alter des sanidinführenden kaolinischen Tonsteins im Flöz Hagen 2 des Westfal C im Ruhrrevier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 53–56, 1 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- DOPITA, M., & KRALIK, J. (1969): Zur Mineralogie und Petrographie der Zwischenmittel im tschechoslowakischen Teil des Steinkohlenbeckens von Horní Sleszko. Ber. dt. Ges. geol. Wiss., B 14: 49 71, 9 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; Berlin.

- -, & (1973): Red Beds im Oberschlesischen Steinkohlenbecken und ihre Entstehung. -C. R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 2: 351 – 364, 13 Abb., 3 Taf.; Krefeld.
- -, & (1977): Uhelné tonsteiny Ostravsko-karvinského revíru. Mongr. 1. internat.. Colloqu. der Kohlentonsteine. OKD und Vys. školy báňske v Ostravě: 212 S., 78 Abb., 54 Tab., 38 Taf.; Ostrava.
- FALKE, H., & KNEUPER, G. (1972): Das Karbon in limnischer Entwicklung. C. R.7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 1: 49–67, 20 Abb.; Krefeld.
- FRANCIS, E. H., & WOODLAND, A. W. (1964): The Carboniferous period. In: HARLAND, W. B., & SMITH, A. G., & WILCOCK, B. [Hrsg.]: The Phanerozoic Time-Scale. – Suppl Quart. J. Geol. Soc. London: 221:232, 1 Abb., 2 Tab.; London.
- HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 129 – 142, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- HELLMANN, K. N., & LIPPOLT, H. J. (1981): Calibration of the Middle Triassic Time Scale by Conventional K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating of Alkali Feldspars. – J. Geophys., **50**: 73 – 88, 10 Abb., 5 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.
- HESS, J. C., & BACKFISCH, S., & LIPPOLT, H. J. (1983): Konkordantes Sanidin- und diskordante Biotitalter eines Karbontuffs der Baden-Badener Senke, Nordschwarzwald. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1983** (5): 277–292, 4 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- HESS, J., & LIPPOLT, H. J. (1980): Das Vorkommen von Sanidin in Kaolin-Kohlentonsteinen des Saarkarbons. Oberrhein. geol. Abh., **29**: 71–80, 5 Abb., 1 Tab.; Karlsruhe.
- -, & (1981): Untersuchungen zur stratigraphischen Einstufung von Granitporphyren der mittleren Vogesen. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 63: 157-163, 3 Abb.; Stuttgart.
- -, & (1983): Interpretation anomaler ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Entgasungsspektren von Biotiten aus Pyroklastiten des Permokarbons. - Fortschr. Miner., **61** (Bh. 1): 88 - 90, 2 Abb.; Stuttgart.
- KARRENBERG, H. (1971): Einführung. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 1–4, 2 Abb.; Krefeld.
- LANPHERE, M. A., & DALRYMPLE, G. B. (1976): Final compilation of K-Ar and Rb-Sr measurements on P-207, the USGS standard muscovite. – USGS Prof. Pap., 840: 127–130, 2 Tab.; Washington.
- LIPPOLT, H. J., & HESS, J. C. (1983): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe Rotliegend volcanism. I. ⁴⁰Ar/⁴⁰K and ⁴⁰Ar/³⁹Ar investigations. N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1983** (12): 713 730, 3 Abb., 6 Tab.; Stuttgart.
- -, & -: ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating of Sanidines from Upper Carboniferous Tonsteins. C.R. 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Madrid 1983: 8 Abb., 2 Tab.; Madrid. - [In Vorbereit.]
- MAŠEK, J. (1963): Produkte des oberkarbonischen Vulkanismus im Mittelböhmischen Kohlenbecken und das Entstehungsproblem der sog. Tonsteine. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1963** (7): 369–381, 11 Abb.; Stuttgart.
- MERRIHUE, C. M., & TURNER, G. (1966): Potassium-argon dating by activation with fast neutrons. – J. Geophys. Res., 71: 2852–2857, 5 Abb., 2 Tab.; Washington.
- ODIN, G. S. (1982): Numerical dating in Stratigraphy. 1040 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore (Wiley & Sons).
- ODIN, G. S., & GALE, N. H. (1982): Mise à jour de l'échelle des temps calédoniens et hercyniens. – C. R. Acad. Sci. Paris, 294: 453 – 456; Paris.
- PAPROTH, E. (1971): Megafauna. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 109-112, 2 Abb.; Krefeld.
- PEŠEK, J. (1975): Volcanogenic rocks in the Carboniferous of Central and Western Bohemia. - Bull. Soc. belge Géol., 84: 111 - 121, 8 Abb.; Bruxelles.
- SMITH, J. V. (1974): Feldspar Minerals, TI. 2: Chemical and Textural Properties. 690 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- STEIGER, R. H., & JÄGER, E. (1977): Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. – Earth Planet. Sci. Letters, 36: 359 – 363; Amsterdam.

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

STEWART, D. B. (1975): Lattice parameters, composition and Al/Si order in alkali feldspars. – In: RIBBE, P. H. [Hrsg.]: Feldspar Mineralogy. – Min. Soc. Amer. Short Course Notes, **2**: zahlr. Abb. u. Tab.; Washington.

TURNER, G. (1970): Argon 40/argon 39 dating of lunar rock samples. – Geochim. Cosmochim. Acta, Suppl. I, **2**: 1665–1684, 6 Abb., 10 Tab.; London.

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984

Tafel 1

Saarkarbon, oberes Stefan A, Dilsburger Schichten Kohlentonstein O (Flöz Wahlschied = Flöz 950) Grube Göttelborn, 4. Sohle Haupttypus: Kaolin-Kohlentonstein; Typus; Kristalltonstein

- Fig. 1 Lamellar gebaute Kaolinitsäule (Länge ca. 2 mm) neben weiteren Kaolinitsäulen und Spaltstücken unterschiedlicher Größe Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 40°
- Fig. 2 Schwach doppelbrechende Kaolinitsäule mit Lammellarstruktur sowie Spaltstücke von Kaolinitkristallen in dichter Packung; zwischen diesen Formentypen Quarz- und Sanidinbruchstücke Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 40°
- Fig. 3 Ausschnitt von Fig. 2: Sanidin von 0,65 mm Länge mit feinster Pigmentierung durch Flüssigkeitseinschlüsse Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 50°
- Fig. 4 Scharf begrenzte Sanidinkristalle mit feinster Pigmentierung (Größe des linken Kristalls 0,47 mm). Die stabilen Minerale haben den benachbarten, relativ weichen Kaolinit deformiert. Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 50°

Ruhrkarbon, mittleres Westfal C, Dorstener Schichten Kohlentonstein Hagen 1 Zeche Fürst Leopold, 3. Sohle, SH Haupttypus: Mixed-layer-Tonstein

- Fig. 5 Grundmasse mikrokristalliner Kaolinit mit Illit-Montmorillonit durchsetzt; darin Kaolinitaggregate bzw. -knäuel mit partiellen Kristallisationsfeldern in Größen bis 1 mm Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 40°
- Fig. 6 Bereich mit Anreicherung von Quarz- und Sanidinbruchstücken Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols +
- Fig. 7 Sanidinkörner in Größen bis zu 0,26 mm mit Spaltrissen nach (001) sowie vereinzelte Kaolinitknäuel in mikrokristalliner kaolinisch-illitisch-montmorillonitischer Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 20°
- Fig. 8 Scharf begrenztes Sanidinkorn (Größe 0,30 mm) mit abgespaltenem Teilstück (rechts); Grundmasse mikrokristalliner Kaolinit, durchsetzt mit Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols +


Plate 1 (p. 143)

Saar Carboniferous, Upper Stephanian A, Dilsburg beds Coal tonstein O (Wahlschied seam = seam 950) Göttelborn mine, 4th floor Main type: kaolin coal tonstein; type: crystal tonstein

- Fig. 1 Lamellar constituted kaolinite prism (length about 2 mm) beside further prisms and fragments of kaolinite with different grain sizes Thin section, magn. 23 x, nicols 40°
- Fig. 2 Kaolinite prism with lamellar structure and weak birefringence, and fragments of kaolinite in a dense packing. Between these kaolinite types fragments of quarts and sanidine are encased. Thin section, magn. 23x, nicols 40°
- Fig. 3 Cut of figure 2: fine pigments of fluid inclusions in a 0,65 mm long sanidine crystal Thin section, magn. 54 x, nicols 50°
- Fig. 4 Sharp-bordered sanidine crystals with finest pigments. The adjacent, rather supple kaolinite had been deformed by the stable minerals. Thin section, magn. 54x, nicols 50°

Ruhr Carboniferous, Middle Westphalian C, Dorsten beds Coal tonstein Hagen 1 Fürst Leopold mine, 3rd floor, SH main type: mixed-layer coal tonstein

- Fig. 5 Groundmass of microcrystalline kaolinite interspersed with illite-montmorillonite, in which aggregates and glomerocrysts of kaolinite with regions of different crystallinity and distinct birefringence are encased Thin section, magn. 23 x, nicols 40°
- Fig. 6 Domain of enrichment of quartz and sanidine fragments Thin section, magn. 23 x, nicols +
- Fig. 7 Up to 0,26 mm large sanidine grains with cleavage fissures parallel (001), and solitary glomerocrysts of kaolinite in a microcrystalline groundmass of kaolinite, illite, and montmorillonite Thin section, magn. 54 x, nicols 20°
- Fig. 8 Sanidine grain (0,30 mm of size) with sharp borders. The smaller piece on the right side was cleaved off from the larger one. The groundmass consists of microcrystalline kaolinite interspersed with illite-montmorillonite. Thin section, magn. 54 x, nicols +

Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen...

Plate 2 (p. 147)

Ruhr Carboniferous, Middle Westphalian C, Dorsten beds Coal tonstein Hagen 4 Brassert mine, cross-cut 4 NE, 3rd floor Main type: mixed-layer coal tonstein

- Fig. 1 Kaolinite and illite-montmorillonite groundmass with fragments of biotite pseudomorphisms and of quartz and sanidine (bright and dark) Thin section, magn. 23 x, nicols 80°
- Fig. 2 Fragments of biotite pseudomorphisms and of sanidine with outlined borders; microcrystalline groundmass of kaolinite with illite-montmorillonite Thin section, magn. 23 x, nicols 20°
- Fig. 3 Fresh sanidine grains with almost distinct cleavage cracks parallel (001). The brigt crystal fragment is 0,35 mm long and shows diminutive pigments of fluid inclusions. Fragments of a laminated biotite pseudo-morphism shows the right side of the picture. Thin section, magn. 54 x, nicols 20°
- Fig. 4 Enrichment of sharp and irregular bordered sanidine and sometimes of quartz with grain sizes up to 0,26 mm; kaolinic and illitic-montmorillonitic groundmass Thin section, magn. 54 x, nicols 60°

Ruhr Carboniferous, uppermost Westphalian B, Horst beds Coal tonstein Z1 Brassert mine, main section, 4th floor Main type: mixed-layer coal tonstein

- Fig. 5 Fragments of biotite pseudomorphisms, quartz and sanidine with outlined grain bounderies in a groundmass of kaolinite-illite-montmorillonite Thin section, magn. 23 x, nicols 60°
- Fig. 6 Kaolinite prism, tabular fragments of biotite pseudomorphisms, and irregular shaped kaolinite aggregates with regions of different crystallinity and distinct birefringence; single grains of quartz and sanidine; matrix of submicroscopic kaolinite and of illitemontmorillonite Thin section, magn. 23 x, nicols 60°
- Fig. 7 Pseudomorphisms of kaolinite after mica, which shows beginning decomposition; sanidine grains with cleavage fissures parallel (001); groundmass of microcrystalline kaolinite, partially illite-montmorillonite Thin section, magn. 54 x, nicols 30°
- Fig. 8 Fresh sanidine with grain sizes up to 0,27 mm in a matrix of microcrystalline kaolinite and illit-montmorillonite. The cleavage cracks of the sanidine are due to extreme separation of tiny crystals. Thin section, magn. 54 x, nicols 60°

Tafel 2

Ruhrkarbon, mittleres Westfal C, Dorstener Schichten Kohlentonstein Hagen 4 Zeche Brassert, Querschlag 4 NO, 3. Sohle Haupttypus: Mixed-laver-Tonstein

- Fig. 1 Grundmasse aus Kaolinit und Illit-Montmorillonit mit eingelagerten Biotit-Pseudomorphosen-Spaltstücken sowie Quarz- und Sanidinbruchstücken (hell und dunkel) Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 80°
- Fig. 2 Spaltstücke von Biotit-Pseudomorphosen sowie scharf konturierte Sanidinbruchstücke; Grundmasse mikrokristalliner Kaolinit mit Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 20°
- Fig. 3 Frische Sanidinkörner mit meist deutlichen Spaltrissen nach (001). Das helle Kristallbruchstück hat eine Größe von 0,35 mm und besitzt feinste Pigmentierung, verursacht durch Flüssigkeitseinschlüsse. Spaltstück einer lamellaren Pseudomorphose nach Biotit am rechten Bildrand Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 20°
- Fig. 4 Anreicherung scharf und unregelmäßig begrenzter Sanidinkörner, vereinzelt auch Quarz in Größen bis zu 0,26 mm; kaolinische und illitisch-montmorillonitische Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 60°

Ruhrkarbon, oberstes Westfal B, Horster Schichten Kohlentonstein Z1 Zeche Brassert, Hauptabteilung, 4. Sohle Haupttypus: Mixed-layer-Tonstein

- Fig. 5 Spaltstücke von Biotit-Pseudomorphosen sowie scharf konturierte Quarz- und Sanidinkörner in einer Grundmasse aus Kaolinit-Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 60°
- Fig. 6 Kaolinitsäule, tafelige Spaltstücke von Biotit-Pseudomorphosen sowie unregelmäßig geformte Kaolinitknäuel mit partiellen Kristallisationsfeldern; vereinzelt Quarz und Sanidin; Grundmasse feinstkörniger Kaolinit sowie Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 60°
- Fig. 7 In Auflösung begriffene Pseudomorphose von Kaolinit nach Glimmer, und Sanidinkörner mit Spaltrissen nach (001); Grundmasse mikrokristalliner Kaolinit mit partiellem Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 30°
- Fig. 8 Frische Sanidinkörner in Größen bis zu 0,27 mm in einer Grundmasse aus mikrokristallinem Kaolinit und Illit-Montmorillonit. Die Spaltrisse des Sanidins sind durch extreme Zerteilung in winzige Kristalle verursacht. Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 60°



Tafel 3

Ostrauer Karbon, oberes Namur A, Poruba-Schichten Kohlentonstein 479 (Flöz Max) Grube President Gottwald Haupttypus: Kaolin-Kohlentonstein: Typus: Pseudomorphosen-

tonstein

- Fig. 1 Anreicherung von Quarz- und Sanidinbruchstücken sowie längliche Biotite und deren Pseudomorphosen nebst zahlreichen Spleißen in kaolinischer Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 80°
- Fig. 2 Säulen, Tafeln und Spaltstücke von Kaolinit, Biotite und deren Pseudomorphosen sowie zahlreiche Sanidinund Quarzbruchstücke; Grundmasse feinstkörniger Kaolinit von opaker Kohle durchsetzt Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 80°
- Fig. 3 Bereich mit angereicherten Sanidin- und Quarzbruchstücken; vereinzelt stark doppelbrechender, lamellarer Biotit, Spaltstücke und Spleißen; kaolinitische Grundmasse mit opaker Kohle Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 30°
- Anreicherung von Sanidin- und Quarzbruchstücken Fig. 4 nebst zahlreichen Biotit-Spaltstücken und -Spleißen Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 20°

Ostrauer Karbon, oberes Namur A, Jaklovec-Schichten Kohlentonstein 365 (Flöz Gabriela) Grube Jan Fučik Haupttypus: Kaolin-Kohlentonstein; Typus: Pseudomorphosentonstein

- Fig. 5 Sanidin- und Quarzbruchstücke sowie Biotite, Pseudomorphosen und Spleißen in starker Konzentration. Ein breites Kohlenband kennzeichnet die Schichtung. Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 80°
- Feinkörnige Kaolinitgrundmasse mit Sanidin- und Fig. 6 Quarzkörnern, Biotit-Pseudomorphosen und -Spaltstücken; opake Kohlensubstanz Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols 80°

Ostrauer Karbon, oberes Namur A, Jaklovec-Schichten Kohlentonstein 335 (Flöz Eleonora) Grube Jan Fučik Haupttypus: Kaolin-Kohlentonstein; Typus: Pseudomorphosentonstein

- Fig. 7 Säulen und Tafeln von Kaolinit sowie Spaltstücke von Biotit-Pseudomorphosen; das tafelige Aggregat rechts oben zeigt Querteilung und Biotitlamellen am oberen Rand; kaolinische Grundmasse mit opaker Kohle Dünnschliff, Vergr. 23 x, Nicols 80°
- Fig. 8 Biotite mit partieller Kaolinisierung, Spaltstücke und Spleißen sowie Sanidinkörner bis 0,4 mm Länge; kaolinische Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 54 x, Nicols +



Plate 3 (p. 149)

Ostrava Carboniferous, Upper Namurian A, Poruba beds Coal tonstein 479 (Max seam) President Gottwald mine Main type: kaolin coal tonstein; type: pseudomorphism tonstein

- Fig. 1 Enrichment of quartz and sanidine fragments and of biotite and biotite pseudomorphisms besides a lot of splinters in a kaolinic groundmass Thin section, magn. 23 x, nicols 80°
- Fig. 2 Column-like and tabular kaolinites and their fragments, biotites and their pseudomorphisms, and many sanidines and quartzes; matrix of finest-textured kaolinite with interspersed opaque coal matter Thin section, magn. 23 x, nicols 80°
- Fig. 3 Domain with enriched sanidine and quartz fragments; sporadic fragments and splinters of laminated biotite with strong birefringence; kaolinitic groundmass with opaque coal Thin section, magn. 54x, nicols 30°
- Fig. 4 Enriched sanidine, quartz and biotite fragments and splinters Thin section, magn. 54x, nicols 20°

Ostrava Carboniferous, Upper Namurian A, Jaklovec beds Coal tonstein 365 (Gabriela seam) Jan Fučik mine

Main type: kaolin coal tonstein; type: pseudomorphism tonstein

- Fig. 5 Large concentration of sanidine and quartz fragments and of biotite pseudomorphisms and splinters. A broad coal vein marks the bedding. Thin section, magn. 23 x, nicols 80°
- Fig. 6 Fine-granular matrix of kaolinite with sanidine and quartz grains, and with biotite pseudomorphisms and splinters; opaque coal matter Thin section, magn. 54 x, nicols 80°

Ostrava Carboniferous, Upper Namurian A, Jaklovec beds Coal tonstein 335 (Eleonora seam) Jan Fučik mine Main type: kaolin coal tonstein; type: pseudomorphism tonstein

- Fig. 7 Prismatic and tabular kaolinite crystals and splinters of biotite pseudomorphisms. The tabular aggregate at the top of the right side shows transversibel segmentation and biotite lamella at the upper rim. The kaolinite matrix contents opaque coal. Thin section, magn. 23 x, nicols 80°
- Fig. 8 Fragments and splinters of partially kaolinized biotite, and sanidines with grain sizes up to 0,40 mm; kaolinitic groundmass Thin section, magn. 54x, nicols +

Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers*

32

Von KURT BURGER, HEINRICH FIEBIG und GERHARD STADLER**

Coal tonstein, recovery, range, statistical distribution, Rhenish-Westphalian basin, Ruhr district, Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: In einem kurzen Überblick werden die Lage der Explorationsräume mit den von der Tagesoberfläche niedergebrachten Kernbohrungen (bis April 1982) sowie die stratigraphische Verteilung der wichtigsten Leithorizonte in den Schichtengruppen des Ruhrkarbons vorgestellt. Die Explorationsbohrungen erschlossen bevorzugt die Bochumer, Essener, Horster und Dorstener Schichten, so daß den darin vorkommenden marinen Horizonten und Kaolin-Kohlentonsteinen für die Identifikation und Konnektierung der Flöze erstrangige Bedeutung zukommt. Im Beobachtungszeitraum von mehr als zehn Jahren wurden in den Explorationsbohrungen 691 Kaolin-Kohlentonsteine nachgewiesen, die sich auf 45 Kaolin-Kohlentonsteinhorizonte verteilen. Während die mächtigeren Kaolin-Kohlentonsteine nahezu in allen in Betracht kommenden Bohrungen beobachtet wurden, ist der Nachweisgrad der dünnen Kaolin-Kohlentonsteine relativ gering. Der durchschnittliche Nachweisgrad beträgt daher im Bereich West 28 %, im Bereich Mitte 41 % und im Bereich Ost 25 %. Dieser Sachverhalt wurde einer kritischen Betrachtung unterzogen, und es wurde gezeigt, daß durch Anwendung geeigneter Untersuchungsmethoden der Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine in Explorationsbohrungen erhöht werden kann.

[Coal tonsteins in the exploration areas of the Rhine-Ruhr coal district]

A b s t r a c t : A short review shows the locations of exploration areas along with the core drillings produced from the surface (through April 1982) as well as the stratigraphic distribution of the main marker horizons within the stratigraphic categories of the Ruhr Carboniferous. Exploration borings included preferably the Bochum, Essen, Horst and Dorsten beds, so that the marine horizons and coal tonsteins encountered there are of primordial significance for identifying and correlating coalbeds. During the observation period of over 10 years 691 coal tonsteins spread over 45 coal tonsteins were encountered in almost all of the relevant borings, the stringency of identification of the thinner coal tonsteins was relatively low. The average stringency of identification therefore comes to 28% in the Western, 41% in the Central, and 25% in the Eastern area. This situation was the subject of a critical appraisal and it was demonstrated that by applying appropriate investigation methods the accuracy of identification of coal tonsteins in exploration borings can be improved.

[Bancs de tonstein charbonneux dans les zones d'exploration du Bassin Houiller de Rhénanie septentrionale et de Westphalie]

Résumé: Une vue sommaire donne la localisation des zones d'exploration avec les carottages effectués à partir du jour (jusqu'en avril 1982) ainsi que sur la répartition strati-

^{*} Vortrag zur 134. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft am 5. 10. 1982, Ruhr-Universität Bochum

^{**} Anschriften der Autoren: Dr. K. BURGER, Halbe Höhe 10, D-4300 Essen 1; Dr. H. FIEBIG, Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Herner Straße 45, D-4630 Bochum 1; Dr. G. STADLER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

graphiques des principaux niveaux repères dans les proupes de strate du carbonifère de la Ruhr. Les sondages d'exploration ont ouvert de préférence les strates de Bochum, d'Essen, de Horst et de Dorsten de sorte que les niveaux marins et les bancs de tonstein y existant prennent de l'importance de premier rang pour l'identification et la correlation des couches. Pendant une période d'observation de plus de 10 ans 691 tonsteins charbonneux ont été prouvés dans les sondages d'exploration et qui se répartissent sur 45 niveaux de tonstein charbonneux. Alors que des bancs de tonstein charbonneux plus puissants ont été décelés dans la presque totalité des sondages concernés le taux de certitude de l'existence des bancs de tonstein charbonneux de 28 % dans la zoine Ouest, de 41 % dans le zone Centre et de 25 % dans le zone Est. Ces éléments de fait on fait l'objet d'un examen critique et on a montré que l'utilisation de méthodes d'étude appropriée permet d'augmenter le taux de certitude de l'existence des bancs de tonstein charbonneux.

1. Einleitung

Im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier wird seit 1971 eine intensive Exploration betrieben. Inzwischen sind etwa 400 Kernbohrungen von der Tagesoberfläche niedergebracht worden. Sie haben zu einer beachtlichen Erweiterung der Erkenntnisse über die geologisch-tektonische Gestaltung sowie die petrographische und lagerstättenkundliche Ausbildung der für den Steinkohlenbergbau wichtigen Reserveräume geführt. Für die zukünftige Bergbauplanung ist damit eine wichtige Grundlage gegeben.

Die gewonnenen Erkenntnisse fußen auf der konsequenten und systematischen Nutzung der im über 3 000 m mächtigen, flözführenden Oberkarbon eingeschalteten stratigraphischen Leithorizonte, wobei die marinen Horizonte und die Kaolin-Kohlentonsteine das erstrangige stratigraphische Gerüst bilden. Die Erfassung dieser Horizonte ist die unentbehrliche Voraussetzung für die exakte Identifikation und Korrelation der im Gebirgsverband eingeschalteten Flöze unterschiedlicher Mächtigkeit und fazieller Ausbildung. Ohne diese Leitschichten wäre eine zuverlässige Identifikation der Flöze und Flözniveaus der Bohrprofile in den meisten Fällen nicht möglich, zumal wenn geophysikalische Bohrlochmessungen fehlen. Im Rahmen dieses Beitrages wird eine kritische Bestandsaufnahme über die Kaolin-Kohlentonsteine der Explorationsräume vorgelegt, woraus sich ein Überblick über diese geringmächtigen petrographischen Zeitmarken ergibt.

2. Überblick über die Explorationsräume

Abbildung 1 liefert einen allgemeinen Überblick über das Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlenrevier. Aufgeführt sind:

- die verliehenen Steinkohlenfelder mit rund 130 km streichender und rund 75 km querschlägiger Erstreckung
- die inzwischen stillgelegten Grubenfelder in waagerechter Schraffur
- die Standorte der jetzigen Förderschächte
- die Explorationsräume mit den von der Tagesoberfläche niedergebrachten Kernbohrungen

Die Explorationsräume sind, von einigen Ausnahmen abgesehen, der produktiven Bergbauzone nördlich vorgelagert. Die nördlichsten Bohrungen liegen derzeit bis zu 15 km von den stratigraphisch gesicherten Aufschlüssen der Bergbauzone entfernt.



Abb. 1 Bereiche der Exploitation, der Stillegung und der Exploration im Niederrheinisch- Westfälischen Steinkohlenrevier
 Fig. 1 Areas of exploitation, abendonment, and exploration in the Rhine-Ruhr coal district



Abb. 2 Lage der Explorationsbohrungen zu den tektonischen Hauptfaltenstrukturen im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier

Fig. 2 Location of exploration borings in relationship to the main tectonic foldings in the Rhine-Ruhr coal district

K. BURGER & H. FIEBIG & G. STADLER

154

Abbildung 2 zeigt die Lage der Explorationsbohrungen zu den Großfaltenstrukturen des Steinkohlengebirges. Folgende Schwerpunkte sind erkennbar: Region West

- im Bereich der Stadt Moers mit Bohrungen in der westlichen Emscher-Hauptmulde, der Lippe-Hauptmulde und der Raesfelder Hauptmulde
- im übrigen Bereich im Kern und auf den Flanken der Lippe-Hauptmulde sowie auf den Flanken des Dorstener Hauptsattels

Region Mitte

- im Kern der Lippe-Hauptmulde und auf den Flanken des Dorstener Hauptsattels
- im Kern der Lüdinghauser Hauptmulde und auf den Flanken des Auguste-Victoria-Hauptsattels
- zwei Bohrungen im Bereich der Raesfelder Hauptmulde Hier handelt es sich um die nördlichsten Bohrungen mit exakt identifizierter Flözfolge im Hangenden des Domina-Horizontes.

Region Ost

- im Kern der Bochumer Hauptmulde und im Bereich des Wattenscheider Hauptsattels
- im Kern der Essener Hauptmulde mit ihren Spezialfalten
- im Bereich des Gelsenkirchener Hauptsattels

3. Stratigraphische Gliederung des Ruhrkarbons und Verteilung der wichtigsten Leithorizonte

Die in der jüngeren Vergangenheit erzielte stratigraphische Feingliederung des Ruhrkarbons mit Leithorizonten regionalen und überregionalen Charakters bildet die wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Identifikation und Konnektierung der in den Explorationsbohrungen angetroffenen Flöze, sowohl von Bohrung zu Bohrung als auch zu den für die Flözeinheitsbenennung gültigen Richtschichtenschnitten.

Abbildung 3 zeigt die stratigraphische Gliederung des Ruhrkarbons und die im Schichtenverband vorkommenden wichtigsten Leithorizonte. In der Abbildung ist die Flözfolge vom Namur C bis ins Westfal C der Position und Verteilung der Faunenhorizonte – vorwiegend mariner oder schwachmariner Natur – sowie der Position und Verteilung der Kaolin-Kohlentonsteine in den Regionen West, Mitte und Ost gegenübergestellt.

Nach dem heutigen Erkenntnisstand befinden sich in der

- Region West 24 Kaolin-Kohlentonsteine, davon 21 mit großer Bedeutung f
 ür die Stratigraphie
- Region Mitte 39 Kaolin-Kohlentonsteine, davon 26 mit großer stratigraphischer Bedeutung
- Region Ost 20 Kaolin-Kohlentonsteine, davon 16 mit großer Bedeutung f
 ür die Stratigraphie

Faßt man die Ergebnisse für das Ruhrkarbon zusammen, so handelt es sich um 45 Kaolin-Kohlentonsteine (einschließlich der beiden Kaolin-Kohlenton-



Abb. 3 Stratigraphische Gliederung des Ruhrkarbons; Verteilung der Flözfolge, der marinen Faunenhorizonte und der Kaolin-Kohlentonsteine

Fig. 3 Stratigraphic structuring of the Ruhr Carboniferous; distribution of seam sequence, marine fauna horizons, and coal tonsteins

Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen...

steine aus der Tiefbohrung Münsterland 1), von denen 28 große stratigraphische Bedeutung besitzen. In dieser Bilanz sind Neuentdeckungen von Kaolin-Kohlentonsteinen aus Explorationsbohrungen (bis 1984) mitberücksichtigt – dieser Sachverhalt wird noch näher erläutert.

Wie Abbildung 3 verdeutlicht, stehen für die Identifikation und Korrelierung der Flöze des Namurs C und des unteren Westfals A die zahlreichen Faunenhorizonte und für die zahlreichen Flöze der höheren Schichtenfolge - also für die höheren Bochumer, Essener, Horster und Dorstener Schichten - sowohl die marinen Horizonte Katharina, Domina und Ägir als auch bevorzugt die hier häufig vorkommenden Kaolin-Kohlentonsteine zur Verfügung (vgl. auch BURGER & ECKHARDT & STADLER 1962; BURGER 1980, 1982). Die Entdeckung dieser Leithorizonte beruhte auf der sachkundigen Bearbeitung der Kernbohrungen durch etwa siebzehn Geologen, die dem Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen sowie der Montan-Consulting GmbH angehören. Darüber hinaus sind Spezialuntersuchungen von verschiedenen Fachleuten – insbesondere des Hauptlaboratoriums der Bergbau AG Lippe – ausgeführt worden. Da die Tiefe der Explorationsbohrungen aus verschiedenen Gründen begrenzt ist, ergibt sich wegen des meist mächtigen Deckgebirges und der großtektonischen Strukturen - insbesondere der Querstörungstektonik mit meist beachtlichen Verwurfsbeträgen -, daß bei regionaler Betrachtung die Bohrungen mehr oder weniger unterschiedliche stratigraphische Bereiche des Steinkohlengebirges erschlossen haben.



Abb. 4 Erschließungsgrad der Schichtengruppen durch Explorationsbohrungen

Fig. 4 Degree of development of the different stratigraphic units by means of exploration borings

Region	West	Mitte	Ost	gesamt
Ruhrkohle AG	112	93	79	284
Gew. Auguste Victoria	0	11	0	11
Eschweiler Bergwerksverein	0	1	3	4
Altgesellschaften	8	0	5	13
Summe	120	105	87	312

Tabelle 1 Anzahl der ausgewerteten Explorationsbohrungen

So zeigt die Abbildung 4¹⁾ in einem Schema den Erschließungsgrad der Schichtengruppen durch Explorationsbohrungen in den Regionen West, Mitte und Ost sowie im gesamten Ruhrkarbon. Das Bild vermittelt, daß der Nachweis der Kaolin-Kohlentonsteine in den drei Regionen aus den vorgenannten Gründen unterschiedlich ausfällt.

Einen weitaus besseren Überblick gewinnt man durch Auswertung und Darstellung der Bohrungen in Grundrissen, was hier aus Gründen der Kürze unterbleiben muß. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der von 1955 bis April 1982 niedergebrachten Bohrungen.

4. Vorkommen, Mächtigkeit und Verbreitung der Kaolin-Kohlentonsteine

Explorationsbohrungen werden bekanntlich in unaufgeschlossenen Bereichen niedergebracht. Daher besteht die Chance, daß sorgfältige petrographische Untersuchungen – wie zum Beispiel im Hauptlaboratorium der Bergbau AG Lippe in Anwendung – zur Entdeckung neuer Kaolin-Kohlentonsteine im Flöz- oder Schichtenverband führen. Welche Ergebnisse in dieser Richtung erzielt worden sind, soll kurz erläutert werden.

Wird vom informativen Kenntnisstand (BURGER 1980: 501, Abb. 3) ausgegangen, so handelt es sich um die in Tabelle 2 aufgeführten, stratigraphisch definierten Neufunde von Kaolin-Kohlentonsteinen im Ruhrkarbon. Sie ist gegliedert nach den bekannten Schichtengruppen, wobei die Neufunde eine Unterteilung in zwei Zeitbereiche erfuhren, nämlich 1980 bis April 1982 sowie Mai 1982 bis April 1984. Inhaltlich haben wir uns auf die unbedingt notwendigen Informationen beschränkt, was für diese Übersicht ausreichen dürfte. Zur petrographischen Ausbildung dieser Kaolin-Kohlentonsteine wird an anderer Stelle eingegangen. Herausgestellt sei, daß im Zeitraum 1980 bis April 1982 fünf Kaolin-Kohlentonsteine und im Zeitraum Mai 1982 bis April 1984 acht Kaolin-Kohlentonsteine, insgesamt also 13 Kaolin-Kohlentonsteine entdeckt worden sind.

Diese Neufunde verteilen sich auf die Schichtengruppen

-	Dorstener Schichten:	sechs	Kaolin-Kohlentonsteine
-	Horster Schichten:	vier	Kaolin-Kohlentonsteine
-	Essener Schichten:	ein	Kaolin-Kohlentonstein
-	Bochumer Schichten:	ein	Kaolin-Kohlentonstein

- Wittener Schichten:
- ein Kaolin-Kohlentonstein

¹⁾ Die Abbildungen 4 – 10 und Tabelle 3 beruhen auf der im April 1982 erfolgten Auswertung.

		(28	illauni 1960 D	15 1964)		
Schichten	Zeit- bereich	Kaolin- Kohlenton- stein	Mächtigkeit (mm)	Fundort	Nachweis durch	Anzahl der Kaolin-Koh- lentonsteine
	Mai 1982 bis April 1984	Siegfried (o)	ca. 8	Specking 1 (Explorations- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	
	Mai 1982 bis April 1984	Siegfried (u)	ca. 3	Specking 1 (Explorations- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	
Dorstener Schichten	Mai 1982 bis April 1984	Parsifal	ca. 2	Specking 1 (Explorations- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	
	Mai 1982 bis April 1984	Odin	ca. 5	Specking 1 (Explorations- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	6
	Januar 1980 bis April 1982	Nibelung (o)	> 20	Rhade 2 (Explorations- bohrung)	H. FIEBIG G. STADLER	
	Mai 1982 biš`April 1984	Chriemhilt	~ 50?	Besenkamp 1 (Explorations- bohrung)	G. HÖLSCHER	
	Januar 1980 bis April 1982	U	ca. 1	Emmelkamp 2 (Explorations- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	
	Mai 1982 bis April 1984	Ρ1	ca. 3	Zeche Ewald, Baufeld General Blumenthal (Aufschluß- bohrung)	W. Pfisterer HH. Sawitzki	
Horster Schichten	Januar 1980 bis April 1982	Ρ3	ca. 1	Zeche Ewald, Baufeld General Blumenthal (Aufschluß- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	4
	Januar 1980 bis April 1982	P 4(u)	ca. 1	Zeche Ewald, Baufeld General Blumenthal (Aufschluß- bohrung)	W. PFISTERER HH. SAWITZKI	
Essener Schichten	Januar 1980 bis April 1982	Zollverein 6(o)*	ca. 5	Werne 29 (Explorations- bohrung)	H. J. KLAWUHN	1
Bochumer Schichten	Mai 1982 bis April 1984	Röttgersbank 1**	ca. 5	Zeche Unser Fritz (Aufschluß- bohrung)	K. BURGER R. CREMER	1
Wittener Schichten	Mai 1982 bis April 1984	Girondelle 5	ca. 5	Querschlag General Blumenthal — Haltern	W. PFISTERER HH. SAWITZKI G. DROZDZEWSK	1
gesamt	Januar 1980 bis Mai 1982 bis A	s April 1982 pril 1984	5 Kaolin-Kohle 8 Kaolin-Kohle	ntonsteine		13

Tabelle 2 Übersicht über neu entdeckte Kaolin-Kohlentonsteine im Flöz- und Schichtenverband des Ruhrkarbons (Zeitraum 1980 bis 1984)

* erster Nachweis im östlichen Ruhrrevier, jedoch identisch mit dem bekannten Zollverein-6(o)-Tonstein des mittleren Ruhrreviers

** Nachweis in einer Aufschlußbohrung im Jahre 1974, sichere stratigraphische Zuordnung erst durch Auffahrung des Querschlages NO 104 im Jahre 1983

K. BURGER & H. FIEBIG & G. STADLER



Abb. 5 Die Kaolin-Kohlentonsteine des Ruhrkarbons in der Bergbau- und Explorationszone (Stand: April 1982)

Fig. 5 The coal tonsteins of the Ruhr Carboniferous in the mining and exploration zones (April 1982)

160

Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen...

Betrachtet man die Mächtigkeit dieser Leitschichten, so fällt auf, daß nur drei Horizonte mehr als 5 mm Mächtigkeit besitzen, während die anderen zehn Horizonte wesentlich geringmächtiger sind. Da ihr Nachweis zur Zeit noch auf jeweils nur eine Bohrung oder auf nur wenige Bohrungen beschränkt ist, muß die Bedeutung der geringmächtigen Kaolin-Kohlentonsteine für die regionale Stratigraphie offen bleiben.

Abbildung 5 zeigt im linken Feld einen vereinfachten Schichtenschnitt von Flöz Sonnenschein bis Flöz Volker des Ruhrkarbons. Eingetragen ist die stratigraphische Position der Kaolin-Kohlentonsteine, und rechts daneben befindet sich ihre Benennung. Die Kaolin-Kohlentonsteine sind in Abbildung 5 in bekannte und neu entdeckte (Stand: April 1982) unterschieden. Die neuen Vorkommen wurden überwiegend in Aufschluß- und Explorationsbohrungen festgestellt. Das Mittelfeld des Bildes liefert einen Überblick über die Mächtigkeit dieser Leitschichten in Zentimeter und das rechte Bildfeld die jeweilige Anzahl der in den Explorationsbohrungen der Regionen West, Mitte und Ost festgestellten Kaolin-Kohlentonsteine.

Zur Erklärung mögen noch einige Erläuterungen nützlich sein. Dargestellt ist die Mächtigkeitsspanne für jeden einzelnen Kaolin-Kohlentonstein, ferner ist die mittlere Mächtigkeit durch einen Punkt markiert und angeschrieben.

Man erkennt, daß die geringmächtigen Kaolin-Kohlentonsteine vorwiegend in den Bochumer, Essener und Horster Schichten auftreten, während die mächtigeren auf das höchste Westfal B und Westfal C beschränkt sind.

Über den Nachweis informieren die in Abbildung 5 rechts eingetragenen Zahlen. Faßt man zusammen, so wurden bis April 1982 in den einzelnen Regionen durch Bohrungen folgende Kaolin-Kohlentonsteinfunde erzielt: in der Region West 226, in der Region Mitte 336 und in der Region Ost 129 Funde – insgesamt also 691 Aufschlüsse aus Explorationsbohrungen.

Auffällig ist die hohe Zahl der festgestellten Kaolin-Kohlentonsteine in der Region Mitte. Einer der Gründe hierfür ist vermutlich, daß die Flöz-Kernproben oder das kleinstückige Kohlegut von den Bearbeitern des Hauptlaboratoriums der Bergbau AG Lippe durch geeignete makro- und mikroskopische Methoden besonders intensiv untersucht worden ist.

5. Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine

Zur objektiven Beurteilung der Kaolin-Kohlentonsteinfunde in Explorationsbohrungen bedarf es der Beziehung zwischen Kaolin-Kohlentonsteinfund und Bohrung, wofür der Begriff "Nachweisgrad" verwendet wird. Er ist definiert als Quotient aus

> Anzahl der Kaolin-Kohlentonsteinfunde eines Horizontes Anzahl der Bohrungen, die diesen Horizont durchteuften

Dieser Ausdruck läßt sich numerisch und graphisch weiterverarbeiten. Die Abbildungen 6–8 enthalten auf der linken Seite die stratigraphische Position der Kaolin-Kohlentonsteine, daneben qualifizierte Angaben zum Thema. Hierbei interessiert zunächst nur die Spalte b, welche die Anzahl der Bohrungen mit ungestörter Schichtenfolge im Kaolin-Kohlentonsteinbereich angibt,





und die Spalte e mit den fündigen Bohrungen. Die rechte Bildfläche der Abbildungen gibt Auskunft über den Nachweisgrad.

In der Region West (Abb. 6) haben die Bohrungen theoretisch 840 Kaolin-Kohlentonsteinniveaus erschlossen; 29 davon waren tektonisch gestört, so daß sich vorgenannte Zahl auf 811 vermindert. Echt nachgewiesen wurden 226 Kaolin-Kohlentonsteine, was einem durchschnittlichen Nachweisgrad von 28% entspricht. Von den 25 Kaolin-Kohlentonsteinhorizonten im Profil der Bergbauzone West sind 18 erneut nachgewiesen. Wie ein Blick auf das Bild verdeutlicht, ist der Nachweisgrad der einzelnen Kaolin-Kohlentonsteinhorizonte unterschiedlich. So beträgt zum Beispiel der Nachweisgrad des Erda-Tonsteins 100%, das heißt er wurde in allen Bohrungen festgestellt.

In der Region Mitte (Abb. 7) sind theoretisch 923 Kaolin-Kohlentonsteinhorizonte erschlossen worden; 102 davon scheiden aus tektonischen Gründen und wegen einiger Meißelbohrungen aus, so daß sich die erstgenannte Zahl



Abb. 7 Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine in der Explorationszone Mitte Fig. 7 Stringency of identification of coal tonsteins in the central exploration area



164



auf 821 reduziert. 336 Kaolin-Kohlentonsteine wurden identifiziert, was einem Nachweisgrad von 41 % entspricht. Wie das Bild veranschaulicht, ist für die einzelnen Kaolin-Kohlentonsteinhorizonte der Nachweisgrad allgemein hoch. Von den 28 Kaolin-Kohlentonsteinhorizonten im Profil der Bergbauzone Mitte wurden 27 im Explorationsraum erneut aufgefunden.

In der Region Ost (Abb. 8) wurden in Bohrungen 555 Kaolin-Kohlentonsteinniveaus theoretisch erschlossen. Durch Meißelbohrungen und tektonisch gestörte Abschnitte vermindert sich diese Zahl auf 391. Identifiziert sind 129 Kaolin-Kohlentonsteine mit einem durchschnittlichen Nachweisgrad von 25%. Für die einzelnen Horizonte ist der Nachweisgrad recht unterschiedlich. Von den 18 Kaolin-Kohlentonsteinlagen im Profil der Bergbauzone Ost sind 14 im Explorationsraum aufgefunden worden.

Diese komprimierte Darstellung dürfte zur angestrebten Schnellinformation ausreichen. Ein gründlicher Überblick ist auf diese Weise jedoch nicht erzielbar, weil der Bezug zur geographischen Position der Fundpunkte fehlt.

6. Geographische Verteilung der Fundpunkte einiger Kaolin-Kohlentonsteine

Zur Klärung und Beurteilung vielfältiger Fragen in Praxis und Forschung muß man sich geeigneter, auf das Thema zugeschnittener Darstellungen bedienen. Die damit verknüpften synoptischen Aspekte führen dann meist zu interessanten Auswertungen.

In Ergänzung zu den Abbildungen 6-8 wird deshalb die geographische Verbreitung und Mächtigkeitsentwicklung eines mächtigeren und eines dünnen Kaolin-Kohlentonsteins im Grundriß dargestellt.

Abbildung 9 informiert über den Hagen-1-Tonstein der Dorstener Schichten (Westfal C). Eingetragen sind Fundpunkte und das Verbreitungsgebiet in der



Abb. 9 Verbreitung des Hagen-1-Tonsteins der Dorstener Schichten (Westfal C) im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier; Fundpunkte und Mächtigkeit des Kaolin-Kohlentonsteins

Fig. 9 Distribution of the coal tonstein Hagen 1 of the Dorsten beds (Westfal C) in the Rhine-Ruhr coal district; locations and relevant thicknesses of the coal tonstein



Emscher-Hauptmulde, der Lippe-Hauptmulde und der Raesfelder Hauptmulde. Ersichtlich ist, daß sich die Fundpunkte dieser Leitschicht auf einen Bereich von ca. 35 km im Hauptstreichen und ca. 38 km quer zum Faltenbau verteilen. Bekannt und bearbeitet sind etwa 90 Fundpunkte.

Die Mächtigkeit des Hagen-1-Tonsteins variiert zwischen 20 und 150 mm. Eine Auswertung führt zu folgender Mächtigkeitsverteilung:

 $\begin{array}{rrrr} 10 \ \% &< \ 50 \ \text{mm} \\ 30 \ \% &> \ 50 \ \text{mm} \ \text{bis} < 100 \ \text{mm} \\ 60 \ \% &> \ 100 \ \text{mm} \ \text{bis} & \ 150 \ \text{mm} \end{array}$

Hieraus folgt, daß 90% der Aufschlüsse des Hagen-1-Tonsteins in der Mächtigkeitsgruppe>50 mm liegen. Fundpunkte mit extrem dünner Mächtigkeit sind wahrscheinlich auf Fortspülung quellfähiger Tonsubstanz bei Berührung mit Wasser zurückzuführen; solche Reaktionen sind bei Mixed-layer-Kaolin-Kohlentonsteinen in der Ruhrgebietsexploration mehrfach beobachtet worden. Weitere Einzelheiten sind der Abbildung 9 zu entnehmen.

Die Abbildung 10 zeigt die Entwicklung des Zollverein-8-Tonsteins der Essener Schichten (Westfal B). Das durch Fundpunkte belegte Verbreitungsgebiet erstreckt sich auf ca. 85 km im Hauptstreichen und ca. 45 km in querschlägiger Richtung. Es umfaßt die Bochumer Hauptmulde, die Essener Hauptmulde, die Emscher-Hauptmulde, die Lüdinghauser Hauptmulde, die Lippe-Hauptmulde und teilweise die Nordflanke des Dorstener Hauptsattels. Bekannt sind etwa 550 Fundpunkte.

Wie ersichtlich, variiert die Mächtigkeit des Zollverein-8-Tonsteins zwischen 1-40 mm. Im überwiegenden Teil der Fundpunkte hat die Leitschicht



Abb. 10

Verbreitung des Zollverein-8-Tonsteins der Essener Schichten (Westfal B) im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier; Fundpunkte und Mächtigkeit des Kaolin-Kohlentonsteins

Fig. 10

Distrubition of the coal tonstein Zollverein 8 of the Essen beds (Westfal B) in the Rhine-Ruhr coal district; locations and relevant thicknesses of the coal tonstein

eine Stärke von 20 – 30 mm. Mächtigkeiten < 10 mm befinden sich im Bereich westlich des Rheins, also in jenem Bereich, wo der Zollverein-8-Tonstein im Nebengestein auftritt. Die Mächtigkeitsgruppe 20 – 40 mm ist meist dort vorhanden, wo der Kaolin-Kohlentonstein innerhalb des ehemaligen Torfmoores entstand, also einem intensiven chemogenen Umbildungsprozeß unterlag.

7. Kritik und Folgerungen

Die zahlreichen Explorationsbohrungen in den Reservefeldern des Ruhrreviers haben die Bedeutung der Kaolin-Kohlentonsteine als erstrangige Leitschichten eindeutig und grundsätzlich bestätigt.

Vorliegende Bestandsaufnahme in der Explorationszone über einen Beobachtungszeitraum von 10 Jahren hat jedoch gezeigt, daß der Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine in den Regionen West, Mitte und Ost unterschiedlich ist, wie Tabelle 3 in zusammenfassender Form ausweist. Folgende Gründe dürften hier eine Rolle spielen:

- Kaolin-Kohlentonsteine sind linsenförmig begrenzte Körper großer Reichweite mit bevorzugtem Auftreten innerhalb der Kohlenflöze, verschiedentlich auch im Nebengestein. Mächtigkeiten von 5 15 cm sind selten, vorherrschend sind Mächtigkeiten um 1 cm und darunter, so daß schon dadurch der Nachweisgrad in Bohrungen relativ gering ist.
- In der Bergbauzone stehen meist Aufschlüsse von mehreren Quadratmetern für gezielte makroskopische Untersuchungen und für die Probeentnahme zur Verfügung – somit liegen optimale Bedingungen vor. Das erklärt den hohen Nachweisgrad der Kaolin-Kohlentonsteine in der Bergbauzone.

Region	West	Mitte	Ost	gesamt	
theoretisch mögliche F	840	923	552	2315	
durch Tektonik ausgef	29	102	34	165	
nachgewiesene Lagen	226	⁻ 336	129	691	
Nachweisgrad (Durchschnitt) (%)		28	. 41	25	32
in der Bergbauzone nachgewiesene wiesene Horizonte		20	24	18	28
im Explorationsraum nachge- wiesene Horizonte		18	27	14	31
Nachweisgrad in	> 5 cm (%)	87	85		86
der Mächtig-	3-5 cm (%)	68	50		59
keitsgruppe 1 — 3 cm (%) 1 cm (%)		35	54	32	40
		20	33	26	28

labelle 3
Regionale Gesamtauswertung der Kaolin-Kohlentonsteinnachweise
in den Explorationsbohrungen

liegen in der Ausführung der Bohrungen, in der geologischen Bearbeitung der Bohrkerne und in der Untersuchung der Flöz-Bohrkerne in den Laboratorien.

7.1. Ausführung der Bohrungen

Die Bedingungen zur Ausführung der Bohrungen sind nach wirtschaftlichen Aspekten ausgerichtet und demnach leistungsorientiert. Das hat zur Folge, daß unzerbrochene Bohrkerne aus Flözen selten gewonnen werden. Meist sind die Flöze oder Teile davon – je nach Inkohlungsgrad und Gefüge – kleinstückig zerbohrt und Kernverluste nicht selten. Geringmächtige Kaolin-Kohlentonsteine können dadurch verloren gehen. Flöze mit solchen Leitschichten sollten daher schonend durchbohrt werden, um Kernverluste zu vermeiden.

Flöz-Bohrkerne mit hellen Kaolin-Kohlentonsteinen des quellbaren Mixedlayer-Typs dürfen nicht stärker mit Wasser in Berührung kommen; Berührung mit Wasser führt zur Quellung und meist zum Verlust des Kaolin-Kohlentonsteins. Der geringe Nachweisgrad der Nibelung-, Hagen-4- und Z-1-Tonsteine hat vielleicht hierin seine Ursache, sofern nicht sedimentologische Bedingungen für das Fehlen verantwortlich sind.

7.2. Geologische Bearbeitung der Bohrkerne

Der Explorationsboom führte zum Einsatz von insgesamt 12 – 17 Bohrgeräten gleichzeitig. Das hatte zur Folge, daß arbeitstäglich bis zu 450 m Bohrkerne für die geologische Bearbeitung anfielen. Hieraus resultiert eine Arbeitsüberlastung, so daß vielleicht einige Kaolin-Kohlentonsteine – insbesondere jene im Nebengestein – unentdeckt blieben.

7.3. Untersuchungen in den Laboratorien

Wie Tabelle 3 (unterer Abschnitt) zeigt, hängt der Nachweisgrad auch von der Schichtdicke ab. So ist der Nachweisgrad der mächtigeren Kaolin-Kohlen-

Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen...

tonsteine mit 86 % hoch, während er mit abnehmender Mächtigkeit bis auf 28 % schwindet. Es besteht die Vermutung, daß die dünnen Kaolin-Kohlentonsteine in den Flözen oft kleinkörnig zerbohrt werden und teilweise oder auch vollständig in die Spülung gelangen. Oft ist nur noch der mikroskopische Nachweis in Mittelgut- oder Bergekornschliffen möglich (OTTE & PFISTERER 1982).

Dank: Um eine möglichst vollständige Bestandsaufnahme der Kaolin-Kohlentonsteinfunde zu erreichen, waren wir auf die Unterstützung zahlreicher Stellen angewiesen. Unser aufrichtiger Dank gilt allen Herren in der Exploration sowie in der analytischen Bearbeitung und Auswertung.

8. Schriftenverzeichnis

- BURGER, K. (1980): Kaolin-Kohlentonsteine im flözführenden Oberkarbon des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. – Geol. Rdsch., 69: 488 – 531, 9 Abb., 8 Tab.; Stuttgart.
- (1982): Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung für die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerstätten. – Z. dt. geol. Ges., 133: 201 – 255, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- BURGER, K., & ECKHARDT, F.-J., & STADLER, G. (1962): Zur Nomenklatur und Verbreitung der Kaolin-Kohlentonsteine im Ruhrkarbon. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 525 – 540, 5 Abb., 1 Tab., 8 Taf.; Krefeld.
- FIEBIG, H. (1969): Das Namur C und Westfal im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebiet. – C.R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, 1: 79 – 89, 9 Abb., 1 Taf.; Maestricht.
- OTTE, M.-U., & PFISTERER, W. (1982): Routine-Untersuchungsmethoden zur Erfassung und Bestimmung der Kaolin-Kohlentonsteine im Ruhrkarbon. – Vortr. 134. Hauptversamml. DGG am 5. 10. 1982; Bochum. – [Unveröff.].
- Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000 (1982). Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., Bearb. DROZDZEWSKI, G., & JANSEN, F., & KUNZ, E., & PIEPER, B., & RABITZ, A., & STEHN, O., & WREDE, V.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 20. 3. 1984



Vulkanogene Glasscherbenrelikte im Z-1-Kohlentonstein des Ruhrkarbons

32

Von KURT BURGER und GERHARD STADLER*

Welded tuff, glass, relict, volcanoclastic, coal tonstein (Z1 tonstein), Upper Carboniferous, Rhenish-Westphalian basin, Ruhr district (Brassert coal mine), Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: In einem mixed-layer-reichen (Montmorillonit-Illit) Kaolin-Kohlentonstein des Ruhrkarbons sind vulkanogene Relikte eindeutig nachgewiesen worden. Diese befinden sich im Z-1-Tonstein, der in den höchsten Horster Schichten, ca. 7 m unterhalb der Westfal B/Westfal C – Stufengrenze liegt.

Nach mikroskopischen Dünnschliffuntersuchungen liegen die vulkanogenen Gemengteile nur in lokal engbegrenzter Verbreitung vor. Es handelt sich vorwiegend um kleine Fragmente (bis 0,1 mm), welche die für Schmelztuffe charakteristische, verschweißte Glasscherbentextur aufweisen. Die Glassubstanz ist meist illitisch devitrifiziert. Nachweis und Identifikation dieser Teilchen liefern nunmehr den sicheren Beweis, daß am Aufbau des Z-1-Tonsteins aerisch abgelagertes vulkanisches Aschenmaterial beteiligt ist. Die Frage, ob dieser Kaolin-Kohlentonstein rein aus pyroklastischem Material oder lediglich aus einem Tuffit hervorgegangen ist, läßt sich aufgrund nur spärlich vorhandener Schmelzteilchen nicht beantworten. Der Erfahrung nach bilden sich derartige Schmelztuffe bevorzugt aus Magmen rhyolithischer bis dazitischer und andesitischer Zusammensetzung.

[Vulcanogenic glass splinter remnants in the Z 1 coal tonstein of the Ruhr Carboniferous]

Abstract: In a coal tonstein of the Ruhr Carboniferous containing a high amount of mixed-layers (Montmorillonite/Illite) vulcanogenic remnants were inequivocal identified. Such remnants are encountered in the Z1 coal tonstein of a stratigraphic configuration in the uppermost Horst beds, i.e. about 7 m in the floor of the Westfal B/Westfal C interface.

Microscopic examinations of thin sections revealed vulcanogenic macerals only in narrowly confined local distribution. They are predominantly tiny fragments (up to 0,1 mm) exhibiting the welded glass splinter texture characterizing welded tuffs. The vitreous substance is mostly devitrified due to the presence of illite. Identification of these particles provides evidence that air-sedimentated vulcanic ash material did contribute to the genesis of Z 1 coal tonstein. Due to the scarcity of welded particles no answer can be given as yet to the question whether this coal tonstein generated either from purely pyroclastic material or merely from tuffaceous sediment. Experience has taught that such welded tuffs are generated preferably from magma of rhyolithic through dacitic and andesitic constitution.

[Fragments de cassures de verre vulcanogènes dans des bancs de tonstein Z 1 carbonifère de la Ruhr]

R és u m é: Dans un tonstein du carbonifère de la Ruhr riche en "mixed-layer" (Montmorillonit-Illite) de fragments vulcanogènes sont trouvées. Ceux-ci se trouvent dans le tonstein Z1 ayant sa position stratigraphique dans les strates de Horst, env. 7 m dans le mur des confins Westphalien B/Westphalien C.

Les parts de mélange vulcanogènes existent d'après les examens microscopiques de surfaces polies seulement dans des zones locales très serrées. Il s'agit en majeure partie de petits fragments (jusqu'à 0,1 mm) qui présentent la texture soudée de fragments de verre propre aux tufs ignés. La substance de verre est le plus souvent dévitrificée par l'illite. La démonstration et l'identification de ces particules fournissent maintenant la preuve nette

* Anschrift der Autoren: Dr. K. BURGER, Halbe Höhe 10, D-4300 Essen 1; Dr. G. STADLER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

que du matériau renfermant des cendres à sédimentation à air intervient dans la constitution du tonstein Z 1. On ne saurait répondre, du fait de l'existence peu abondante de particules fondues, à la question de savoir si ce tonstein provient d'un matériau purement pyroclastique ou simplement d'un tufite. D'après l'expérience acquise en la matière de tels tufs ignés se forment de préférence de magmas à composition rhyolitique à dacitique et andésitique.

1. Einleitung

Zwischen dem erstmaligen Nachweis von Kaolin-Kohlentonsteinen im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier durch KUKUK (1920) bis zur Gegenwart liegt eine Zeitspanne von 64 Jahren. Eine vorsichtige Schätzung führt zu rd. 4000 Fundpunkten, die sich zu 85 % auf Aufschlüsse in der Bergbauzone und zu 15 % auf Explorationsbohrungen verteilen.

Mit der detaillierten petrographischen Untersuchung der Kaolin-Kohlentonsteine des Ruhrkarbons haben sich in den letzten 35 Jahren zahlreiche Forscher befaßt. Ursache hierfür war nicht allein die eigentümliche Ausbildung dieser Sedimente, sondern auch ihre Bedeutung als stratigraphische Leitschichten. Bevorzugte Analysenmethoden waren und sind die Anschliffsowie die Dünnschliffmikroskopie und auch die Röntgendiffraktiometrie zur exakten Erfassung des Tonmineralbestandes.

Kaolin-Kohlentonsteine in ihrer jetzigen Form sind Umwandlungsprodukte infolge einer intensiven chemischen Verwitterung des Ursprungsmaterials, wobei unter anderem Unterschiede im Sedimentationsmilieu die Bildung verschiedenartiger Strukturtypen (Kristall-, Graupen-, "dichte" Tonsteine) bewirkte. Hierüber informieren spezielle Untersuchungen im Ruhrkarbon, wie ECKHARDT & VON GAERTNER (1962), STADLER (1962), BURGER (1965, 1980), WOLF (1969), BURGER & STADLER (1971) sowie die Nomenklaturübersichten in BURGER & ECKHARDT & STADLER (1962) und BURGER (1982).

Die außergewöhnlich konstante und ausgedehnte Verbreitung der meist sehr dünnen Kaolinlagen und ihre stark unterschiedliche, aber stets eigentümliche petrographische Ausbildung führten bereits frühzeitig zu Diskussionen über ihre Entstehung. Die teilweise völlige Verschiedenartigkeit in der Mächtigkeit, im Mineralbestand und der strukturellen Beschaffenheit der Kaolin-Kohlentonsteine des Ruhrkarbons hatten zur Folge, daß sich über die Art ihrer Ausgangssubstanz differierende Meinungen bildeten. Die Kohlentonsteine werden einerseits als pyroklastische Bildungen, und zwar mehr oder weniger stark als kaolinisierte saure Tuffe, andererseits als das Produkt einer intensiven Kaolinisierung von im Flözbildungsraum abgelagerten feinklastischen, tonreichen Sedimenten gedeutet. Daß über diese Frage bisher keine Einigung zu erzielen ist, liegt zweifellos in dem Versuch, die Kaolin-Kohlentonsteine trotz all ihrer gravierenden petrographischen Unterschiede genetisch zu generalisieren. Ein phosphatreicher, feldspatfreier, nur wenige mm mächtiger Graupentonstein (z. B. aus den Essener Schichten) ist petrographisch in keiner Hinsicht mit einem bis zu 20 cm mächtigen. Montmorillonit-Illit und Sanidin führenden Kaolin-Kohlentonstein des Westfals C vergleichbar, deren Prototypen unter anderem die Kaolin-Kohlentonsteine in der Flözgruppe Hagen sind.

Die unterschiedlichen Ansichten über die Entstehung dieser wichtigen Leitschichten sind nicht nur auf das Ruhrkarbon beschränkt und ebenso alt wie ihre Entdeckung. So sagt zum Beispiel DANNENBERG (1908: 126; zitiert nach DRUMM 1929: 48) über die Kaolin-Kohlentonsteine des Saarreviers: "Es ist Vulkanogene Glasscherbenrelikte im Z-1-Kohlentonstein...

nicht zu entscheiden, ob es sich lediglich um angeschwemmte Verwitterungsmaterialien fester Gesteine oder um feinere vulkanische Aschenteilchen handelt. Letzteres wäre insofern von Interesse, als daraus die Gleichzeitigkeit der betreffenden Eruption mit der Bildung der einschließenden Schichten folgen würde. Wahrscheinlich liegen in den einzelnen Tonsteinschichten Bildungen verschiedener Art vor, so daß die eine wie die andere Art ihre Berechtigung haben kann."

Trotz der intensiven, über viele Jahrzehnte geführten Untersuchungen an den verschiedenartigen Kaolin-Kohlentonsteinen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers konnte von niemandem der direkte und eindeutige Nachweis vulkanogenen Materials erbracht werden. Lediglich im Falle des Hagen-1-Tonsteins führte die Feststellung hoher Sanidin- und Montmorillonit-Illitmengen zu der Schlußfolgerung, daß "vulkanische Gesteine – vermutlich trachytische Laven – an der Bildung dieses Tonsteins beteiligt waren" (KIRSCH & HALLBAUER 1960).

Mit der mikroskopischen Diagnose von Schmelztuffteilchen im Z-1-Tonstein wird somit erstmals der einwandfreie Nachweis vulkanischen Materials in einem Kaolin-Kohlentonstein des Ruhrkarbons erbracht. Das Flöz Z 1 liegt zwar stratigraphisch bereits im höchsten Westfal B dicht unter dem Ägir-Horizont, sein Kaolin-Kohlentonstein gehört aber petrographisch zu der kleinen, besonderen Gruppe der Kaolin-Kohlentonsteine Z 1, Hagen 4, Hagen 1 und Nibelung (u), die vorwiegend im Westfal C verbreitet und durch mehr oder weniger hohe Gehalte an Sanidin sowie Montmorillonit-Illit charakterisiert ist. Bei diesem speziellen Typus liegt aufgrund der Mineralparagenese schon lange Zeit die Vermutung vor, daß es kaolinisierte Tuffe oder Tuffite sind.

2. Beschreibung des Aufschlusses

Die untersuchte Probe des Z-1-Tonsteins stammt aus dem Grubenfeld des inzwischen stillgelegten Steinkohlenbergwerks Brassert, und zwar aus der 3. SO-Abteilung, 3. Sohle mit den Lagekoordinaten:

 $R = {}^{25}75\,800 \text{ m}; H = {}^{57}25\,850 \text{ m}; Z = 772 \text{ m}$

Dieser Fundpunkt ist im Grundriß der Abbildung 3 (Brassert) unter der Ziffer 70 eingetragen.

Abbildung 1 vermittelt weitere Informationen aus dem engeren Aufschlußbereich. So zeigt der rechts angeordnete Flözstrukturschnitt, daß das Flöz Schichtenschnitt



eine Mächtigkeit von 71 cm besitzt und sich der 3,7 cm starke Z-1-Tonstein direkt am Flözhangenden befindet. Er wird von klastischem Tongestein unmittelbar überlagert und ist durch seine helle Farbe makroskopisch deutlich erkennbar. Abbildung 1 liefert zugleich die stratigraphische Zuordnung zum Schichtenschnitt und vermittelt, daß sich das Flöz Z 1 ca. 7 m im Liegenden der Stufengrenze Westfal B/Westfal C befindet, welche bekanntlich der marine Ägir-Horizont (1. marines Band; FIEBIG 1966) stratigraphisch definiert. Der Z-1-Tonstein ist demnach im höchsten Abschnitt der Horster Schichten (Westfal B) des Ruhrkarbons positioniert. Nähere Einzelheiten können der Abbildung entnommen werden.

3. Makroskopische Ausbildung

Ein Makrofoto vom Z-1-Tonstein dieses Aufschlusses zeigt Abbildung 2 (rechts). Der dort angeordnete Maßstab ermöglicht die Abschätzung der Größenverhältnisse. Im Handstück hat dieser Kaolin-Kohlentonstein eine dichte Beschaffenheit und eine Mächtigkeit von 37 mm – darüber befindet sich eine weitere Lage von 36 mm Stärke, über deren Ausbildung im nächsten Kapitel nähere Mitteilungen erfolgen. Makroskopisch sind im Querschnitt drei texturelle Bereiche mit unterschiedlicher Färbung erkennbar, nämlich ein dunkelbrauner basaler Bereich (a), ein weißlichgrauer mittlerer Bereich (b) und ein dunkelbrauner oberer Bereich (c). Dieser Kaolin-Kohlentonstein ist gegen Wasser außerordentlich empfindlich; er zerfällt in kurzer Zeit in einen Tonschlamm.



Kohle (Liegendes)

Abb. 2 Verteilung der vulkanogenen Relikte im Profil des Z-1-Tonsteins im Aufschluß der Zeche Brassert

Fig. 2 Distribution of vulcanogenic remnants throughout the Z1 tonstein profile; Brassert coal mine

4. Mineralbestand und Gefüge

Die mikroskopische Dünnschliffanalyse zeigt, daß es sich bei dem Z-1-Tonstein um den dichten (kryptokristallinen), kristallarmen, mixed-layer-haltigen (Montmorillonit-Illit) Typus handelt.

Er ist inhomogen-schichtig aufgebaut. Nachstehend wird – entsprechend der Gliederung in Abbildung 2 – ein Überblick über Mineralbestand und Struktur gegeben.

Bereich a: Der basale, nur ca. 0,8 cm mächtige Teil des Kaolin-Kohlentonsteins besteht im wesentlichen aus Kaolinitgrundmasse mit Einlagerungen zahlreicher, meist schichtparallel orientierter Kohleteilchen. Auffallend große, dunkelbraune, optisch isotrope Kaolingelballen sind der Matrix eingelagert. Sporadisch kommen kaolinisierte Glimmer, Quarz- und Sanidinpartikel sowie Pyrite in regelloser Verteilung vor.

Bereich b: Der mittlere, ca. 3,0 cm mächtige Bereich besitzt eine mikroskopisch feinstkristalline, gewebeartige Grundmasse aus Kaolinit und Montmorillonit-Illit mit Einschaltungen reiner kaolinitischer Schlieren. In dieser Matrix befinden sich scharf abgegrenzte Kaolinit-Formentypen und -aggregate als isolierte Einlagerungen. Auffallend sind hellgraue, bis 0,9 mm große, ballenförmige Kaolinitknäuel. Vereinzelt führen die Kaolinite stark doppelbrechende Illitlamellen. Auch säulige Kaolinitindividuen bis 0,7 mm Länge sind vorhanden, die zum Teil eine anormal stärkere Doppelbrechung aufweisen und manchmal mehr oder weniger stark gekrümmte Formen besitzen. Tafelige, garbenartige Spaltstücke von Biotit bis 0,6 mm Größe kommen ebenfalls vor (Taf. 1, S. 183: Fig. 4). Im Grenzbereich der Lagen b/c sind zudem optisch isotrope Kaolinitgelballen angereichert.

Nebengemengteile sind Quarz, Sanidin, Pyrit und sporadisch Zirkon. Quarz und Sanidin liegen bevorzugt in scharfkantigen, bis 0,3 mm großen Teilchen vor, wobei rechteckige und polygonale Umrisse, wie auch dreieckige Splitter vorherrschend sind. Spaltrisse im Sanidin sind wohl nur deshalb selten, weil die Zerlegung der Sanidinkörner entlang der ursprünglich vorhandenen Spaltrisse erfolgte. Nur im Teilbereich b befinden sich vulkanogene Glasscherbenrelikte.

Bereich c: Dieser dunkelbraune, ca. 3 cm mächtige obere Bereich ist dem Mineralbestand und der Struktur nach bereits ein Übergang zum "normalen Schieferton". Die Grenzen gegen die liegende und hangende Schicht sind zwar farblich gut ausgeprägt, aber von feinwellig-unebener Beschaffenheit.

Die Grundmasse ist ein bräunlich gefärbtes, teils feinstkörniges, teils kryptokristallines, inniges Gemenge von Illit und Kaolinit. Häufig sind ballenartige Aggregierungen (s. Taf. 1, S. 183: Fig. 1, 2) sowie einige säulige Kaolinitindividuen und Kaolinitspaltstücke, ferner in loser Verteilung vereinzelte Biotite, deren Spaltstücke und Spleißen. Die übrigen, quantitativ nur stark untergeordnet beteiligten Minerale sind Quarz, seltener Sanidin, während Zirkon nur akzessorisch vorkommt. Diese Komponenten sind regellos verteilt, können aber, bevorzugt der Quarz, stellenweise angereichert sein, wie Tafel 1: Fig. 3 (S. 183) ausweist. Beim Quarz und Sanidin dominieren eckige, auch abgerundete Partikel in Größen bis zu 0,3 mm. Zirkon ist ausschließlich in kleinen Bruchstücken vorhanden, oft mit radioaktivem Kontakthof. Zur Bildungszeit der Lage c haben wahrscheinlich kleinräumige Verschwemmungen stattgefunden, die zum allgemeinen klastischen Sedimentationsprozeß überleiteten. Folgender Mineralbestand wurde mit dem Röntgenbeugungsverfahren für die einzelnen Lagen festgestellt (Die Minerale sind ihrer Mengenbeteiligung nach geordnet und die Hauptkomponenten fett gedruckt):

Bereich c: **Glimmer** (diokt. Illit), **Kaolinit**, Quarz ca. 15%, Feldspat 1-2%, Siderit 1-2%

Bereich b: **Kaolinit** (gut krist.), Montmorillonit (= mixed-layer), Quarz ca. 2% Bereich a: **Kaolinit** (gut krist.), Glimmer (diokt. Illit), Montmorillonit-Illit (= "mixed-layer"), Quarz ca. 2-3%, Feldspat ?

5. Vulkanogene Relikte

Die vulkanogenen Relikte sind auf einen eng begrenzten Bereich innerhalb der weißlichgrauen Schicht b des Z-1-Tonsteins beschränkt. Es handelt sich um drei ca. 1 mm dünne, schichtparallel orientierte Lagen, deren Position in Abbildung 2 durch Raster gekennzeichnet ist. Die Teilchen sind nur mikroskopisch, und zwar im Dünnschliffpräparat, feststellbar.

Die Glasreste oder -fragmente treten sowohl im Hellfeld durch die bräunliche Färbung der Tonsteinmatrix, als auch bei gekreuzten Nicols, infolge der schwachen Doppelbrechung der Grundmasse kontrastreich hervor. Das Mikrobild (Taf. 1, S. 183: Fig. 5) gibt durch seine geringe Vergrößerung (M = 85:1) eine Übersicht über die Formen, das Gefüge und die Größenverhältnisse der konservierten Relikte. Folgende Formen sind vertreten:

- dünne, längliche, z. T. miteinander verschweißte Stäbchen bzw. Splitter und Scherben mit maximalen Längen bis zu 110 μm; sie sind meist zu stark doppelbrechendem Illit devitrifiziert (Taf. 1, S. 183: Fig. 5, 6)
- dünne, längliche Stäbchen mit Zwickeln an den Enden, gleichfalls zu Illit devitrifiziert (Taf. 1, S. 183: Fig. 5, 6)
- konkav gebogene Fragmente als Teilstücke zerbrochener Glasblasen in Größen bis zu 150 μm; oft ist noch eine ca. 3 μm dünne Illit-Innenwand erkennbar (Taf. 1, S. 183: Fig. 5, 6; Taf. 2, S. 185: Fig. 1, 3, 4)
- runde bis ovale Glasblasenstrukturen mit relativ gut erhaltenem "Blasengefüge"; hier tritt die zu Illit devitrifizierte Innenwand sehr deutlich in Erscheinung; die in der Schliffebene geschnittenen Glasblasen haben Längsdurchmesser bis zu 150 μm (Taf. 2, S. 185: Fig. 1, 3-6)

Die ersten drei Reliktformen können ohne weiteres als Fragmente ehemaliger blasiger Gläser gedeutet werden, wobei die Zerstörung des Blasengefüges sowohl während des aerischen Transports als auch bei der Sedimentation im Absatzraum erfolgt sein kann. Daß die sedimentierten Glasblasen auch diagenetischen Prozessen ausgeliefert waren, zeigt ein gepreßtes doppelwandiges Fragment von 520 µm Länge (Taf. 2, S. 185: Fig. 1). Die Mikrobilder in Tafel 2 lassen erkennen, daß der zwischen den Glasblasen vorhandene glasigverschweißte Zwischenraum zu mikrokristallinem Illit umgebildet wurde. In Analogie zu dieser Feststellung steht die Beobachtung vorherrschender mikroskopisch feinstkörniger, mikrokristalliner Grundmasse von Montmorillonit-Illit und Kaolinit in der mit b in Abbildung 2 (S. 174) gekennzeichneten Mittelschicht. Bei starker Vergrößerung (Taf. 2: Fig. 2) sind feinste, unregelmäßig konturierte Partikel zu sehen, deren Größe 5 µm nicht überschreitet. Wahrscheinlich handelt es sich hier um ehemaligen Glasstaub, der im Absatzraum devitrifiziert wurde.

6. Vergleichende Betrachtungen

Im Rahmen der über Jahrzehnte geführten petrographischen Bestimmungen an Kaolin-Kohlentonsteinen des Niederrheinisch-Westfälischen Oberkarbons wurden mehrere tausend Proben detailliert im Dünnschliffpräparat analysiert. Trotz dieser umfangreichen Untersuchungen waren vulkanogene Glasscherbenrelikte bislang nicht feststellbar. Die Identifikation dieser Relikte im Z-1-Tonstein der Zeche Brassert ist daher eine Besonderheit. Dieser erstmalige Nachweis gilt jedoch nur für das Ruhrkarbon.

BOUROZ berichtete bereits im Jahre 1966 über das Vorkommen von derartigen Schmelztuffresten in vereinzelten Kaolin-Kohlentonsteinen aus dem höheren Westfal C und insbesondere dem Stefan A und B der limnischen Steinkohlenbecken in Lothringen und an der Loire. BOUROZ bezeichnet diese, Vitroklasten führenden Tonsteine als Cinérite. Da die Beteiligung von Aschenteilchen in stratigraphisch vergleichbaren Schichten des Pas de Calais weitaus spärlicher ist, als im Saar - Lothringer Kohlenbecken, nimmt BOUROZ (1967) an, daß die vulkanischen Ausbruchzentren im Osten oder Südosten (Vogesen. Schwarzwald) des Saar - Lothringer Beckens lagen. Hierzu sei allerdings bemerkt, daß weder SCHÜLLER & HOEHNE (1956), die nahezu alle Kaolin-Kohlentonsteine dieses Raumes untersuchten, noch STÖFFLER (1963) und ROOS (1978). welche die Kaolin-Kohlentonsteine der Flöze Wahlschied = 950 (Stefan A), 3 = 400 und 3a (Westfal C) des Saarlandes im Rahmen ihrer Dissertationen bearbeiteten, keine derartigen Schmelztuffrelikte beobachteten. Im Falle nahe gelegener magmatischer Förderzentren wäre dies nicht verständlich. zumal wenn angenommen wird, daß alle Kaolin-Kohlentonsteine vulkanogenen Ursprungs sind.

Die in der hier beschriebenen Probe des Z-1-Tonsteins der Zeche Brassert festgestellten Glasscherbenrelikte und Glasfragmente mit Blasenstrukturen gleichen zum Beispiel vollkommen den von ROSS & SMITH (1961) beschriebenen Aschenschmelztuffen. In der Struktur idente Tuffe sind im Rheinischen Schiefergebirge nicht auf das Oberkarbon beschränkt, sondern finden sich in gleichartiger Schmelztuffausbildung ebenso im Unterdevon in Verbindung mit dem Quarzkeratophyr-Vulkanismus (vgl. z. B. RIPPEL 1953, SCHERP 1983).

7. Genetische Aspekte

Die mikroskopische Dünnschliffuntersuchung beweist eindeutig, daß im vorliegenden Aufschluß die für Aschenschmelztuffe typischen verschweißten Glasscherbenrelikte konserviert worden sind. Der Erfahrung nach bilden sich derartige Schmelztuffe aus sauren Magmen rhyolitischer bis dazitischer, eventuell auch andesitischer Zusammensetzung (bzw. ihrer paläozoischen Äquivalente). Die Feststellung des sicherlich aerischen Aschenmaterials im Z-1-Tonstein bestätigt die Richtigkeit der Annahme, daß am Aufbau dieses Sanidin- und Montmorillonit haltigen Kohlentonsteintyps vulkanisches Material (Tuff oder Tuffit) beteiligt ist. Ob dies auch für die petrographisch ähnlichen Kohlentonsteine des Westfals C im Ruhrkarbon gleichfalls zutrifft, ist zwar wahrscheinlich, der sichere Nachweis muß aber weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Über die geographische Position des vulkanischen Ausbruchszentrums liegen keine Anhaltspunkte vor. Um die Größenordnung der Auswurfmenge abzuschätzen, sei folgende Betrachtung angestellt. Legt man die entfernte-







sten, stratigraphisch gesicherten Fundpunkte des Z-1-Tonsteins zugrunde, nämlich den Viterbe-Tonstein im nordfranzösischen Steinkohlenrevier (BOU-ROZ 1967) und den Z-1-Tonstein im Ibbenbürener Revier (STADLER 1971) – siehe Schichtenschnittserie der nordwesteuropäischen Steinkohlenreviere in BURGER (1982: 217, Abb. 4) – so resultiert hieraus eine Entfernung von rd. 400 km. Unterstellt man nur eine geographische Fläche von 400 km x 50 km und eine diagenetisch verfestigte Mächtigkeit des Z-1-Tonsteins von 5 cm, so errechnet sich eine Auswurf- beziehungsweise Absatzmenge von rd. 1 Mio. m³ pyroklastischen Materials. Eine wesentlich größere Menge ist wahrscheinlich, denn es wurde eine sehr knapp bemessene Fläche eingesetzt.

Der Z-1-Tonstein der Zeche Brassert war unter anderem auch Gegenstand einer ⁴⁰Ar/³⁹Ar-Datierung durch das Geochronologische Laboratorium der

Universität Heidelberg (LIPPOLT & HESS & BURGER 1984). Die am Hochtemperaturfeldspat Sanidin erfolgte Datierung ergab für diese Zeitmarke ein 40 Ar/ 39 Ar-Plateaualter von 310,7 ± 1,3 Ma. Dadurch ist auch der Zeitpunkt der vulkanischen Eruptionsphase markiert.

8. Laterale Verbreitung des Z-1-Tonsteins und das Vorkommen vulkanogener Relikte

Während sich vorstehende Ausführungen auf den Z-1-Tonstein mit dem ersten Fundpunkt vulkanogener Relikte konzentrieren, so wird nunmehr zum Abschluß ein erweiterter, regionaler Überblick in Form von Abbildung 3 gegeben. Ersichtlich ist das durch Faltungs- und Störungstektonik geprägte Verbreitungsgebiet, wobei die Geologische Karte des Ruhrkarbons 1:100000 (1982) als Grundlage diente. Sowohl in der Emscher-Hauptmulde, als auch auf der Südflanke der Lippe-Hauptmulde ist das Flöz Z 1 und wahrscheinlich auch der Z-1-Tonstein erodiert und von einem mächtigen Sandstein ersetzt.

In Abbildung 3 ist die geographische Position der bis jetzt bekannten 35 Fundpunkte des Z-1-Tonsteins eingetragen; die meisten Funde stammen aus Explorationsbohrungen. In zehn weiteren Explorationsbohrungen wurde der Z-1-Tonstein nicht beobachtet, was vielleicht sedimentologische Ursachen hat. Bei jedem Fundpunkt ist die Mächtigkeit (mm) des Kaolin-Kohlentonsteins angegeben – sie liegt zwischen 30 und 80 mm. Tendenzen einer Mächtigkeitszunahme oder -abnahme sind nicht erkennbar.

Vulkanogene Glasscherbenrelikte sind bislang nur in Fundpunkten des Grubenfeldes Brassert festgestellt – es handelt sich um drei Aufschlüsse, deren Lage aus Abbildung 3 zu ersehen ist. Dieser geringe Nachweisgrad kann sowohl auf tatsächliches Fehlen der Relikte, als auch arbeitsmethodisch begründet sein. Im Verlauf der mikroskopischen Untersuchungen stellte sich nämlich heraus, daß die optischen Eigenschaften der Glasrelikte eine sichere Identifikation nur im Dünnschliff zulassen, während Anschliffe sich als ungeeigneter erwiesen. Weil von den Proben der in Abbildung 3 dargestellten Fundpunkte zur Zeit nur etwa 30 % als Dünnschliffpräparate zur Verfügung stehen, vermittelt Abbildung 3 zunächst ein vorläufiges Ergebnis.

9. Schriftenverzeichnis

- BOUROZ, A. (1966): Fréquence des manifestations volcaniques au Carbonifère supérieur en France. C.R. Acad. Sc. Paris, **263**: 1 025 1 028, 4 Taf.; Paris.
- (1967): Corrélations des tonsteins d'origine volcanique entre les bassins houillers de Sarre-Lorraine et du Nord-Pas-de-Calais. - C.R. Acad. Sc. Paris, 264: 2729-2732, 4 Taf.; Paris.
- BURGER, K. (1965): Kaolin-Übergangstonstein das genetisch-fazielle, bilaterale Bindeglied zwischen Kaolin-Kohlentonstein und Kaolin-Pseudomorphosentonstein. – Geol. Mitt., 4: 115 – 152; Aachen.
- (1980): Kaolin-Kohlentonsteine im flözführenden Oberkarbon des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. – Geol. Rdsch., 69: 488 – 531, 9 Abb., 8 Tab.; Stuttgart.
- (1982): Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung für die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerstätten. – Z. dt. geol. Ges., 133: 201 – 255, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- BURGER, K., & ECKHARDT, F. J., & STADLER, G. (1962): Zur Nomenklatur und Verbreitung der Kaolin-Kohlentonsteine im Ruhrkarbon. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 525 – 540, 5 Abb., 8 Taf.; Krefeld.
BURGER, K., & STADLER, G. (1971): Monographie des Kaolin-Kohlentonsteins Zollverein 8 in den Essener Schichten (Westfal B1) des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenreviers. TI. 2: Petrographische Ausbildungsform, Fazies, Chemismus und Genese des Kaolin-Kohlentonsteins Zollverein 8 im Ruhrkarbon. – Forsch.-Ber. Land Nordrh.-Westf., 2126: 266 S., 48 Abb., 40 Tab., Taf. 22–39; Köln-Opladen (Westdt. Verl.).

DANNENBERG, A. (1908): Geologie der Steinkohlenlager. – Tl. 1: 348 S., zahlr. Abb. u. Taf.; Berlin (Bornträger).

DRUMM, R. (1929): Die Geologie des Saar – Nahe-Beckens. Tl. 1: Das Steinkohlengebirge. – 148 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Neunkirchen/Saar (Carl Didié).

ECKHARDT, F. J., & GAERTNER, H. R. VON (1962): Zur Entstehung und Umbildung der Kaolin-Kohlentonsteine. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (2): 623–640, 2 Abb., 2 Tab., 12 Taf.; Krefeld.

FIEBIG, H. (1966): Ausbildung und Faunenführung des marinen Ägir-Niveaus (Basis Westfal CI) in der Lippe-Mulde des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 203–242, 24 Abb., 4 Taf.; Krefeld.

Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000 (1982). – Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., Bearb. DROZDZEWSKI, G., & JANSEN, F., & KUNZ, E., & PIEPER, B., & RABITZ, A., & STEHN, O., & WREDE, V.; Krefeld.

KIRSCH, H., & HALLBAUER, D. (1960): Über das Vorkommen von Sanidin in einem Tonstein des Ruhrkarbons. – N. Jb. Mineral., Mh., **3**: 52–57, 4 Abb.; Stuttgart.

KUKUK, P. (1920): Bemerkenswerte Einzelerscheinungen der Gasflammkohlenschichten in der Lippemulde. – Glückauf, **56**: 805 – 810, 829 – 835, zahlr. Abb.; Essen.

LIPPOLT, H. J., & HESS, J. C., & BURGER, K. (1984): Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen aus Kaolin-Kohlentonsteinen als Korrelationsmarken für das mitteleuropäische Oberkarbon. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 119–150, 3 Abb., 6 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

RIPPEL, G. (1953): Räumliche und zeitliche Gliederung des Keratophyrvulkanismus im Sauerland. – Geol. Jb., **68**: 401–456, 29 Abb., 1 Taf.; Hannover.

ROOS, W. F. (1978): Vergleichende Erfassung der Kaolin-Kohlentonsteine 3 und 3 a des Saarkarbons in ihrer lateralen Erstreckung mittels biogeochemisch-petrographischer Methoden. – Diss. Univ. Würzburg: 258 S., zahlr. Abb., Tab. u. Taf.; Würzburg.

ROSS, C.S., & SMITH, R.L. (1961): Ash-Flow Tuffs: Their Origin Geologic Relations and Identification. – Geol. Surv. Prof. Pap., **366**: 81 S., 98 Abb.; Washington.

SCHERP,A. (1983), mit Beitr. von GRABERT,H.: Unterdevonische Schmelztuffe im rechtsrheinischen Schiefergebirge. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1983** (1): 47–58; Stuttgart.

SCHÜLLER, A., & HOEHNE, K. (1956): Monographie der Saartonsteine. Tl. 1: Petrographie, Chemismus und Fazies der Tonsteine des Saargebiets. – Geologie, 5: 695–755, 30 Abb., 3 Tab., 4 Taf.; Berlin.

STADLER, G. (1962): Der Kaolin-Kohlentonstein des Flözes Zollverein 7/8 der Zeche Franz Haniel bei Bottrop. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 581 – 590, 3 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

 (1971): Die Kaolin-Kohlentonsteine aus dem Westfal C und B der Untertagebohrung 150 der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren und ihre Bedeutung für die Karbonstratigraphie Nordwestdeutschlands. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 79–100, 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

STÖFFLER, D. (1963): Neuere Erkenntnisse in der Tonsteinfrage auf Grund sedimentpetrographischer und geochemischer Untersuchungen im Flöz Wahlschied der Grube Ensdorf (Saar). – Beitr. Mineral. u. Petrogr., 9: 285–312, 7 Abb.; Berlin.

WOLF, M. (1969): Die Ausbildung einzelner Tonstein-Typen in Abhängigkeit von den Begleit-Gesteinen. – Ann. Soc. Géol. Nord, 89: 219–222, 3 Abb.; Lille.

Eingang des Manuskriptes: 7. 5. 1984

180

Plate 1 (p. 183)

Z1 coal tonstein (zone c: fig. 1 – 3; zone b: fig. 4 – 6; s. Fig. 2, p. 174); Brassert coal mine, district 3 SE, level 3

- Fig. 1 Cluster of kaolinite (approx. 1 mm diameter) containing areas of partial crystallization (small slabs and colums, etc.); predominant matrix: kaolinite of microscopic fineness, illite/montmorillonite part of which is highly birefractive Thin section, magn. 36x, nicols 45°
- Fig. 2 Cluster of kaolinite in a kaolinite matrix of microscopic fineness stratified by thin coal threads; quartz and sanidine grains with sharp contours of vulcanic origin Thin section, magn. 36x, nicols 30°
- Fig. 3 Extreme enrichment of vulcanogenic quartz and sanidine grains (high temperature feldspar), the latter often fractured into thin chips; sporadic zirconium fragments surrounded by a brown contact aureole; boundary zone between optically isotropal, brownish clusters of kaolinite gel Thin section, magn. 20x, nicols 30°
- Fig. 4 Fragments of a weakly kaolinized biotite in an illite/montmorillonite matrix of microscopic fineness Thin section, magn. 36x, nicols 30°
- Fig. 5 General view of shapes, macerals, and size relationships of vulcanogenic remnants Thin section, magn. 85 x, nicols 45°
- Fig. 6 Sharply contoured vulcanogenic glass splinters and fragments up to size of 100 μm – besides small needle shapes also arcstructured wedges (fragments of former glass bubbles). The former glass substance was transformed both into highly birefractive illite as well as into kaolinite of microscopic fineness. The remnants are imbedded in a brownish kaolin matrix of microscopic fineness. Thin section, magn. 199x, nicols +

Tafel 1

Z-1-Tonstein (Bereich c: Fig. 1-3; Bereich b: Fig. 4-6; vgl. Abb. 2); Zeche Brassert, 3. SO-Abteilung, 3. Sohle

- Fig. 1 Kaolinitknäuel (ca. 1 mm Durchmesser) mit partiellen Kristallisationsfeldern (Täfelchen, Säulchen usw.); vorherrschende Grundmasse mikroskopisch feinstkörniger Kaolinit, teilweise stark doppelbrechender Illit-Montmorillonit Dünnschliff, Vergr. 36 x, Nicols 45°
- Fig. 2 Kaolinitknäuel in mikroskopisch feinstkörniger Kaolinitgrundmasse, von feinen Kohlefäden schichtig untergliedert; scharf konturierte Quarz- und Sanidinkörner vulkanischer Abkunft Dünnschliff, Vergr. 36 x, Nicols 30°
- Fig. 3 Extreme Anreicherung vulkanogener Quarz- und Sanidinkörner (Hochtemperatur-Feldspat), letztere häufig in schmale Spaltstückchen zerbrochen; sporadisch Zirkonbruchstücke mit braunem Kontakthof; Grenzbereich zwischen optisch isotropen, bräunlich gefärbten Kaolinitgelballen Dünnschliff, Vergr. 20 x, Nicols 30°
- Fig. 4 Spaltstücke eines schwach kaolinisierten Biotits in mikroskopisch feinstkörniger, illitisch-montmorillonitischer Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 36 x, Nicols 30°
- Fig. 5 Übersicht über Formen, Gefüge und Größenverhältnisse vulkanogener Relikte Dünnschliff, Vergr. 85 x, Nicols 45°
- Fig. 6 Scharf konturierte vulkanogene Glassplitter und -fragmente in Größen bis zu 100 µm - neben Stäbchen auch Zwickel mit Bogenstruktur (Bruchstücke ehemaliger Glasblasen). Die ehemalige Glassubstanz ist sowohl in stark doppelbrechenden Illit als auch in mikroskopisch feinstkörnigen Kaolinit umgewandelt. Die Relikte liegen in einer bräunlichen, mikroskopisch feinstkörnigen kaolinischen Grundmasse.

Dünnschliff, Vergr. 199 x, Nicols +



Tafel 2

Z-1-Tonstein (Bereich b, vgl. Abb. 2), Zeche Brassert, 3. SO-Abteilung, 3. Sohle

- Fig. 1 Vulkanogene Glassplitter und -fragmente sowie ein gut erhaltenes Glasblasengefüge, deren Innensaum in Illit umgewandelt ist. Die Relikte liegen in einer bräunlich gefärbten, mikroskopisch feinstkörnigen kaolinischen Grundmasse, die aber auch illitisch-montmorillonitische Bereiche aufweist. Das langgestreckte Relikt im oberen Bildbereich hat eine Länge von 520 µm, die darunter angeordneten Glasblasen haben Längsdurchmesser von ca. 70 µm Dünnschliff, Vergr. 115 x, Nicols 60°
- Fig. 2 Mikrokristalline Grundmasse, deren nur wenige µm kleine Partikel mikrogranoblastisch verzahnt sind (wahrscheinlich primäre Glasstaubpartikel); Partikel überwiegend in Kaolinit (grau) umgewandelt, daneben ebenso stark doppelbrechende Bereiche von Illit-Montmorillonit in variabler Verteilung; in der Bildmitte gekrümmter Kaolinitkristall Dünnschliff, Vergr. 345 x, Nicols +
- Fig. 3 Vulkanogene Aschenstruktur mit intakten Glasblasen und Illit-Saum in vorwiegend optisch isotroper, bräunlich gefärbter, mikroskopisch feinstkörniger Grundmasse
 - Dünnschliff, Vergr. 340 x, Nicols 45°
- Fig. 4 Vulkanogenes Zwickelfragment mit deutlich erkennbarer Glasblasenstruktur. durch stark doppelbrechende Illit-Säume markiert, in bräunlicher, optisch isotroper, mikroskopisch feinstkörniger kaolinischer Grundmasse Dünnschliff, Vergr. 340 x, Nicols 45°
- Fig. 5 Vollständig erhaltene vulkanogene Glasblase mit dünnem Illit-Saum sowie anhaftendem Wandfragment (links); Längsdurchmesser ca. 140 µm; in der Grundmasse weitere isolierte Bruchstücke Dünnschliff, Vergr. 170 x, Nicols 45°
- Fig. 6 Gleiches Objekt wie Fig. 5 Vergr. 340 x, Nicols 45°



Tafel 2

Plate 2 (p. 185)

Z1 coal tonstein (zone b, s. fig. 2, p. 174); Brassert coal mine, district 3 SE, level 3

- Fig. 1 Vulcanogenic glass splinters and fragments as well as a well-conserved glass bubble structure, with their interior fringes transformed into illite. The remnants are imbedded in a brownish kaolin matrix of microscopic fineness but presenting also areas of illite/montmorillonite. The elongated remnant visible in the upper slide section is 520 μm long, whereas the glass bubbles underneath have a longitudinal diameter of some 70 μm Thin section, magn. 115 x, nicols 60°
- Fig. 2 Micro-crystalline matrix whose particles of only a few microns size are of a toothed micro-granoblastic configuration (probably primary glass powder particles); major proportion of the particles transformed into kaolinite (grey), also highly bire-fractive areas of illite/montmorillonite in a varying distribution; in the center of the slide: bent kaolinite crystal Thin section, magn. 345 x, nicols 45 +
- Fig. 3 Vulcanogenic ash structure with intact glass bubbles and illite fringe predominantly in an optically isotropal, brownish matrix of microscopic fineness Thin section, magn. 340 x, nicols 45°
- Fig. 4 Vulcanogenic wedge-shape fragment of a clearly recognizeable glass bubble structure, characterized by highly birefractive illite fringes, in brownish, optically isotropal kaolin matrix of microscopic fineness Thin section, magn. 340 x, nicols 45°
- Fig. 5 Perfectly intact vulcanogenic glass bubble showing a thin illite fringe and a wall fragment adhering to it (left); longitudinal diameter approx. 140 μm; further isolated fragments in the matrix Thin section, magn. 170 x, nicols 45°
- Fig. 6 Same object as fig. 5 Thin section, magn. 340x, nicols 45°

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons

Von RONALD CONZE*

Sedimentary rock, sedimentary fabric, sedimentogenesis, Carboniferous, Rhenish-West-phalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Die feinkörnigen Gesteine (Tonsteine bis feinsandige Grobsiltsteine) des Ruhrkarbons werden nach sedimentologischen Detailaufnahmen von Bohrkern- und Oberflächenprofilen definiert. Die Einteilung basiert auf den primären Parametern Korngröße, primäre Sedimentstrukturen und Gehalt an organischem Kohlenstoff. Sechs Gesteinstypen lassen sich unterscheiden:

- Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit Kohlenstreifen (Gesteinstyp A)

32

- Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit braunem Strich (Gesteinstyp B)
- Mittelsiltsteine mit grauem Strich (Gesteinstyp C)
- eben und linsig laminierte Grobsiltsteine (Gesteinstyp D)
- wellig und flaserig laminierte Grobsilt- bis Feinsandsteine (Gesteinstyp E)
- tonige Siltsteine mit Grobsilt- und Feinsandrippellagen (Gesteinstyp F)

Die einzelnen Gesteinstypen sind nach ihren spezifischen Sedimentstrukturen weiter in Strukturtypen untergliedert. Alle homogenen Gesteine werden durch Korngröße und den Gehalt an organischem Kohlenstoff beschrieben. Der Gehalt der tonig-siltigen Gesteine an organischem Kohlenstoff kann anhand der Strichfarbe größenordnungsmäßig abgeschätzt werden (< 1, 1-3, 3-20 und > 20 Gew.-% org. C von hellgrau bis dunkelbraun).

Die Kaolinit- und Chloritgehalte sind in Tonsteinen mit einem hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff niedriger und die Illit-/Muskovitgehalte entsprechend höher als in den übrigen feinkörnigen Ablagerungen. In der Gesamtabfolge variieren die durchschnittlichen Phyllosilikatzusammensetzungen in Abhängigkeit von Materialanlieferung und Ablagerungsbedingungen (Environmentwechsel). So sind die Kaolinitgehalte in Abschnitten überwiegend terrestrischer, siltig-sandiger Sedimentation höher als in mächtigen, sehr tonigen Ablagerungen mit brackisch-marinen Einflüssen.

[Sedimentological typification of the fine-grained Carboniferous rocks of the Ruhr basin]

A bstract: Six types of fine-grained sediments are defined in the Upper Carboniferous of the Ruhr basin. The classification is based on grain size, primary sedimentary structures and organic carbon content:

- claystones to medium siltstones with coal bands (type A)
- claystones to medium siltstones with brown streak (type B)
- medium siltstones with grey streak (type C)
- even and lenticular laminated coarse siltstones (type D)
- wavy and flaser laminated coarse siltstones and fine-grained sandstones (type E)
- clayey siltstones with coarse silt and fine sand ripple-layers (type F)

Petrographically, types A to C are claystones to medium siltstones while types D to F are clay-silt-fine sand rhythmits. Each of these rock types can be further divided by their specific sedimentary structures. Homogeneous sediments can be described by grain size and orga-

^{*} Anschrift des Autors: Dipl.-Geol. R. CONZE, Institut für Geologie der Ruhr-Universität, Universitätsstraße 150, D-4630 Bochum 1

nic carbon content. The latter can be estimated using the streak colour: light grey = less than 1 wt.-% org. C (org. C poor); light grey, brownish = 1-3 wt.-% (with organic matter); grey brown = 3-20 wt.-% (org. C rich); dark brown = more than 20 wt.-% (carbonaceous-..., i.e. carbonaceous-claystone).

Org. C rich claystones and carbonaceous-claystones have distinctly lower contents of kaolinite and chlorite, and higher contents of muscovite/illite than the other fine-grained clastic sediments. In general the sequence of the Carboniferous Ruhr Basin show clay mineral variations which possibly reflect changes in supply or environmental conditions. The kaolinite contents in terrigenous silt-sand dominated sequences are higher than in clayey, marine-brackish influenced sediments.

[Caracterisation sédimentologique des roches détritiques a grain fin du district houiller de la Ruhr]

Résumé: Les roches à grain fin (argilites à siltites grossiers ou finement gréseux) sont caracterisées par des inventaires sédimentologiques détaillés de coupes de surface ou de carottes. Ils sont basés sur les paramètres de granulation, structures sédimentaires primaires et de teneur en carbone organique. On peut distinguer six types des roches:

- argilites à siltites moyens avec des bandes de charbon (type A)
- argilites à siltites moyens à raie brune (type B)
- siltites moyens à raie grise (type C)
- siltites grossiers laminés parallèlement et lenticulairement (type D)
- siltites grossiers ou finement gréseux laminés à ondulations et flasertexture (type E)
- siltites argileux avec des couches de siltites grossiers et de grès fins représentant des rides de courant d'eau (type F)

Quant à la pétrographie, les types A à C sont réunis comme des argilites à siltites moyens, les types D à F comme des alternances d'argilites-siltites-gres fins. On peut diviser chaque type de roche en types de structure selon les structures sédimentaires spécifiques. Toutes les roches homogènes sont décrites par leur granulation et leur teneur en carbone organique.

On peut estimer les teneurs en carbone organique des roches argileux-siltiques par les couleurs des raies: gris-clair = moins de 1 wt.-% C org. (pauvre); gris-clair, brunatre = 1-3 wt.-% (conduisant C org.); gris-brun = 3-20 wt.-% (riche en C org.); brun sombre = plus de 20 wt.-% (roches houillères, par exemple: argilite houiller).

Les argilites riches en charbon et les argilites houillers contiennent évidemment moins de kaolinite et de chlorite, mais plus d'illite/muscovite que les autres sédiments à grain fin.

Dans la succession complète, les associations des phyllosilicates varient probablement en fonction des apports de matériel et des conditions de déposition (changement de l'environnement). Ainsi, les teneurs en kaolinite sont plus grandes dans les parties à sedimentation surtout terrestre (silts et sables) que dans les parties très argileuses et épaisses, influencées par des milieux saumâtres à marins.

1. Einleitung

Die Feinklastika des Ruhrkarbons umfassen Ton-, Silt- und Feinsandsteine. In der Bergbaupraxis werden sie als Schiefertone und Sandschiefertone bezeichnet (Bergbaubetriebsblatt 22012, 1979, in Anlehnung an KUKUK 1942; s. Tab. 1). Sie machen nach dem Gesamtschichtenschnitt von FIEBIG (1971) etwa 45 – 75 % in den einzelnen Formationen aus (Abb. 1).

Die bisherigen wissenschaftlichen Bearbeitungen behandelten vornehmlich die faunenreichen Horizonte (z. B. DAHM 1955, FIEBIG 1969, RABITZ 1966, R. TEICHMÜLLER 1973) und die Wurzelböden (ROESCHMANN 1962) in fazieller und biostratigraphischer Hinsicht. Dort, wie auch in den Untersuchungen von JESSEN (1955, 1961), HAHNE (1970), GRUBE (1978) und CASSHYAP (1975 a, 1975 b) zum zyklischen Aufbau des flözführenden Ruhrkarbons, wurde die Sedimentologie der Ton- und Siltsteine kaum behandelt.

Кикик (1942) (DIN 21900: 3.06, 1951)			Entwurf zur DIN 22021 (1981) in Anlehnung an BB 22012 (1979)		sedimentologische Typisierung	
Sandschiefer	sandstreifiger (sandstreifiger Schieferton) sandiger (sandiger Schieferton)	Sandschieferton	sandiger $45-60$ Gew%, Quarz und Feldspat $> 20~\mu m$ toniger $30-45$ Gew%, Quarz und Feldspat $> 20~\mu m$	Feinsandstein- Bllagerungen	mit Rippellagen	
chieferton)	schwachsandiger	ferton	sandiger 15 $-$ 30 Gew%, Quarz und Feldspat > 20 μ m schwach < 15 Gew%, Quarz und Feldspat > 20 μ m	Ton-Silt-F Wechse	wellig - flaserig laminiert eben - linsig laminiert	
Schiefer (S	reiner (sandfreier) schwachbituminöser	Schie	sandfreier nicht meßbar Sapropel- < 5 Gew%, Quarz und Feldspat > 20 μm	steine	mit grauem Strich (weniger als 3 Gew% org. C) mit braunem Strich (mehr als 3 Gew% org. C)	
×.	Brandschiefer (80 — 40 Vol% kohlige Substanz) Bänderschiefer Pflanzen- Faunen-	×	Verwachsungen von Kohle mit Mineralen und Nebengestein (dünne Toneisensteinlagen < 1 cm in Schiefertonen)		kohlenstreifig	
	Wurzelboden		(Wurzelboden)		(durchwurzelt)	

Tabelle 1 Gegenüberstellung von Ton- und Siltsteinklassifikationen für das flözführende Ruhrkarbon

189

Ziel vorliegender Arbeit ist es, die sedimentären Erscheinungsformen der Tonsteine bis feinsandigen Grobsiltsteine zu erfassen und zu typisieren. Damit soll ein weiterer Schritt zu einem besseren Verständnis der faziellen und genetischen Beziehungen im Sedimentationsraum Ruhrkarbon getan werden, der ein Teil der subvariscischen Saumsenke ist. In dieser entwickelten sich aus der Flyschsedimentation des flözleeren Oberkarbons (Namur A und B) allmählich die Molasseablagerungen der Sprockhöveler und Wittener Schichten (Namur C und unteres Westfal A). Sie sind überwiegend siltig-sandig ausgebildet. Marine, tonige Einschaltungen sind anfangs noch relativ häufig, treten aber ab dem Wasserfall-Horizont (Untere Bochumer Schichten, oberes Westfal A) nur noch vereinzelt auf. Mit Beginn der Oberen Bochumer Schichten wurde die Sedimentation im allgemeinen feinkörniger. In den Essener Schichten (unteres Westfal B) überwiegen dann tonig-siltige Ablagerungen, in denen bis auf den marinen Katharina-Horizont an ihrer Basis gelegentlich allenfalls brackische Horizonte enthalten sind. In den Horster und Dorstener Schichten (oberes Westfal B und C) bestimmten Sandschüttungen weitgehend das Geschehen. Die einzigen noch marin beeinflußten Einschaltungen sind der Domina- beziehungsweise Ägir-Horizont jeweils zu Beginn der Formationen.

Die Gesamtfolge ist aus vielfach abgewandelten zyklischen Sequenzen aufgebaut (CONZE in Vorbereit.). Als Regelabfolge kann der Zyklus Wurzelboden gelten (JESSEN 1955, CASSHYAP 1975 a, 1975 b). Beispiele zeigt Abbildung 2: Aus sandigen Faziesbereichen (Phase 3) gehen tonig-siltige Serien (Phase 4.1) hervor, die im oberen Teil zunehmend stark durchwurzelt sind (Phase 4.2). Darauf folgen Kohlenflöze (Phase 5), die meist von feinklastischen Ablagerungen (Phase 1 in Abb. 2a und Abb. 2b) überdeckt werden. Diese gehen



Abb. 1

Prozentuale Verteilung der Kohlen und Nebengesteine bezogen auf die Mächtigkeiten der einzelnen Formationen des flözführenden Ruhrkarbons – ermittelt aus dem Gesamtschichtenschnitt von FIEBIG (1971)

Fig. 1

Percentage distribution of coals and clastic rocks related to the thickness of the Upper Carboniferous formations of the Ruhr basin – ascertained from the overallsection (FIEBIG 1971)

Abb. 2

Drei schematisierte Zyklusformen im flözführenden Ruhrkarbon:

- a) Zyklus um Flöz Wasserfall (Geologischer Garten, Bochum)
- b) Zyklus um Flöz Dünnebank (Geologischer Garten, Bochum)
- c) Zyklus um Flöz Geitling 3 (= Flöz Mentor; Steinbruch Klosterbusch, Bochum)

Fig. 2

Three idealized cycles of the Upper Carboniferous (Ruhr basin):

- a) cycle with Wasserfall seam (Geologischer Garten, Bochum)
- b) cycle with Dünnebank seam (Geologischer Garten, Bochum)
- c) cycle with Geitling 3 seam (= Mentor seam; Klosterbusch quarry, Bochum)



graduell oder mit oszillierenden Wechsellagerungen in sandigere Sedimente (Phase 2) über oder werden davon scharf überlagert (Abb. 2a). Gelegentlich werden die Flöze aber auch direkt von konglomeratischen Grobsandsteinen und Konglomeraten zum Teil nicht unerheblich erosiv bedeckt (in Abb. 2c). Allgemein läßt sich feststellen, daß in den meisten Fällen feinkörnige Gesteine die unmittelbaren Liegend- und Hangendsedimente der Flöze sowie ihre Bergeeinschaltungen sind.

Vorliegende Arbeit ist Teil meiner noch laufenden Dissertation über die Sedimentologie der feinklastischen Gesteine des flözführenden Ruhrkarbons. Die Anregung und wissenschaftliche Betreuung dazu kam von Prof. Dr. H. FÜCHTBAUER und Dr. B. JANKOWSKI (Inst. f. Geol. d. Ruhr-Univ. Bochum). Finanziell wurde das Vorhaben von der VW-Stiftung großzügig unterstützt. Bei der Auswahl geeigneter Bohrprofile war insbesondere Dr. A. RABITZ (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) sehr hilfreich. Kernstrecken und deren Unterlagen stellten die Markscheider Dr. U. DICKEL (Bergbau AG Westfalen), Dr. U. KLIN-GE (Bergbau AG Lippe) und Dipl.-Ing. W. LOOSE (Zeche Haus Aden) zur Verfügung. Dr. R. KLOPP und Dr. R.-R. DEUTSCH (Ruhrtalsperrenverein) gestatteten mir die Auf- und Probennahme einiger Felsbohrungen im Stadtgebiet von Hattingen/Ruhr. Bei der Einarbeitung und Durchführung der Untersuchungen erhielt ich von vielen Seiten wichtige Anregungen und Hinweise, insbesondere von Dipl.-Ing. H. SCHLOMS (Westf. Berggewerkschaftskasse) zur Bohrkernaufnahme, von Prof. Dr. H.-H. DAMBERGER (Geol. Surv. Illinois) zu sedimentologischen Fragen und von meinen Studienkollegen in der Kohlengruppe des Instituts hinsichtlich zahlreicher Detailprobleme. Besonders hilfreich war die Zusammenarbeit mit Dipl.-Geol. G. SCHEIDT bei Untersuchungen des Gehaltes an organischem Kohlenstoff und Maceralanteilen in den Tonsteinen sowie mit Dipl.-Geol. R. LITTKE bei einigen Illitkristallinitätsmessungen. Dipl.-Geol. W. GROTHUSEN überließ mir seine umfangreichen Probenbestände und Analysendaten zur Auswertung.

Für diese Hilfen danke ich allen sehr herzlich.

2. Methodik

Die systematische Beschreibung rezenter und fossiler Ablagerungen durch definierte sedimentäre Gesteinstypen wird seit Mitte der sechziger Jahre als Arbeitsmethode in zunehmendem Maße angewandt. Anschauliche Beispiele geben ALLEN (1970) für fluviatile Old-Red-Sedimente in Wales und in den Appalachen sowie FALK et al. (1972) für die Molasse des Rotliegenden und des Buntsandsteins von Thüringen. Bei diesem Vorgehen "wird der lithologische Bestand am zweckmäßigsten in Gesteinstypen aufgegliedert, zu deren Definition alle die Merkmale herangezogen werden, die für die untersuchte Problematik wichtig erscheinen (FALK et al. 1972: 585). Eine derartige Typisierung erleichtert fazielle Auswertungen und Vergleiche mit rezenten Sedimenten, da sie mit Merkmalskombinationen arbeitet. Bei der durchgeführten Typisierung der feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons wurde im einzelnen folgendermaßen vorgegangen:

- Der lithologische Bestand wurde so vollständig wie möglich inventarisiert.
 Die Aufnahmen geschahen an den folgenden Profilen:
 - Zeche Haus Aden (Bergbau AG Westfalen)

10 Bohrungen zwischen Flöz Präsident und Flöz Dickebank (insgesamt 527 m) und 9 Bohrungen aus dem Niveau um Flöz Karoline/Angelika von je 8 – 12 m (insgesamt 93 m)

Stadt Hattingen (Ruhrtalsperrenverein)

11 Bohrungen von je 25-48 m (insgesamt 380 m), die aneinandergereiht den Abschnitt vom Finefrau-Quarzkonglomerat bis ins Liegende von Flöz Schieferbank durchteuften

Overberge 1 (Bergbau AG Westfalen)

Explorationsbohrung; Abschnitt vom Hangenden des Flözes Zollverein 7 bis Flöz Gustav 2 (insgesamt 272 m)

- Steinbruch Rauen (Witten) Abschnitt vom Hangenden der Wasserbank-Gruppe bis ins Liegende von Flöz Gottessegen (insgesamt 170 m)
- Steinbruch der Zeche Klosterbusch (Bochum) Abschnitt vom Hangenden des Flözes Finefrau-Nebenbank bis ins Liegende von Flöz Geitling 2 (insgesamt 108 m)

Geologischer Garten (Bochum)

- Abschnitt vom Hangenden des Flözes Dickebank bis ins Liegende von Flöz Wasserfall (insgesamt 59 m)
- Der Bereich der Mittleren Sprockhöveler bis zu den Mittleren Essener Schichten ist sehr dicht und in langen, zusammenhängenden Abfolgen untersucht worden. Von den höheren Schichten wurden zahlreiche kürzere (10er m) Ausschnitte bearbeitet, die hier nicht im einzelnen aufgeführt sind.
- Die Typisierung wurde dem Untersuchungsziel entsprechend sedimentologisch ausgerichtet. Sie wurde der bergmännischen Gesteinsansprache (Bergbaubetriebsblatt 22012, 1979 und DIN 22021, 1981) gegenübergestellt, (s. Tab. 1).

- Die typencharakterisierenden Merkmale wurden so gewählt, daß sie sowohl am Bohrkern als auch im Aufschluß über und unter Tage makroskopisch ohne aufwendige Mittel erkennbar sind.
- Zur Gesteinsbeschreibung wurden sechs primäre Parameter als hinreichend genau erkannt und benutzt:

Korngröße primäre Sedimentstrukturen Farbe organischer Kohlenstoffgehalt (org. C) sedimentäre Kontakte beziehungsweise Übergänge Mächtigkeit

- Zusätzliche Merkmale sind die sekundären und tertiären Parameter:

auffällige Einzelkomponenten (z. B. Kohlengerölle) lagige Anreicherungen (z. B. reich an groben Pflanzenhäcksel) Fossilführung (z. B. Goniatiten, bestimmte Pflanzen) Durchwurzelung (Art, Ausmaß, Erhaltung, Verursacher) Durchwühlung (Art, Ausmaß, Erhaltung, Verursacher) sekundäre, anorganische Sedimentstrukturen (z. B. Rutschungen, Belastungsmarken) diagenetische Bildungen (z. B. Toneisensteine, Eisensulfide) Bruchverhalten, tektonische Erscheinungen etc.

- Von Maßangaben für einzelne Merkmale wurde aus Gründen unterschiedlicher persönlicher Einschätzungen abgesehen. Nur wenn es notwendig erschien, wurden sie, relativ weit gefaßt, angegeben. Sie sollen nur als Richtlinien dienen. Eine mehr beschreibend gehaltene Typenbenennung erscheint verständlicher und leichter übertragbar.
- Die Einteilung in sedimentologische Gesteins- und Strukturtypen erfolgte nach drei der primären Parameter (Abb. 3):

Korngröße primäre Sedimentstrukturen organischer Kohlenstoffgehalt (Farbe)



Fig. 3

Rangordnung der Merkmale, die einen Gesteinstyp im Ruhrkarbon bestimmen (primäre, sekundäre, tertiäre Parameter)

Rank of the type-characterising primary, secondary and

tertiary parameters

org.C (Farbe) Fossilien sekundäre, anorganische Sedimentstruktur diagenetische Bildungen Diese gehen direkt auf Dynamik und Milieu des Ablagerungsmediums, zum Beispiel Strömungsenergie, Salinität und dergleichen, und der eingebrachten Fracht hervor. Alle anderen (sekundären und tertiären) Parameter beinhalten über diese primären Sedimentationsbedingungen hinaus zusätzliche Informationen über Materialangebot (Einzelkomponenten, Anreicherungen, Gradierungen), Lebensbedingungen (Bioturbation) und postsedimentäre Vorgänge (Kompaktionserscheinungen, diagenetische Bildungen) in einem Ablagerungsmilieu.

- Die makroskopische Korngrößenansprache homogener, tonig-siltiger Schichtenglieder kann naturgemäß nur qualitativ sein. Sie erfolgte hier nach Rauhigkeit und Glanz des Strichs, der sich mit einer spitzen Stahlnadel oder einem Messer verläßlich beurteilen läßt (Tab. 2). Diese feldgeologische Korngrößenansprache nach dem Ritzverfahren wurde mit mikroskopischen Analysen derselben Proben verglichen. Abbildung 4 zeigt, daß die sehr feinkörnigen Gesteine mit hohen Gehalten an organischem Kohlenstoff (mit glänzendem, tiefbraunen Strich) mikroskopisch reinen Tonsteinen am nächsten kommen.
- Die wichtigsten im Ruhrkarbon vorkommenden primären und sekundären, anorganischen und organischen Sedimentstrukturen sind in Abbildung 5 dargestellt. Begriffe wie "geschichtet", "laminiert", "Kleinrippel" und dergleichen werden in der Literatur nicht einheitlich nach ihren Abmessungen definiert. Für das Ruhrkarbon zweckmäßige Größenangaben sind der Abbildung 5 zu entnehmen.

Rauhigkeit	Glanz	Strichfarbe	Korngröße
glatt	hoch	grau bis graubräunlich braun bis schwarzbraun	Ton, orgC-arm bis -führend Ton, orgC-reich bis kohliger Tonstein
glatt	halbmatt	grau bis graubräunlich	feinsiltiger Ton, orgC-arm bis -führend
glatt	matt	weißlichgrau bis graubräunlich	mittelsiltiger Ton bis toniger Mittelsilt, orgC-arm bis -führend
glatt bis schwach	halbmatt	braun	toniger Silt, orgC-reich
schwach	matt, staubig	weißlichgrau	toniger Grobsilt
stark	matt, staubig, krümelig	weißlichgrau	feinsandiger Grobsilt bis Grobsilt-Feinsand
rauh	matt, krümelig	weißlichgrau	grobsiltiger Feinsand bis Feinsand

Tabelle 2 Korngrößenansprache homogener feinklastischer Gesteinspartien nach dem Strich

Abb. 4

Korngrößenverteilung der wichtigsten feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons im Ton-Silt-Feinsand-Dreiecksdiagramm (nach LARESE & HEALLD 1977); Daten z. T. von W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)

Fig. 4

Distribution of the most important fine-grained rocks of the Upper Carboniferous (Ruhr basin) in the ternary system clay-silt-fine sand (according to LARESE & HEALLD 1977); data partly from W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)



Die Farbe feinklastischer Sedimentgesteine ist in erster Linie vom organischen Kohlenstoffgehalt und von dem Verhältnis Fe²⁺ zu Gesamteisen abhängig (POTTER & MAYNARD & PRYOR 1980). Außerdem wirkt sich die Summe von Quarz und Feldspäten aus. Die Farbe wird am verläßlichsten am Strich frischer Handstücke oder an dem getrockneten, gemörserten Pulver der Probe bestimmt. 60 Stichproben aus dem Ruhrkarbon wurden daraufhin eingeordnet und chemisch analysiert. Demnach können die Gehalte an organischem Kohlenstoff größenordnungsmäßig über die Strichfarben angegeben werden:

orangerosa bis rot w	eniger als 0,5	Gew% org. C	
hellgrau, zartrosa	0,5 - 1	Gew% org. C	(orgC-arm)
hellgrau, bräunlich	1-3	Gew% org. C	(orgC-führend)
bräunlich grau bis graubraun	3 - 20	Gew% org. C	(orgC-reich)
dunkelbraun	mehr als 20	Gew% org. C	(kohliger)

Die genauen Analysenergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt. Vergleiche von Gehalten an organischem Kohlenstoff mit mikroskopisch ausgezählten Maceralanteilen derselben Proben ergaben, daß beide Größen jeweils um einen Faktor 2 ± 0.2 auseinanderliegen (in Zusammenarbeit mit G. SCHEIDT); das heißt, daß in einer Probe mit 3 Gew.-% org. C tatsächlich etwa 6 Vol.-% kohlige Substanz enthalten ist. So bestehen Tonsteine mit tief dunkelbraunem Strich aus mehr als 40 Vol.-% kohliger Substanz und werden deshalb als kohlige Tonsteine¹) bezeichnet. Die beschriebene Einteilung entspricht nahezu der, die LEWAN (1978) für feinkörnige Sedimentgesteine

¹⁾ Nach sedimentologischer Klassifizierungsweise wäre hierfür der Begriff Kohlen-Tonstein vorzuziehen. Da jedoch Verwechselungen mit Kaolin-Kohlentonsteinen zu vermeiden sind, werden in diesem Beitrag Mischgesteine aus tonig/siltigem Material und humoser und/oder sapropelischer, kohliger Substanz (Berge mit Kohle entsprechend, nach BB 22012, 1979), die makroskopisch von vornherein nicht sicher als einer der bekannten Kaolin-Kohlentonsteine anzusprechen sind, als kohlige Tonsteine geführt. Eine ausführliche Diskussion zu dem nomenklatorischen Thema wird in Kürze an noch nicht feststehender Stelle erfolgen.

vorgenommen hat. Er bezeichnet jedoch schon Tonsteine mit mehr als 1 Gew.-% org. C als "organic rich". TISSOT & WELTE (1978) ziehen diese Grenze bei 0,5 Gew.-% org. C. Beide Vorschläge betreffen jedoch insbesondere Tonsteine mit überwiegend bituminösem organischen Material im Hinblick auf ihre Bedeutung als potentielle Erdölmuttergesteine.



- Abb. 5 Die wichtigsten primären und sekundären Sedimentstrukturen und diagenetischen Carbonatbildungen im flözführenden Ruhrkarbon; die Abmessungen der Einzellagen bzw. Rippeln oder Schrägschichtungssets sind angegeben (in Anlehnung an CAMPBELL 1967, COLE & PICARD 1975, REINECK & SINGH 1980)
- Fig. 5 The most important primary and secondary sedimentary structures and diagenetic carbonates of the Upper Carboniferous (Ruhr basin); the dimensions of the laminae and ripplesets are stated (after CAMPBELL 1967, COLE & PICARD 1975, REINECK & SINGH 1980)



- Abb. 6 Zusammenhang zwischen Strichfarben der feinklastischen Sedimentgesteine des Ruhrkarbons und dem Verhältnis Fe²⁺/Gesamteisen, den Gehalten an organischem Kohlenstoff sowie Quarz und Feldspäten; Daten z. T. von W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)
- Fig. 6 Dependencies of rock colours of fine-grained sediments on Fe²⁺/(Fe total) portion and the contents of organic carbon and quartz + feldspars (both in weight percent); data partly from W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)
- Die Ansprache des makroskopisch erfa
 ßbaren pflanzlichen Materials wurde nach einer Einteilung von SCHEIDT (in Vorbereit.) vorgenommen:

Detritus feiner Häcksel	feinste kohlige Substanz (kleiner 1 mm) Kohlenpartikel von 1–3 mm größter Länge
grober Häcksel	Kohlenpartikel von 3 – 10 mm größter Länge und weniger als 2 mm Dicke
Organe	erkennbare kohlige Pflanzenteile (Rinden, Blattachsen, Fie- derchen etc.)
Kohlenstreifen	in Tonsteinen streifig eingelagerte Kohlenpartikel und Orga- ne (Streifen weniger als 1 cm dick)
Kohlenstücke	Kohlenpartikel, homogen oder intern streifig, dicker als 2 mm
Kohlenlagen	im Bohrkernbereich durchgehende Lagen aus Kohle (intern homogen oder streifig), dicker als 2 mm
Kohlengerölle	deutlich gerundete Kohlenpartikel größer 1 mm

3. Typisierung der feinklastischen Gesteine

Die klastischen Sedimentgesteine des Ruhrkarbons können in ihrer Gesamtheit in drei Gruppen gegliedert werden (Tab. 3):

- Tonsteine bis Mittelsiltsteine
- Ton-Silt-Feinsandstein-Wechsellagerungen
- Sandsteine und Konglomerate

Tabelle 3

Die Gesteinstypen des flözführenden Ruhrkarbons und ihre Unterteilung nach Sedimentstrukturen (Strukturtypen)

Petro- graphie	Gesteinstypen	Strukturtypen	genetische und milieuanzeigende Merkmale	
siltsteine	A kohlenstreifige Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit Kohlenstreifen (z. B. kohlige Tonsteine)	 stark (mehr als 25 Vol% Kohlenstreifen) schwach (weniger als 25 Vol% Kohlenstreifen) 		
le bis Mittels	B Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit braunem Strich (kohlige Tonsteine bis orgC-reiche)	1 parallel texturiert 2 eben laminiert 3 unregelmäßig laminiert 4 schlierig		
Tonstein	C Mittelsiltsteine mit grauem Strich (orgC-führend bis -arm)	1 parallel texturiert 2 eben laminiert 3 unregelmäßig laminiert 4 schlierig	– auffällige – Gra	
V echsellagerungen	D eben und linsig laminierte Grobsiltsteine	1 parallel texturiert 2 unterbrochen laminiert 3 durchgehend laminiert 4 schräg laminiert 5 unregelmäßig laminiert 6 isoliert linsig laminiert 7 durchgehend linsig laminiert	Einzelkomponenten — Fossilien — Durc Idierungen — sekun — diag	
Feinsandstein-V	E wellig und flaserig laminierte Grobsilt- und Feinsandsteine	1 wellig laminiert — in Phase — ansteigend — unregelmäßig 2 flaserig laminiert	— lagige Anrei hwühlungen — däre, anorganis jenetische Bildu	
Ton-Silt-	F tonige Siltsteine mit Grobsilt- und Feinsandrippellagen	1 isolierte Rippeln 2 einzelne durchgehende Rippellagen	cherunger Durchwur sche Sedir Ingen —	
steine	G rippelgeschichtete Fein- und Mittelsandsteine	1 flaserig 2 bogig geschichtet 3 eben geschichtet — ansteigend — planar	1 — erosive Ko zelungen — nentstrukturen	
rrate und Sands	H laminiert geschichtete Fein- bis Grob- sandsteine	1 wellig-flaserig — in Phase — ansteigend — unregelmäßig 2 eben	ntakte	
onglome	l diagonal geschichtete Mittel- und Grobsandsteine	1 bogig geschichtet 2 eben geschichtet		
Kı	K konglomeratische Sandsteine und Konglomerate	mit/bestehend aus 1 Ton-Siltstein-Geröllen 2 Toneisenstein-Geröllen 3 Quarzgeröllen		

Sie bestehen jeweils aus mehreren Gesteinstypen, die durch Merkmalskombinationen von Korngröße, primären Sedimentstrukturen und Gehalt an organischem Kohlenstoff definiert sind. Aufgrund einzelner primärer Sedimentstrukturen wurden sie in Untertypen gegliedert, die hier als Strukturtypen bezeichnet werden.

Im folgenden werden die feinklastischen Gesteins- und deren Strukturtypen im einzelnen beschrieben. Beispiele dazu finden sich auf den Tafeln 1 bis 6 (S. 213–230). Die Deutungen des Ablagerungsmilieus beruhen auf READING (1978) und REINECK & SINGH (1980), wenn nicht anders zitiert.

3.1. Tonsteine bis Mittelsiltsteine

Das Körnungsspektrum dieser Gesteine reicht von Ton bis Mittelsilt (bis 20 μ m), gelegentlich kommen Grobsilt und feiner Feinsand vor. Diese gröberen Partikel sind in sehr dünnen Lagen (ca. 0,1 mm) angereichert oder fein verteilt. Die hierzu gehörenden Gesteinstypen unterscheiden sich in erster Linie in ihren Korngrößen und ihrem Gehalt an organischem Kohlenstoff, weniger in ihren primären Sedimentstrukturen.

Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit Kohlenstreifen (Gesteinstyp A) Taf. 1: Fig. 3 und 4

B e s c h r e i b u n g: Kohlenstreifige Tonsteine bis Mittelsiltsteine enthalten durchgehende oder unterbrochene Kohlenstreifen, die dünner als 1 cm sind. Die mineralischen Partien sind überwiegend reich an fein verteiltem organischen Material (mit mehr als 3 Gew.-% org. C entsprechend dem Gesteinstyp B). Sie sind parallel texturiert, eben oder unregelmäßig laminiert oder schlierig.

Der Gesteinstyp A entspricht der Bezeichnung "Berge mit Kohle" im Bergbaubetriebsblatt 22012 (1979) und wird oft noch als "Brandschiefer" oder kohliger "Pflanzenschiefer" bezeichnet. Er läßt sich nach dem anteilmäßigen Verhältnis der beiden unterschiedlichen Komponenten in zwei Strukturtypen aufteilen: stark kohlenstreifig (mehr als 25 Vol.-% Kohlenstreifen) und schwach kohlenstreifig (weniger als 25 Vol.-% Kohlenstreifen).

Organischer Inhalt: Die Kohlenstreifen bestehen entweder aus vielen, sehr dünnen (weniger als 1 mm), dicht beieinander liegenden Pflanzenorganen oder aus Lagen einzelner großer Pflanzenteile. Gelegentlich werden sie von Wurzeln durchbohrt. Auf den kohligen Resten finden sich dann charakteristische "Augen" (ähnlich den Stigmarienaugen oder *Planolites ophthalmoides* JESSEN). Als Faunen kommen gelegentlich *Spirorbis* (Wurmröhre, oft an Pflanzenteilen oder Schalen angeheftet), Ostracoden und Grabspuren vor. Dünnschalige Pelecypoden, Linguliden sowie einzelne Fischschuppen sind seltener (z. B. unmittelbar über Flöz Finefrau-Nebenbank, Steinbruch der Zeche Klosterbusch, Bochum, und in der Wasserbank-Gruppe im Steinbruch Rauen, Witten).

Diagenetische Bildungen: Eisensulfide (Pyrit, gelegentlich auch Markasit) sind häufiger als Carbonate.

Vorkommen: Dieser Gesteinstyp ist im Übergang vom Wurzelboden zum Flöz, als Bergemittel im Flöz, im unmittelbaren Flözhangenden sowie innerhalbtonig-siltiger Sequenzen entwickelt (Phasen 4, 5 und 1 in Abb. 2). In den mächtigen Sandsteinfolgen der Phase 3 kommt er hin und wieder als schmale Einschaltung vor. Er wird oft von dunklen org.-C-reichen Tonsteinen bis Mittelsiltsteinen oder kohligen Tonsteinen (Gesteinstyp B) begleitet.

Deutung: Genetisch gehören die kohlenstreifigen Tonsteine bis Mittelsiltsteine in ein Ablagerungsenvironment, das dem der Torfmoore relativ nahe steht. Das kaum zersetzte, humifizierte organische Material, die relativ häufigen Eisensulfide und die nur geringen Durchwühlungen durch Bodenfauna deuten auf schon über dem Substrat annähernd anaerobe und zumindest schwach saure Bedingungen hin. Sie sind Ablagerungen fast ruhender Flachwassergebiete in lückenhaft bestandenen Sümpfen, die aus vermoorenden Seen oder ertrinkenden Torfgebieten hervorgingen (M. TEICHMÜLLER 1962). Die pflanzlichen Reste stammen dabei aus der unmittelbaren Umgebung (parauthochthone Einlagerung nach MACKOWSKY 1956). Die tonig-siltigen Anteile wurden als Suspensionsfracht mehr oder weniger kontinuierlich eingebracht.

Wenn dieser Gesteinstyp in Sandsteinfolgen eingeschaltet ist, dann kamen derartige Sedimente aufgrund veränderter Strömungsverhältnisse oder infolge von Rinnenverlagerungen innerhalb sumpfiger Environments zum Absatz, wie es insbesondere für obere Deltaebenen typisch sein kann (z. B. im Mississippi-Delta, FISK 1960, DONALDSON 1978).

Tonsteine bis Mittelsiltsteine mit braunem Strich (Gesteinstyp B) (z. B. org.-C-reicher bis kohliger Tonstein) Taf. 1: Fig. 1 und 2b

B e s c h r e i b u n g: Hierbei handelt es sich um Ton- bis Mittelsiltsteine, die fein verteilte organische Substanz von insgesamt mehr als 3 Gew.-% org. C enthalten (entspricht in etwa mehr als 6 Vol.-% disperser kohliger Substanz). Sie sind an ihren sehr dunklen, oft schwarzen Farben und ihrem braunen bis schwarzbraunen Strich zu erkennen. Sie entsprechen den Sapropelschiefertonen des Bergbaubetriebsblattes 22012 (1979; s. Tab. 1, S. 189). Ihre Strukturtypen sind parallel texturiert, eben oder unregelmäßig laminiert oder schlierig.

Organischer Inhalt: In diesen Gesteinen sind Pflanzenreste als feiner Detritus, Wurzeln und andere Organe sowie gelegentlich einzelne Megasporen erhalten. An tierischen Organismenresten können dünnschalige Pelecypoden, Cephalopoden, Ostracoden, Fischschuppen, Foraminiferen und Conodonten vertreten sein.

Diagenetische Bildungen: Überwiegend Eisensulfide (bis 10 Gew.-%), meist Pyrit. Weniger häufig sind karbonatische Konkretionen, während Sphäroide oder Imprägnationen (überwiegend Siderit) stets in geringen Mengen (weniger als 0,5–2 Gew.-%, gelegentlich bis 10 Gew.-%) und makroskopisch nicht faßbar in den Gesteinen fein verteilt sind.

Vorkommen: Diese Gesteine finden sich in oberen Teilen von Wurzelbodenprofilen und als Bergelagen in Flözen, wo sie meist vollständig durchwurzelt sind. Im unmittelbar Flözhangenden gehen sie häufig aus kohlenstreifigen Tonsteinen hervor (Phasen 4.2 bis Beginn von 1 in Abb. 2). Sie leiten oft die markanten marinen Horizonte des Ruhrkarbons ein. In tonig-siltigen Sequenzen (Phasen 1 und 4 in Abb. 2) treten sie gelegentlich als Einschaltungen auf.

Deutung: Dieser Gesteinstyp wurde, wie sein Fauneninhalt anzeigt, in marinen, brackischen und limnischen Ablagerungsräumen gebildet. Seine

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...

Feinkörnigkeit läßt auf Ablagerungen schließen, die überwiegend aus Suspensionen in ruhigen, fast stehenden, vermutlich etwas tieferen Gewässern entstanden. Das beinahe gänzliche Fehlen von Bioturbation und die Pyritbildung deuten auf stark anaerobe, lebensfeindliche Bedingungen im und unmittelbar über dem Substrat hin. Auch die hohen Gehalte an organischem Kohlenstoff von 3 – 20 Gew.-% und mehr sprechen dafür, daß die zersetzenden Einflüsse nur sehr gering waren. Das organische Material kann sowohl aus der Primärproduktion (insbesondere Algen und höhere Wasserpflanzen) als auch von eingetragenen pflanzlichen Resten stammen. Diese Ablagerungen sind in dem Nebeneinander von bewaldeten Sümpfen und fließenden, sich ständig verlagernden Rinnensystemen Anzeiger für angestaute Flachwassergebiete, zum Beispiel infolge von Re- und Transgressionen (BITTERLI 1963, TISSOT & WELTE 1978).

> Mittelsiltsteine mit grauem Strich (Gesteinstyp C) (org.-C-führender bis org.-C-armer Tonstein) Taf. 1: Fig. 2 a und c, 5 und 6; Taf. 2: Fig. 2 b

Reine Tonsteine und fein- bis mittelsiltige Tonsteine mit weniger als 3 Gew.-% org. C sind nicht beobachtet worden. Ihr Vorkommen ist aber nicht gänzlich auszuschließen. Andererseits haben die tonigen Siltsteine selten mehr als 3 Gew.-% org. C (ca. 6 Vol.-% disperse kohlige Substanz), jedoch stets meßbare kleinere Anteile (1-3% org. C = org.-C-führend, weniger als 1 Gew.-% org. C = org.-C-arm).

Beschreibung: Die Mittelsiltsteine sind aufgrund unterschiedlicher pflanzlicher und siltiger Anteile und/oder lagiger Carbonatimprägnationen farblich strukturiert (grau-schwarzgrau-rostbraun). Oft ist erst im Dünnschliff (Taf. 1: Fig. 5) eine interne Feinstlamination erkennbar. Gelegentlich treten auch einzelne, ein bis zwei Korndurchmesser dicke Siltlagen auf. Andere Strukturtypen sind schlierig ausgebildet oder parallel texturiert.

Organischer Inhalt: Die Gesteine führen häufig gut erhaltene Pflanzenabdrücke ("Pflanzenschiefer") und in Laminae angereicherten Häcksel. Eine Durchwurzelung ist oft sehr stark ausgebildet (Taf. 6: Fig. 2 und 3). Die Faunen sind in diesem Gesteinstyp im allgemeinen am reichsten und vielfältigsten ("Faunenschiefer"). Am häufigsten sind marine und nichtmarine Pelecypoden vertreten. Als Spurenfossilien sind vor allem *Planolites ophthalmoides* JESSEN, *Belorhaphe kochi* (LUDWIG) und *Gyrochorte carbonaria* SCHLEI-CHER in diesen Ablagerungen anzutreffen.

Diagenetische Bildungen: Carbonate (sehr unterschiedlicher Gestalt; vgl. Abb. 5; Taf. 6: Fig. 2 und 3) sind sehr viel häufiger als Eisensulfide (ausschließlich Pyrit).

Vorkommen: Dieser Gesteinstyp baut zu großen Teilen die marinen, Brackwasser- und limnischen Sedimentfolgen auf, die vor allem in den flözhangenden, oft weniger mächtig in den flözliegenden Abschnitten (Phasen 1 und 4.1, 4.2 in Abb. 2) ausgebildet sind.

Deutung: Aus der überwiegenden Feinschichtung der Mittelsiltsteine muß auf ruhige und weite, aquatische Ablagerungsgebiete geschlossen werden: flache Seen, Überflutungsbereiche oder untergeordnet auch Totwasserarme von abgeschnürten Flußrinnen. Die Ursachen für die feine Lamination sind sich ändernde Strömungen und Zusammensetzungen der Suspensionsfracht. Insbesondere wechselnde Anteile organischer Substanz und sehr frühdiagenetischer Carbonate unterstreichen diese rhythmische Ausbildung der Gesteine. Diese Änderungen ergeben sich bei jahreszeitlichen Wasserstandsschwankungen von Flüssen und Seen unter tropisch-feuchten Klimabedingungen, wie sie auch für das paralische Ruhrkarbon angenommen werden müssen (PHILLIPS & PEPPERS 1984, SCHWARZBACH 1974). Einzelne Vorkommen von Mittelsiltsteinen können auf distale Ausläufer fluviatiler Dammbrüche zurückgehen. Die marinen und vor allem brackischen Sedimente standen unter dem Einfluß unterschiedlicher Salinität durch Gezeiteneinwirkungen und Frischwasserzufuhr.

Kleindimensionale (mm- bis cm-Bereich) Rutschstrukturen in der feinen Lamination deuten auf leicht instabile oder geneigte Anlagerungsflächen. Interne Fließbewegungen konnten auch aufgrund unterschiedlicher Kompaktion des wasserreichen, kohesiven Schlicks durch rasche Überlagerung ausgelöst worden sein. Synsedimentäre Brüche (Taf. 5: Fig. 2) und injizierte Sedimentgänge (clastic dykes) konnten ebenso die Folge sein. Die abschnittsweise individuenreiche, aber stets artenarme Fossilführung und zum Teil starke Bioturbation durch grabende Bodenbewohner (z. B. Würmer) deuten eingeschränkte Lebensbedingungen an.

3.2. Ton-Silt-Feinsandstein-Wechsellagerungen

Die im folgenden beschriebenen Sedimentgesteine sind sehr auffällig durch rhythmische Ton-Silt-Feinsandstein-Wechsellagerungen gekennzeichnet. Es können auch Laminae von sehr dunklem und hellerem Ton bis Mittelsilt (Gesteinstyp B und C) eingebettet sein. Insgesamt heben sich die einzelnen sedimentären Einheiten durch deutliche Körnungs- und Materialunterschiede voneinander ab. Die hierzu gehörenden Gesteinstypen unterscheiden sich vor allem in ihrer Korngröße und ihren primären Sedimentstrukturen, weniger in ihrem org.-C-Gehalt.

> Eben und linsig laminierte Grobsiltsteine (Gesteinstyp D) Taf. 2: Fig. 1 bis 7; Taf. 3: Fig. 1 und 2 b

Beschreibung: Dieser Gesteinstyp besteht aus hellen, grobsiltigen bis feinsandigen Laminae und/oder Linsen in dunkler toniger Grundmasse mit überwiegend Mittel- bis feinem Grobsilt. Die ebene Lamination kann durchgehend, unterbrochen, schräg oder unregelmäßig ausgebildet sein. Die Dicke der Laminae ist innerhalb eines Schichtgliedes oft variabel (< 1 – 10 mm). Sie kann sich regellos oder systematisch in oben fein oder oben grob gradierten Abschnitten zunehmend oder abnehmend verändern. Auch jede einzelne dünne Lage selbst kann in sich gradiert sein.

In den linsig laminierten Strukturtypen schalten sich Grobsilt- bis Feinsandlinsen in die hellen, gleichkörnigen Laminae ein. Insbesondere dann sind die einzelnen sedimentären Körper scharf voneinander abgegrenzt. Die Linsen sind entweder isoliert oder bilden durchgehende Ketten (intern z. T. schräg laminiert). Mit zunehmendem Grobsiltanteil sind die Linsen größer und dichter gepackt. Diese Strukturtypen zeigen dann Übergänge zu welliger und flaseriger Lamination (Gesteinstyp E; Taf. 3: Fig. 2) oder einzelnen Kleinrippeln (Gesteinstyp F; Taf. 4: Fig. 1). REINECK (1967) nennt derartige Schichtungen feine rhythmische Wechsellagerungen (thinly interlayered bedding). Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...

Organischer Inhalt: An pflanzlichem Material sind vor allem Detritus, Häcksel und Organe auf den gröberkörnigen oder innerhalb der feinkörnigen, tonigen Laminae angereichert. Nicht selten sind diese Ablagerungen durchwurzelt. *Planolites montanus* R. RICHTER, *Planolites ophthalmoides* JESSEN, *Belorhaphe kochi* (LUDWIG) und Spuren nicht sicher zuzuordnender grabendkriechender Bodenorganismen (Muscheln, Schnecken etc.) sind nicht selten (Taf. 6: Fig. 4 und 5). Als Mikrofaunen sind Ostracoden und Foraminiferen gelegentlich anzutreffen.

Diagenetische Bildungen: Häufig sind lagige und knollige Carbonatkonkretionen und -imprägnationen der tonigen Lagen sowie Zementationen der feinsandigen Schichtelemente. Eisensulfide sind insgesamt selten (Pyrit, kein Markasit).

Vorkommen: Mit wellig und flaserig laminierten Ablagerungen (Gesteinstyp E) im Wechsel bilden diese Sedimente insbesondere die Übergänge der feinklastischen Abschnitte zu den Sandsteinen und umgekehrt (von Phase 1 zu 2 bzw. von Phase 3 zu 4, Abb. 2).

Deutung: Die schräg und linsig laminierten Grobsiltsteine deuten auf Strömungen und Wellenbewegungen im Bereich periodisch schwankender Wasserstände hin (z. B. an flachen, weiten Ufersäumen oder in gezeitenbeeinflußten Gebieten). Nicht selten sind in Ruhrkarbonprofilen diese Ablagerungen gegenüber der vorherrschenden Horizontallage (bezogen auf die begleitenden Gesteine) leicht geneigt und wurden von abwärts gerichteten Rutschungen (Taf. 5: Fig. 3) und synsedimentären Brüchen (vgl. Taf. 2: Fig. 5) verformt. Dies weist auf Gleithänge (point bars) mäandrierender Flußrinnen hin, deren Anlagerungsflächen senkrecht zur Strömungsrichtung einfallen. Die scharfe Abgrenzung der einzelnen sedimentären Körper geht auf zwischenzeitliche Sedimentationspausen zurück, in denen die Strömungsverhältnisse einerseits zu schwach für Bodenfrachttransport, andererseits zu stark für Suspensionsabsatz waren. Dagegen sind gradiert laminierte Schichtglieder auf an- und abschwellende Strömungen zurückzuführen. Die intern nach oben fein oder grob gradierten Laminae spiegeln wechselndes Materialangebot in den einzelnen Sedimentationsphasen wider. Besonders typisch sind derartige Ablagerungen für sehr suspensionsreiche Flüsse oder Überflutungen (TAYLOR & WOODYER 1978).

Wellig und flaserig laminierte Grobsilt- und Feinsandsteine (Gesteinstyp E) Taf. 3: Fig. 2 a, 3 und 4

Beschreibung: In diesen Gesteinen überwiegen helle Grobsilt- bis Feinsandanteile (feiner Feinsand bis ca. 120 µm) gegenüber dunkleren, tonigsiltigen Partien. Es werden wellig und flaserig laminierte Strukturtypen unterschieden, zwischen denen fließende Übergänge bestehen. Die wellige Lamination kann in Phase, ansteigend oder unregelmäßig ausgebildet sein. Die einzelnen Laminae sind scharf voneinander abgegrenzt, intern homogen und können im Verband gradierte Abfolgen bilden. Zur flaserigen Lamination hin werden die tonig-siltigen Anteile geringer. Sie bestehen nur noch aus dünnen, sehr unregelmäßig welligen und oft auffiedernden Säumen, die teilweise dicht beieinanderliegende Linsen und Kleinrippeln in ihren Umrissen hervorheben.

Organischer Inhalt: Pflanzlicher Detritus und Häcksel können in Laminae und Flasern stark angereichert sein, die auch allein aus dem Material bestehen können. In den feinsandigen Bereichen sind kohlige Einzelpartikel nur sporadisch vertreten. Eine Durchwurzelung ist, wenn vorhanden, in der Regel nur schwach. Tierische Hartteile und Mikrofaunen sind kaum erhalten. Grab- und Fluchtspuren finden sich häufiger. Sie verlaufen bevorzugt senkrecht zur Schichtung (Taf. 6: Fig. 4 und 5). Auf den Schichtflächen setzen sich diese Gänge oft als langgezogene Kriechspuren fort, an deren Ende in seltenen Fällen noch Reste der Verursacher erhalten geblieben sind (Muscheln, Schnecken sowie Krebstiere kommen in Frage).

Diagenetische Bildungen: Lagige und fleckige karbonatische Imprägnationen oder Zementationen sind häufig. Pyritist selten und dann nur in sehr kohligen Laminae oder Flasern ausgebildet.

Vorkommen: Wie die zuvor beschriebenen eben und linsig laminierten tonigen Grobsiltsteine (Gesteinstyp D).

Deutung: Die überwiegenden, tonfreien Grobsilt- und Feinsandanteile deuten auf Bedingungen, die ihre Ablagerung und Erhaltung gegenüber feinklastischeren begünstigen. Da die sedimentären Körper der unterschiedlichen Korngrößenbereiche scharf voneinander abgegrenzt sind, muß ein Wechsel von Strömung oder Wellenbewegung und Ruhig- oder Stauwasser bei entsprechendem Materialangebot vorgelegen haben. Wie viele Ruhrkarbonprofile zeigen, geht oft aus durchgehend linsig laminierten, tonigen Grobsiltsteinen ansteigende, wellige Lamination hervor. Dies deutet auf zunehmende Strömungsenergie bei zumindest gleich großem Grobsilt- und Feinsandangebot hin. Die feinkörnigeren Anteile wurden weiter verfrachtet. Nur wenn zwischenzeitlich die Fließbewegungen rasch abnahmen, konnte sich in Stauwasserphasen oder bei nur geringen Gegenströmungen tonig-siltiger Schlick absetzen. Dieser Vorgang wiederholte sich mehr oder weniger regelmäßig, wobei die zuvor gebildeten Ablagerungen rasch zugedeckt und dabei nur zum Teil oberflächlich aufgearbeitet wurden. Wie die enge genetische Verknüpfung mit den linsig laminierten Grobsiltsteinen (Gesteinstyp D) zeigt, sind die möglichen Ablagerungsräume beider Gesteinstypen fast identisch: gezeitenbeeinflußte Ebenen, Ufersäume, untere Gleithanglagen sowie suspensionsärmere Rinnen und Überflutungsbereiche.

Tonige Siltsteine mit Grobsilt- und Feinsandrippellagen (Gesteinstyp F) Taf. 4: Fig. 1

Beschreibung: Bei diesen Ablagerungen handelt es sich um Wechsellagerungen von eben laminierten Mittelsiltsteinen (Gesteinstyp C) bis linsig laminierten Grobsiltsteinen (Gesteinstyp D) mit isolierten oder in einzelnen Lagen aneinandergereihten Klein- oder Großrippeln aus Grobsilt bis Feinsand (bis 200 µm). Die Kontakte der Rippelkörper sind beiderseits scharf: nach unten erosiv und nach oben konkordant. REINECK & WUNDERLICH (1968) nennen solche zusammengesetzten Ablagerungen Linsen- und Wellenschichtung (lenticular and wavy bedding).

Organischer Inhalt: Pflanzlicher Detritus und Häcksel sind insbesondere in den unteren Teilen der Rippellaminae angereichert. Nicht selten werden die Rippeln von Grabspuren verschiedener Schlickbewohner senkrecht durchzogen. Die Gesteine können durchwurzelt sein.

Diagenetische Bildungen: Die Rippeln sind unterschiedlich karbonatisch und/oder kieselig zementiert. Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...

Vorkommen: Oft sind die Rippellagen scheinbar unabhängige, isolierte Einschaltungen in tonig-siltigen Ablagerungen des Flözliegenden und -hangenden (Phasen 4.1, 4.2 und 1 in Abb. 2). Außerdem sind sie häufig in den zuvor beschriebenen Wechsellagerungen der eben und linsig laminierten Grobsiltsteine (Gesteinstyp D) und der wellig und flaserig laminierten Grobsilt- und Feinsandsteine (Gesteinstyp E) der gleichen Phasen anzutreffen.

Deutung: In den marin beeinflußten, tonig-siltigen Ablagerungen über Flöz Finefrau-Nebenbank im Steinbruch der ehemaligen Zeche Klosterbusch (Bochum) sind mehrfach einzelne, durchgehende Feinsandrippeldecken ausgebildet. Sie sind nur drei bis fünf cm dick (= eine Rippeldicke) und nach unten über weite Strecken vollkommen eben und scharf abgegrenzt. Oben ist die Rippeldünung ebenso scharf und gut erhalten. Gelegentlich jedoch sind Teile dieser Feinsanddecken in den Untergrund abgesackt (ball-and-pillow-Strukturen, Taf. 5: Fig. 1 a, b). In anderen Profilen kam es in gleichartigen Abfolgen zu convolute bedding. Dies alles deutet auf episodische Ereignisse hin. Als Bildungsvorgänge kommen sandige Ausläufer von fluviatilen Überflutungen auf weite Schwemmlandflächen oder dünne Sandschüttungen in tieferen Mündungsbereichen von Flüssen in Frage. War die Sandüberdeckung des schlickigen Untergrundes zu rasch oder sank nach einer Überschwemmung der Wasserstand unter das Ablagerungsniveau, kam es in dem wasserreichen Unterlager infolge unterschiedlicher Setzung zu fließenden Bewegungen und zu den oben beschriebenen sekundären Sedimentstrukturen.

Öfter bilden diese Rippellagen jedoch Wechsellagerungen mit eben und linsig laminierten, tonigen Siltsteinen sowie wellig und flaserig laminierten Grobsilt- und Feinsandsteinen. In diesem Zusammenhang deuten die Ablagerungen auf kleinere Flußdammbrüche, wiederholt ansteigende Strömungen bei Überflutung oder Verlagerung von Ufersäumen (flache natural levees) oder Gleithängen.

3.3. Homogene feinklastische Gesteine

Homogene feinklastische Gesteine sind äußerlich vollkommen strukturlos und können allein in ihrer Korngröße und ihrem Gehalt an organischem Kohlenstoff angesprochen werden. Sie zerbrechen muschelig und zeigen auf ihren Bruchflächen keine Paralleltextur. Selbst in Dünn- oder Anschliffen sind kaum Regelungen zu erkennen. Nur in Radiographien (BOUMA 1969), die im Rahmen dieser Arbeit von senkrecht zur Schichtung, planparallel geschnittenen Gesteinsscheiben einiger Proben hergestellt wurden, sind Sedimentationsmuster schwach zu erkennen.

Der organische Inhalt beschränkt sich auf mikroskopisch verteilte kohlige Substanz, feinen Detritus und Reste von Mikrofaunen. Als diagenetische Bildungen treten winzige Pyritaggregate (kleiner 1 mm), Sideritsphäroide und unregelmäßige, unscharf begrenzte, sideritische Imprägnationen oder Knollen auf.

Die Ursachen für derartige homogene Ablagerungen sind vielfältig: Häufig liegen diese Gesteine zwischen ungestört eben oder linsig laminierten Schichtgliedern. Es ist dann wahrscheinlich, daß zwischenzeitlich bei der Sedimentation die Unterschiede der angebotenen Materialien und deren Sedimentationseigenschaften sehr gering waren und es zu keinen sichtbaren Schichtungsstrukturen in diesen Abschnitten kommen konnte. Oft zeigen die begleitenden Gesteine aber auch Rutschungs- und Fließstrukturen. Dann ist es vorstellbar, daß schwere Suspensionswolken anderenorts bodennah ins Gleiten gerieten und sich rasch wieder absetzten, wobei Ton und Silt innig durchmischt blieben. Nicht selten sind feinklastische Abschnitte unter mächtigeren Sandsteinpaketen homogen ausgebildet. In diesen Fällen konnte durch sehr schnelle Überlagerung der aufsteigende Kompaktionsstrom angestaut, und der unverfestigte, sehr wasserreiche Schlick innerlich verflüssigt und homogenisiert worden sein.

Eine weitere Möglichkeit ist vollständige Bioturbation. Durchwurzelung hinterließ in vielen Fällen zumindest einige Wurzelfäden, die kohlig oder als Abdrücke erhalten geblieben sind (Taf. 6: Fig. 1 – 3). Sehr intensive Durchwühlung von grabenden und sedimentfressenden Bodenorganismen dagegen sind kaum von den anorganisch bedingten Homogenisierungen zu unterscheiden. Die Tiere löschten durch ihre Wühltätigkeit ihre eigenen Spuren oft wieder aus. Hartteile von ihnen sind in der Regel nicht erhalten.

4. Typisierung der Grobklastika im Überblick

Die Feinsandanteile in den Ton- und Siltsteinen des Ruhrkarbons erreichen in der Regel als maximale Korngröße ca. 120 μ m, in den einzelnen Rippellagen der tonigen Siltsteine (Gesteinstyp F) oft auch mehr als 120 μ m. Unter Grobklastika werden hier alle mächtigeren, mehrschichtigen Feinsandsteine sowie alle gröberkörnigen Gesteine verstanden. Sie lassen sich stark vereinfacht nach vier Merkmalskombinationen untergliedern:

- rippelgeschichtete Fein- und Mittelsandsteine (Gesteinstyp G)

- laminiert geschichtete Fein- bis Grobsandsteine (Gesteinstyp H)

- diagonal geschichtete Mittel- und Grobsandsteine (Gesteinstyp I)

konglomeratische Sandsteine und Konglomerate (Gesteinstyp K)

Rippelgeschichtete Fein- und Mittelsandsteine (Taf. 3: Fig. 5 und 6; Taf. 4: Fig. 2) umfassen die klein- und großrippelgeschichteten Sandsteine. Unter Berücksichtigung der möglichen Anschnitte können eine Reihe von Strukturtypen unterschieden werden. Hier seien nur die wichtigsten und auffälligsten Erscheinungsformen beschrieben. Die Rippelsets, die sich direkt, zum Teil erodierend überlagern, sind entweder basal bogig oder eben abgegrenzt. Nicht selten sind sie ansteigend übereinander angeordnet, ähnlich den verdriftenden, welligen Laminationen (vgl. Taf. 3: Fig. 3 und 5). Tonig-siltiges Material kann flaserig als dünner, zum Teil auffiedernder Saum oder als Trogfüllung zwischen den Rippeln eingelagert sein. An organischem Material treten pflanzlicher Detritus und Häcksel auf. Er ist besonders in den Flasern und in den unteren Teilen der Rippellamellen angereichert. Größere Organe und Kohlenstücke sind gelegentlich als auffällige Einzelkomponenten basal in rippelgeschichtete Sandsteine eingelagert. Auch Schillpflaster von Muscheln sind mit diesem Gesteinstyp anzutreffen. Gelegentlich können diese Ablagerungen schwach durchwurzelt sein.

Carbonatkonkretionen gibt es kaum noch. Die Gesteine sind gleich stark oder innerhalb der Rippelsets unterschiedlich stark karbonatisch oder kieselig zementiert.

Während die Kleinrippel-Feinsandsteine noch bevorzugt in den sandigen Teilen der feinklastischen Flözliegenden und -hangenden Sedimente (Phasen 4 und 1 in Abb. 2) vorkommen, sind die Großrippeln stärker an die Sandsteinpakete der Phasen 2 und 3 gebunden.

Diese Sandsteinpakete bestehen oft aus laminiert geschichteten Feinsand- bis Grobsandsteinen (Taf. 4: Fig. 3 und 4), diagonal geschichteten Mittel- und Grobsandsteinen (Taf. 4: Fig. 5) und konglomeratischen Sandsteinen und Konglomeraten (Taf. 4: Fig. 6). Gelegentlich beginnen die grobklastischen Abfolgen mit Konglomeraten, deren Unterlage aufgrund teilweise nicht unerheblicher Erosion einer sich einschneidenden Strömungsrinne sehr uneben ist (vgl. Profil a in Abb. 2). Nach nicht mehr als einigen Dezimetern bis wenigen Metern folgen häufig diagonal geschichtete Mittel- und Grobsandsteine (Gesteinstyp | als tiefere Rinnenfüllungen und basale Schichtenglieder von Gleithangserien (point bars). Nach ihren Korngrößen und Sedimentstrukturen bildeten sie sich bei relativ hohen Strömungen. Darüber liegen eben und wellig geschichtete Fein- bis Grobsandsteine (Gesteinstyp H), die ihrerseits oft von rippelgeschichteten Sandsteinen (Gesteinstyp G) überdeckt werden. Diese Abfolge deutet auf abnehmende Strömungsgeschwindigkeiten und eine Verflachung der Rinnen hin. Oft bilden diese beiden letzten Gesteinstypen im Ruhrkarbon lateral sehr weitläufige Decksande außerhalb der eigentlichen Strömungsrinnen. Sie können dann als Sandfächer von Flußdammbrüchen (crevasse splays) oder in Mündungsbereichen von Flüssen (mouth bars und subaguatische fan deposits) interpretiert werden. Aber auch durch seitliche Verlagerungen von Strömungsrinnen können die oben beschriebenen grobklastischen Sedimente sehr ausgedehnte, komplexe Sandkörper aufbauen, wie es für einige Hauptsandsteine des Ruhrkarbons bereits dargelegt wurde (Mausegatt-Sandstein: MALMSHEIMER 1968; Finefrau-Sandstein: WENDT 1965; Sandsteine der Bochumer Schichten: CASSHYAP 1975 a).

Betrachtet man die Basiskonglomerate im Detail, so lassen sich drei Arten unterscheiden, die untereinander auch Mischformen bilden können:

Ton-Siltsteinkonglomerate bestehen aus sehr verschieden großen (bis über Faustgröße) und unregelmäßig geformten Geröllen von Tonsteinen und tonigen Siltsteinen, eingebettet in Feinsand- bis Mittelsandmatrix. Oft sind die darin erhaltenen Sedimentstrukturen zum Rand hin verbogen.

Toneisensteinkonglomerate bestehen aus meist besser gerundeten und einheitlicher sortierten Toneisensteingeröllen (größer 2 cm) mit Mittel- bis Grobsandmatrix.

Quarzkonglomerate setzen sich zum Großteil aus gut gerundeten Milchquarzen, Sandstein- und anderen Gesteinsbruchstücken zusammen (2mm bis über 2cm) mit grobsandiger bis kiesiger Matrix.

Ton-Siltsteinkonglomerate sind dadurch entstanden, daß Rinnen bei allmählicher Verlagerung auf der Prallhangseite die steileren Uferwände aus noch halbplastischen Ablagerungen unterschnitten haben und die herabfallenden Schlickbatzen sofort im Rinnensand eingebettet wurden. Bei stärkeren Strömungen und längerem Transport jedoch zerfielen diese bis auf schon stärker verfestigte Toneisensteinkonkretionen, die sogar in Quarzkiese am Rinnenboden aufgenommen wurden. Als auffällige Einzelkomponenten können Kohlengerölle und größere Pflanzenteile (Stammstücke, Äste, Drifthölzer) enthalten sein.

5. Mineralzusammensetzung

Die Mineralzusammensetzung der Ton- und Siltsteine des Ruhrkarbons wurden in den letzten Jahren aus rohstofflicher und bergbautechnischer Sicht bearbeitet. Hierzu seien nur der Entwurf zur DIN 22021 (1981), BURGER (1984) und MAERZ (1984) erwähnt.

R. CONZE



Abb. 7 Durchschnittliche Zusammensetzung der mineralischen Hauptbestandteile in den feinklastischen Sedimentgesteinen des Ruhrkarbons, geordnet nach Abnahme des Medians (halbquantitativ); Daten z. T. von W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)

Fig. 7

Mean distribution of the mineral components in the fine-grained sedimentary rocks of the Upper Carboniferous (Ruhr basin), arranged along decrease of the median diameter (semi-quantitative); data partly from W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)

Am Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum führten FÜCHTBAUER et al. (1976) umfangreiche mineralogische Analysen an tonig-siltigen Nebengesteinen des Ruhrkarbons durch. Daraus wurden die Daten von W. GROTHU-SEN für vorliegende Arbeit ergänzt und den hier durchgeführten Gesteinsansprachen gegenübergestellt.

Die Gesteine setzen sich nur aus wenigen Mineralarten zusammen: Quarz, Feldspäte (Kalifeldspat, Plagioklas), Phyllosilikate (Illit, Muskovit, Sericit, Chlorit, Kaolinit), Carbonate (Siderit, weniger andere Fe-Carbonate), Eisensulfide (Pyrit, Markasit) und kohlige Anteile. Accessorisch können Schwermi-

Abb. 8

Anteile der einzelnen Tonminerale am Gesamtphyllosilikatgehalt der Proben der feinklastischen Sedimentgesteine des Ruhrkarbons; Daten z. T. von W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)

Fig. 8

Clay mineral distribution of the fine-grained sedimentary rocks of the Upper Carboniferous (Ruhr basin) relative to the total contents on phyllosilicates of the sample; data partly from W. GROTHUSEN (Ruhr-Univ. Bochum)





nerale (z. B. Zirkon, Rutil, Turmalin, Anatas), Biotit sowie diagenetische Phasen wie Apatit, Phosphorit, Calcit, Sulfate und Natriumchlorid vertreten sein. Die durchschnittlichen Zusammensetzungen der mineralischen Hauptbe-

Abb. 9 Veränderungen in der Zusammensetzung der Tonmineralfraktion, der Illit-Kristallinität und der Vitrinit-Reflexion entlang des Gesamtschichtenschnittes des kohlenführenden Ruhrkarbons (vereinfacht nach FIEBIG 1971); Daten z. T. von W. GROTHUSEN und R. LITTKE (Ruhr-Univ. Bochum)

Fig. 9 Changes in the composition of the clay minerals, of the illite cristallinity and the vitrinite reflexion along the overall-section of the Upper Carboniferous (Ruhr basin), simplified according to FIEBIG (1971); data partly from W. GROTHUSEN and R. LITTKE (Ruhr-Univ. Bochum)

standteile in den feinklastischen Sedimentgesteinen des Ruhrkarbons zeigt Abbildung 7.

Die Pyritanteile sind nur in den Tonsteinen und tonigen Siltsteinen mit hohem Gehalt an organischem Kohlenstoff von Bedeutung (bis 10 Gew.-%), in den übrigen jedoch durchschnittlich sehr gering (weniger als 1 Gew.-%). Pyrit ist daher in Abbildung 7 nicht dargestellt.

Die Anteile einzelner Tonminerale am Gesamtphyllosilikatgehalt stellt die Abbildung 8 dar. Sie zeigt, daß die Werte der org.-C-reichen Tonsteine bis Mittelsiltsteine und kohligen Tonsteinen noch am meisten von denen der übrigen Typen verschieden sind, aber sich mit diesen auch weit überschneiden. Die gleichen Werte sind in ihrer stratigraphischen Teufenlage in Abbildung 9 wiedergegeben. Auch hier fällt auf, daß die org.-C-reichen Gesteine (mit mehr als 3 Gew.-% org. C) gegenüber den anderen Proben sehr oft Extremwerte annehmen und vor allem relativ arm an Chlorit und Kaolinit sind. Der tieferen Versenkung und fortschreitenden Diagenese entsprechend steigen die Werte für Illit/Muskovit und Chlorit zum Liegenden durchschnittlich leicht an, bei gleichzeitig starker Abnahme des Kaolinits. Die deutlichen Schwankungen der einzelnen Gehalte entlang des Profils (hervorgehoben durch die abgegrenzten Minimal- und Maximalwerte) sind allem Anschein nach auf anhaltend veränderte Materialanlieferungen und Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. So gehen höhere Kaolinitmengen mit überwiegend terrestrischer, meist stärker siltig-sandiger Sedimentation einher. In mächtigeren, sehr tonigen Abschnitten dagegen nehmen sie merklich ab, besonders in Bereichen dicht beieinanderliegender marin-brackischer Horizonte. Meist noch geringere Kaolinitmengen haben angerob gebildete tonige Ablagerungen mit hohem organischen Kohlenstoffgehalt.

Für die Bestimmung des Diagenesegrades entlang des Ruhrkarbonprofils erweist sich die Illit-Kristallinität der Fraktion 2–6 μm als ungeeignet. Sie nimmt kaum merklich mit der Teufe zu (Abb. 8). Ein gleiches Ergebnis stellte MENYESCH (1978) für die Sandsteine des Ruhrkarbons fest. Im Gegensatz dazu zeigt die mittlere Vitrinitreflexion, die an im Gestein dispers verteilten Kohlenpartikeln gemessen wurde (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.), mit größerer Versenkungstiefe ansteigende Werte in einem ihr charakteristischen Verlauf.

6. Schriftenverzeichnis

- ALLEN, J. R. T. (1970): Studies in fluviatile sedimentation: A comparison of fining-upward cyclothems, with special reference to coarse member composition and interpretation.
 J. Sed. Petr., 40: 298–323, 18 Abb., 12 Tab.; Menasha.
- Bergbaubetriebsblatt 22012 (1979): Makroskopische Ansprache und Aufnahme von Kohle und Nebengestein. 9 S.; Essen (Steinkohlenbergbauver.).
- BITTERLI, P. (1963): Aspects of the genesis of bituminous rock sequences. Geol. en Mijnb., 42: 183–201, 9 Abb., 1 Fototaf.; Den Haag.
- BOUMA, A. H. (1969): Methods for the study of sedimentary structures. 458 S.; New York (Wiley-Intersci.).
- BURGER, K. (1984): Tonige Rohstoffe im Steinkohlenrevier. Genese. Vorkommen. Wirtschaftliche Bedeutung. – 71 S., 29 Abb., 16 Tab.; Essen (Glückauf).
- CAMPBELL, S. M. (1967): Lamina, laminaset, bed and bedset. Sedimentology, 8: 7-26, 4 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Amsterdam (Elsevier).
- CASSHYAP, S. M. (1975 a): Lithofacies analysis and paleogeography of Bochumer Formation (Westfal A2), Ruhrgebiet. Geol. Rdsch., **64**: 610–640, 11 Abb., 3 Tab.; Hannover.

- (1975 b): Cyclic characteristics of coal-bearing sediments in the Bochumer Formation (Westphal A2), Ruhrgebiet, Germany. – Sedimentology, 22: 237 – 255, 5 Abb., 4 Tab.; Amsterdam (Elsevier).
- COLE, R. D., & PICARD, M. D. (1975): Primary and secondary sedimentary structures in oil shale and other fine-grained rocks, Green River Formation (Eocene), Utah and Colorado. Utah Geol., 2 (1): 49–67, 8 Abb., 2 Tab.; Salt Lake City/Utah.
- CONZE, R.: Sedimentologie der feinklastischen Gesteine des flözführenden Ruhrkarbons. Diss. Ruhr-Univ.; Bochum. – [In Vorbereit.]
- DAHM,H. (1966): Das marine Niveau über Flöz Finefrau-Nebenbank (Obere Wittener Schichten, Westfal A) im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebirge. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 39 – 124, 28 Abb., 2 Tab., 8 Taf.; Krefeld.
- DIN 21 900 (1951): Bergmännisches Rißwerk. Richtlinien für Herstellung und Ausgestaltung; Berlin, Köln (Beuth-Verl.).
- DIN 22021 (1981): Unterteilung der Nebengesteine aufgrund mikroskopischer Untersuchungen zur Kennzeichnung technologischer Eigenschaften; Berlin, Köln (Beuth-Verl.).
- DONALDSON, A. C. (1978): Origin of coal seam discontinuities. In: Proceedings in coal seam discontinuities: 23 S., 18 Abb., 3 Tab.; Pittsburg/Pennsylvania.
- ELSING, J. (1983): Sedimentologie der Unregelmäßigkeiten im Flöz Karoline/Angelika auf der Zeche Haus Aden im östlichen Ruhrgebiet. – Dipl.-Arb. Inst. Geol. Ruhr-Univ.; Bochum. – [Unveröff.]
- FALK, F., & LÜTZNER, H., & GRUMBT, E., & ELLENBERG, J. (1972): Gesteinstypen klastischer Sedimente und ihre Anwendung in der Lithologie. – Geologie, 21 (4/5): 585–607, 18 Abb.; Berlin.
- FIEBIG, H. (1969): Das Namur C und Westfal im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. - C. R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, 1: 79 – 89, 9 Abb., 1 Taf.; Sheffield.
- (1971): Der Gesamtschichtenschnitt (overall-section) des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes (Stand 1971). In: HEDEMANN et al.: Das Karbon in marinparalischer Entwicklung. – C. R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 1: 29 – 47, 4 Abb.; Krefeld.
- FISK, H. N. (1960): Recent Mississippi River sedimentation and peat accumulation. C. R. 4. Congr. Avanc. Et. Strat. Géol. Carbonif., Heerlen 1958, 1: 187 – 199, 8 Abb.; Maestricht.
- FÜCHTBAUER, H., & GROTHUSEN, W., & MENYESCH, W. (1976): Petrographie und Gesteinsphysik des Ruhrkarbons. – DFG-Abschlußber. Fu 66/5 u. 9: 12 S., 12 Abb.; Bochum (Inst. Geol. Ruhr-Univ.). – [Unveröff.]
- GODDARD, E. N. et al. (1975): Rock-Color Chart. 6 S.; Boulder/Colorado (Geol. Soc. Amer.).
- GRUBE, H. (1978): Sedimentologie der Bochumer und Essener Schichten des Ruhrkarbons aufgrund von Gesamtmächtigkeiten, Sand- und Kohlenanteilen. – Mitt. westf. Berggewerkschaftsk. Bochum, **40**: 118 S., 21 Anl.; Bochum.
- HAHNE, C. (1970): Zur Genese des Ruhrkarbons. Mitt. westf. Berggewerkschaftsk., **29**: 24 S., 8 Abb.; Bochum.
- JESSEN,W. (1955): Das Ruhrkarbon (Namur C ob. Westfal C) als Beispiel für extratellurisch verursachte Zyklizitätserscheinungen. Geol. Jb., **71**: 1 20; Hannover.
- (1961): Zur Sedimentologie des Karbons mít Ausnahme seiner festländischen Gebiete.
 C.R. 4. Congr. Avanc. Ét. Strat. Géol. Carbonif., Heerlen 1958, 2: 307-322; Maestricht.
- KUKUK, P. (1942): Zur Gliederung des Nebengesteins der Ruhrkohlenflöze auf makroskopischer Grundlage. – Arch. bergb. Forsch., **3**: 130–141, 2 Taf.; Essen.
- LARESE, R. E., & HEALLD, M. T. (1977): Petrography of selected Devonian shale core samples from the CGTC 20403 and CGSC 11, 940, wells, Lincoln and Jackson counties, West Virginia. – MERC/CR-77-6: 26 S.; New York (U. S. Dept. Energy).
- LEWAN, M. D. (1978): Laboratory classification of very fine-grained sedimentary rocks. Geology, 6: 745-748, 2 Abb., 4 Tab.; Boulder/Colorado.

- LITTKE, R.: Reflexions- und fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen an Flözen der Dorstener, Horster und Essener Schichten des Ruhrgebiets. – Diss. Inst. Geol. Ruhr-Univ.; Bochum. – [In Vorbereit.]
- MACKOWSKY, M.-TH. (1956): Der Sedimentationsrhythmus der Kohlenflöze. N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1956**: 438–449, 8 Abb.; Stuttgart.
- MAERZ, U. (1984): Das Zerkleinerungsverhalten feinklastischer Kohlengesteine des Ruhrkarbons in Wasser. – Bochumer geol. geotechn. Arb., **12**: 124 S., 47 Abb., 25 Tab., 5 Taf.; Bochum.
- MALMSHEIMER, K.-W. (1968): Zur Sedimentologie und Epirogenese im Ruhrkarbon. Die Sandsteine im Liegenden von Flöz Mausegatt (Oberkarbon, Westfal A, untere Wittener Schichten). – Forsch.-Ber. Nordrh.-Westf., 2000: 74 S., 24 Abb., 3 Tab., Anl.; Köln, Opladen.
- MENYESCH, W. (1978): Zur Petrographie und Diagenese der oberkarbonischen Sandsteine des Ruhrgebietes. Diss. Inst. Geol. Ruhr-Univ.; Bochum.
- PHILLIPS, T. L., & PEPPERS, R. A. (1984): Changing patterns of Pennsylvanian coal-swamp vegetation and implications of climatic control on coal occurence. Internat. J. Coal Geol., **3**: 205 255, 14 Abb.; Amsterdam.
- POTTER, P. E., & MAYNARD, J. B., & PRYOR, W. A. (1980): Sedimentology of shale. 310 S., 154 Abb.; New York, Heidelberg, Berlin (Springer).
- RABITZ, A. (1966): Die marinen Horizonte des flözführenden Ruhr-Karbons. Rückschau und Ausblick. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 243 296, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- READING, H. G. [Hrsg.] (1978): Sedimentary environments and facies. 569 S.; Oxford (Blackwell Sci. Publ.).
- REINECK, H.-E. (1967): Layered sediments of tidal flats, beaches and shelf bottoms of the North Sea. – In: LAUFF, G. H. [Hrsg.]: Estuaries. – Am. Assoc. Advanc. Sci. Publ., 83: 191–206; Washington/D. C.

REINECK, H.-E., & SINGH, I. B. [Hrsg.] (1980): Depositional sedimentary environments. - 549 S., 683 Abb., 38 Tab.; New York, Heidelberg, Berlin (Springer).

- REINECK, H.-E., & WUNDERLICH, F. (1968): Classification and origin of flaser and lenticular bedding. Sedimentology, **11**: 99 104, 5 Abb.; Amsterdam (Elsevier).
- ROESCHMANN, G. (1962): Wurzelböden des Ruhrkarbons. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 3 (2): 497-523, 2 Tab., 4 Taf.; Krefeld.
- SCHEIDT, G.: Die Sedimentologie des dispersen organischen Materials im Ruhrkarbon. Diss. Inst. Geol. Ruhr-Univ.; Bochum. – [In Vorbereit.]
- SCHLEICHER, L. (1954): Grabspuren aus den nichtmarinen Schichten der Bochumer Schichten ten (Fettkohlenschichten) Westfalens. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1954: 274–284, 7 Abb.; Stuttgart.

SCHWARZBACH, M. (1974): Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. – 380 S., 191 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Enke).

- TAYLOR, G., & WOODYER, K. D. (1978): Bank deposition in suspended load streams. In: MIALL, A. D. [Hrsg.] Fluvial Sedimentology. - Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem., 5: 257-275; Calgary.
- TEICHMÜLLER, M. (1962): Die Genese der Kohle. C. R. 4. Congr. Avanc. Et. Strat. Géol. Carbonif., Heerlen 1958, 3: 699 – 722, 29 Abb., Taf. 16 – 23; Maestricht.
- TEICHMÜLLER, R. (1973): Die paläogeographisch-fazielle und tektonische Entwicklung eines Kohlenbeckens am Beispiel des Ruhrkarbons. – Z. dt. geol. Ges., **124**: 149 – 165, 1 Abb.; Hannover.
- TISSOT, B. P., & WELTE, D. H. (1978): Petroleum formation and occurence. 538 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- WENDT, A. (1965): Der Finefrau-Sandstein. Sedimentation und Epirogenese im Ruhrkarbon. – Forsch.-Ber. Nordrh.-Westf., **1396**: 48 S., 15 Abb., 10 Fototaf., Anl.; Köln, Opladen.

Eingang des Manuskriptes: 28. 5. 1984

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...

The white arrows on the photographs are 1 cm in length and show downward (except plate 6, fig. 5b). The shortings in parenthesis (i.e. B1) correspond to structure types explained on table 3 (p. 198).

Plate 1

- Fig. 1 Slightly coloured laminated org. C rich claystone with a radiate pyrite concretion (B2). The lighter laminae are rich in pyrite and pyritized fossil remains, the darker ones show an internal parallel texture (B1). (niveau of Finefrau-Nebenbank seam, Upper Witten beds; NW-flank of the Auguste-Victoria anticline; General Blumenthal coal-mine, BAG Lippe)
- Fig. 2 Bottom (c): schlieric medium siltstone poor in org. C with isolated carbonaceous plant remains (C4); mid (b): parallel-textured carbonaceous-claystone with sideritic laminae (B1); top (a): composed of reddish brown sideritic clay layers with intensive bioturbation and dark laminated claystone with organic matter (B3/C3) (0,3 m below Grimberg 6 seam, Lower Essen beds; surface core boring Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 3 Schlieric, org. C rich (between 3 and 10% org. C) claystone to medium siltstone with coal bands and flakes (A2) (shale incorporated in Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 181, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Fig. 4 Clayey org. C poor siltstone (less than 1 % org. C) with continuous and flasery coal bands consisting of many thin filaments (A2) (outfingering part of Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; between subsurface core boring 173 and 177, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen, ELSING 1983)
- Fig. 5 Evenly laminated org. C poor silty claystone, in the upper part intensely bioturbated and schlieric (C4), in the lower part with thin org. C rich laminae, partly sideritic and faintly bioturbated (Bochum beds, unkown origin; material of CASSHYAP 1975 a, 1975 b)
- Fig. 6 Thin section of an evenly laminated clayey siltstone (C2) (marine claystone above Wasserfall seam, Lower Bochum beds; Geologischer Garten Bochum; width of the photobase = 1,5 cm)

Der weiße Orientierungspfeil auf den Fotos entspricht in seiner Länge genau 1 cm und weist stets zum Liegenden (außer Taf. 6, Fig. 5b). Die Kürzel in Klammern (z. B. B1) verweisen auf Strukturtypen in Tabelle 3 (S. 198).

Tafel 1

- Fig. 1 Schwach farblich laminierter, org.-C-reicher Tonstein mit einer radialstrahligen Pyritkonkretion (B2). Die helleren Laminae sind reich an fein verteiltem Pyrit und pyritisierten Fossilresten, die dunklen Bereiche sind intern parallel texturiert (B1). (Finefrau-Nebenbank-Niveau, Obere Wittener Schichten; NW-Flanke des Auguste-Victoria-Sattels im Querschlag von der Zeche General Blumenthal nach Haltern, BAG Lippe)
- Fig. 2 Zuunterst (c) ein schlieriger, org.-C-armer, toniger Mittelsiltstein mit einzelnen kohligen Organen (C4); in der Mitte (b) parallel texturierter kohliger Tonstein mit sideritisch imprägnierten Laminae (B1); zuoberst (a) rötlichbraune, sideritische Tonsteinlagen mit starker Bioturbation und org.-C-führenden bis -reichen, z. T. unterbrochen laminierten Tonsteinen (B3/C3) (0,3 m unter Flöz Grimberg 6, Untere Essener Schichten; Kernbohrung Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 3 Schlieriger, org.-C-reicher (hier: 3 10 % org. C), mittelsiltiger Tonstein mit durchgehenden und unterbrochenen Kohlenstreifen aus einzelnen Organen (A2) (Bergelage in Flöz Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 181, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Fig. 4 Toniger, org.-C-armer Siltstein (mit weniger als 1% org. C) mit durchgehenden, z. T. aufgeflaserten Kohlenstreifen aus vielen dünnen Filamenten (A2) (Vertaubungsbereich des Flözes Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; zwischen Untertagebohrung 173 und 177, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Fig. 5 Eben laminierter, org.-C-armer, siltiger Tonstein, in der oberen Hälfte stark durchwühlt bzw. schlierig ausgebildet (C4), unten mit dünnen org.-C-reichen Laminae, z. T. sideritisch imprägniert und schwach durchwühlt (C2) (Bochumer Schichten, Herkunft unbekannt; Material CASSHYAP 1975a, 1975b)
- Fig. 6 Dünnschliffoto eines eben laminierten, tonigen Siltsteins (C2) (mariner Tonstein über Flöz Wasserfall, Untere Bochumer Schichten; Geologischer Garten Bochum; Bildbreite entspricht 1,5 cm)



Tafel 1
- Fig. 1 Unregelmäßig laminierter Siltstein mit z. T. sideritischen und org.-C-armen Zwischenlagen (D5). Der weiße Kreis am rechten Bildrand zeigt ein Beispiel für loop bedding, eine Dehnungsstruktur (loop = Öse).
 (3 m unter Flöz Grimberg 6, Untere Essener Schichten; Kernbohrung Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 2 In der Mitte (b) farblich laminierter, toniger Siltstein, z. T. lagig sideritisch mit dünnen org.-C-reichen Tonstein- und sehr feinen (< 0,5 mm) Grobsiltlaminae (C2); darunter (c) und darüber (a) Grobsiltanteile größer und als scharf begrenzte Laminae und Linsen eingeschaltet (D6), die von *Planolites-ophthalmoides*-Spuren durchzogen werden (vermutl. aus dem marinen Wasserfall-Niveau, Untere Bochumer Schichten; Kernbohrung 546 Universitätsstraße, Bochum)
- Fig. 3 Dünnschliffoto eines laminierten, tonigen Grobsiltsteins (D3) mit interner Gradierung, die von unterschiedlichen Mengen kohligen Detritus hervorgerufen wird (24 m über Flöz Finefrau-Nebenbank, Obere Wittener Schichten; Steinbruch Klosterbusch, Bochum; Bildbreite entspricht 1,3 cm)
- Fig. 4 Durchgehend laminierter, feinsandiger Grobsiltstein (D3); Laminae nach oben scharf begrenzt, intern aber schwach gradiert (ähnlich Fig. 3). Auf 5 20 mm dicke Laminit-Abschnitte folgen jeweils schmale, laminierte, siltige Feinsandsteinlagen. Im oberen Teil des Fotos zeigen die Laminae interne Zerstaffelung und loop-ähnliche Strukturen.
 (6 m über Flöz Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 173, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen)
- Fig. 5 Unregelmäßig laminierter, feinsandiger Grobsiltstein (D5). Die Laminaedichten variieren abschnittsweise. Die primären Strukturen sind vermutlich bald nach Ablagerung stark zerstaffelt worden.
 (8 m über Flöz Dickebank, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 173, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen)
- Fig. 6 Durchgehend laminierter, feinsandiger Grobsiltstein (D3). Die Laminae sind beiderseits scharf begrenzt.
 (13 m unter Flöz Sarnsbank 2, Obere Sprockhöveler Schichten; Kernbohrung 10d, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 7 Durchgehend linsig laminierter Grobsiltstein (D7); scharf abgesetzte Grobsiltlinsen und -laminae (hell), eingebettet in tonigen Grobsiltstein (Ruhrkarbon; Herkunft unbekannt)

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...



Tafel 2

Plate 2

- Fig. 1 Irregularly laminated siltstone, partly sideritic and org. C poor (D5). The white circle shows an example of loop bedding, an extension structure. (3 m below Grimberg 6 seam, Lower Essen beds; surface core boring Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 2 In the mid (b) laminated clayey siltstone, partly sideritic with thin org. C rich claystone and very thin (<0,5 mm) coarse silt laminae (C2); beneath (c) and above (a) the coarse silt content is greater, sharp contrasted laminae and lenses are embedded, disturbed by *Planolites ophthalmoides* burrows (marine niveau of Wasserfall seam, Lower Bochum beds; surface core boring 546, Universitätsstraße, Bochum)
- Fig. 3 Thin section of a laminated clayey coarse siltstone (D3). The internal gradation is caused by changing quantities of carbonaceous detritus. (24 m above Finefrau-Nebenbank seam, Upper Bochum beds; Klosterbusch quarry, Bochum; width of the photobase = 1,3 cm)
- Fig. 4 Coarse siltstone with fine sand laminae (D3). The laminae have sharp contacts at the top and are internally graded (similar to fig. 3). 5 20 mm sections of such laminites alternate with fine sand layers. The upper part of the photograph shows laminae with small-scale faults and loop-like structures.
 (6 m above Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 173, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen)
- Fig. 5 Coarse siltstone with irregular laminae of fine sand (D5). The density of lamination varies. The intensive small-scale faulting occured presumably shortly after sedimentation.
 (8 m above Dickebank seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 173, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen)
- Fig. 6 Continuous fine sand lamina in coarse siltstone (D3) (13 m below Sarnsbank 2 seam, Upper Sprockhövel beds; surface core boring 10d, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 7 Continuous lenticular-laminated coarse siltstone (D7); coarse-grained silt laminae and lenses (light) are contrasted against the clayey coarse siltstone background (Upper Carboniferous, Ruhr basin; unknown origin)

Plate 3

- Fig. 1 Thin laminated clayey coarse siltstone (D3) with continuous layers of thick lenses of sandy coarse siltstone (D7), wich are cross-laminated (38 m below Sarnsbank 2 seam, Lower Witten beds; surface core boring 9a, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 2 Clayey coarse siltstone with lenses and laminae of sandy coarse siltstone (b); in the upper part (a) transition to wavy lamination (E1) (Bochum beds, unknown origin; material from CASSHYAP 1975 a, 1975 b)
- Fig. 3 Climbing wavy lamination of fine sand in coarse siltstone (E1), accentuated by detrital plant remains (dark shadows). The laminae are lenticular in places. In the lowermost part of the photograph a bottomset layer is intercalated. (3 m above Gustav 2 seam, Upper Bochum beds; surface core boring Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 4 Flasery laminated fine sandstone (E2). The flasers mainly consists of detrital plant remains and sideritic clay matrix. (Bochum beds, unknown origin; CASSHYAP 1975 b: fig. 9 c)
- Fig. 5 Planar small-ripple lamination in fine sandstone (G3); in the lower part of (b) a continuous laminated clayey siltstone (D3) (6 m above Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 176, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Fig. 6 Trough-shaped small-ripple bedding (G2) with different quantities of detrital plant remains and sideritic silt-clay matrix in isolated ripple-laminae (5,5 m above Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 176, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen; ELSING 1983)

- Fig. 1 Feinlaminierter, toniger Grobsiltstein (D3) mit durchgehenden Dicklinsenlagen aus feinsandigem Grobsilt (D7), die intern schräg laminiert sind (38 m über Flöz Sarnsbank 2, Untere Wittener Schichten; Kernbohrung 9a, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 2 Toniger Grobsiltstein mit z. T. linsigen Laminae von feinsandigem Grobsilt (b); im oberen Teil (a) Übergang zu welliger Lamination (E1) (Bochumer Schichten, Herkunft unbekannt; Material CASSHYAP 1975 a, 1975 b)
- Fig. 3 Ansteigend wellig laminierter, feinsandiger Grobsiltstein (E1). Die verdriftende Anlagerung wird unter anderem durch eingestreuten Pflanzendetritus (dunkle Schattierungen) hervorgehoben. Die Laminae sind stellenweise linsig verdickt. Im unteren Teil des Fotos ist zwischen zwei Wellenzügen eine auskeilende, laminierte bottomset-Lage zu erkennen. (3 m über Flöz Gustav 2, Obere Bochumer Schichten; Kernbohrung Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 4 Mittel-bis stark flaserig laminierter, siltiger Feinsandstein (E2). Die Flasern bestehen überwiegend aus pflanzlichem Detritus und feinem Häcksel sowie sideritischer Tonmatrix. (Bochumer Schichten, Herkunft unbekannt; CASSHYAP 1975 b: Abb. 9 c)
- Fig. 5 Planare Kleinrippelschichtung in grobsiltigem Feinsandstein (G3); im unteren Teil
 (b) ein durchgehend laminierter, toniger Siltstein (D3)
 (6 m über Flöz Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 176, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Fig. 6 Bogig kleinrippelgeschichteter Feinsandstein (G2) mit unterschiedlichen Mengen an pflanzlichem Detritus und z. T. sideritischer Silt-Ton-Matrix in den einzelnen Rippellamellen (5,5 m über Flöz Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 176, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen; ELSING 1983)

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...



221

- Fig. 1 Wechsellagerung von vier einzelnen, durchgehenden Feinsandrippellagen in sideritischem, eben laminierten, tonigen Grobsiltstein (F2). Die Kontakte sind beiderseits scharf: unten erosiv, oben konkordant. Nach oben hin lösen sich die Rippeln wellig und linsig auf.
 (4 m über der Loki-Flözgruppe, Mittlere Dorstener Schichten; Kernbohrung Kusenhorst 3. BAG Lippe)
- Fig. 2 Bogig großrippelgeschichteter, mittelsandiger Feinsandstein (G2) im Geländeaufschluß (etwa 14 m unter Flöz Dünnebank, Untere Bochumer Schichten; Geologischer Garten Bochum)
- Fig. 3 Eben geschichteter Mittelsandstein (H2). Die einzelnen Sandlagen sind intern homogen. Die dünnen, dunkleren siltig-tonigen Lagen enthalten pflanzlichen Häcksel. Abgebildet sind 70 cm Bohrkern.
 (14 m unter Flöz Sarnsbank 2, Obere Sprockhöveler Schichten; Kernbohrung 10d, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 4 Untere Hälfte (c): Wellig-flaseriger, feinsandiger Mittelsandstein mit einzelnen Toneisensteingeröllen (H1); darüber (b) laminiert geschichtet und in Lagen unterschiedlich stark sideritisch imprägniert bzw. zementiert (H2); zuoberst (a) ein Toneisensteinkonglomerat mit einzelnen Ton-Siltsteingeröllen (K2) (Bochumer Schichten, Herkunft unbekannt; Material CASSHYAP 1975 a, 1975 b)
- Fig. 5 Diagonal geschichteter Mittelsandstein (I) aus laminiert geschichteten, keilförmigen Abschnitten mit wechselndem Einfallen. Diese Schichtglieder stellen große Rippelsets (> 30 cm dick) dar. Abgebildet sind insgesamt 2 m Bohrkern. (etwa 14 m unter Flöz Dünnebank, Untere Bochumer Schichten; Geologischer Garten Bochum)
- Fig. 6 Wechsellagerung von eben geschichtetem, feinkiesigen Grobsandstein mit einzelnen größeren Milchquarzgeröllen (b) und mittelkiesigen Quarzkonglomeratlagen (c, a) mit unterschiedlichen Matrixanteilen aus Grobsand und Feinkies (K3) (Finefrau-Konglomerat, Untere Wittener Schichten; Kernbohrung 6a, Hattingen/ Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...



Plate 4

- Fig. 1 Alternation of four small-ripple fine sand layers and sideritic evenly laminated clayey coarse siltstone (F2). The contacts are sharp: erosive at bottom, concordant at top, where they dissolve in flasers and wavy lamination. (4 m above Loki seam-group, Middle Dorsten beds; surface core boring Kusenhorst 3, BAG Lippe)
- Fig. 2 Trough-shaped large-ripple bedded fine sandstone (G3) in an outcrop (ca. 14 m below Dünnebank seam, Lower Bochum beds; Geologischer Garten Bochum)
- Fig. 3 Evenly bedded medium sandstone (H2). The sand layers are structureless. The thin, dark layers of silt and clay contain detrital plant remains. Length of the drill core: 70 cm.
 (14 m below Sarnsbank 2 seam, Upper Sprockhövel beds; surface core boring 10d, Hattingen/Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)
- Fig. 4 Lower part (c): wavy-flasery medium sandstone and isolated clay iron-stone pebbles (H1); above (b) evenly laminated sandstone with layers of different sideritic cementation (H2); on top (a) a clay iron-stone conglomerate with few clay-siltstone pebbles (K2).

(Bochum beds, unknown origin; material from CASSHYAP 1975 a, 1975 b)

- Fig. 5 Cross stratified medium sandstone (I) composed of laminated, wedge-shaped units with changing dip, which represent sets of mega-ripples > 30 cm in thickness; length of the drill core: 2 m. (ca. 14 m below Dünnebank seam, Lower Bochum beds; Geologischer Garten Bochum)
- Fig. 6 Interlayering of evenly bedded coarse sandstone with isolated fine grained milky quartz pebbles (b) and medium-grained quartz conglomerate (K3) with a matrix of coarse sand and fine gravel (c, a) (Finefrau-conglomerate, Lower Bochum beds; surface core boring 6a, Hattingen/ Ruhr, Ruhrtalsperrenverein)

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...

Plate 5

- Fig. 1a, 1b Pillow-like fine sand bodies named ball and pillow structures. They develop when small-ripples or laminated fine sand layers sink into the underlaying water saturated mud. (25 m above Katharina/Hermann 1 seam, Lower Essen beds; Ewald coal-mine, BAG Lippe)
- Fig. 2 Synsedimentary fault in a core composed of evenly laminated fine sandstone (light) and clayey siltstone (in the lower part of the photograph sideritic), possibly caused by sliding from the left to the right (30 m above Katharina seam, Lower Essen beds; surface core boring Overberge 1, BAG Westfalen)
- Fig. 3a, 3b Three slumping units with intercalated laminated sequences (L) within a continuous drill core of one meter length (7 m above Grimberg 4 seam, Lower Essen beds; surface core boring Overberge 1, BAG Westfalen)

- Abb. 1a, 1b Kissenartig abgeschnürte Feinsandkörper, die als ball-and-pillow-Strukturen bezeichnet werden. Diese entstehen, wenn Kleinrippeln oder einzelne laminierte Feinsandlagen in unterlagernden, wasserreichen Schlick einsinken. (25 m über Flöz Katharina/Hermann 1, Untere Essener Schichten; Zeche Ewald, BAG Lippe)
- Abb. 2 Synsedimentäre Bruchbildung in einem Gestein aus eben laminiert geschichtetem Feinsandstein (hell) und tonigem Siltstein (in der unteren Bildhälfte sideritisch imprägniert), vermutlich infolge einer von links nach rechts gerichteten Gleitbewegung
 (30 m über Flöz Katharina, Untere Essener Schichten; Kernbohrung Overberge 1, BAG (Westfalen)
- Abb. 3a, 3b Drei Rutschkörper (slumpings) mit zwischengelagerten, horizontal laminierten Bereichen (L) innerhalb eines zuammenhängenden Profilmeters (7 m unter Flöz Grimberg 4, Untere Essener Schichten; Kernbohrung Overberge 1, BAG Westfalen)



- Abb. 1 Stark durchwurzelter, grobsiltiger Feinsandstein mit kohlig erhaltenen Wurzelfäden (Ruhrkarbon, Herkunft unbekannt)
- Abb. 2 Stark durchwurzelter, toniger Mittelsiltstein, in dem die Wurzelfäden zum Großteil nicht mehr kohlig erhalten sind. Die Farbe des Anschliffs ist grünlichgrau mit vielen hellen Flecken. Die zahlreichen feinen, schwarzen Punkte sind einzelne Sideritsphäroide.
 (2 m unter Flöz Karoline/Angelika, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 175, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen; ELSING 1983)
- Abb. 3 Stark durchwurzelter, mittelsiltiger Tonstein mit kohlig erhaltenen Wurzelfäden, an denen sich gekröseartiger und z. T. sphäroidischer Siderit bildete (unter dem Pfeil und in der Bildmitte); unten rechts ein quergeschnittener Stigmarienast
 (0,8 m unter Flöz Dickebank, Untere Bochumer Schichten; Untertagebohrung 175, Zeche Haus Aden, BAG Westfalen)
- Abb. 4 Mittel- bis stark durchwühlter, schwach flaseriger, siltiger Feinsandstein (hell) in linsig laminiertem, feinsandigen Grobsiltstein (dunkel). Verursacher der Grabgänge sind in diesem Fall höchstwahrscheinlich Muscheln (Kriechspuren und einzelne erhaltene Schalenabdrücke auf den Schichtoberflächen). (Untere Sprockhöveler Schichten; Böschung an der Straße Witten – Wetter/ Ruhr)
- Abb. 5a, 5b Spuren von *?Planolites ophthalmoides* JESSEN als kreisförmige (5b) und elliptische (5a) Querschnitte (z. B. in den weißen Kreisen) sowie einige spreitenartige Gänge (5a). Sie durchziehen unregelmäßig laminierten, tonigen, z. T. sideritisch imprägnierten (helle Bereiche) Mittelsiltstein und wellig-flaserig laminierten Grobsiltstein (Bildmitte von 5a), wo sie von einem erosiven Kontakt geschnitten werden. Auf der Erosionsfläche liegt ein laminiert geschichteter Mittelsandstein, in dem in einer Lage grober, kohliger Pflanzenhäcksel angereichert ist.

(direkt über Flöz Hagen 4, Untere Dorstener Schichten; Kernbohrung Venn 1, BAG Lippe)

Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine...



Tafel 6

Plate 6

- Fig. 1 Intensely rooted silty fine sandstone (carbonaceous roots) (Upper Carboniferous, unknown origin)
- Fig. 2 Intensely rooted medium siltstone with mostly non-carbonaceous roots. The colour of the section is olive gray with light spots. The black points are siderite spheroides. (2 m below Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core

(2 m below Karoline/Angelika seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 175, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen; ELSING 1983)

- Fig. 3 Intensely rooted claystone and medium siltstone. Vermicular and partly spheroidal siderite has been developed along the carbonaceous roots (below the white arrow and in the mid of the photograph). In the lower right a stem of a stigmarian root is cross-sectioned. (0,8 m below Dickebank seam, Lower Bochum beds; subsurface core boring 175, Haus Aden coal-mine, BAG Westfalen)
- Fig. 4 Bioturbated flasery fine sandstone (light) alternating with lenticular laminated coarse siltstone (dark). The burrows may be caused by pelecypods (some traces and isolated impressions of valves are preserved on the bed surface). (Lower Sprockhövel beds; slope along the road Witten to Wetter/Ruhr)

Fig. 5a, 5b Trases of *Planolites ophthalmoides* JESSEN as circular (5b) and elliptical crosssections (5a) (i.e. in the white circles) and some spreiten-like burrows. They penetrate irregularly laminated (partly sideritic = light areas) medium siltstone and wavy/flasery laminated coarse-grained siltstone (in the mid of 5a). Upon the erosive surface follows a wavy laminated medium sandstone with a layer of detrital carbonaceous matter.

(top layer of Hagen 4 seam, Lower Dorsten beds; surface core boring Venn 1, BAG Lippe)

Das Erscheinungsbild von Kohlenflözen in geophysikalischen Bohrlochmessungen

32

Von DIETER SCHMITZ*

Density log, gamma-ray log, acoustic log, resistivity log, dipmeter log, coal seam, Carboniferous, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Die übertägigen Explorationsbohrungen auf Steinkohle im Ruhrgebiet werden routinemäßig geophysikalisch gemessen. Sie dienen der Ergänzung der Kernverluste, die hauptsächlich in Flözzonen auftreten, sowie zur stratigraphischen Korrelation benachbarter Bohrungen. Das Standardmeßprogramm setzt sich aus Dichte-, Gammastrahlungs-, Schallaufzeit- und Widerstandsmessung einschließlich der Dipmetermessung zusammen. Besonders wichtig ist bei Flözmächtigkeits- und Strukturbestimmungen die Beachtung des Kaliberlogs.

Die verschiedenen Meßverfahren zeigen unterschiedliches Auflösungsvermögen bei der Aufzeichnung von Kohlenbänken. In den Meßkurven der Dipmetermessung werden schon 5 cm Kohle registriert, für die Wiedergabe in einer Gammastrahlungsmessung muß ein Flöz 20 cm mächtig sein. Bergelagen zwischen Kohlenbänken sind über die Dichte- und Widerstandsmessung gut auswertbar. Bei Wechsellagerungen von geringmächtigen Berge-Kohlenlagen (< 10 cm) ist eine Strukturbestimmung sehr schwierig, aus den Meßdaten der Dichte- und Gammastrahlungsmessung können die Anteile der Komponenten abgeschätzt werden. Ebenfalls nur abschätzbar sind die Aschegehalte der Kohle. Die verhältnismäßig sicherste Aussage läßt die Messung der Gammastrahlung zu.

[The appearance of coal seams in geophysical logs]

A b s t r a c t: Geophysical logs are recorded in all exploration wells for coal, drilled from surface, in the Ruhr area. These measurements provide the only information on lithology in intervals without core recovery and facilitate the stratigraphic crosscorrelation between adjacent boreholes.

The standard geophysical logging program consists of density-, natural gamma-ray-, acoustic-, resistivity- and dipmeter logs. The caliper log is essential for the estimation of the thickness and texture of the coal measure.

The vertical resolution of the different logging systems varies widely: with the dipmeter log coal streaks of 5 cm thickness are recognized, while at least 20 cm of coal strata is required for a distinct response on the gamma-ray log. Layers of dirt within the coal measure are best detected by the density- and resistivity logs. In coal measures with interbedded layers of dirt with thickness of less than 10 cm the evaluation of the coal texture through logs becomes questionable. With the help of the density- and gamma-ray log an estimation of the volume-tric coal-dirt distribution is possible. Ash content can only be estimated too. The most probable answer is given by the gamma-ray log.

[La manifestation de couches de charbon aux diagraphies]

R é s u m é : Les sondages d'exploration à partir de la surface, effectués dans la Ruhr pour la recherche de la houille, sont régulièrement évalués par des diagraphies.

Ces mesures sont effectuées, d'une part, afin d'obtenir un maximum d'information sur la lithologie dans des zônes où un carottage mécanique ne donne pas des résultats satisfai-

^{*} Anschrift des Autors: Dipl.-Geol. Dr. D. SCHMITZ, Westfälische Berggewerkschaftskasse, Herner Straße 45, D-4630 Bochum 1

sants (pertes de veines de charbon), d'autre part, pour faciliter une corrélation stratigraphique entre gisements voisins. Un programme typique de mesures comprend plusieurs diagraphies: Rayons gamma naturels, densité, acoustique, résistivité ainsi que pendagemétrie. Un soin particulier doit être porté à la lecture du diamètreur pour l'interprétation de l'épaisseur et de la texture de la veine.

Les diverses diagraphies montrent différentes résolutions dans la zône de charbon. La diagraphie de pendagemétrie est capable de distinguer une couche de 5 cm d'épaisseur tandis que la diagraphie de rayons gamma naturels nécessite une épaisseur d'au moins 20 cm pour différencier la veine. Les mesures de densité et de résistivité permettent de mettre en évidence, de manière précise, la présence d'impuretés dans la couche de charbon.

La détermination de la texture de la veine dans des zônes où les couches de charbon alternent avec des couches d'impuretés est particulièrement difficile lorsque les différentes zônes ont une épaisseur inférieure à 10 cm. Les diagraphies de densité et de rayons gamma permettent une estimation de chaque composant lorsqu'une telle situation se présente. De même, l'on ne peut qu'estimer la teneur en cendres du charbon. Dans ce domaine, c'est encore la diagraphie des rayons gamma naturels qui donne les meilleurs résultats.

1. Einleitung

Schon zu Anfang der 50er Jahre sind übertägige Explorations- und Schachtvorbohrungen ins Steinkohlengebirge des Ruhrreviers geophysikalisch gemessen worden (R. TEICHMÜLLER & WOLFF 1953). Die nach heutigen Begriffen altertümlichen Widerstandsmessungen, wie lange und kurze Normale oder Microlog, und ein sehr unempfindliches Gamma-Ray haben nach der Beurteilung der damaligen Bearbeiter Ergebnisse geliefert, die sich durchaus mit den Beobachtungen an Kernen vergleichen ließen (SCHAUB & JESSEN 1955) und auswertbar waren.

FÜLÖP (1967) konnte bei seinen Untersuchungen an Bohrungen im Bereich der heutigen Bergbau AG Niederrhein auf wesentlich verbesserte und neu eingeführte Meßmethoden, zum Beispiel die Dichte-, Schallaufzeit- oder fokussierte Widerstandsmessung, zurückgreifen. Er hat die physikalischen Grundlagen der verschiedenen Meßsysteme sehr detailliert beschrieben, die Möglichkeiten und Grenzen der Methoden aufgezeigt und praktikable Flözmächtigkeits- und -strukturbestimmungen vorgestellt. Weiterhin hat er qualitative Berechnungen von Kohlen- und Aschegehalt in Flözen aus den Meßdaten der verschiedenen Meßverfahren entwickelt und sie mit den ihm zur Verfügung stehenden Logdaten statistisch abgesichert. Dabei erzielte er auch gute Übereinstimmung mit Werten, die an Kernen gemessen waren.

Die ausgezeichnete Möglichkeit, Bohraufschlüsse in steinkohlenführenden Schichten des Oberkarbons mit Hilfe geophysikalischer Bohrlochmessungen auch über weitere Entfernungen hin stratigraphisch miteinander zu korrelieren, stellte SCHUSTER (1968, 1971, 1984) dar. Zu Beginn der Explorationsphase in den Reservefeldern des Ruhrreviers bestand diese Methode ihre Bewährungsprobe (RACK & FIEBIG & SCHUSTER 1974) und gehört heute zur Interpretationsroutine.

Die zeitweise angewandte Technik, Karbon-Strecken weitgehend zu meißeln und nur in interessanten Zonen zu kernen, hat sich hingegen nicht bewährt. Vor allem in wenig bekannten Feldesteilen lassen geophysikalische Messungen allein nicht immer eine feinstratigraphische Gliederung, wie sie für die Lagerstättenplanung nötig ist, zu. Dies tritt ein, wenn durch starke fazielle Änderung die Vergleichbarkeit mit bekannten Profilen verloren geht oder wenn sich tektonische Störungen in kurzen Abständen häufen. In diesen Fällen bieten der paläontologische und tektonische Kerninhalt verbunden mit der Kohlenanalyse zusammen mit den geophysikalischen Messungen eine optimale Grundlage der Deutung.

2. Das Standardmeßprogramm

Neben der stratigraphischen Identifikation der Flöze dienen die geophysikalischen Messungen vornehmlich der Interpretation von Verlustzonen in Kernstrecken. Kernverluste fallen meist unmittelbar in Flözbereichen an. Daher mußte an die geophysikalischen Verfahren die Anforderung gestellt werden, Kohle, Berge und Nebengestein deutlich unterscheidbar wiederzugeben und eine hohe Auflösung zur genauen Flözmächtigkeitsbestimmung zu erbringen.

Mit der zunehmenden Anzahl von Messungen in den übertägigen Aufschlußbohrungen und der damit verbundenen steigenden Erfahrung konnten aus dem breiten Spektrum des Angebots vier Meßmethoden ausgewählt werden, die die genannten Bedingungen am ehesten erfüllten. Bis auf die Neutronmessung, die für den Einsatz in den Karbon-Strecken als nicht tauglich erkannt wurde, bestätigt diese Auswahl die Vorschläge von FÜLÖP (1967). Die Bohrlochmessungen, die heute als Standardmeßprogramm gefahren werden, sind die Dichte-, Schallaufzeit-, Gammastrahlungs- und Widerstandsmessung. Die technische Entwicklung sowie eine Anpassung der Sondensysteme an die Verhältnisse in Bohrlöchern auf Steinkohle haben zu teilweise umfangreichen Änderungen der ursprünglich für Messungen in Erdöl- und Erdgasbohrungen konzipierten Geräte geführt. Ein bedeutender Schritt war die Umstellung von der fotooptischen zur digitalen Aufnahmetechnik im Jahre 1980.

Die Meßprinzipien der verschiedenen Verfahren sind bei FÜLÖP (1967), bei EL MASRI (1977) und in den Publikationen der Service-Firmen BRITISH PLA-STER BOARD (1981), DRESSER-ATLAS Division (1975) und SCHLUMBER-GER (1972) ausführlich beschrieben.

Eine spezielle Modifikation der Widerstandsmessung, das Dipmeter oder Diplog zur Bestimmung des Streichens und Einfallens der Schichten (ALLAUD & RINGOT 1969), gehört ebenfalls zum Standardmeßprogramm. Die Widerstandsaufzeichnungen, die die Basis für die Berechnung der Lagerungsverhältnisse bilden, eignen sich hervorragend für Flözmächtigkeitsbestimmungen, mit Einschränkung auch für die Strukturbestimmungen.

Besonderer Erwähnung bedarf noch ein komplementäres Meßverfahren, das des Kalibers. Mit diesem Log wird die Geometrie des Bohrlochs aufgezeichnet. Es ist notwendig für die Bewertung der Dichte-, Schallaufzeit- und Widerstandsmessung in Flözzonen. Gerade hier sind die Bohrlöcher sehr oft und sehr stark ausgekesselt. Davon betroffen sind vor allem die weichen Schluff- und Tonsteinlagen, die im Bergbau allgemein als Schieferton bezeichnet werden, im Hangenden und Liegenden von Kohlenbänken oder Bergelagen zwischen den Kohlenbänken. Auskesselungen, selbst solche mit geringer Tiefe, stören die Meßkurven so erheblich, daß Deutungen ohne entsprechende Berücksichtigung des Kaliberbildes unvermeidlich zu Fehlinterpretationen führen (SCHMITZ 1983). Allein die Messung der natürlichen Gammastrahlung wird von Auskesselungen wenig beeinflußt.

Alle Flözzonen, die nachfolgend als Abbildungen ausgewählt wurden, zeigen in den Kaliberlogs keine Auskesselungen. Daher wurde der Übersichtlichkeit halber auf ein Aufzeichnen dieser Kurven verzichtet.

3. Das Erscheinungsbild der Flöze

Da sich die Kohle in ihren mineralogisch-chemischen Eigenschaften von allen Nebengesteinstypen des Karbons unverwechselbar abhebt, wäre dies ebenfalls für die im Bohrloch meßbaren physikalischen Eigenschaften zu erwarten. Tatsächlich trifft es aber nur für zwei Meßverfahren des Standardmeßprogramms zu. Lediglich die Messungen der Dichte und der Schallaufzeit zeichnen im Vergleich zum Nebengestein kohlentypische Meßwerte auf. Andere Karbon-Gesteine weisen dagegen gleiche oder sehr ähnliche natürliche Gammastrahlung und Widerstände auf wie Kohle. Kompakte, karbonatische Sandsteinbänke oder mächtigere Toneisensteinlagen zeigen in den Meßkurven das gleiche Bild wie Kohlenflöze. Zur eindeutigen Ansprache eines Kurvenabschnitts als Flöz bedarf es also einer kohlenspezifisch reagierenden Messung.

3.1. Das Auflösungsvermögen

Um aus einer Meßkurve ein Flöz eindeutig zu erkennen, muß es eine Mindestmächtigkeit haben. Sie ist von einem zum anderen Meßverfahren unterschiedlich und reicht von ca. 5 cm bei den Widerstandskurven der Dipmetermessung bis zu etwa 20 cm bei der Messung der natürlichen Gammastrahlung. Dieses Auflösungsvermögen hängt vom Meßabstand ab, einer Strecke, über die eine physikalische Eigenschaft gemessen wird. Bei der Dichtemessung ist es der Abstand zwischen Strahlungsquelle und Zählrohr, bei der Schallaufzeit die Strecke zwischen Schallsender und Empfänger. In den Widerstandsmeßsonden bestimmt der Abstand zwischen den Meßelektroden das Auflösungsvermögen, bei der natürlichen Gammastrahlung die Länge des Kristalls.

Zur genauen Mächtigkeitsbestimmung muß die Mindestmächtigkeit eines Flözes noch größer sein, bei der Dichtemessung zum Beispiel ca. 40 cm, bei der natürlichen Gammastrahlung wenigstens 50 cm. Das bauartbedingte Auflösungsvermögen einer Sonde läßt sich an der Dichtemeßsonde demonstrie-



short space

Abb. 1 Das Auflösungsvermögen der Dichte- und Gammastrahlungsmessungen bei geringmächtigen Flözen (Teufenraster 1m)

Fig. 1 The resolution of the density- and gamma-ray-log in seams of thin thickness (depth grid 1 m)



Widerst. Dipmeter (dimensionslos)

Fig. 2 The resolution of the resistivity- and acoustic-log in seams of thin thickness (depth grid 1 m)

ren, die mit zwei Zählrohren unterschiedlichen Abstands von der Strahlungsquelle arbeitet. Die Abbildung 1 stellt Logbilder von drei geringmächtigen Flözen dar, links der Profilsäule der Kernaufnahme zwei Dichtemessungen. rechts davon die natürliche Gammastrahlung. Die Meßdaten des kurzen Meßabstands ("short space") in counts per second (cps) erreichen schon bei Kohlenmächtigkeit von 10 cm die kohlentypischen Werte, während die kompensierte Dichtekurve erst bei einer Mächtigkeit von ca. 40 cm die tatsächliche Dichte der Kohle von 1.4 g/cm³ angibt. Die sogenannte Kompensation (WAHL et al. 1964) ist eine arithmetische Operation, bei der die Zählrate des langen Meßabstands in Abhängigkeit von der Zählrate des kurzen Meßabstands korrigiert wird. Durch diesen Effekt wird die kompensierte Dichtekurve in geringmächtigen Flözen überproportional gespreizt. Bei Flözen, die mächtiger sind als der lange Meßabstand (> 40 cm), ist diese Auswirkung nicht mehr zu beobachten. Der mit der Kompensation bei wirtschaftlich nicht interessanten Flözen verbundene Nachteil kann aber in Kauf genommen werden, da die Logqualität bei ungünstigen Bohrlochverhältnissen wesentlich besser bleibt als die nicht kompensierter Messungen. Wenn Auskesselungen auftreten, sind die sehr empfindlichen Aufzeichnungen des kurzen Meßabstands kaum noch brauchbar. Die Zählraten, die dann registriert werden, lassen keine Unterscheidung von Kohle und Nebengestein mehr zu.

Die Auflösung im Gammastrahlungslog (in API-Einheiten) ist noch geringer als in der kompensierten Dichtemessung. Erst bei Flözmächtigkeiten über 30 cm bildet sich ein "peak" aus, der ab 50 cm Mächtigkeit nach der Methode der Amplitudenhalbierenden (SCOTT et al. 1961) eine verläßliche Mächtigkeitsangabe zuläßt.

Ein sehr gutes Auflösungsvermögen haben die Meßsonden des Widerstands und der Schallaufzeit. Die Meßabstände der im Standardmeßprogramm eingesetzten Geräte liegen um oder unter 30 cm. Bei idealen Bohrlochvoraussetzungen treten schon Kohlenlagen von weniger als 10 cm Mächtigkeit als er-

Abb. 2 Das Auflösungsvermögen der Widerstands- und Schallaufzeitmessungen in geringmächtigen Flözen (Teufenraster 1 m)

kennbare "peaks" hervor, Schallaufzeitsonden mit 1/2' Meßabstand bringen kohlentypische Laufzeiten von etwa 400 µs/m ab einer Mächtigkeit von 20 cm. Die dimensionslos aufgezeichneten Widerstandskurven der Dipmetermessung ermöglichen, wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist, auch im Zentimeterbereich quantitative Auswertungen.

3.2. Die Flözstrukturen

Das Auflösungsvermögen der geophysikalischen Meßsysteme wäre für geringmächtige Flöze allein weniger von Belang. Wichtig ist es für die Deutung von Flözstrukturen. Eine Vielzahl von bauwürdigen Flözen des Ruhrkarbons setzt sich aus einer Wechsellagerung von Kohlenbänken, Bergelagen und Bergen mit Kohlenstreifen zusammen. Darunter sind zahlreiche Flöze, deren Struktur infolge von Kernverlusten den Bohrlochmessungen entnommen werden muß. Verhältnismäßig einfache Strukturen sind Einbettungen von Bergelagen zwischen mächtigeren Kohlenbänken. Diese Berge werden in allen Meßkurven registriert, wenn sie mehr als 5 cm mächtig sind. Einige Beispiele sind in der Abbildung 3 wiedergegeben.

Sehr deutliche Ausschläge präsentieren die fokussierten Widerstandsmessungen LL3 und LL13. In Kohlenbänken wird ein breites Spektrum hohen Widerstands angezeigt, das sich von $100-5000 \Omega$ m erstrecken kann. In Bergelagen und Bergen mit Kohlenstreifen gehen die Widerstände zurück auf die Werte des Nebengesteins von $10-50 \Omega$ m. Lagen verwachsener Kohle lassen den Widerstand ebenfalls absinken. In gleicher Weise reagieren die Sonden aber auch auf offene Schlechtenzonen, die mit Spülung gefüllt sind. Dort muß sich die Interpretation auf die Logbilder der anderen Meßverfahren stützen. Blockartig treten Kohlenbänke aus den Meßkurven der Dipmetermessungen hervor, da die Widerstände nur bis zu einer begrenzten Höhe, jedoch weit oberhalb des Nebengesteinsniveaus ausgeschrieben werden. Bedingt durch das hohe Auflösungsvermögen hinterlassen Bergelagen tiefe, scharf begrenzte Ausschnitte, die fast zentimetergenau ausmeßbar sind. Bergelagen mit Kohlenbänken zu unterscheiden.

An den Meßkurven der Dichte sind Einschaltungen von Bergelagen an der Zunahme der Dichte im kompensierten Log beziehungsweise am Absinken der Zählrate in der "short-space-Kurve" zu erkennen. Die "peaks", besonders die der "short-space"-Kurve, sind in Bergelagen bedeutend schärfer als in Bergelagen mit Kohle, das heißt der Anstieg der Kurve ist um so flacher, je höher der Dichtekontrast ausfällt. Nach den bisherigen Erfahrungen steigt die Dichte um ca. 0,3 g/cm³ an, wenn eine Bergelage von 10 cm Mächtigkeit auftritt. Anstiege um 0,6 g/cm³ können Bergelagen von etwa 20 cm zugeordnet werden. Bei Bergelagen mit Kohlenstreifen liegen die genannten Beträge um 30 - 50% niedriger. Diese Werte gelten nur, wenn die liegende Kohlenbank mächtig genug ist, um die kohlenspezifische Dichte von 1,4 g/cm³ zu erreichen.

Die Zählraten der "short-space"-Kurve gehen in Bergelagen ganz selten auf Werte in der Größenordnung des Nebengesteins zurück, die sie eigentlich von ihrer mineralogischen Zusammensetzung her erreichen müßten. Dies geschieht auch nicht, wenn ihre Mächtigkeit größer ist als der Meßabstand. Eine Erklärung hierfür kann sein, daß dieser Gesteinstyp ebenso wie Wurzelböden



Abb. 3 Die Aufzeichnung von Bergelagen zwischen Kohlenbänken in den Dichte-, Gammastrahlungs- und Widerstandsmessungen (Teufenraster 1 m)

und sandfreie Schiefertone im Hangenden von Flözen aus der Spülung Wasser aufnimmt. Durch den tagelangen, mitunter wochenlangen Kontakt mit der Spülung können diese Gesteine, die über 70% Tonminerale enthalten, aufweichen. Weiterhin bewirkt die unter hohem Druck in einem engen Ringraum zirkulierende Spülung eine Erosion, die letztlich zu den immer wieder zu beobachtenden Auskesselungen führt.

Die gleiche Ursache dürfte zugrunde liegen, wenn Messungen der Schalllaufzeit (Sonic) die Bergelagen nicht mit den gesteinstypischen Laufzeiten aufzeichnen ($< 300 \,\mu$ s/m), sondern viel häufiger mit den kohlentypischen um 400 μ s/m. Bergelagen oder Bergelagen mit Kohlenstreifen werden dann nicht einmal angedeutet. Nicht selten kommt es vor, daß Bergelagen, wie in Abbildung 4 dargestellt, Laufzeiten erreichen, die weit über die der Kohle hinausgehen. In Verbindung mit der Anzeige anderer Meßverfahren ist dieser "peak" als

Fig. 3 Layers of dirt within coal beds in the density-, gamma-ray- and resistivity-log (depth grid 1 m)

Indiz für eine Bergelage zu werten. Im Vergleich zu den Dichtelogs sind die Deutungsmöglichkeiten von Bergelagen, die von Kohlenbänken eingeschlossen sind, in den Messungen der Schallaufzeit bei weitem unsicherer.

Die Messung der natürlichen Gammastrahlung läßt wegen des relativ geringen Auflösungsvermögens keine scharfgezeichneten "peaks" bei Bergelagen zwischen Kohlenbänken erwarten. Die Steigungen der Kurvenäste von niedriger Strahlung in den Kohlen zu höherer Strahlung in den Bergen sind stets steiler als bei allen anderen Messungen. Bergelagen unter 10 cm Mächtigkeit sind an einer Ausbauchung der Kurve in Richtung zu höherer Strahlung um 20-30 API-Einheiten zu erkennen. Bei 15 cm Berge zwischen aschearmer, im Sinne tonmineralisch wenig verunreinigter Kohle kann erfahrungsgemäß ein Anstieg von ca. 60 API-Einheiten verzeichnet werden. Bei 20 cm Bergemächtigkeit steigt die Strahlung um etwa 80 API-Einheiten. In Bergelagen mit Kohlenstreifen sind die Beträge etwas geringer (vgl. Abb. 3 u. 4).

Mächtigkeitsbestimmungen nach der Methode der Amplitudenhalbierenden (SCOTT et al. 1961) fallen im Vergleich zum Kernbefund bei Bergelagen unter 30 cm Mächtigkeit immer zu hoch aus. Erst Bergelagen, die mächtiger sind als der Meßabstand (sphere of sensitivity) – je nach Sondensystem 30-45 cm – lassen sich nach dieser Methode hinreichend genau festlegen.

Die höchsten natürlichen Gammastrahlungen, die in Gesteinen des Ruhrkarbons gemessen werden, stammen aus Kaolin-Kohlentonsteinen der unteren Dorstener Schichten (Flöze Erda, Hagen 4, Hagen 1). Hohe Anteile an Thorium- und Uranverbindungen bewirken Anstiege der Gammastrahlung bis auf 400 API-Einheiten. Ohne Kenntnis dieser Tatsache ergäben Mächtigkeitsbestimmungen nach der obigen Methode mehr als 50 cm; die Kohlentonsteine sind in Wirklichkeit jedoch nur 10–15 cm mächtig.

Bergelagen mit Kohlenstreifen setzen sich definitionsgemäß aus Lagen mit weniger als 1 cm Mächtigkeit von Berge und Kohle zusammen,



Abb. 4 Die Aufzeichnung von Bergelagen zwischen Kohlenbänken und zwischen Kohle und Nebengestein (Teufenraster 1 m)



Abb. 5 Wechsellagerungen von Berge und Kohle in den Dichte-, Gammastrahlungs- und Widerstandsmessungen (Teufenraster 1 m)

Fig. 5 Alternating beds of coal and dirt in the density-, gamma-ray- and resistivity-log (depth grid 1 m)

wobei der Bergeanteil überwiegt. Sie werden selten mächtiger als 30 cm. Im Übergang von Kohlenbänken zu Hangendschiefern oder von Wurzelböden zu Kohlenbänken sind sie in den Logbildern nur schwer zu erkennen und noch schwerer quantitativ auszuwerten. Abgesehen von den Widerstandskurven der Dipmetermessung, in denen sie wie Kohlenbänke erscheinen, bildet keine andere Messung einen deutlichen "peak" aus. Bergelagen mit Kohlenstreifen sind allein an der Zunahme der Steigung oder flexur- oder treppenartigen Absätzen der Kurvenäste zu erkennen, wie aus den Abbildungen 4 (unterer Teil des Flözes) oder 3 a und 5 (oberer Teil des Flözes) zu ersehen ist.

Bei den kompensierten Dichtelogs treten diese Kurvenformen zwischen 1,75 und 2,25 g/cm³ auf, in den Messungen der Schallaufzeit bei 280–380 μ s/m, in den Gammastrahlungsmeßkurven zwischen 60 und 120 API-Einheiten. In den fokussierten Widerstandsmessungen sind die Logbilder von Bergelagen mit Kohlenstreifen kaum von denen der tonigen Nebengesteinstypen zu trennen.

Wechsellagerungen geringmächtiger Kohlen- und Bergelagen mit Kohlenstreifen oder Bergelagen sind in den "short-space"-Kurven der Dichtemessung sowie in den Widerstandskurven der Dipmetermessung unterscheidbar und bei guten Bohrlochbedingungen ausmeßbar, wenn sie einzeln mehr als 10 cm mächtig sind. Die kompensierte Dichtemessung zeigt in größeren Abschnitten mit Wechsellagerung Dichten von 1,6 – 1,8 g/cm³, falls der Anteil an Kohle die Berge überwiegt. Sind die dünnen Kohlenbänke nicht zu aschereich (vgl. Abb. 3 a und 6, mittl. Flözteil), bleibt die Meßkurve der natürlichen Gammastrahlung unter 80 API-Einheiten. Enthalten die Abschnitte mehr Berge als Kohle, dann liegt die Dichte allgemein über 1,8 g/cm³ und die natürliche Gammastrahlung über 80 API-Einheiten. In Flözzonen dieser Art gibt die Messung der Schallaufzeit nur ein undifferenziertes Bild mit kohlentypischen Laufzeiten wieder.



- Abb. 6 Aufzeichnungen der Dichte- und Gammastrahlungsmessungen im Vergleich zu Aschegehalten von Kohlenbänken (Teufenraster 1 m)
- Fig. 6 Results of the density and gamma-ray-logs compared to the ashcontent of coal beds (depth grid 1 m)

In der Praxis ist es nur selten möglich, solche Zonen exakt aufzuschlüsseln. Nach den Indikationen der Dichte- und Gammastrahlungsmessung wird ein Kernverlust zusammenfassend als Berge mit Kohle oder Kohle mit Bergen interpretiert.

Auf der Basis theoretischer Modelle und empirischer Auswertungsverfahren hat FÜLÖP (1967) Gleichungen entwickelt, um aus den Meßdaten der verschiedenen Meßmethoden Aschegehalte von Kohlenflözen zu berechnen. Er beschreibt gute Übereinstimmung der Ergebnisse von Bohrlochmessungen im Vergleich zu Laboruntersuchungen an Kernen.

EL MASRI (1977) hat die Gleichungen von FÜLÖP (1967) aufgegriffen und mit etlichen Beispielen aus Logdaten von Explorationsbohrungen versucht, die Aschegehalte der Flöze zu ermitteln. Es ergaben sich dabei keinerlei Übereinstimmungen mit Werten von Kernanalysen, so daß diesen Berechnungsmethoden keine allgemeine Gültigkeit bescheinigt werden konnte. Dies entspricht auch eigenen Erfahrungen. Ähnlich verhält es sich mit den von REEVES (1971) vorgeschlagenen Bestimmungsmethoden aus den Gammastrahlungsund Dichtelogs. Zahlreiche Anwendungsversuche haben ergeben, daß sie ebenfalls nicht für Bestimmungen des Aschegehaltes in Flözen des Ruhrkarbons geeignet sind.

Es geht aber aus der Beobachtung von Hunderten von Flözen hervor, daß die Messung der natürlichen Gammastrahlung zumindest grob qualitative Aussagen über Aschegehalte zuläßt. Stellt man dem Anteil eines Flözes, der in der Dichtemessung mit Werten unter 1,5 g/cm³ aufgezeichnet ist, teufengleich die Werte der Gammastrahlung entgegen, dann ist das Flöz aschearm, wenn die Strahlung bis unter 20 API-Einheiten abnimmt. Der Aschegehalt der Feinkohle liegt bei diesen Flözen ziemlich sicher unter 3% (Abb. 6, obere Kohlenbank). Bei aschereichen Flözen, die nach Analyse mehr als 10% Asche in der Feinkohle aufweisen, geht die Gammastrahlung nie unter 60 API-Einheiten zurück. Die Dichte kann dabei durchaus unter 1,5 g/cm³ liegen.

Auffällig hohe Dichten von 1,6 g/cm³ und darüber lassen bei gleichzeitig niedriger Gammastrahlung auf hohen Pyritgehalt, karbonatische Imprägnationen oder karbonatische Schlechtenfüllungen schließen.

Eine Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Rohstoffdaten und kohlenpetrographischer Ausbildung von Flözen in Relation zu geophysikalischen Meßwerten ist unter anderem Gegenstand eines Forschungsvorhabens, das zur Zeit am Institut für Geophysik der Westfälischen Berggewerkschaftskasse unter eigener Mitwirkung durchgeführt wird.

4. Schriftenverzeichnis

ALLAUD, L. A., & RINGOT, J. (1969): The High Resolution Dipmeter Tool. - The Log Anal., 10 (3): 3-111; Los Angeles.

BRITISH PLASTER BOARD (1981): The Logging System. - 190 S., 49 Abb.; Dortmund. -[Unveröff.]

- DRESSER-ATLAS Division (1975): Log Interpretation Fundamentals. Houston/Texas.
- EL-MASRI, Z. (1977): Untersuchungen über geologische Aussagemöglichkeiten von Bohrloch-Logs für den Steinkohlenbergbau. – Diss. Techn. Univ. Clausthal: 161 S., 48 Abb., 19 Tab.; Clausthal-Zellerfeld.
- FÜLÖP, A. (1967): Die quantitative Auswertung geophysikalischer Bohrlochmessungen in Untersuchungsbohrungen für Kohle. – Diss. Techn. Univ. Clausthal: 112 S.; Clausthal-Zellerfeld.
- RACK, P., & FIEBIG, H., & SCHUSTER, A. (1974): Lagerstättenerkundung durch Seismik und Bohrungen unter Tage. – Glückauf, **110**: 319–324, 6 Abb.; Essen.
- REEVES, D. R. (1971): In-situ Analysis of Coal by Borehole Logging Techniques. Canad. Min. and metallurg. Bull., **10** (706): 67-75, 10 Abb.; Montreal.

SCHAUB, H., & JESSEN, W. (1955): Ein praktischer Fall guter Übereinstimmung von geologischer Feinaufnahme mit elektrischen Bohrlochmessungen im Steinkohlengebirge. – Geol. Jb., 71: 381–384, 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.

SCHLUMBERGER Limited (1972): Log Interpretations. I: Principles. - 109 S.; New York.

SCHMITZ, D. (1983): Die Interpretation der verschiedenen Gesteinstypen des Oberkarbons (Westfal A – C) aus Kernbohrungen des Ruhrreviers nach geophysikalischen Bohrlochmessungen. – Diss. Techn. Univ. Hannover: 147 S., 33 Abb., 7 Tab.; Hannover.

- SCHUSTER, A. (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. Erdöl-Erdgas-Z., 84 (12): 439-457; Wien.
- (1971): Die Westfal-Profile der Bohrungen Bockraden 1 bis 5 bei Ibbenbüren und ihre Parallelisierung mit dem Bohrprofil Norddeutschland 8 und dem jüngsten Ruhrkarbon nach Bohrlochmessungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 233–256, 5 Abb.; Krefeld.
- (1984), unter Mitarbeit von LÖSCH, J.: Stratigraphische Einstufung des nordwestdeutschen Oberkarbons nach Bohrlochmessungen. – In: HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J.: Die Verbreitung der Kohlenflöze in Nordwestdeutschland und ihre stratigraphische Einstufung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 39 – 88, 16 Abb.; Krefeld.

SCOTT, J. H., & DODD, P. H., & DROULLARD, R. F., & MUDRA, P. J. (1961): Quantitative Interpretation of Gamma-Ray Logs. – Geophysics, 26 (2): 182 – 191, 11 Abb.; Menasha/Wisc.

- TEICHMÜLLER, R., & WOLFF, W. (1953): Der geophysikalische Nachweis von Kohleflözen in Tiefbohrungen. – Glückauf, 89 78 – 82, 3 Abb.; Essen.
- WAHL, & TITTMANN, & JOHNSTONE, & ALGER (1964): The Dual Spacing Formation Density Log. – J. Petr. Techn., **16**: 1411–1416; New York.

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984



Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers

32

Von ÄGIDIUS STRACK und ULRIKE FREUDENBERG*

Westphalian (A - C), sediment, coal (thickness, coal-content), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Die in den letzten Jahren durchgeführten Explorationsarbeiten in den nördlichen Reservefeldern des Ruhrreviers haben zahlreiche neue Aufschlüsse erbracht. Unter Einbeziehung der Bergbauzone wurden Untersuchungen über die großräumige Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal A-C angestellt.

Während im Westfal A1 eine deutliche Mächtigkeitszunahme der Sedimente nach Westnordwesten festzustellen ist, nehmen die Gesamtschichtenmächtigkeiten vom unteren Westfal A2 an bis zu den jüngsten Schichten des Westfals C deutlich nach Nordwesten hin ab. Besonders im Westfal A2 und B1 ist diese Entwicklung mit einer zum Teil krassen Reduzierung der Flözführung verbunden.

Trotz rascher Fazieswechsel ändern sich die Anteile der verschiedenen Sedimente am Gesamtaufbau des Gebirges nicht wesentlich. Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen dem großräumigen faziellen Verhalten der Sedimente und dem qualitativen und quantitativen Kohleninhalt läßt sich aus den vorliegenden Ergebnissen nicht ableiten.

[Strata thicknesses and combined thickness of coal in the Westphalian of the Rhine-Ruhr coal district]

A bstract: During the last years, exploration drilling in the Carboniferous of the Northern Ruhr district resulted in many new exposures. Concluding the mining zone, the large-scale development of the thicknesses of the productive measures and the combined thickness of coal in the Westphalian A-C were investigated.

Whereas the total thickness of the deposits of the Lower Westphalian A increases towards the west and north-west, all other sections of strata up to the Westphalian C decrease strongly towards the north-western part of the Ruhr district. Especially in the Upper Westphalian A and Lower Westphalian B these developments are combined with a clear reduction of coal content.

In spite of a rapid changing of rock formations, total quotas of different sediments do not vary considerably. A systematic relation between the large-scale behaviour of deposits and the qualitative and quantitative coal content can not be derived.

[Les épaisseurs des séquences et la teneur en charbon dans le Westphalien de la région houillère du Rhin et de la Ruhr]

R é s u m é : Au cours des dernières années, les sondages d'exploration entrepris dans la région houillère de la Ruhr ont apporté de nombreux affleurements nouveaux. En considération de la zone minière, des expériences sur l'évolution des épaisseurs des séquences et de la teneur totale en charbon ont été faites sur de vastes étendues.

^{*} Anschrift der Autoren: Dipl.-Geol. Ä. STRACK und Dipl.-Geol. U. FREUDENBERG, Westfälische Berggewerkschaftskasse, Herner Straße 45, D-4630 Bochum 1

Tandis que dans le Westphalien A inférieur se manifeste une augmentation marquée en épaisseur vers l'ouest et le nord – ouest, les épaisseurs des séquences diminuent dès le Westphalien A supérieur jusqu'aux plus jeunes séquences du Westphalien C vers le nord – ouest. Surtout dans le Westphalien A supérieur et Westphalien B inférieur ce développement est rattaché à une réduction partiellement importante de l'épaisseur totale de veines.

Malgré les changements rapides de faciès, les parts des différents sédiments ne varient pas considérablement. Les résultats présentés ne permettent pas de déduire une relation régulière entre le développement des sédiments encaissants et l'évolution des veines respectivement la teneur en charbon, tant qualitative que quantitative.

1. Einleitung

Die intensivierte Exploration der Reservefelder im nördlichen Ruhrrevier hat ein umfangreiches neues Datenmaterial über die Lagerstätte erbracht. So wurden seit 1971 mehr als 450 Tiefbohrungen mit einer durchschnittlichen Teufe von 1 300 m niedergebracht (FIEBIG & PALM & PIEPER 1983), die vor allem Schichten aus dem Westfal A, B und C durchteuft haben; das ebenfalls zum flözführenden Karbon gehörende Namur C wurde nur selten erbohrt. Im Zuge der Abbauverlagerung des Bergbaus in größere Teufen und nach Norden wurden weite Gebiete bergmännisch erschlossen.

Unter Einbeziehung der Bergbauzone wurden neue und erweiterte Untersuchungen über das großräumige fazielle Verhalten der Sedimente, die Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten sowie der Kohleninhalte angestellt. Den vorliegenden Ergebnissen liegt die gesicherte stratigraphische Einordnung von über 1 000 Aufschlüssen aus allen Bereichen des Steinkohlenreviers zugrunde; die Unterteilung in Einzelabschnitte orientiert sich an der bekannten Gliederung des Westfals anhand von Leitschichten, bei denen marine Horizonte an erster Stelle stehen (FIEBIG 1969). Dabei bildet die jeweilige Hangendfläche der im folgenden genannten Flöze die Grenze zwischen den stratigraphischen Teilabschnitten.

Es ist zu bedenken, daß jede Unterteilung der Schichtenfolge des produktiven Oberkarbons letztlich willkürlich vorgenommen werden muß. Die definierte stratigraphische Gliederung erlaubt jedoch eine bessere Übersicht als die Zusammenfassung von Abschnitten, die der jeweiligen Aufgabenstellung gerecht wird.

Obwohl eine Darstellung von "Isopachen" und Zonen gleicher Mächtigkeiten nicht ganz unproblematisch ist, wurde dennoch bei den Abbildungen diese Art der Auswertung gewählt, um Tendenzen unter Ausschaltung kleinräumiger Fazieswechsel zu verdeutlichen.

Die Darstellung der Gesamtschichtenmächtigkeiten erfolgte bankrecht unter Ausschluß des tektonischen Befundes und ohne Berücksichtigung mächtigkeitsverändernder Faktoren wie Erosion und Setzung, so daß eine unentzerrte Momentaufnahme der derzeitigen Situation entstand. Die Auswertung der Kohlenmächtigkeiten wurde nicht nach den technischen Richtlinien für die Kohlenvorratsermittlung, sondern unter rein geologischen Gesichtspunkten durchgeführt. So wurden Kohle/Berge-Mischtypen gewichtet in die Auswertungen mit einbezogen. Die Ermittlung der derzeit technisch gewinnbaren Vorräte führt zu völlig anderen Ergebnissen, da dabei nicht nur stratigraphische Gesichtspunkte, sondern auch tektonische Gegebenheiten, die Entwicklung des Deckgebirges, Qualitätsanalysen und andere Parameter berücksichtigt werden müssen.

2. Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Ruhrgebiet

2.1. Sprockhöveler Schichten

Den untersten Abschnitt der flözführenden Schichtenfolge bilden die Sprockhöveler Schichten (Namur C), die am Südrand des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers zutage treten. Aufgrund der Verlagerung des Bergbaus nach Norden wurden zunehmend jüngere Oberkarbon-Schichten erfaßt, so daß in den letzten Jahren nur wenige Aufschlüsse den von HOLLMANN (1967) gegebenen Überblick über die Entwicklung der Sprockhöveler Schichten ergänzt und bestätigt haben. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle dennoch auf die bereits seit längerer Zeit vorliegenden Erkenntnisse verwiesen. So beträgt die durchschnittliche Gesamtmächtigkeit der Sprockhöveler Schichten im Ruhrgebiet im Mittel ca. 655m, wobei die Mächtigkeiten des unteren Namurs C nach Westen hin ab-, die der Oberen Sprockhöveler Schichten jedoch eher zunehmen (FIEBIG 1971). Nach HOLL-MANN (1967) liegt der Kohlenanteil an der Gesamtzusammensetzung der Sedimente höchstens bei 0.8%, wobei die Gesamtkohlenmächtigkeit von ca. 7 m im Raum südlich Dortmund nach Westen hin auf bis unter 1 m am nördlichen linken Niederrhein abnimmt

2.2. Wittener Schichten

Die Wittener Schichten repräsentieren im Ruhrrevier das Westfal A1 und umfassen den Schichtenkomplex von Flöz Sarnsbank 2 bis Flöz Plaßhofsbank. Sie treten nur im südlichen Ruhrrevier zutage und tauchen nach Nordwesten unter zunehmend mächtigerem Deckgebirge und jüngeren Karbon-Schichten in größere Teufen ab. Lediglich in Richtung auf das "Krefelder Gewölbe" im Westen und im Bereich der Sättel sind sie in bergmännisch erreichbaren Teufen aufgeschlossen. Für die Wittener Schichten zeichnet sich eine besonders krasse Entwicklung bezüglich ihrer Mächtigkeit ab. So verdoppelt sich annähernd die Gesamtmächtigkeit von etwa 340 m im Raum nordöstlich Dortmund auf 660 m westlich des Rheins (Abb. 1). Diese bereits seit längerer Zeit bekannte Entwicklung (FIEBIG 1971, BACHMANN & MICHELAU & RABITZ 1971) wurde gerade auch durch die jüngeren Bohrungen im Raum Issum bestätigt, die das Westfal A1 in weitgehend ungestörter Lagerung vollständig durchteuft haben. An der Mächtigkeitszunahme nach Westen sind sowohl die Unteren (Abschnitt Flöz Sarnsbank 2 bis Flöz Finefrau-Nebenbank) als auch die Oberen Wittener Schichten (Abschnitt Flöz Finefrau-Nebenbank bis Flöz Plaßhofsbank) in annähernd gleicher Weise beteiligt, allerdings verläuft die Entwicklung im oberen Westfal A1 nicht mehr so konstant und zeigt lokale Besonderheiten. Der Verlauf der Isolinien folgt etwa dem Generalstreichen des Gebirges, so daß die Vermutung naheliegt, die Ursache für diese Entwicklung auf bereits früh vorgezeichnete Faltenelemente zurückzuführen.

Die Kohlenführung des Westfals A1 ist mit einem durchschnittlichen Anteil der Kohle an der Gesamtmächtigkeit von etwa 1–2% eher gering. Während in den Unteren Wittener Schichten (Abschnitt Flöz Mausegatt bis Flöz Finefrau-Nebenbank) lokal bis zu fünf Flöze Mächtigkeiten > 80 cm erreichen, ist der obere Teil des Westfals A1 arm an Flözen dieser Größenordnung (max. drei Flöze der Girondelle-Gruppe). Das Bild der addierten Gesamtkohlenmächtig-



keiten ist nicht sehr einheitlich und zeigt starke lokale Unterschiede in der Entwicklung der Flöze. Insgesamt deutet sich jedoch eine Verringerung des Kohleninhalts nach Norden an, wo meist weniger als 7 m Kohle am Aufbau der Schichten beteiligt sind, während im Süden des Reviers noch Gesamtkohlenmächtigkeiten von zum Teil deutlich über 10m verbreitet sind (Abb. 2). Die relativ geringfügige Abnahme des Kohleninhalts nach Norden bei gleichzeitiger deutlicher Zunahme der Gesamtschichtenmächtigkeiten ist um so bemerkenswerter, als ähnliche Zusammenhänge in den jüngeren Schichten des Westfals nicht mehr zu beobachten sind.

2.3. Bochumer Schichten

Die Bochumer Schichten (Abschnitt Flöz Plaßhofsbank bis Flöz Katharina) zeigen eine ganz andere Entwicklung. Der relative Kohlenreichtum des Westfals A2 mit durchschnittlich etwa 5 % Kohlenanteil an der Gesamtmächtigkeit und seine weite Verbreitung im Ruhrrevier haben einen hohen Aufschlußgrad



Abb. 2 Gesamtkohlenmächtigkeiten im Westfal A1

Combined thickness of coal in the Lower Westphalian A

Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal...



Abb. 3 Schichtenmächtigkeiten im Westfal A2 Fig. 3 Strata thicknesses in the Upper Westphalian A

zur Folge. Das großräumige Verhalten der Gesamtmächtigkeit läßtsich somit aut verfolgen und führt zu einem recht klaren Bild (Abb. 3). Im Südosten des Reviers werden Maximalmächtigkeiten von fast 800 m erreicht, die nach Nordwesten hin im Raum Marl-Recklinghausen auf etwa 550m reduziert sind. Von dort aus nach Nordwesten scheint die Gesamtschichtenmächtigkeit jedoch wieder zuzunehmen; besonders rasch vollzieht sich diese Entwicklung westlich des Rheins. Abbildung 3 zeigt, daß das genannte Minimum im Zentrum des Ruhrreviers liegt und sich annähernd parallel zum Generalstreichen der Faltenelemente erstreckt. Es zeichnet sich ein Umbiegen der Isolinien am Südwest- und Nordostrand des Steinkohlengebirges ab, so daß der Eindruck entsteht, es handele sich um eine annähernd geschlossene Struktur, die der heutigen Lage des Ruhrreviers entspricht. Besonders beteiligt an der insgesamt deutlichen Abnahme der Schichtenmächtigkeit nach Nordwesten ist das obere Westfal A2 (Abschnitt Flöz Karl bis Flöz Katharina), wobei sich diese Entwicklung jedoch zu verlangsamen scheint. Während im Raum Dortmund noch Mächtigkeiten von > 380 m erreicht werden, reduzieren sich diese auf



Abb. 4 Gesamtkohlenmächtigkeiten im Westfal A2 Fig. 4 Combined thickness of coal in the Upper West-

Legende s. Abb. 1

phalian A

<160 m nordwestlich einer Linie Dorsten - Haltern. Mit der starken Abnahme der Schichtenmächtigkeiten nach Nordwesten sind rasche Faziesveränderungen verbunden; der Anteil an sandigen Sedimenten ändert sich jedoch nicht wesentlich. Die Umkehr in der Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten vollzieht sich im unteren Westfal A2. Im Abschnitt Flöz Plaßhofsbank bis Flöz Karl zeichnet sich im nordwestlichen Ruhrgebiet noch eine Reduzierung nach Südosten ab, wie wir sie aus den Wittener Schichten kennen. Im mittleren und südlichen Teil des Reviers kehrt sich die Tendenz jedoch um, so daß das Mächtigkeitsdefizit der Wittener Schichten im Südosten im Laufe des Westfals A2 bereits annähernd wieder ausgeglichen wird.

Verbunden mit der generellen Abnahme der Schichtenmächtigkeiten nach Nordwesten ist eine krasse Reduktion des Gesamtkohlen in halts. Während im Raum Dortmund noch über 45m Kohle am Aufbau des Gebirges beteiligt sind, reduziert sich der Kohlenreichtum um über ²/₃ auf weniger als 15 m im Raum südöstlich Wesel (Abb. 4). Von dieser Entwicklung ist der gesamte kohlenreiche Abschnitt des Westfals A2 von Flöz Sonnenschein bis Flöz Katharina betroffen. Allerdings führen schnelle Fazieswechsel, Erosionszonen und Aufspaltungen oder Scharungen von Flözen zu erheblichen lokalen Schwankungen der Kohlenführung.

Berücksichtigt man nur Flöze mit einer Mächtigkeit von > 80 cm und einem Bergeanteil von < 30 %, so wird - trotz der örtlichen Besonderheiten - die Gesamttendenz noch deutlicher: Die Flözanzahl reduziert sich von 25 im Südosten auf 5 im Nordwesten. Weder im unteren noch im oberen Abschnitt des Westfals A2 gibt es Anzeichen für eine Tendenzwende in Richtung auf die noch unerschlossenen Reservefelder im Norden; allerdings sind in dieser Richtung auch zunehmend jüngere Schichten von Bedeutung.

2.4. Essener Schichten

Die Essener Schichten (Westfal B1) umfassen den Abschnitt von Flöz Katharina bis Flöz L. Die Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten setzt sich so fort, wie sie bereits in den Bochumer Schichten zu beobachten ist (Abb. 5). Sowohl im unteren als auch im oberen Westfal B1 liegen die größten



Abb. 5 Schichtenmächtigkeiten im Westfal B1

Fig. 5

Strata thicknesses in the Lower Westphalian B

Mächtigkeiten im östlichen Ruhrgebiet, jedoch deutet sich im Abschnitt zwischen Flöz Katharina und Flöz Zollverein 1 eine Tendenzwende an, da sich im westlichen Teil der Lagerstätte ein ebenfalls im Streichen verlaufendes Minimum erstreckt. Die insgesamt geringsten Mächtigkeiten des Westfals B1 finden sich mit etwa 420 m südlich einer Linie Wesel – Dorsten, während im Raum Dortmund maximal über 600 m erreicht werden.

Parallel zu der Verringerung der Schichtenmächtigkeiten zeigt sich - wie im Westfal A2 - von Südosten nach Nordwesten eine deutliche Abnahme des Gesamtkohleninhalts von>30 mauf<15 m (Abb. 6). Ausschlaggebend dafür ist das untere Westfal B1 (Flöz Katharina bis Flöz Zollverein 1), wobei im Osten des Reviers der generell flözärmere Abschnitt zwischen Flöz Katharina und Flöz Zollverein 8 noch bedeutendere Flözbildungen im Bereich der Laura/ Victoria- sowie der Grimberg-Flözgruppe beinhaltet. Die Flöze der Zollverein-Gruppe sind ebenfalls im Osten - trotz zunehmender Aufspaltungen - mächtiger ausgebildet als im äußersten Nordwesten des Ruhrreviers. Allerdings ist diese Entwicklung von zum Teil raschen Fazieswechseln geprägt, die sich im oberen Westfal B1 verstärkt fortsetzen, so daß in diesem Bereich klare Tendenzen hinsichtlich der Gesamtkohlenmächtigkeiten nicht mehr erkennbar sind. Obwohl insgesamt die Reduzierung von Schichten- und Kohlenmächtigkeiten in derselben Richtung verläuft, nimmt die Flözführung nach Nordwesten noch deutlicher ab als die Gesamtmächtigkeit des Westfals B1, so daß der prozentuale Kohleninhalt von über 5 % im östlichen Ruhrrevier auf wenig mehr als 3% im Westen absinkt.

2.5. Horster Schichten

In den Horster Schichten (Westfal B2, Abschnitt Flöz L bis Flöz Ägir) geht die Anzahl der Aufschlüsse deutlich zurück. Dennoch zeichnet sich in den durch Bergbau oder Bohrungen aufgeschlossenen Feldesteilen im Nordwesten eine deutliche Abnahme der Schichten mächtigkeit von Südosten nach Nordwesten ab. Auch im Westfal B2 verlaufen die Zonen gleicher Mächtigkeiten – wie in allen anderen Stufen des Westfals – vorwiegend parallel zu den Faltenelementen (Abb. 7). Die Reduzierung der Mächtigkeiten im unteren Westfal B2 (Abschnitt Flöz L bis Flöz T) von 260 auf 160 m und von 120 auf 80 m



Abb. 6 Gesamtkohlenmächtigkeiten im Westfal B1 Fig. 6

Combined thickness of coal in the Lower Westphalian B



in den Oberen Horster Schichten (Abschnitt Flöz T bis Flöz Ägir) hat jedoch im Gegensatz zum Westfal A2 und B1 - keine entsprechend starke Reduzierung des Kohleninhalts zur Folge. Vielmehr ist die Entwicklung der Gesamtkohlenmächtigkeit lokal sehr unterschiedlich; lediglich im Bereich der zentralen Lippe-Mulde zeigt sich ein Minimum. So schwankt auch der prozentuale Kohleninhalt in den aufgeschlossenen Gebieten zwischen 4 und 7 %. Die ungünstigen Aufschlußverhältnisse und rasche Fazieswechsel mit verstärkten Schüttungen grober Sedimente lassen keine generellen Schlüsse auf die weitere Entwicklung des Kohleninhalts zu; es scheint jedoch nicht ausgeschlossen, daß sich die Verhältnisse nach Norden hin etwas verbessern (Abb. 8).

2.6. Dorstener Schichten

Die Dorstener Schichten (unteres Westfal C) bilden die höchsten Schichten des Ruhrkarbons, die bislang nur im äußersten Nordwesten des Ruhrreviers bergmännisch erschlossen und durch einige Bohrungen in der Raesfelder Mulde in durchgehender Verbreitung nachgewiesen sind. Die bislang jüng-



Abb. 8 Gesamtkohlenmächtigkeiten im Westfal B2

Combined thickness of coal in the Upper Westphalian B



Abb. 9

Gesamtschichtenmächtigkeiten im unteren Westfal C (Abschnitt Flöz Ägir bis Flöz Nibelung)

Fig. 9

Strata thicknesses in the Lower Westphalian C (seam Ägir to seam Nibelung)

Legende s. Abb. 1

Legende s. Abb. 1

sten Schichten durchteufte die Bohrung Specking 1, die mit der Xanten-Flözgruppe die Karbon-Oberfläche wahrscheinlich nur ca. 80 – 100 m unterhalb der Grenze zum Westfal D erreichte. Somit kann für das Westfal C im Bereich der Raesfelder Mulde eine Gesamtmächtigkeit von 900 – 920 m angenommen werden (FIEBIG & GROSCURTH 1984). Da aus dem höheren Westfal C nur eine geringe Anzahl verwertbarer Aufschlüsse vorliegt, beschränken sich die Auswertungen auf den Abschnitt zwischen Flöz Ägir und der durch den Nachweis zweier Kaolin-Kohlentonsteine gut identifizierbaren Nibelung-Flözgruppe. Insgesamt ergibt sich für die Schichtenmächtigkeit das gleiche Bild wie für das Westfal B2; so zeigt sich im unteren Westfal C (Abschnitt Flöz Ägir bis Flöz Hagen 1) eine kontinuierliche Reduzierung von 285 m in der Emscher-Mulde (Schacht Ewald 5) auf 180 m im Bereich der Raesfelder Mulde; diese Tendenz setzt sich auch bis zur Ablagerung der Nibelung-Flöze fort (Abb. 9).

Eine klare Aussage zur Entwicklung der Kohlenmächtigkeiten läßt sich hingegen nicht treffen, da die Faziesschwankungen besonders stark sind und auf kürzester Distanz erhebliche Änderungen in der Entwicklung der



Abb. 10 Gesamtkohlenmächtigkeiten im unteren Westfal C (Abschnitt Flöz Ägir bis Flöz Nibelung)

Fig. 10 Combined thickness of coal in the Lower Westphalian C (seam Ägir to seam Nibelung)


Gesamtschichtenmächtigkeiten im Westfal A2 und B1 Fig. 11

Strata thicknesses in the Upper Westphalian A and the Lower Westphalian B

Flöze eintreten. So liegt der durchschnittliche Anteil der Kohlenführung bei etwa 4 %, was einer Gesamtkohlenmächtigkeit von etwa 15 m entspricht. Wenn überhaupt für das Westfal Ceine generelle Tendenz abzulesen ist, so scheinen sich eher nach Norden verschlechternde Verhältnisse anzuzeigen, wobei sich die stratigraphischen Teilabschnitte sehr unterschiedlich verhalten (Abb. 10).

2.7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die Entwicklung des Westfals A-C im Ruhrgebiet läßt sich eine durchschnittliche Gesamtschichtenmächtigkeit von ca. 3 000 m mit einem gemittelten Kohlenanteil von etwa 4 % abschätzen. Während im Namur C und besonders im Westfal A1 eine deutliche Mächtigkeitszunahme der Sedimente in nordwestlicher Richtung festzustellen ist, nehmen die Schichtenmächtigkeiten vom unteren Westfal A2 an bis in die jüngsten flözführenden Schichten des Westfals C deutlich nach Nordwesten hin ab. Diese Entwicklung ist gekoppelt mit einer zum Teil krassen Reduzierung der Flözführung besonders im Westfal A2 und B1.



Abb. 12. Gesamtkohlenmächtigkeiten im Westfal A2 und

Fig. 12.

Combined thickness of coal in the Upper Westphalian A and the Lower Westphalian B



In den Abbildungen 11 und 12 sind die Ergebnisse für die Bochumer und Essener Schichten hinsichtlich der Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten und der Kohleninhalte zusammengefaßt. Abbildung 13 verdeutlicht die Bedeutung dieser Entwicklung für das Ruhrrevier anhand einer Darstellung, die lediglich die Anzahl der Flöze mit einer Mächtigkeit > 80 cm und einem Bergeanteil < 30 % berücksichtigt.

3. Blick über die Grenzen

Bei den vorliegenden Betrachtungen darf nicht vergessen werden, daß das Ruhrrevier nur einen kleinen Teil der weiträumigen oberkarbonischen Ablagerungen Nordwesteuropas darstellt, die sich im "Vorlandbecken" des Variscikums von Pommern über Nordwestdeutschland, die Niederlande, Belgien, Nordfrankreich und die Nordsee bis nach Nordengland und Schottland erstrecken.

Unter diesem Gesichtspunkt erscheint es wenig aussichtsreich, die aus dem vergleichsweise hervorragend aufgeschlossenen Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirge bekannten Entwicklungen der Schichtenmächtigkeiten und der Kohlenführung entsprechend weiterverfolgen zu wollen. Dennoch erlauben die übrigen karbonischen Kohlenlagerstätten Nordwesteuropas und die isolierten Aufschlüsse im tieferen Untergrund Norddeutschlands einige Schlußfolgerungen. Dies gilt insbesondere für die Gebiete südwestlich des Ruhrreviers, wobei der Erkelenzer Horst (in Verbindung mit dem Peelgebiet) ein gutes Bindeglied zum Aachener Revier sowie den Kohlenvorkommen von Südlimburg und der Campine darstellt. Wenngleich die sehr unterschiedlichen Aufschlußverhältnisse eine dem Ruhrrevier vergleichbare Auswertung nicht zulassen, so lassen sich doch einige Tendenzen feststellen. Die Daten aus dem Aachen - Erkelenzer Gebiet sind den Arbeiten von HERBST (1971) und WREDE & ZELLER (1983) entnommen; für die holländischen und belgischen Gebiete hat vor allem KIMPE (1961, 1973) ausführliches Datenmaterial zusammengestellt.¹⁾

¹⁾Für freundliche Unterstützung danken wir auch dem Geologischen Bureau Heerlen des Rijks Geologischen Dienstes.

So setzt sich im Westfal A1 die aus dem Ruhrgebiet bekannte Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten nach Südwesten in annähernd gleicher Weise fort. Während am linken Niederrhein Maximalmächtigkeiten von 660 m erreicht werden, reduzieren sie sich über 530 m im Gebiet des Peel-Horstes, 410 m im Nordwestfeld Südlimburgs und 300 m im Aachener Revier auf weniger als 200 m westlich Lüttich. Bezüglich der Gesamtkohlenmächtigkeiten läßt sich kein eindeutiger Trend feststellen.

Im Westfal A2 zeichnet sich – wie im Ruhrrevier – eine Tendenzwende gegenüber dem Westfal A1 ab, wenn sich auch keine deutliche Entwicklung über größere Entfernungen hinweg verfolgen läßt. Allgemein schwanken die Schichtenmächtigkeiten zwischen 500 und 700m; ebenso differiert der Kohleninhalt zwischen 10 und 20m. Die maximalen Mächtigkeiten des südöstlichen Ruhrgebiets werden nirgendwo auch nur annähernd erreicht.

Die Abnahme der Gesamtschichtenmächtigkeiten des Westfals B1 nach Nordwesten läßt sich auch in Holland und Belgien verfolgen. So reduzieren sich diese von etwa 480 m im Aachener Revier über 440-340 m in Südlimburg auf 270 m in Nordbelgien. Der Entwicklung im Ruhrkarbon analog vollzieht sich dort auch im Raum nördlich Hasselt eine Trendwende, die einen erneuten leichten Anstieg der Gesamtmächtigkeit nach Nordwesten andeutet. In gleicher Weise gilt dies für den Kohleninhalt, wenngleich auch im Westfal B1 dort keine dem südöstlichen Ruhrgebiet adäquaten Verhältnisse anzutreffen sind.

Die Entwicklung im Westfal B2 verläuft ebenfalls der des Ruhrgebiets parallel, obwohl die Aufschlußverhältnisse nur noch bedingt Rückschlüsse auf großräumige Veränderungen erlauben. Die Reduzierung der Gesamtschichtenmächtigkeiten von etwa 390 m im Nordwestfeld Südlimburgs auf ca. 250 m in Nordbelgien entspricht jedoch ziemlich genau den im Ruhrrevier sich abzeichnenden Tendenzen in ihrer südwestlichen Fortsetzung. Dies gilt in gleicher Weise für die Entwicklung der Kohlenmächtigkeiten, wenngleich insgesamt eine Abnahme der Kohlenführung in Richtung auf die westlichen Nachbarländer zu beobachten ist.

Während das Westfal C im Ruhrrevier nur unzureichend aufgeschlossen ist. ist es im nordwestdeutschen Untergrund in zusammenhängender Verbreitung erbohrt und tritt im Steinkohlengebiet von Ibbenbüren zutage. Nach BÄSSLER & HOYER & JOSTEN (1971) erreicht das Westfal C dort eine Gesamtmächtigkeit von ca. 850 m; SCHUSTER (1968) ermittelte für den nordwestdeutschen Raum eine durchschnittliche Mächtigkeit von etwa 800 m. Offensichtlich lassen sich also die im Ruhrgebiet erkannten Tendenzen nicht auf die nördlich vorgelagerten Bereiche übertragen. So erreicht das Westfal B2 in Ibbenbüren 320 bis 340 m und eine Gesamtkohlenmächtigkeit von etwa 10 m; dies entspricht annähernd den gemittelten Werten aus dem Bereich des Ruhrkarbons; es ist also anzunehmen, daß sich die raschen Mächtigkeitsänderungen nach Nordwesten im Untergrund des Münsterländer Kreide-Beckens nicht fortgesetzt haben. Dies gilt in gleicher Weise auch für alle anderen Stufen des Westfals, deren Mächtigkeiten in Nordwestdeutschland bis in den Raum der Nordsee hinein nur in engen Grenzen schwanken (FABIAN 1971, HEDEMANN & TEICH-MÜLLER 1971, HEDEMANN et al. 1984, STANCU-KRISTOFF & STEHN 1984).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die sich im Ruhrrevier abzeichnenden Entwicklungen der Schichtenmächtigkeiten und Kohlenführung in den einzelnen Stufen des Westfals parallel dem Generalstreichen der Faltenelemente nach Südwesten hin in annähernd gleicher Weise ihre Fortsetzung finden. Im Gegensatz dazu klingen die raschen Änderungen in Richtung auf den nordwestdeutschen Raum schnell ab und zeigen annähernd gleichbleibende Verhältnisse auf größere Entfernungen.

4. Schlußbetrachtungen

Gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen der faziellen Entwicklung des Nebengesteins und der Flözführung lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungen nicht ableiten. Der rasche Fazieswechsel führt zu ausgeprägten Mächtigkeitsunterschieden in einzelnen Abschnitten, die sich aber insgesamt in etwa wieder ausgleichen; diese Aussage trifft für das gesamte Westfal zu. (Da es sich hierbei um eine vieldimensionale Entwicklung handelt, ist die Darstellung innerhalb fester Zeiteinheiten eigentlich nicht sinnvoll). Auch der Anteil der verschiedenen Sedimente an der Gesamtmächtigkeit eines größeren Schichtenkomplexes ändert sich – auch über größere Entfernungen – kaum; dies gilt insbesondere auch für die sandigen Ablagerungen.

Unter diesem Aspekt erscheint unter anderem die Frage völlig ungeklärt, wie es - besonders im Westfal A2 und B1 - im Südosten des Reviers trotz einer Verdopplung der Schichtenmächtigkeiten zu einer derart krassen Zunahme der Gesamtkohlenmächtigkeiten kommen konnte. Wenn es sich bei der Flözbildung um einen - gemessen an der Gesamtdauer der Formationen - annähernd isochronen Vorgang handelt, so können größere Abschnitte durchaus über ein Gebiet von der Größe des Ruhrreviers hinweg als Zeiteinheit miteinander verglichen werden, zumal die Grenzen zwischen den genannten Abschnitten noch durch marine Leithorizonte gebildet werden. So ist es zumindest fraglich, warum es oft gerade in den Zonen größter Schichtenmächtigkeiten zu einer extremen Moorbildung gekommen ist, die doch als vergleichsweise sehr zeitintensiv anzusehen ist. Diese Überlegung gibt Anlaß zu weiterführenden Untersuchungen genetischer Zusammenhänge unter paläotopographischen Aspekten, die vielleicht zu einer veränderten Auffassung über die Ablagerungsbedingungen - insbesondere bezüglich der Authochtonie der Flözbildung - führen könnten.

5. Schriftenverzeichnis

- BACHMANN, M., & MICHELAU, P., & RABITZ, A. (1971): Stratigraphie. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 1. Das Rhein-Ruhr-Revier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 19–34, 6 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- BÄSSLER, R., & HOYER, P., & JOSTEN, K.-H. (1971): Stratigraphie. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 3. Das Karbon von Ibbenbüren, am Hüggel und Piesberg. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 75 – 78, 2 Abb., 1 Taf.; Krefeld.
- FABIAN, H.-J. (1971): Stratigraphie und Tektonik. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 4. Das Oberkarbon im Untergrund von Nordwestdeutschland und dem angrenzenden Nordseebereich. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 87–100, 6 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- FIEBIG, H. (1969): Das Namur C und Westfal im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebiet. – C. R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, 1: 79 – 89, 9 Abb., 1 Taf.; Maestricht.

A. STRACK & U. FREUDENBERG, Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte...

- (1971): Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 1. Das Rhein-Ruhr-Revier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 35–40, 7 Abb.; Krefeld.
- FIEBIG, H., & GROSCURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257 – 267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- FIEBIG, H., & PALM, H., & PIEPER, B. (1983): New Aspects in Exploring the Upper Carboniferous in the Ruhr Area. – 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Madrid 1983, Abstr.: 303; Madrid.
- HEDEMANN, H.-A., & SCHUSTER, A., & STANCU-KRISTOFF, G., & LÖSCH, J. (1984): Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Norddeutschland und ihre stratigraphische Einstufung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 39–88, 16 Abb.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. – In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III.
 A. Der paralische Raum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 129–142, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- HERBST, G. (1971): Stratigraphie und Tektonik. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 2. Das Revier von Aachen – Erkelenz. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 61–68, 1 Abb., 1 Taf.; Krefeld.
- HOLLMANN, F. (1967): Die Sprockhöveler Schichten des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Die Identifizierung und Ausbildung ihrer Flöze, Fazies und Paläogeographie sowie ihr Lagerstättenvorrat. – Diss. Techn. Hochsch. Aachen: 172 S., 38 Abb., 12 Anl.; Aachen.
- KIMPE, W. F. M. (1961): Stratigrafische ontwikkeling en correlatie van de koollagen van de Baarlo groep, Onder-Westfalien A, in Zuid-Limburg met een vergelijking tot die in omliggende gebieden. – Geol. en Mijnb., N. S., 23: 265 – 290, 13 Abb.; 's-Gravenhage.
- (1973): The Geology of the Carboniferous in the Coal Field Beatrix in Central Limburg, the Netherlands and in Adjacent German Area. – Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., 29: 19–36, 13 Abb., 4 Tab.; 's-Gravenhage.
- SCHUSTER, A. (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. Erdöl-Erdgas-Z., 84: 439 457, 35 Abb.; Wien, Hamburg.
- STANCU-KRISTOFF, G., & STEHN, O. (1984): Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 35–38, 1 Taf.; Krefeld.
- WREDE, V., & ZELLER, M. (1983), mit Beitr. von JOSTEN, K.-H.: Geologie der Steinkohlenlagerstätte des Erkelenzer Horstes. – 40 S., 4 Abb., 1 Tab., 3 Taf., 1 Kt.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984

256

Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet

32

Von HEINRICH FIEBIG und JAN GROSCURTH*

Upper Carboniferous, Westphalian C, hard coal, reconnaissance, correlation, geological section, Rhenish-Westphalian basin (Lippe syncline, Raesfeld syncline), Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

K u r z f a s s u n g : Die in den Jahren 1973 bis 1983 im nördlichen Ruhrgebiet durchgeführten Explorationsarbeiten brachten über zahlreiche Untersuchungsbohrungen neue Aufschlüsse im Westfal C, besonders des oberen Teiles. Die Grenze Westfal C/Westfal D wurde jedoch noch nicht erreicht. Bereits bestehende Anschlüsse an das Ibbenbürener Karbon konnten bestätigt werden. Auffallend sind zahlreiche mächtige, teilweise konglomeratisch ausgebildete Sandsteine zwischen einzelnen Flözgruppen. Neue Leithorizonte (Kaolin-Kohlentonsteine), Faunen- und Florenfunde ermöglichen, das Westfal C des Ruhrreviers mit Bohraufschlüssen in Nordwestdeutschland noch enger zu konnektieren, als es bisher durch geophysikalische Bohrlochmessungen möglich war. Aufschlüsse im Kern der Lippe-Mulde lassen sich ohne Schwierigkeiten mit den neuen Bohrungen in der Raesfelder Mulde verbinden.

[The Westphalian C in the Northern Ruhr district]

A b s t r a c t: Exploration drilling in the Carboniferous of the Northern Ruhr district during the last decade resulted in many new exposures of the Westphalian C, particulary its upper part. The Westphalian C/Westphalian D boundary has not been reached yet. Remarkable are thick, sometimes conglomeratic layers of sandstone in between the coal seam groups. Correlations with the Carboniferous of the Ibbenbüren district, which had been done previously, could be confirmed. By new kaolin-coal-tonstein marker beds and findings of fauna and flora the Westphalian C of the Ruhr district could be connected stratigraphically still more closely with the exposures in the exploratory drillholes of Northwest Germany than this was possible by electrical logging only. The drillhole-exposures in the center of the Lippe syncline can be connected easily with those of the Raesfeld syncline.

[Le Westphalien C dans la Ruhr septentrionale]

R é s u m é : Les sondages d'exploration entrepris entre 1973 et 1983 dans la Ruhr septentrionale ont eu comme résultat des nouveaux affleurements dans le Westphalien C, particulièrement dans la partie supérieure. Mais la limite entre le Westphalien C et D n' a pas encore été atteinte. A remarquer sont beaucoup de grès partiellement conglomératiques entre plusieurs groupes de couches de charbon. Des raccords déjà existants entre la Ruhr et le Carbonifère d'Ibbenbüren ont pu être confirmés. Des nouveaux niveaux de référence (tonstein charbonneux à kaolin) et des découvertes de faunes et flores ont permis des rapports encore plus étroits entre la Ruhr et les affleurements de sondage dans le Nord-ouest de l'Allemagne que n'avaient jusqu'à présent rendu possible des diagraphies. Des affleurements au centre du synclinal de la Lippe se laissent lier sans problèmes aux nouveaux sondages dans le synclinal de Raesfeld.

^{*} Anschrift der Autoren: Dr. H. FIEBIG und Dr. J. GROSCURTH, Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Herner Straße 45, D-4630 Bochum 1

1. Einleitung

Als im Jahre 1969 die meisten Bergwerksbetreiber im Ruhrgebiet sich zur Ruhrkohle AG zusammenschlossen und damit auch die nördlichen Reservefelder einbrachten, ergab sich die Möglichkeit, diesen Lagerstättenteil genauer zu erkunden. Es dauerte aber noch bis 1973, ehe unter dem Druck der "Ölkrise" die Ruhrkohle AG mit einem umfassenden Explorationsprogramm die Aufklärung der Steinkohlenvorkommen im Norden begann.

Inzwischen sind in zehn Jahren umfangreiche seismische Messungen und über 450 Untersuchungsbohrungen durchgeführt worden. Eine der hier einbezogenen Bohrungen (Brg. Rhade 2, 1981) teufte der Eschweiler Bergwerksverein ab. Dabei wurden auch Schichten des höheren Westfals C aufgeschlossen, die bisher aus dem nördlichen Ruhrgebiet nur wenig oder gar nicht bekannt waren. Aus den zahlreichen Bohraufschlüssen sind hier die wichtigsten Ergebnisse in bankrechten Schnitten zusammengestellt worden (Taf. 1 u. 2 in der Anl.). Da die Bohrungen im Karbon durchgehend gekernt und anschließend geophysikalisch vermessen wurden, lassen sich die einzelnen, mitunter mehrere Kilometer auseinanderliegenden Aufschlüsse recht gut miteinander konnektieren.

Während die Organisation der Untersuchungsarbeiten bei den T 5-Abteilungen der Bergbau AG Lippe (Dr. U. KLINGE) und der Bergbau AG Niederrhein (Dipl.-Ing. H. F. RAU) lagen, übernahm das Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum, die geologische Aufnahme und Beschreibung der Kerne. Spezielle Untersuchungen an den Kohlen führten die Hauptlaboratorien der einzelnen Bergbau AGs der Ruhrkohle AG durch. Die Bestimmung der anfallenden Fossilien und röntgenologischen Untersuchungen der Kaolin-Kohlentonsteine übernahm das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen. Dr. A. SCHUSTER, Neuenhaus, führte anhand der geophysikalischen Bohrlochmessungen stratigraphische Vergleiche mit solchen aus Ibbenbüren und dem nordwestdeutschen Raum durch.

Die vorliegende Arbeit kann als Ergänzung der von SCHLEPPER (1971) zusammengestellten Schnitte über die bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Aufschlüsse im Westfal C angesehen werden. Kleinere Korrekturen werden im folgenden erläutert. Der Anschluß erfolgt über das Profil der Bohrung Lippermulde 1, die 1958 von der Gelsenkirchener Bergwerks-AG im Kern der Lippe-Mulde im Kirchhellener Graben niedergebracht wurde. An diesen Aufschluß ließ sich das Profil der Bohrung Flothkamp 1 (1980) gut anhängen, denn die Bohrungen liegen in streichender Richtung etwa 2,4 km auseinander. Die Bohrung Flothkamp 1 wurde von der Bergbau AG Niederrhein abgeteuft, nachdem kurz vorher von der Bergbau AG Lippe die Bohrungen Hoxberg 1 (1979), Schwickingsfeld 1 (1980) und Venn 1 (1980) unmittelbar östlich des Graf-Moltke-Wilhelmine-Victoria-Sprunges niedergebracht worden waren. Dargestellt wird hier jedoch nur das Profil der Bohrung Hoxberg 1.

Auch von den zahlreichen Bohrungen im Marler Graben können aus Platzmangel nur einige in dieser Zusammenstellung wiedergegeben werden. Lediglich eine ältere Untertagebohrung in der Abteilung 04 der Schachtanlage Fürst Leopold in Wulfen, die auch SCHLEPPER (1971: Taf. 4, Prof. 26) verwendete, wurde in diese Gleichstellung einbezogen, da sich in der Auswertung eine andere Zuordnung ergeben hat. Die Bohrungen aus der Raesfelder Mulde sind durchweg neue Aufschlüsse, von denen die Bohrungen Lembeck 1 (1981) und Lembeck 2 (1982), Specking 1 (1982) und Besenkamp 1 (1983) durch die Bergbau AG Lippe und Rhade 2 (1981) vom Eschweiler Bergwerksverein ausgeführt wurden.

Im Gesamtschichtenschnitt des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes (FIEBIG in HEDEMANN et al. 1972: Abb. 4) wurde für den höheren Teil des Westfals C das Profil der Bohrung Lippermulde 1 eingebaut. Nach den jüngsten Aufschlüssen ist die zunächst vorgeschlagene Abgrenzung der Nibelung-, Odin- und Parsifal-Flözgruppe in Abstimmung mit A. SCHUSTER (Neuenhaus) und A. RABITZ (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) etwas abgeändert worden. Diese Änderung erwies sich im Vergleich mit Aufschlüssen in Ibbenbüren und dem nordwestdeutschen Raum als sinnvoller. Danach endet die Nibelung-Flözgruppe im Profil der Bohrung Lippermulde 1 jetzt mit dem Flöz 25 (30 cm Berge mit Kohlenstreifen, 28 cm Kohle, 8 cm Berge mit Kohlenstreifen). Es zeigte sich, daß das dünne Flöz 24 (5 cm Kohle) der Rest einer Flözgruppe ist, die jetzt als Untere Odin-Flözgruppe bezeichnet wird. Die Obere Odin-Flözgruppe umfaßt in der Bohrung Lippermulde 1 nur die beiden Flöze 22 und 23. Der über dem nach oben anschließenden Sandstein liegende Teil (Flöze 19-21), der bisher in die Odin-Gruppe gestellt wurde, ist in die Parsifal-Gruppe einbezogen worden.

2. Das Westfal C in der Lippe-Mulde zwischen Graf-Moltke-Wilhelmine-Victoria-Sprung und Blumenthaler Sprung

Von den zahlreichen Untersuchungsbohrungen in der Lippe-Mulde wurden acht Bohrprofile ausgewählt (Taf. 1 in der Anl.), weil in ihnen das höhere Westfal C enthalten ist oder wichtige Leitschichten verfolgt werden konnten. Nicht einbezogen wurden Neuaufschlüsse östlich des Halterner Sprunges und im Explorationsgebiet der Gewerkschaft Auguste Victoria. In allen Schichtenschnitten ist die Basis des Westfals C durch den marinen Ägir-Horizont gesichert nachgewiesen, der aber infolge fazieller Änderungen nicht überall durch drei verschiedene Faunenbänder (FIEBIG 1966) gekennzeichnet ist. Flöz Baldur, das erste Flöz der Dorstener Schichten, erreicht meist bauwürdige Mächtigkeit, spaltet aber verschiedentlich in mehrere Bänke auf. Von den beiden Kaolin-Kohlentonsteinlagen (BURGER 1977: 158) konnte W. PFI-STERER (Hauptlaboratorium der Bergbau AG Lippe) mitunter nur eine nachweisen.

Die folgende, normalerweise aus sechs Einzelflözen bestehende Chriemhilt-Flözgruppe wechselt in ihrem Verhalten infolge fazieller Änderungen sehr stark. Durch Einschaltung von Sandsteinen werden mitunter einige Flöze verdrängt. Bemerkenswerte Leithorizonte gibt es hier nicht, denn die nichtmarinen Faunenhorizonte scheinen nur regional begrenzt aufzutreten.

Noch wechselhafter ist die Ausbildung der Donar-Flöze 1–5, die ebenfalls von vorhandenen Sandsteinen stark beeinflußt werden. Ein manchmal über dem Flöz Donar 5 liegender nichtmariner Faunenhorizont ist nur in bestimmten engen Regionen ausgebildet. Flöz Donar 1 nähert sich häufig dem Flöz Erda, mit dem es oft geschart ist. Flöz Erda ist wegen seines Kaolin-Kohlentonsteins, den KUKUK (1920) entdeckte, ein wichtiges Leitflöz, das weit über das Ruhrgebiet hinaus bis England zu verfolgen ist. Von den drei Freya-Flözen legt sich die Unterbank des Flözes Freya 3 nicht selten auf Flöz Erda. Die übrigen Flöze sind – faziesbedingt – unterschiedlich entwickelt. Oft schalten sich über dem Flöz Freya 1 Sandsteine ein, in denen der gewöhnlich über dem Flöz auftretende nichtmarine Faunenhorizont ausfällt.

Diese Sandsteine verdrängen mitunter auch das dünne Flöz Gudrun 2, während sich das mächtigere Flöz Gudrun 1 in einigen Aufschlüssen den unteren Hagen-Flözen nähert.

Die Hagen-Flöze besitzen im Westfal C einen besonders hohen Leitwert, weil sie zwei Kaolin-Kohlentonsteine führen. Die Flöze Hagen 1 und Hagen 4 enthalten Kohlentonsteine, von denen der obere bis 13 cm, der untere bis 6 cm Mächtigkeit erreichen kann. Der Hagen-1-Kohlentonstein läßt sich – ähnlich wie der Kohlentonstein im Flöz Erda – auch im Gamma-Ray-Log der geophysikalischen Bohrlochmessungen wegen der erhöhten Gammastrahlung gut erkennen und ist damit auch in Bohrungen des nordwestdeutschen Raumes häufig nachgewiesen worden. Diese markanten Leitschichten wurden in der Praxis als Abgrenzung zwischen Unteren und Oberen Dorstener Schichten verwendet, wobei die obere Grenze der Unteren Dorstener Schichten in das Hangende des Flözes Hagen 1 gelegt wurde. Auf der Schachtanlage Wehofen liegt der Hagen-1-Kohlentonstein ca. 90–95 cm unter dem Hangenden der Oberbank. Das Flöz kann örtlich aufspalten, so daß ein bis zu 15 m mächtiges Zwischenmittel die Oberbank von dem Hauptflöz trennt, weshalb die Oberbank oft auch irrtümlich zur Iduna-Flözgruppe gestellt wurde.

Die Abfolge des Westfals C oberhalb des Flözes Hagen 1 wurde von OBERSTE-BRINK & BÄRTLING (1930: 932) zunächst als Obere Flammkohlenschichten bezeichnet, ohne daß sie genau abgegrenzt werden konnten, da damals nur Aufschlüsse auf der Zeche Baldur bis Flöz Midgard reichten. Später wurde für diesen Schichtenabschnitt die bis heute oft gebrauchte Bezeichnung Obere Dorstener Schichten gewählt (SCHLEPPER 1971). Zur Zeit wird ein Vorschlag von FIEBIG (1983) diskutiert, das Westfal C ähnlich wie das Westfal A und B zu unterteilen und für das untere Westfal C den Begriff Dorstener Schichten, für das obere Westfal C dagegen Lembecker Schichten einzuführen (s. auch JOSTEN & TEICHMÜLLER 1971). Als Abgrenzung zwischen den Dorstener und den neu einzuführenden Lembecker Schichten bietet sich – unter anderem wegen eines floristischen Wechsels – die Nibelung-Flözgruppe an. Ein genauer Vergleich der Aufschlüsse im Ruhrkarbon mit den Tiefbohrungen im nordwestdeutschen Raum wird im Hinblick auf die Abgrenzung zur Zeit vorgenommen.

H. FIEBIG und P. MICHELAU (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) schlugen für die einzelnen Flöze der Iduna-Gruppe, der ersten Flözgruppe der Oberen Dorstener Schichten, zunächst die Ziffern 1 – 7 vor. Bisher konnten maximal aber nur sechs Flöze nachgewiesen werden, von denen die meisten durch einen Sandstein verdrängt werden. Das mächtigste Flöz ist das Flöz Iduna 1, in dessen Hangendem gewöhnlich – falls nicht ebenfalls von einem Sandstein verdrängt – ein nichtmariner Faunenhorizont liegt.

Dieser teilweise konglomeratische Sandstein über der Iduna-Gruppe ist vorwiegend im westlichen Teil der Lippe-Mulde ausgebildet und trennt sie dann von der Kobold-Gruppe, die aus vier Flözen besteht, aber durch Aufspaltung häufig mehr Kohlenbänke aufweist. Bauwürdige Mächtigkeit erreicht manchmal das oberste Flöz Kobold 1, über dem in wechselnder Ausbildung ein Faunenhorizont mit Palaeestherien auftritt (BÖGER & FIEBIG 1962), der dem Main-"Estheria"-Band in England (EDWARDS & STUBBLEFIELD 1948) entsprechen dürfte. Allerdings hat sich gezeigt, daß es mehrere Bänder mit Palaeestherien in dem Abschnitt der Kobold-, Loki- und Midgard-2-Flöze gibt, wie die Bohrungen Altenkamp 1 (1980) und Lange Heide 1 (1974) sowie der Aufschluß Fürst Leopold-Baldur, 2. Sohle, Abteilung 04, beweisen. Damit ähnelt diese Faunenanreicherung in verschiedenen Bändern den aus dem britischen Oberkarbon bekannten Horizonten.

Sehr beständig scheint auch der Palaeestherien-Horizont über Flöz Midgard 2 zu sein. Neben den erwähnten Palaeestherien führen die Horizonte nichtmarine Muscheln (*Anthraconauta, Naiadites*), Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe und vereinzelt auch Foraminiferen und Fischschuppen. Die genaue Zuordnung der aufgefundenen Horizonte ist daher nur durch Vergleich mit stratigraphisch eindeutig eingestuften Nachbaraufschlüssen möglich.

Die beiden Loki-Flöze sind im Untersuchungsgebiet nur schwach oder gar nicht entwickelt, so daß die Identifizierung der Einzelflöze Schwierigkeiten bereitet. Erst Flöz Midgard 2 ist durch den nichtmarinen Faunenhorizont im Hangenden, der häufig Palaeestherien führt, besser zu erkennen. Aber auch dieser kann durch überlagernde Sandsteinbänke verdrängt werden und damit ausfallen. Dies gilt auch für die dünnen Flözbänke, die zu Midgard 1 gehören, weil der Sandstein im Liegenden der Nibelung-Flözgruppe unterschiedliche Mächtigkeit erreicht und meist sehr grobkörnig bis konglomeratisch entwickelt ist. Das führt im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes zum Ausfall der tiefsten Flöze der Nibelung-Gruppe und damit auch zum Ausfall einer markanten Leitschicht.

In der Bohrung Lange Heide 1 konnte nämlich der zuerst auf der Zeche Franz Haniel gefundene Nibelung-Kohlentonstein in einer Mächtigkeit von 6 cm nachgewiesen werden (BURGER & OTTE & PFISTERER 1979). Dieser Kaolin-Kohlentonstein (Nibelung unten), der bis zu 11 cm dick sein kann, dürfte zu einer wichtigen Leitschicht im Westfal C werden und soll nach BURGER (im Druck) dem Maurice-Tonstein in Nordfrankreich gleichzusetzen sein. Zusätzlich wurde in der Raesfelder Mulde in der Bohrung Rhade 2 in einem der obersten Flöze der Nibelung-Gruppe ein weiterer etwa 2-4 cm dicker Kaolin-Kohlentonstein (Nibelung oben) gefunden und mit dem Röntgenbeugungsverfahren analysiert (BURGER & FIEBIG & STADLER 1984). Leider wird auch die Nibelung-Gruppe von einem grobkörnigen bis konglomeratischen Sandstein überlagert, der häufig zahlreiche Kohlengerölle führt. Dies deutet darauf hin, daß die obersten Flöze erodiert oder vom Sandstein verdrängt sind. Bisher läßt sich also im Ruhrgebiet nicht bestätigen, ob über den Nibelung-Flözen ein mariner Horizont auftritt, wie er von SCHUSTER (1968) aus der Bohrung Hoya Z1 angezeigt wird. Eine Korrektur in der Flözgleichstellung mußte für die Untertage-Kernbohrung auf der Schachtanlage Fürst Leopold-Baldur, 2. Sohle, Abteilung 04 vorgenommen werden. SCHLEPPER (1971: Taf. 4) hatte die beiden Horizonte mit Palaeestherien entsprechend unseren Vorstellungen in die Kobold-Gruppe gestellt. Durch die jetzt vorliegenden Aufschlüsse in der Bohrung Lange Heide 1 ist der obere Horizont über Flöz Midgard 2 (Flöze 18 und 19), der untere über Flöz Loki (Flöze 20 und 21 a/b) einzuordnen. Die Flöze 13-16 dieser Untertage-Kernbohrung gehören dann zur Nibelung-Gruppe.

Wie schon vorher erwähnt, ist durch die Zweiteilung in Untere und Obere Odin-Flözgruppe eine Neuregelung erfolgt, die sich inzwischen bewährt hat, wie im folgenden aufgezeigt wird. Während in den Bohrungen Lippermulde 1 und Flothkamp 1 (Flöze 24) die Untere Odin-Flözgruppe nur noch schwach erkennbar ist, nimmt die Flözführung nach Osten deutlich zu. Bereits in der Bohrung Hoxberg 1 schaltet sich über Flöz 27 ein nichtmariner Faunenhorizont ein, der in den anschließenden Aufschlüssen ebenfalls auftritt, wahrscheinlich aber nur lokal von Bedeutung ist. Mit Rückgang des Sandsteins erscheint ab der Untertagebohrung in der Abteilung 04 der 2. Sohle der Schachtanlage Fürst Leopold-Baldur ein von der Mächtigkeit her bauwürdiges Flöz. Über dem Sandstein tritt ein Horizont auf, der in Abteilung 04 Foraminiferen, in der Bohrung Lange Heide 1 dagegen Palaeestherien führt. Leitende Bedeutung wird diesem Horizont nicht eingeräumt.

Auch die Obere Odin-Flözgruppe scheint in den Aufschlüssen nicht vollständig ausgebildet zu sein; im Sandstein über dieser Gruppe sind neben Quarzgeröllen auch Driftlagen und Kohlengerölle nicht selten. Über die mit der Odin-Flözgruppe nach oben neu einsetzenden Floren hat JOSTEN (1966) bereits ausführlich Stellung genommen. Diese Beobachtungen konnten jetzt bestätigt und ergänzt werden (JOSTEN & LAVEINE 1984). Die Abgrenzung der Parsifal-Flözgruppe erfolgt unter anderem auch nach den Ergebnissen der geophysikalischen Bohrlochmessungen, wobei zahlreiche Messungen (speziell Gamma-Ray- und Soniclog-Messungen) aus Bohrungen in Nordwestdeutschland zur Verfügung standen (SCHUSTER 1971: Abb. 5). Bemerkenswert ist ein im oberen Teil dieser Gruppe auftretendes, verhältnismäßig mächtiges Flöz, das zumindest in der Lippe-Mulde recht konstant bleibt. Etwas höher tritt gelegentlich ein Horizont auf, der Foraminiferen führt.

Aber auch in der Rübezahl-Flözgruppe scheinen solche Horizonte vorhanden zu sein (Abt. 04). Das oberste Rübezahl-Flöz erreicht in der Lippe-Mulde Mächtigkeiten von mehr als 1 m und ist deshalb gut zu verfolgen. Eine Abgrenzung zur anschließenden Siegfried-Flözgruppe bereitet in diesen Aufschlüssen keine Schwierigkeiten.

Die Siegfried-Flözgruppe besteht aus zahlreichen meist dünnen Flözen. Erst in den jüngsten Aufschlüssen war zu erkennen, daß eines der obersten Flöze über 1 m mächtig sein kann. In seinem Hangenden tritt mitunter ein Faunenhorizont auf, der neben nichtmarinen Muscheln (Anthraconauta), Ostracoden der Carbonita-Gruppe und Fischschuppen, in der Abteilung 05 der Schachtanlage Fürst Leopold-Baldur auch Conchostraken (Anomalonema reumauxi (PRUVOST)) führt. Aus den jetzt vorliegenden Ergebnissen ist nämlich zu entnehmen, daß der von FIEBIG (1971: Abb. 2 u. 3) beschriebene Horizont nicht über Flöz Tristan 1, sondern über der Siegfried-Flözgruppe liegt. Die Verwechslung beruhte auf der Unkenntnis des erst jetzt aufgeschlossenen, mächtigeren Siegfried-Flözes, das auch in Hoxberg 1 einen Faunenhorizont führt, in dem sogar Foraminiferen gefunden wurden. Möglicherweise hat dieser Horizont - zumindest regional - leitende Bedeutung. Interessant ist auch der Fund eines Kaolin-Kohlentonsteins in der Siegfried-Gruppe durch W. PFISTERER. Allerdings gelang es ihm nur noch, diesen zuerst in der Bohrung Specking 1 beobachteten Kaolin-Kohlentonstein in den Standproben der Bohrungen Hoxberg 1 und Venn 1 nachzuweisen.

Während im Marler Graben nur Aufschlüsse bis ins Hangende der Siegfried-Flözgruppe bekannt sind, wurden im Kirchhellener Graben und dem nach Osten anschließenden Dorstener Horst auch noch jüngere Schichten aufgeschlossen. Dazu gehören die beiden Tristan-Flöze, von denen das oberste oft zweigeteilt ist, aber gewöhnlich bauwürdige Mächtigkeiten aufweist.

In den Bohrungen Schwickingsfeld 1 und Flothkamp 1 konnte erstmals die Undine-Flözgruppe im Ruhrgebiet erschlossen werden, die dort nur unbauwürdige Flöze führt. Die Bohrung Flothkamp 1 lieferte schließlich einen noch etwas höheren Aufschluß, der in der nicht vollständig erfaßten Volker-Flözgruppe endete. Stratigraphisch besonders auffällige Merkmale wurden – wenn man von der Flora absieht – nicht gefunden. Damit beträgt die gesamte aufgeschlossene Schichtenfolge des Westfals C in der Lippe-Mulde derzeit ca. 750 m.

3. Das Westfal C in der Raesfelder Mulde

Die alten Mutungs- und Untersuchungsbohrungen in der Raesfelder Mulde ließen sich stratigraphisch nicht einordnen. Erst durch die im Jahre 1981 abgeteuften Bohrungen Rhade 2 und Lembeck 1 gelang es, die angetroffenen Schichten zu identifizieren (Taf. 2 in der Anl.). Dabei zeigte sich, daß die Ausbildung der Schichten recht ähnlich ist, wenn auch bestimmte Flözabstände in der Raesfelder Mulde im unteren Teil des Westfals C etwas geringer sind als in der Lippe-Mulde (Tab. 1). Dies entspricht aber dem Trend, wonach die größte Mächtigkeit der Unteren Dorstener Schichten im Bereich der Emscher-Mulde liegt (FIEBIG 1971, STRACK & FREUDENBERG 1984) und nach Norden beziehungsweise Nordwesten abnimmt.

Flözbereich	Siegfried bis	Nibelung bis	Hagen 1 bis	Erda bis	
Bohrung	(m)	(m)	(m)	(m)	
Lippe-Mulde					
Lippermulde 1	210	180	205	125	
Flothkamp 1	220	220 200		130	
Hoxberg 1	ca. 215	200	ca. 215	ca. 140	
Brg. in Abt. 04 Fürst Leopold-Baldur	ca. 225	_	_	_	
Wüstenhof 1		170	220	135	
Lange Heide 1		ca. 180	ca. 200	ca. 130	
Kusenhorst 1	225	180	ca. 210	ca. 135	
Altenkamp 1			ca. 215	ca. 125	
Raesfelder Mulde					
Rhade 2	—	125	190	115	
Lembeck 1	_	ca. 140	195	125	
Lembeck 2	ca. 235	125	190	120	
Specking 1	235	135	195	125	
Besenkamp 1	230	145	185	115	

Tabelle 1 Flözabstände in einigen Aufschlüssen des nördlichen Ruhrgebietes

Der marine Ägir-Horizont konnte in allen Neuaufschlüssen nachgewiesen werden. Allerdings ist die Ausbildung der einzelnen Faunenbänder etwas anders als in der Lippe-Mulde. Der Übergang vom 1. (unteren) Band zum 2. (mittleren) ist fließend. Die Faunenführung geht ohne Unterbrechung, wenn auch mit wechselndem Inhalt, bis zur sandigen Schichtenfolge über den Bändern durch. Das obere Faunenband fehlt in den jüngsten Bohrungen, weil die sandigen Schichten bis zum Flöz Baldur reichen. In den Bohrungen Lembeck 2 und Specking 1 konnte W. PFISTERER (Bergbau AG Lippe) einen Kaolin-Kohlentonstein im Flöz Baldur nachweisen. Ein neuer Tonstein innerhalb der Chriemhilt-Flözgruppe, der von H. SCHLOMS (Westf. Bergewerkschaftskasse) in der Bohrung Besenkamp 1 gefunden wurde, scheint nur lokal ausgebildet zu sein. Über seine Genese bestehen noch unterschiedliche Auffassungen. Die Chriemhilt-Flözgruppe beschränkt sich im wesentlichen auf die oberen Flöze.

Als wichtiges Leitflöz ist Flöz Erda durch seinen bis 12 cm mächtigen Kaolin-Kohlentonstein auch in der Raesfelder Mulde gut zu identifizieren. Dies gilt auch für die Hagen-Flöze, von denen besonders Flöz Hagen 1 in allen Bohrungen angetroffen wurde. Dagegen fällt Flöz Hagen 4 mit seinem Kaolin-Kohlentonstein manchmal aus, weil der Sandstein zwischen den Flözen Gudrun und Hagen stellenweise so mächtig ist, daß die unteren Hagen-Flöze verdrängt werden. Bemerkenswert ist die Aufspaltung des Flözes Hagen 1, dessen Oberbank wegen des sich nach Westen einstellenden nichtmarinen Faunenhorizontes gut von der Iduna-Gruppe abhebt. Der Palaeestherien-Horizont über Flöz Kobold wurde in der Raesfelder Mulde bisher nicht nachgewiesen. Dafür sind in der Bohrung Lembeck 1 Palaeestherien über Flöz Midgard 2 gefunden worden. Dieser Horizont scheint aber auch faziesabhängig zu sein, denn in der Bohrung Rhade 2 fehlen diese Conchostraken.

Wie schon erwähnt, konnten in der Bohrung Rhade 2 in der Nibelung-Flözgruppe zwei Kaolin-Kohlentonsteine nachgewiesen werden. Warum in der Bohrung Lembeck 1 nur der untere gefunden wurde, obwohl alle Flöze wie in der Bohrung Rhade 2 ausgebildet sind, ist nicht klar. Möglicherweise sind tektonische Störungen die Ursache, die die Nibelung-Gruppe in der Bohrung Lembeck 1 durchsetzen.

Während die Untere Odin-Gruppe in den Bohrungen auf dem Südflügel der Raesfelder Mulde im östlichen Teil des Untersuchungsraumes durch mehrere Flöze vertreten wird, ist sie in der Bohrung Rhade 2 nur noch an einem Flözniveau in einem mächtigen, teilweise konglomeratischen Sandstein zu erkennen. Damit ähnelt diese Ausbildung derjenigen in der Bohrung Lippermulde 1. Auch hier zeigt sich, daß die neue Abgrenzung der Flözgruppen richtig ist.

In der Oberen Odin-Gruppe sind die zahlreichen dünnen Flöze ohne markante Leitschichten angetroffen worden. Zwar konnte W. PFISTERER im Flöz 37 der Bohrung Specking 1 einen geringmächtigen Kaolin-Kohlentonstein nachweisen, doch ist nicht sicher, ob diese Lage aushält. Ein nichtmariner Faunenhorizont in der Bohrung Lembeck 1 dürfte auch nur lokale Bedeutung haben. Etwas wichtiger scheint dagegen eine 0,2 cm dicke Kaolin-Kohlentonsteinlage im obersten Parsifal-Flöz zu sein, die allerdings auch nur in der Bohrung Specking 1 gefunden wurde (vgl. BURGER & FIEBIG & STADLER 1984: Tab. 2). Dies liegt aber wahrscheinlich daran, daß das Flöz häufig vom hangenden Sandstein verdrängt wurde. In der Bohrung Lembeck 2 fällt ein 160 m mächtiges Schichtenpaket zwischen der Unteren Odin-Gruppe und der Siegfried-Gruppe an einer Abschiebung aus, so daß die Obere Odin- und die Parsifal-Gruppe nicht erfaßt werden konnten.

Größere stratigraphische Bedeutung kann dem Kaolin-Kohlentonstein in der Siegfried-Gruppe zugemessen werden, den W. PFISTERER bereits in vier Bohrungen nachgewiesen hat. Auch dieser Kohlentonstein liegt im obersten Flöz der Gruppe, das manchmal infolge Erosion ausfällt. Daraus ist zu entnehmen, daß auch über der Siegfried-Gruppe ein Sandstein liegen kann. Dadurch fehlt auch jener Faunenhorizont, in dem in der Abteilung 05 der Schachtanlage Fürst Leopold-Baldur (FIEBIG 1971) *Anomalonema remauxi* (PRUVOST) gefunden wurde.

Nur in den beiden Bohrungen Lembeck 2 und Specking 1 sind noch jüngere Schichten des Westfals C aufgeschlossen worden. Während in der Bohrung Lembeck 2 nur ein Tristan-Flöz entwickelt ist, treten in der Bohrung Specking 1 drei Flöze auf, die allerdings dicht beieinander liegen.

In der nur aus geringmächtigen Flözen bestehenden Undine-Flözgruppe fällt ein nichtmariner Faunenhorizont über dem untersten Flöz auf, der auch in der Bohrung Flothkamp 1 beobachtet wurde. Andere Leitmerkmale fehlen. Zwischen der Undine- und der folgenden Volker-Flözgruppe liegt ein teilweise konglomeratischer Sandstein. Während die Volker-Gruppe in der Bohrung Flothkamp 1 unter dem Deckgebirge nicht vollständig angetroffen wurde, konnte sie erstmals in der Bohrung Specking 1 erfaßt werden. Dabei bestätigte sich die schon früher von SCHUSTER (1971) erkannte Identität des obersten, auffallend mächtigen Flözes mit dem Flöz Glücksburg im Ibbenbürener Karbon. Zwar beruht diese Gleichstellung im wesentlichen auf der Konnektierung der geophysikalischen Bohrlochmessungen, doch dürfte an der Richtigkeit kein Zweifel bestehen. In der Bohrung Lembeck 2 fällt dieses wichtige Flöz aus, weil eine Abschiebung einen Schichtenausfall von ca. 25-30 m verursachte. Während hier nur noch ein Flözniveau in der Walküre-Flözgruppe angetroffen wurde, sind in der Bohrung Specking 1 noch zwei dünne Flöze mehr entwickelt, die nach SCHUSTER zur Zwischenflözgruppe IV in Ibbenbüren gehören. In dieser Bohrung wurde unter dem Deckgebirge schließlich noch die Xanten-Flözgruppe (= Zwischenflöze III) erfaßt, die aber wahrscheinlich nicht vollständig aufgeschlossen wurde, wie das Flözniveau 1 anzeigt. Bemerkenswert ist der Fund von "Augen" (Grabgänge von Planolites ophthalmoides JESSEN), die aus so jungen Schichten des westdeutschen Oberkarbons bisher nicht bekannt waren. Vielleicht entwickelt sich daraus ein wichtiger Leithorizont im oberen Westfal C.

Nach den Angaben von SCHUSTER (1971) anhand der Aufschlüsse in Ibbenbüren und Bohrungen in Nordwestdeutschland fehlen bis zur Grenze Westfal C/D vom höchsten Aufschluß der Bohrung Specking 1 noch etwa 80 – 100 m, in denen noch zwei Flözgruppen (= Zwischenflöze II und I) vermutet werden. Für diese stehen die Namen Yggdrasil und Ziu zur Verfügung, ehe mit dem Flöz Dickenberg das Westfal C endet. Damit scheint die Gesamtmächtigkeit des Westfals C in diesem Teil des Ruhrgebietes etwa 900 – 920 m zu betragen.

Die noch fehlenden Schichten des Westfals C im nördlichen Ruhrrevier werden wahrscheinlich ca. 2-3km nordwestlich bis nördlich der Bohrung Specking 1 zu erwarten sein. Wann dieser Aufschluß geschaffen wird, ist allerdings noch offen.

Nachtrag:

Auf Anregung des Arbeitskreises Geologie im Ausschuß "Markscheidewesen" beim Steinkohlenbergbauverein fand am 19. 9. 1984 in Bochum unter Fachkollegen eine Diskussion über die Gliederung des Westfals C im Ruhrgebiet statt. Dabei einigte man sich auf folgende Regelung:

Die Unterteilung in unteres und oberes Westfal C wird – wie von BLESS et al. (1977) angegeben – übernommen. Die Grenze wird festgelegt an der Basis eines allerdings im Ruhrgebiet noch nicht durch Fossilien nachgewiesenen marinen beziehungsweise marin beeinflußten Horizontes im Hangenden des jüngsten Nibelung-Flözes. Fehlt der Horizont, weil ein Sandstein erosiv den marinen Horizont und auch Teile der Nibelung-Flöze verdrängt hat, wird die Grenze an der Basis des Sandsteins gezogen.

Allein das untere Westfal C (C1) soll nun im Ruhrgebiet als Dorstener Schichten bezeichnet werden, für das obere Westfal C (C2) wird die neue von FIEBIG (1983) in Nienhagen vorgeschlagene Bezeichnung Lembecker Schichten eingeführt.

Als Richtschichtenschnitt für das im Ruhrgebiet noch nicht vollständig bekannte Westfal C wird in Ergänzung des von OBERSTE-BRINK (1930) aufgestellten Normalprofils das Bohrprofil der Bohrung Specking 1 (1982) der Bergbau AG Lippe vorgeschlagen.

4. Schriftenverzeichnis

- BLESS, M. J. M., & BOUCKAERT, J., & CALVER, M. A., & GRAULICH, J. M., & PAPROTH, E. (1977): Paleogeography of Upper Westphalian deposits in NW Europe with reference to the Westphalian C North of the mobile Variscan belt. – Meded. Rijks geol. Dienst., N. S., 28 (5): 101 – 127, 11 Abb., 1 Anl.; Maestricht.
- BÖGER, H., & FIEBIG, H. (1962): Conchostracen im flözführenden Oberkarbon des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. – Paläont. Z., H. SCHMIDT-Festbd.: 8 – 24; Stuttgart.
- BURGER, K. (1977): Bedeutung der Kaolin-Kohlentonsteine für die geologisch-bergbauliche Forschung und Praxis im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenrevier. – Glückauf-Forschungsh., **38** (4): 154–161, 4 Abb., 2 Tab.; Essen.
- (1982): Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung für die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerstätten. – Z. dt. geol. Ges., 133: 201 – 255, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- Kohlentonsteine im Oberkarbon NW-Europas. Ein Beitrag zur Geochronologie. C. R.
 10. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Madrid 1983; Madrid. [Im Druck]
- BURGER, K., & FIEBIG, H., & STADLER, G. (1984): Kohlentonsteine in den Explorationsräumen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 151 – 169, 10 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- BURGER, K., & OTTE, M.-U., & PFISTERER, W. (1979): Nibelung-Kaolin-Kohlentonstein als neuer Leithorizont im Ruhrkarbon. – Glückauf-Forschungsh., 40 (5): 224 – 232, 8 Abb.; Essen.
- EDWARDS, W., & STUBBLEFIELD, C. J. (1948): Marine bands and other faunal markerhorizons in relation to the sedimentary cycles of the Middle Coal Measures of Nottinghamshire and Derbyshire. – Quart. J. Geol. Soc., **103** (4): 209–260, 10 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; London.
- FIEBIG, H. (1966): Ausbildung und Faunenführung des marinen Ägir-Niveaus (Basis Westfal C1) in der Lippe-Mulde des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 13 (1): 203 – 242, 24 Abb., 4 Taf.; Krefeld.
- (1971): Das höhere Westfal C im Marler Graben (nördliches Ruhrrevier). Fortschr.
 Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 33-46, 4 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- (1983): Vorschlag zur Gliederung des Westfal C im Ruhrgebiet. Vortr. Tag. Subkomm. Karbonstrat., Nienhagen 28. 10. 1983.
- HEDEMANN, H.-A., & FABIAN, H. J., & FIEBIG, H., & RABITZ, A. (1972): Das Karbon in marin-paralischer Entwicklung. – C. R. 7. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Krefeld 1971, 1: 29–47, 10 Abb.; Krefeld.

- JOSTEN, K.-H. (1966), mit Beitr. von PAPROTH, E.: Zur Flora des jüngeren Karbons (Westfal C bis Stefan) in Nordwestdeutschland und ihr Vergleich mit anderen Gebieten. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 565–644, 24 Abb., 1 Tab., 18 Taf.; Krefeld.
- JOSTEN, K.-H., & LAVEINE, J. P. (1984): Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 89-117, 4 Abb., 11 Taf.; Krefeld.
- JOSTEN, K.-H., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Zusammenfassende Übersicht über das höhere Oberkarbon im Ruhrrevier, Münsterland und Ibbenbürener Raum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 281 – 292, 1 Taf.; Krefeld.
- KUKUK, P. (1920): Bemerkenswerte Einzelerscheinungen der Gasflammkohlenschichten in der Lippermulde. Glückauf, **56**: 805 810 u. 829 835; Essen.
- OBERSTE-BRINK, K., & BÄRTLING, R. (1930): Die Gliederung des Karbonprofils und die einheitliche Flözbenennung im Ruhrkohlenbecken. – Glückauf, 66: 889–893 u. 921– 933, 11 Abb., 1 Taf.; Essen.
- SCHLEPPER, H. (1971): Stratigraphisch-faunistische Untersuchungen in den Dorstener Schichten (Westfal C) des Ruhrkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 1–32, 8 Abb., 4 Tab., 8 Taf.; Krefeld.
- SCHUSTER, A. (1968): Karbonstratigraphie nach Bohrlochmessungen. Erdöl-Erdgas-Z., 84: 439 457, 35 Abb.; Wien, Hamburg.
- (1971): Die Westfal-Profile der Bohrungen Bockraden 1 bis 5 bei Ibbenbüren und ihre Parallelisierung mit dem Bohrprofil Norddeutschland 8 und dem jüngsten Ruhrkarbon nach Bohrlochmessungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 18: 233–256, 5 Abb.; Krefeld.
- STRACK, Ä., & FREUDENBERG, U. (1984): Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 243–256, 13 Abb.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984

Tafel 1 in der Anlage Schichtenschnitte Raesfelder Hauptmulde

> Plate 1 in the annex Sections Raesfeld syncline

Tafel 2 in der Anlage Schichtenschnitte Lippe-Hauptmulde

> Plate 2 in the annex Sections Lippe syncline



Abschätzung von Westfal-C-Mächtigkeiten im Ruhrrevier aus paläogeothermischen Untersuchungen

32

Von GÜNTER BUNTEBARTH und ILSE KOPPE*

Upper Carboniferous, Westphalian C, paleogeothermics, paleotemperature, coalification, thickness (calculated original thickness), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Die zur geothermischen Auswertung vorliegenden Inkohlungsprofile zeigen sehr hohe Temperaturgradienten für die Zeit der maximalen Versenkung der oberkarbonischen Sedimentgesteine an. Errechnete lokale Unterschiede im thermischen Zustand des Westfal-C-Beckens können weder materialbedingt erklärt werden, noch durch hydrothermale Aktivitäten. Wegen des Einflusses der Sedimentbedeckung auf die Größe des errechneten Temperaturgradienten und der nur ungenau bekannten Westfal-C-Mächtigkeit wird bei einem konstant angenommenen Temperaturgradienten die Überdeckung nach einer empirischen Gleichung ermittelt. Die lokalen Mächtigkeitsunterschiede werden allein einer unterschiedlichen Westfal-C-Mächtigkeit zugeordnet. Die Mächtigkeit des Westfals C liegt zwischen 500 und 1 100 m. Im östlichen Teil des Beckens deutet sich eine Aufwölbung an, auf der der Rechnung nach etwa 200 m weniger Westfal C gelegen haben.

[Estimation of the thickness of Westphalian C in the Ruhr area from paleo-geothermal investigations]

A b stract: The coalification profiles, which were used for geothermal interpretation, exhibit rather high temperature gradients which governed the basin during the deepest subsidence of the Upper Carboniferous sedimentary rocks. Local variations in the ancient thermal state of the basin can neither be explained with variations in thermal properties of the rocks nor with hydrothermal activity. The amount of the computed paleothermal gradient depends on the original thickness of the sedimentary cover, if an empirical formula is applied. Since the original thickness of Westphalian C is uncertain in the Ruhr basin and the structure of the basin supports the assumption of a constant thermal state, deviations from a constant mean value are due to variations in the thickness of Westphalian C. This thickness ranges from about 500 – 1 100 m. The eastern part of the basin indicates a vault on which a smaller thickness, reduced by about 200 m, is calculated.

[Estimation des épaisseurs de Westphalien C dans la Ruhr à travers des recherches paléogéothermiques]

R é s u m é : Les profils de houillification, exploités géothermiquement indiquent des gradients de température très élevés à l'époque où les sédiments du Carbonifère supérieur s'étaient effondrés au maximum. Les différences locales, calculées dans l'ancienne condition thermique du bassin, ne peuvent s'expliquer ni par la nature du matériau ni par l'activité hydrothermique. Il faut trouver la couverture des sédiments à travers une équation empirique où le gradient de température reste constant car cette couverture influe sur la valeur du gradient de température et parce qu'on ne connait pas l'épaisseur exacte du Westphalien C. Seules les différences d'épaisseur. L'épaisseur du Westphalien C se monte de 500 – 1 100 m. La partie Est du bassin indique une voûte où le Westphalien C avait d'après le calcul environ 200 m de moins.

* Anschriften der Autoren: Dr. G. BUNTEBARTH, Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal, Postfach 230, D-3392 Clausthal-Zellerfeld; Dipl.-Geophys. I. KOPPE, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Postfach 510 153, D-3000 Hannover 51

G. BUNTEBARTH & I. KOPPE

Die Hauptinkohlung hat im Ruhrkarbon präorogen stattgefunden (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1971), so daß die Erwärmung der Flöze kontinuierlich mit ihrer zunehmenden Versenkung erfolgte. Da nun ein Großteil der ehemaligen Sedimentbedeckung nach der asturischen Faltung abgetragen worden ist, läßt sich die ursprüngliche Mächtigkeit des Westfals nur abschätzen. Für die Inkohlungsprofile müssen zum Teil die Westfal-A-Mächtigkeiten und für alle verwendeten Profile die Westfal-B- und -C-Mächtigkeiten abgeschätzt werden. Die Überlagerungen müssen angegeben werden, um aus dem Inkohlungsgrad die Paläotemperaturgradienten (°C/km) errechnen zu können nach der empirischen Gleichung (BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICH-MÜLLER 1982):

$$dT/dz = 98,7 - 14,6 \ln \left[\frac{Rm^2}{\int (z + ze) dt + c} \right]$$
 (1)

Darin sind Rm die mittlere Vitrinit-Reflexion (%), T die Temperatur, z die Teufe der Probe, ze die erodierte Mächtigkeit, t die Zeit und c eine Konstante.

Während des Westfals hat eine Verlagerung der Zone größter Absenkung stattgefunden, die vom oberen Westfal A bis zu Beginn des Westfals C in nordwestlicher Richtung verlief (HEDEMANN & R. TEICHMÜLLER 1971, FIEBIG 1971, R. TEICHMÜLLER 1973). Für das Westfal A ist die Abschätzung eventuell fehlender Schichten dieser Stufe weniger unsicher als für die jüngeren Westfal-Stufen, weil fast alle ausgewerteten Profile die Westfal-A-Mächtigkeit bis zur Grenze Westfal B enthalten. Die Mächtigkeit des Westfals B wird im untersuchten Gebiet nach der Arbeit von FIEBIG (1971) als konstant mit 820 m angenommen. Die Lage der ausgewerteten Profile ist in Abbildung 1 ersicht-



90 geothermischer Gradient während des Westfals (°C/km)

--- ursprüngliche Westfal-C-Mächtigkeit nach R. TEICHMÜLLER

Abb. 1 Paläotemperaturgradienten des Westfals A – C im Ruhrrevier und am linken Niederrhein (aus BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982)

Fig. 1 Paleo-temperature gradients (°C/km) and original thickness of Westphalian C after R. TEICHMÜLLER in the Ruhr area and the Lower Rhine basin (after BUNTE-BARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982) lich, in der neben den Paläotemperaturgradienten auch die von R. TEICHMÜL-LER (in BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982: 52) abgeschätzte Westfal-C-Mächtigkeit angegeben ist.

Der Sedimentationsraum engte sich im Laufe des Oberkarbons immer mehr ein. Das Trogtiefste des Westfal-C-Beckens ist im Vergleich mit den vorhergehenden Becken nach Nordwesten vorgerückt. Der Großteil der Westfal-C-Bedeckung ist jedoch später abgetragen worden. Nur in großen Mulden im nordwestlichen Teil des Beckens sind noch Teile vorhanden. Aufgrund paläogeographischer Untersuchungen hat R. TEICHMÜLLER eine Abschätzung der Westfal-C-Mächtigkeit vorgenommen (s. Abb. 1), aufgrund derer die ehemaligen Temperaturgradienten nach Gleichung (1) errechnet wurden.

Am Südrand des Ruhrkohlenbeckens hat die Orogenese bereits im Westfal C eingesetzt (MACKOWSKY & KÖTTER 1962). Das Westfal-D-Becken liegt schon außerhalb der subvariscischen Saumsenke. Die Faltungsfront wandert, wie vorher die Tröge, vom Südrand des Beckens nach Nordwesten. Mit einsetzender Faltung und Hebung ist die Inkohlung im Ruhrkohlenbecken abgeschlossen (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1971).

Der Einfluß der bereits abgetragenen Schichtenmächtigkeit ze auf den Paläotemperaturgradienten zeigt Gleichung (1) auf: Wird die Mächtigkeit zu niedrig angenommen, steigt der errechnete Temperaturgradient, und wenn die Mächtigkeit zu groß abgeschätzt wird, ist der Temperaturgradient zu niedrig. Dieser Einfluß der Überdeckung auf das Temperaturfeld wird nun hier genutzt, um bei einem homogenen thermischen Zustand im Ruhrkohlenbecken die Überdeckung zu errechnen. Diese Methode erscheint deshalb sinnvoll, weil eine konstante Wärmeflußdichte in einem so homogenen Becken aut zu begründen ist. Die Sedimentgesteine sind im Westfal A und B etwa gleichartig zusammengesetzt. Im Westfal C werden sie sandiger, sind aber regional recht homogen, so daß materialbedingte Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit weitestgehend auszuschließen sind. Lokale Änderungen im Temperaturgradienten könnten jedoch, wie im Oberrhein-Graben, durch großzügige Thermalwasseraktivität hervorgerufen werden. Für eine im Ruhrkohlenbecken allgemein verbreitete hydrothermale Aktivität gibt es allerdings keine Anzeichen.

Bei einer konstanten Wärmeflußdichte Q und einer konstanten Wärmeleitfähigkeitsverteilung K ist der Temperaturgradient ebenfalls konstant:

$$Q = K \cdot dT/dz$$

(2)

Wird bei den vorliegenden Inkohlungsprofilen (BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982) der Temperaturgradient nach Gleichung (1) konstant gehalten und die ehemalige Überdeckung ze daraus errechnet, so ergeben sich die in Abbildung 2 angegebenen Mächtigkeiten, die als Westfal-C-Mächtigkeiten verstanden werden. Eine gleichbleibende Mächtigkeit des Westfals B (820 m) wird vorausgesetzt.

Die von R. TEICHMÜLLER (in BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982) abgeschätzten Westfal-C-Mächtigkeiten betragen für die untersuchten Profile zwischen 600 und 1 000 m. Die korrigierten Werte liegen im Bereich zwischen 500 und 1 100 m und stimmen damit recht gut überein. Die Mächtigkeitsverteilung ist jedoch in der östlichen Hälfte des Ruhrkohlenbeckens abweichend.





Fig. 2 Calculated original thickness of Westphalian C (km) from coalification profils assuming a constant paleo-temperature gradient

Aus den nicht sehr zahlreichen Profilen zeichnet sich ein quer zum variscischen Streichen liegendes Hochgebiet ab. Statt der erwarteten 1 000 m Westfal C nach Abbildung 1, errechnen sich nur 600 m (Abb. 2). Eine alternative Erklärung wäre, daß die Wärmeflußdichte in diesem Gebiet niedriger war als im übrigen Becken. Diese Interpretation wäre in dem Fall in Betracht zu ziehen, wenn die Querstruktur geologisch nicht bestätigt werden kann.

Sowohl die geringere Westfal-C-Mächtigkeit bei überall gleicher Wärmeflußdichte als auch eine niedrigere Wärmeflußdichte bei einem Becken ohne die vermutete Querstruktur führen zu der von BUNTEBARTH & KOPPE (1984) errechneten niedrigeren Inkohlungstemperatur des Flözes Sonnenschein in diesem Gebiet.

Dank: Wir danken Prof. Dr. M. WOLF (Rhein.-Westf. Techn. Hochschule, Aachen) und Dr. M. TEICHMÜLLER (Krefeld) für die zur Verfügung gestellten Inkohlungsdaten.

Schriftenverzeichnis

BUNTEBARTH, G., & KOPPE, I., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Paleogeothermics in the Ruhr basin.
 In: ČERMÁK, V., & HÄNEL, R. [Hrsg.]: Geothermics and Geothermal Energy: 45-55, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

BUNTEBARTH, G., & KOPPE, I. (1984): Erwärmung der Flöze Sonnenschein und Zollverein 2 im Ruhrkarbon bei maximaler Versenkung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 275–281, 3 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

- FIEBIG, H. (1971): Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 1. Das Rhein-Ruhr-Revier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 35–40, 7 Abb.; Krefeld.
- FIEBIG, H., & GROSCURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257 – 267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- HEDEMANN, H.-A., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons. – In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III.
 A. Der paralische Raum. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 129–142, 6 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- MACKOWSKY, M. TH., & KÖTTER, K. (1962): Kohlengerölle als Spuren vorasturischer Bewegungen am Südrand des Ruhrkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 055 – 1 060, 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Inkohlung. In: Die Karbonablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A. 1. Das Rhein-Ruhr-Revier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 47–56, 7 Abb.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, R. (1973): Die paläogeographisch-fazielle und tektonische Entwicklung eines Kohlenbeckens am Beispiel des Ruhrkarbons. – Z. dt. geol. Ges., **124**: 149 – 165, 1 Abb.; Hannover.

Eingang des Manuskriptes: 10. 4. 1984



Erwärmung der Flöze Sonnenschein und Zollverein 2 im Ruhrkarbon bei maximaler Versenkung

32

Von GÜNTER BUNTEBARTH und ILSE KOPPE*

Paleotemperature, geothermal heatflow, depth of subsidence, coalification, coal seam (Sonnenschein, Zollverein 2), Westphalian, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Die maximale Erwärmung von Flözen des Ruhrkarbons (mittleres Ruhrrevier) wird aus errechneten Paläotemperaturgradienten und den maximalen Versenkungstiefen abgeschätzt. Dabei wird angenommen, daß die Hauptinkohlung präorogen ist. Es ergeben sich eine Inkohlungstemperatur für das Flöz Zollverein 2 (Westfal B) von 105° C im Mittel bei $\bar{R}m = 1,01$ %. Das Flöz Sonnenschein (Westfal A) kann aufgrund vorliegender Daten in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die Werte im Bereich eines Hochgebietes im östlichen Teil des Ruhrkohlenbeckens repräsentieren eine Inkohlungstemperatur von 155° C bei $\bar{R}m = 1,38$ % und die im westlich anschließenden Gebiet eine Temperatur von 174° C im Mittel bei $\bar{R}m = 1,57$ %.

Die Inkohlungsdaten von Vertikalprofilen, die Westfal A und B mit ausreichender Profillänge aufgeschlossen haben, erlauben eine Differenzierung im Temperaturgradienten, der sich etwa an der Grenze zwischen beiden Westfal-Stufen ändert. Diese Änderung wurde bei der Berechnung der Inkohlungstemperatur für das Flöz Sonnenschein berücksichtigt.

Die Änderung im Temperaturgradienten kann nicht materialbedingt erklärt werden, sondern nur mit einer synsedimentären Abnahme der Wärmeflußdichte während der ersten Hälfte des Westfals C. Die Abnahme könnte zeitlich mit dem Beginn der Orogenese zusammenfallen.

[Paleotemperature of the coal seams Sonnenschein and Zollverein 2 in the Ruhr Carboniferous at maximum burial depth]

A b stract: The maximum heating of coal beds in the Ruhr Carboniferous is computed from paleogeothermal gradients and the maximum burial depth. It is stated that the coalification is pre-orogenic. The temperature at which the seam Zollverein 2 (Westphalian B) was exposed reached a mean value of 105°C with the vitrinite reflectivity of $\bar{R}_m = 1,01$ %. The seam Sonnenschein (Westphalian A) separates two groups with the data investigated. Profiles on a high in the eastern part of the Ruhr coal basin represent a coalification temperature of 155°C with $\bar{R}_m = 1,38$ % and those in the western part a mean temperature of 174°C with $\bar{R}_m = 1,57$ %.

The coalification data of profiles which have encountered Westphalian A as well as B exhibit two different temperature gradients. The change is indicated at the boundary of the stages A and B. This change in the thermal condition has been considered in calculating the coalification temperature of the seam Sonnenschein.

The change in the temperature gradient cannot be explained with changes in the thermal properties of the rocks, but with a synsedimentary decrease in the heat flow density during the first half of Westphalian C. The decrease coincides with the begin of the orogenesis.

^{*} Anschriften der Autoren: Dr. G. BUNTEBARTH, Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal, Postfach 230, D-3392 Clausthal-Zellerfeld; Dipl.-Geophys. I. KOPPE, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Postfach 51 01 53, D-3000 Hannover 51

[L'échauffement des veines de charbon Sonnenschein et Zollverein 2, pendant le Carbonifère dans la Ruhr lors d'un effondrement maximal]

R é s u m é : On évalue l'échauffement maximal des couches de charbon du Carbonifère (du milieu de la Ruhr) aux gradients paléogeothermiques qui furent aleurs atteints, et à la profondeur d'effondrement maximale. On suppose à partir de ceci, que la principale carbonification est pré-orogenése. Il en résulte que la température de carbonification de la veine Zollverein 2 (Westphalien B) est en moyenne de 105° C par $\bar{R}m = 1,01$ %. La veine Sonnenschein (Westphalien A) peut en raison de résultats obtenus être diviseé en deux groupes. Les données sur une voûte dans le partie Est du bassin indiquent une température de carbonification de 155° C par $\bar{R}m = 1,38$ % et celles dans le partie Ouest une température de 174° C par $\bar{R}m = 1,57$ %.

Les profils de carbonification, qui étaient renfermés dans Westphalien A et B, rendent possibles une différenciation dans les gradients de température, qui se modifient approximativement à la frontière de Westphalien A et B. Cette transformation fut considerée par le calcul de la temperature de carbonification pour la veine Sonnenschein.

Ce changement dans les gradients de température ne peut pas être expliqué par la nature du materiau, mais seulement par une diminution synsedimentaire du flux de chaleur pendant la première noitié de Westphalien C. Le flux du chaleur coïncide temporellement avec le début de l'orogenèse.

Bei paläogeothermischen Untersuchungen des Ruhrkohlenbeckens ließ sich aufzeigen, daß der Inkohlungs- und der errechnete Temperaturgradient für das Westfal A verschieden von den Gradienten des Westfals B und C sind (BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982). Die Änderung ist etwa an der Grenze zwischen Westfal A und Westfal B festzustellen. In manchen Profilen liegt sie im untersten Westfal B. Ein Histogramm der untersuchten Vertikalprofile ergibt für das Westfal A einen mittleren Temperaturgradienten von 74° C/km, wenn die noch höheren Gradienten am Rande des Krefelder Gewölbes dabei unberücksichtigt bleiben, und für die Westfal-Stufen B und C einen mittleren Gradienten von 67° C/km. Diese hohen Werte wurden von R. TEICH-MÜLLER (1973) aufgrund der hohen Inkohlungsgradienten vermutet. Auch CORNELIUS (1975) gibt einen hohen Gradienten von 50° C/km an. KARWEIL (1956), der mit seiner Arbeit die geothermische Interpretation des Inkohlungsgrades stark förderte, hat einen Temperaturgradienten von 40° C/km im Ruhrrevier a priori angenommen.

Wenn vorausgesetzt werden kann, daß bei maximaler Versenkung die maximale Inkohlung erreicht wurde, können die höchsten Reaktionstemperaturen errechnet werden. Diese Annahme ist gerechtfertigt, weil die Sedimentgesteine bereits im Oberkarbon/Perm gehoben und gefaltet wurden und dann keiner weiteren großen tektonischen Beanspruchung unterlagen, so daß eine präorogene Inkohlung vorliegt.

Die Änderung im errechneten Temperaturgradienten kann von unterschiedlicher Ursache sein. In Betracht gezogen wird zum einen eine materialbedingte Änderung und zum anderen eine zeitliche Änderung in der Wärmeflußdichte.

Eine konstante Wärmeflußdichte Q verursacht, wenn sie Gesteine mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten K durchfließt, unterschiedliche Temperaturgradienten dT/dz in den Schichten:

$$Q = K_1 (dT/dz)_1 = K_2 (dT/dz)_2$$

Sandsteine leiten die Wärme gut (K = 2,5 W/m° C), Tonsteine schlechter (K = 1,8 W/m° C) und Kohle sehr schlecht (K = 0,26 W/m° C). Neben den mate-

rialbedingten Unterschieden besitzt die Wärmeleitfähigkeit von Sedimentgesteinen des Ruhrkarbons, die hier untersucht wurden, überdies eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit, die bei grobkörnigen Sandsteinen bei Δ K/ (K Δ T) = -2 · 10^{-3°} C⁻¹ liegt und bei Tonsteinen bei Δ K/(K Δ T) = -0,5 · 10^{-3°} C⁻¹. Die starke Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit von Quarz bedingt auch bei Gesteinen mit Quarzanteil eine große Temperaturempfindlichkeit und verursacht bei einer Temperaturerhöhung um 100° C eine Erniedrigung der Wärmeleitfähigkeit von 20 %. Wegen der geringeren Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitzahl von Tonsteinen wird der Unterschied in der Wärmeleitfähigkeit zwischen beiden Gesteinen mit steigender Temperatur geringer.

Aufgrund der abnehmenden Leitfähigkeit der Sedimentgesteine mit der Temperatur müßte im gleichen Maße der Temperaturgradient ansteigen, wenn die Wärmeflußdichte konstant bleibt. Daß dieser Effekt zumindest nicht so ausgeprägt beobachtet wird, liegt sehr wahrscheinlich daran, daß mit zunehmender Temperatur und Teufe auch der Kompaktionsgrad zunimmt, der mit einer Zunahme in der Leitfähigkeit des Gesteins verbunden ist und damit den leitfähigkeitsmindernden Temperatureffekt teilweise kompensiert. Auch Wassermigrationen können zu großen Veränderungen im Temperaturfeld eines Sedimentbeckens beitragen, wie im Pannonischen Becken gezeigt wird (HORVATH & DOVÉNYI & LIEBE 1981) und damit materialbedingte Änderungen im thermischen Zustand völlig überprägen.

Vertikalprofile im Ruhrkarbon zeigen keine Änderung in der Zusammensetzung der Sedimentgesteine an der Grenze von Westfal A zu Westfal B an. Beide Westfal-Stufen haben eine mehr oder weniger einheitliche Zusammensetzung, Eine Änderung wäre eher im Westfal C begründet, wo der Kohlenanteil abnimmt und die Sedimentgesteine zunehmend sandiger werden. Eine materialbedingte Änderung im Temperaturgradienten an der Grenze Westfal A/B ist daher auszuschließen. Es muß sich um eine synsedimentäre Änderung im thermischen Zustand des Beckens handeln. Der angezeigte höhere Temperaturgradient im Westfal A entspricht einer ehemaligen Wärmeflußdichte von etwa 120 mW/m². Diese Wärmeflußdichte hat zu einem Zeitpunkt abgenommen, als die Reaktionstemperatur an der Grenze Westfal A/B nach weiterer Absenkung bei niedrigerer Wärmeflußdichte genau den gleichen Wert erreichte, so daß die Schichten im Hangenden den niedrigeren Temperaturgradienten anzeigen und diejenigen im Liegenden den höheren. Zur Berechnung der Flöztemperaturen müssen diese unterschiedlichen Temperaturgradienten zugrunde gelegt werden. Beim Flöz Zollverein 2, das im Westfal B liegt, wird der niedrigere thermische Zustand vorausgesetzt. Bei Flöz Sonnenschein, das in der Mitte des Westfals A liegt, wird die maximale Überdeckung von Westfal B und Westfal C bei niedrigerem Temperaturgradienten vorausgesetzt und die Westfal-A-Mächtigkeit bis zum Flöz Sonnenschein bei höherem Temperaturgradienten (Abb. 1).

Die Mächtigkeit des Westfals B ist im Ruhrkohlenbecken ziemlich einheitlich mit 820 m anzunehmen (FIEBIG 1971). Mit der Verlagerung des Trogtiefsten weiter nach Norden ergeben sich für das Westfal C unterschiedliche Sedimentmächtigkeiten, die im Zentralteil maximal 1 100 m erreichen können. Weil das Westfal C zum großen Teil abgetragen ist, wurden die Mächtigkeiten übernommen, die von R. TEICHMÜLLER (in BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICH-MÜLLER 1982: 52) und von BUNTEBARTH & KOPPE (1984) aufgrund von paläogeothermischen Untersuchungen korrigiert wurden.

G. BUNTEBARTH & I. KOPPE



Abb. 1 Modell zur Berechnung der Erwärmung der Flöze Zollverein 2 und Sonnenschein

Fig. 1 Model for calculation the heating of the coal seams Zollverein 2 and Sonnenschein

Nicht nur die ungenaue Kenntnis der Westfal-C-Mächtigkeiten trägt zu Unsicherheiten in der Temperaturbestimmung bei, sondern auch die Wärmeleitfähigkeit, die bei abnehmenden Kohlenanteil und überdies bei zunehmenden Sandanteil deutlich verbessert wird. Diese Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit hat bei gleicher Wärmestromdichte einen niedrigeren Temperaturgradienten zur Folge. Wenn daher mit konstantem und hohen Temperaturgradienten gerechnet wird, erhält man eine Abschätzung für maximale Temperaturen. Sie wird ermittelt nach folgender Gleichung:

$$T_{max} (Zollverein 2) = T_0 + (z_c + z_B) dT/dz$$
(1)

Für minimale Temperaturen kann man eine Abschätzung erhalten, wenn bei gleicher Wärmeflußdichte und höherer Wärmeleitfähigkeit mit einem niedrigeren Temperaturgradienten im Westfal C gerechnet wird. Es ist dann die Temperatur für das Flöz Zollverein 2:

$$T_{min} (\text{Zollverein 2}) = T_0 + (z_C K_B / K_C + z_B) dT/dz$$
(2)

Es sind darin T_o die Oberflächentemperatur, z_{B,C} die Mächtigkeiten und K_{B,C} die Wärmeleitfähigkeiten von Westfal C und B oberhalb Flöz Zollverein 2 und dT/dz der aus dem Inkohlungsgrad ermittelte Temperaturgradient.

Nimmt man als Oberflächentemperatur $T_0 = 20^{\circ}$ C an, so ergeben sich die in Tabelle 1 angegebenen Temperaturen nach den Gleichungen (1) und (2). Der Mittelwert aus den errechneten Daten ergibt eine Inkohlungstemperatur von T = 105°C bei einer mittleren Vitrinit-Reflexion von $\overline{R}m = 1,01\%$.

Die geographische Verteilung der Temperaturwerte erlaubt keine Differenzierung der Daten, weil die nicht genau festzustellende Überdeckung eine Standardabweichung des Mittelwertes von \pm 9°C bedingt (Abb. 2).

Zur Berechnung der Reaktionstemperaturen des Flözes Sonnenschein wird bis zur Grenze der Westfal-Stufen A/B die Temperatur aus dem niedrigeren Temperaturgradienten $(dT/dz)_1$ in den Schichten von Westfal C und B errechnet und die Westfal-A-Mächtigkeit oberhalb Flöz Sonnenschein (z_A) mit dem

278

Tabelle 1

Errechnete Maximal- und Minimaltemperaturen des Flözes Zollverein 2 bei größter Versenkung (Überdeckung und Paläotemperaturgradienten nach BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982)

Profil- Nr.	Mächt Westf. C (km)	igkeit Westf. B oberh. Flöz (km)	Temperatur- gradient (° C/km)	Temp min. (° C)	eratur max. (° C)	Vitrinit- Reflexion Rm (%)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	0,85 0,98 0,86 1,1 0,82 0,96 0,86 1,04 0,91 0,90 0,86 0,87 0,98 0,88 0,88	0,59 0,65 0,57 0,59 0,60 0,57 0,59 0,71 0,57 0,65 0,58 0,56 0,52 0,65 0,65 0,61	58 59 59 67 56 67 67 52 57 60 58 61 65 67 67	92 102 90 112 86 104 101 96 90 98 89 92 99 106 103	104 116 104 133 100 123 117 111 104 113 104 107 118 123 120	0,96 1,02 1,00 1,13 0,91 1,02 0,97 0,99 1,08 0,97 0,93 1,02 0,96 1,14 1,04

höheren Temperaturgradienten $(dT/dz)_2$ nach Tabelle 2. Je nachdem, welche Wärmeleitfähigkeit in den Westfal-C-Gesteinen angenommen wird, errechnet sich eine Minimal- (T_1) und Maximaltemperatur (T_2) :

 $T_1 \text{ (Sonnenschein)} = T_0 + (z_C K_B/K_C + z_B) (dT/dz)_1 + z_A (dT/dz)_2 (3)$

 T_2 (Sonnenschein) = $T_0 + (z_C + z_B) (dT/dz)_1 + z_A (dT/dz)_2$ (4)

Tabelle 2 enthält die nach den Gleichungen (3) und (4) berechneten Reaktionstemperaturen. Weil die Werte der Vitrinit-Reflexion deutlich zwei Grup-

Prof Nr.	Mächtigkeit Westf. C Westf. B Westf. A			Temperaturgradient min. max.		Temperatur min. j max.		Vitrinit- Reflexion
	(km)	(km)	oberh. Flöz (km)	(°C/km)	(°C/km)	(°C)	(°C)	Rm (%)
16 17 18 19 20 21 22 23	0,73 0,75 0,60 0,78 0,85 0,81 0,92 0,90	0,82 0,82 0,82 0,82 0,82 0,82 0,82 0,82	0,53 0,69 0,58 0,78 0,71 0,69 0,62 0,52	64 64 61 65 70 65 60	72 72 77 61 78 91 78 80	144 156 144 151 168 180 164 149	157 170 156 165 184 197 181 165	1,38 1,38 1,39 1,3 1,56 1,57 1,56 1,57

Tabelle 2

Errechnete Maximal- und Minimaltemperaturen des Flözes Sonnenschein bei größter Versenkung (Überdeckung und Paläotemperaturgradienten nach BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982)





pen unterscheiden, nämlich eine bei $\bar{R}m = 1,38$ % und eine andere bei $\bar{R}m = 1,57$ %, werden die Temperaturen auch getrennt gemittelt. Dem niedrigeren Reflexionswert entspricht eine mittlere Reaktionstemperatur von 155° C und dem höheren eine von 174° C.

Aus der geographischen Verteilung der errechneten Temperaturen in Abbildung 3 läßt sich erkennen, daß die niedrigeren Werte im Bereich eines Hochgebietes im östlichen Teil des Ruhrkohlenbeckens liegen. Am linken Niederrhein wirkt sich das Krefelder Gewölbe mit den hohen Temperaturgradienten auf die Reaktionstemperaturen mit entsprechender Erhöhung aus.

Die Überlagerung von Flöz Sonnenschein läßt sich aus der Reaktionstemperatur an der Grenze Westfal A/B, die mit dem niedrigeren Temperaturgradienten zu ermitteln ist, bei der höheren Wärmeflußdichte errechnen und damit der Zeitpunkt der Änderung im thermischen Zustand. Nach dieser Änderung wurde noch die restliche Westfal-C-Mächtigkeit z* (s. Abb. 1, S. 278) abgelagert. Der Zeitpunkt der Abnahme in der Wärmeflußdichte liegt in der ersten Hälfte von Westfal C und stimmt zeitlich mit dem Beginn der Orogenese überein (MACKOWSKY & KÖTTER 1962).

Dank: Die Autoren danken Prof. Dr. M. WOLF (Rhein.-Westf. Techn. Hochschule, Aachen) und Dr. M. TEICHMÜLLER (Krefeld) für die zur Verfügung gestellten Inkohlungsuntersuchungen.



- Abb. 3 Erwärmung des Flözes Sonnenschein bei maximaler Versenkung
- Fig. 3 Heating of the seam Sonnenschein at maximum burial

Schriftenverzeichnis

- BUNTEBARTH, G., & KOPPE, I., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Paleogeothermics in the Ruhr basin. – In: ČERMÁK, V., & HÄNEL, R. [Hrsg.]: Geothermics and Geothermal Energy: 45–55, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BUNTEBARTH. G., & KOPPE I. (1984): Abschätzung von Westfal-C-Mächtigkeiten im Ruhrrevier aus paläogeothermischen Untersuchungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 32: 269–273, 2 Abb.; Krefeld.
- CORNELIUS, C.-D. (1975): Die Phasen der organischen Metamorphose im Zeit-Temperatur-Diagramm. – Compend., **74/75** (1) (Erg.-Bd. z. Z. Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochem.): 70–83, 6 Abb.; Leinfelden.
- FIEBIG, H. (1971): Entwicklung der Schichtenmächtigkeiten. In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A.1. Das Rhein-Ruhr-Revier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 19: 35–40, 7 Abb.; Krefeld.
- HORVATH, F., & DÖVÉNYI, P., & LIEBE, P. (1981): Geothermics of the Pannonian basin. Earth sci., **3 4**: 285 291, 4 Abb., 3 Tab.; Braunschweig.
- KARWEIL, J. (1956): Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. Z. dt. geol. Ges., **107**: 132-139, 2 Abb.; Stuttgart.
- MACKOWSKY, M. TH., & KÖTTER, K. (1962): Kohlengerölle als Spuren vorasturischer Bewegungen am Südrand des Ruhrkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 055 – 1 060, 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- TEICHMÜLLER, R. (1973): Die paläogeographisch-fazielle und tektonische Entwicklung eines Kohlenbeckens am Beispiel des Ruhrkarbons. – Z. dt. geol. Ges., **124**: 149–165, 11 Abb.; Hannover.

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984



Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen im Ruhrkarbon in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau

32

Von VOLKER WEBER*

Rock temperature, temperature gradient, Upper Carboniferous precalculation, coal mine, Rhenish-Westphalian basin (Ruhr district)

Kurzfassung: In Abhängigkeit von der Häufigkeit der Gesteinsarten im Karbon für das Niveau - 1500 m NN einer Schachtanlage wurden Gebirgstemperaturen und Temperaturgradienten vorausberechnet. Für die Vorhersage standen 28 Temperaturmeßwerte und petrographische Schichtenaufnahmen von 28 untertägigen Bohrlöchern zur Verfügung. Eine Auswertung benötigt Angaben über die Mächtigkeiten von Kohle, Sandstein, Sandschieferton und Schieferton sowohl für jeden der 28 Temperaturmeßwerte als auch für jeden Temperaturvorausberechnungsort im Vorhersagegebiet. Da diese Angaben nicht vollständig vorlagen, mußten zunächst aus den vorhandenen Bohrungen die Schichten unter Berücksichtigung des gleichmäßigen Einfallens der Lagerstätte nach Norden gleichgestellt werden. Im Anschluß daran wurden für jeden Temperaturmeßwert und für jeden Vorausberechnungsort petrographische Schichtenschnitte vom Deckgebirge bis zu einer Teufe von - 1 500 m NN konstruiert, aus denen sich die summarischen Mächtigkeiten der häufigsten Karbon-Gesteine ermitteln ließen. Die zusammengefaßten Schichtenabfolgen bildeten die Grundlage für eine Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen und der Temperaturgradienten. Die zu erwartende mittlere Gebirgstemperatur beträgt für das Vorhersagegebiet im Niveau – 1 500 m NN 61,7 \pm 0,4° C. Für den Temperaturgradienten bei – 1 500 m NN wurden $4,28 \pm 0,08$ K/100 m errechnet. Plausibilitätsbetrachtungen und ein Vergleich mit einer gemessenen Temperatur ergaben, daß der berechnete und der gemessene Wert im Rahmen der Fehlergrenzen übereinstimmen.

[Precalculation of temperatures in the carboniferous strata of the Ruhr coalfield depending on their stratification]

Abstract: Rock temperatures and temperatur gradients at -1500 m below sea level of a mine were calculated as a function of the occurrence of different rock types in the carboniferous strata. To the effect were available 28 temperature data and the petrographic sections of 28 underground boreholes. Parameters as thicknesses of coal, sandstone, sandy clay, and slate clay for each of the 28 temperature data as well as for each site within the zone under review for which temperature is to be calculated, are required for evaluation purposes. Since the above parameters were not complete, first strata had to be connected from existing boreholes in northward direction, assuming a consistent dip of the deposit. Then for each temperature datum and site under review, petrographic sections starting from the overburden down to a depth of - 1 500 m below sea level were produced whereby the approximative thicknesses of the predominant types of carboniferous rock were determined. The cumulative strata sequences then served as a basis for precalculating rock temperatures and temperature gradients. The expected average rock temperature for the zone under review and at - 1 500 m is 61,7 \pm 0,4° C. The calculated temperature gradient at this depth amounts to 4,28 \pm 0.08 K/100 m. Plausibility considerations and comparison with a temperature measurement showed that the calculated values coincide with the measured ones within accepted tolerances.

^{*} Anschrift des Autors: Dr.-Ing. V. WEBER, Bergbau-Forschung GmbH, Franz-Fischer-Weg 61, D-4300 Essen 13

[Précalcul des températures dans les terrains carbonifères de la Ruhr fonction de leur stratification]

Résumé: Les températures de terrain et les gradients de température ont été prévus en fonction de la fréquence des type de roche dans le carbonifère pour le niveau - 1 500 m par rapport au niveau de mer. Pour effectuer la prévision on disposait de 28 données de mesure de température et des levés de strate pétrographiques de 28 sondages souterrains. Pour procéder à une exploitation on avait besoin des données sur les puissances des charbon, grès, argile-schistes gréseux et argile schisteux tant pour chacune des 28 données de mesure de température que pour chaque point de prévision de température dans la zone faisant l'objet de prévision. Etant donné que ces données faisaient en partie défaut il était d'abord nécessaire, à partir des sondages existants, de paralléliser les strates compte tenu du pendage régulier vers le Nord. Ensuite des coupes d'ensemble pétrographiques ont été établies pour chaque donnée de mesure de température et pour chaque point de prévision depuis les morts terrains jusqu'à une profondeur de - 1 500 m par rapport au niveau de mer et à partir desquelles les puissances approximatives des roches du charbonifère rencontrées le plus souvent ont été déterminées. Les séquences des strates regroupées ont constitué la base d'une prévision des températures de terrains et des gradients de température. La température moyenne des terrains à escompter est pour la zone ayant fait l'objet d'une prévision au niveau – 1 500 m par rapport au niveau de mer de $61,7\pm0,4^{\circ}$ C. Pour le gradient de température au niveau - 1 500 m par rapport au niveau de mer on a obtenu par le calcul une valeur de 4,28 \pm 0,08 K/100 m. Des considérations de plausibilité et une comparaison avec une température mesurée ont montré qu'entre la valeur calculée et la valeur mesurée il y a une concordance au niveau des tolérances admises.

1. Einführung

Die Kenntnis der Gebirgstemperaturen und die Möglichkeit ihrer Vorausberechnung für zukünftige Planungsräume wird für den Steinkohlenbergbau des Ruhrreviers mit dem Fortschreiten des Abbaus in Teufenbereiche zwischen – 1 200 und – 1 600 m NN von zunehmender Bedeutung.

Mit dem Ansteigen der Gebirgstemperaturen mit zunehmender Teufe ist eine Verschlechterung des Grubenklimas verbunden. Zur Schaffung erträglicher Arbeitsbedingungen wird eine Klimatisierung der Grubenwetter notwendig. Die Optimierung des dazu erforderlichen hohen Aufwandes wird wesentlich beeinflußt von der genauen Kenntnis der Gebirgstemperaturen.

Seit dem Jahre 1975 werden im Dezernat "Markscheidewesen und Gebirgsschlagverhütung" bei der Bergbau-Forschung GmbH, Essen, mit öffentlichen Mitteln geförderte Forschungsvorhaben zur Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen durchgeführt. Die Forschungsarbeiten wurden zum Teil mit der finanziellen Beihilfe des Bundesministers für Forschung und Technologie, der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl und dem Land Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Für den Planungsraum der Schachtanlage Osterfeld wurden die Gebirgstemperaturen für das Niveau – 1 500 m NN vorausberechnet und die Temperaturgradienten für dieses Niveau ermittelt.

Der Planungsraum liegt im Südteil des Lohberger Horstes auf dem Südflügel der Lippe-Mulde zwischen – 1350 und – 1550 m NN. In dem mit ca. 2 – 6 gon gleichmäßig nach Norden einfallenden, tektonisch nur geringfügig beanspruchten Lagerstättenteil stehen die Oberen Bochumer Schichten mit folgenden bauwürdigen Flözen (EB) an: Hermann/Gustav mit ca. 220 cm, Anna mit ca. 110 cm, Matthias 2 mit ca. 115 cm und Hugo mit ca. 130 cm. Ein gravierender Fazieswechsel ist in der Nähe oder im Planungsbereich nicht bekannt. Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...

Über die Durchführung der Untersuchungen, den dazu erforderlichen Voraussetzungen sowie über das erreichte Ergebnis berichten die nachstehenden Ausführungen.

2. Auswertemethode

Gebirgstemperaturen wurden im Ruhrgebiet bisher im wesentlichen in Abhängigkeit von der Deckgebirgs- und der Karbon-Mächtigkeit für einzelne Schachtanlagen (z. B. REIFGERSTE 1967) sowie für das gesamte niederrheinisch-westfälische Steinkohlengebirge (z. B. LEONHARDT 1983) vorausberechnet. Für den Planungsraum einer Schachtanlage soll hier demonstriert werden, daß man mit einer über die Karbon-Mächtigkeit hinausgehenden differenzierteren Einbeziehung des Schichtenaufbaus zu einer genaueren Vorhersage der Gebirgstemperaturen kommt. Bei diesem Vorgehen wird vorausgesetzt, daß die terrestrische Wärmestromdichte für ein etwa 10 km² gro-Bes Gebiet konstant ist. Die innerhalb eines solchen Gebietes gemessenen wahren Gebirgstemperaturen hängen dann im wesentlichen nur von den unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten der petrographisch verschiedenen Gesteine ab. Ist die Gesteinsausbildung der Schichtenabfolge im Bereich der Temperaturmeßstellen und im Planungsgebiet bekannt und liegen dort keine stärkeren Wechsel im Einfallen und Streichen der Schichten sowie keine tektonischen Störungen mit größeren Verwurfsbeträgen vor, so lassen sich die Gebirgstemperaturen für jedes gewünschte Niveau zum Beispiel mit Hilfe eines Regressionsansatzes berechnen.

3. Beschreibung der Ausgangssituation

3.1. Temperaturmeßstellen

Im Planungsraum der Schachtanlage Osterfeld standen zur Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen für das Niveau – 1500 m NN 28 Temperaturmeßwerte aus dem Karbon zur Verfügung (Abb. 1). Mit Ausnahme von neun Meßwerten lagen die Temperaturmessungen außerhalb des Planungsraumes. Keine der 28 in die Auswertung einbezogenen Temperaturwerte erreichte das Niveau von – 1500 m NN: Der tiefste Meßwert lag bei – 1302 m NN, der höchste bei – 354 m NN.

Weitere im Umfeld des Planungsraumes vorhandene Temperaturwerte der Schachtanlage Prosper/Haniel sind nicht benutzt worden, da der Vondern-Sprung mit ca. 200 m Verwurf die östliche Markscheide bildet. Die Einbeziehung dieser Werte ist nur nach Kenntnis der Schichtenabfolge im Bereich der Meßstellen auswertungstechnisch sinnvoll. Der petrographische Aufbau war in diesem Bereich wegen fehlender Aufschlußbohrungen nicht zu ermitteln. Entsprechendes gilt für die im Westen liegenden Temperaturwerte der Schachtanlage Friedrich Thyssen, bei denen der Lohberger Sprung eine natürliche Grenze bildet. Nicht berücksichtigt wurden weiterhin solche Temperaturen, die in Verbindung mit benachbarten Temperaturwerten zu extremen Gradienten (grad $\vartheta > 10$ bzw. grad $\vartheta < 0$ K/m) führten.

Sämtliche 28 in die Auswertung einbezogenen Temperaturmeßwerte sind einheitlich nach dem Vorschlag von JAHNS (1956 a, 1956 b) etwa in den Jahren von 1958 – 1981 ermittelt worden und stellen damit eine von der Meßwerterfassung homogene Einheit dar.



Abb. 1 Ausgangssituation und Vorausberechnungsgebiet Fig. 1 Initial situation and area under review

3.2. Bohrungen

Bei der Auswertung der Temperaturmeßwerte in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau wurden 28 untertägige Bohrungen aus dem Planungsraum und seinem Umfeld berücksichtigt (Abb. 1). Schnitt 1 – 1 (Abb. 2) zeigt die räumliche und grundrißliche Anordnung der Bohrungen, wobei deutlich wird, daß mit Ausnahme der Bohrung 8 am Nordschacht keine der weiteren Bohrungen die für die Auswertung erforderliche Teufe von – 1500 m erreicht. Stratigraphisch deckten sie den Bereich zwischen den Flözen S2 und Röttgersbank 2 ab. Die Ansatzpunkte der Aufschlußbohrungen lagen zwischen – 713,9 m NN (Bohrung 12) und – 1 196,0 m NN (Bohrung 8) und erreichten mit der tiefsten Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...

Bohrung 8 eine NN-Teufe von – 1 479 m. Mit Ausnahme der Bohrungen 2, 8, 11 und 12 durchteuften die restlichen 24 Aufschlußbohrungen störungsfreies Gebirge.

Im südwestlichen Bereich befanden sich zehn Aufschlußbohrungen, die den Bereich zwischen – 788 und – 1288 m NN abdeckten, das heißt den Bereich zwischen den Flözen B1 und Röttgersbank 2.



- Abb. 2 Aufschlußbohrungen bezogen auf den Schnitt 2 im Grund- und Schnittriß (Schnittlinie s. Abb. 1)
- Fig. 2 Exploration boreholes related to section 2 represented in plan view and section (position s. fig. 1)
Im südöstlichen Gebiet standen vier Aufschlußbohrungen zwischen – 714 und – 1272 m NN mit den Flözen Q1 bis Ernestine 1/2 zur Verfügung.

Im nördlichen Bereich, im Vorhersagegebiet, lagen 14 Bohrungen. Dort wurden die Schichten zwischen – 755 und – 1479 m NN zwischen den Flözen S2 und Hugo erfaßt.

4. Geologische Auswertung der Aufschlußbohrungen

Für die Temperaturauswertung war es erforderlich, die Schichtenabfolge an jeder Temperaturmeßstelle und an jedem Vorausberechnungsort im Vorhersagegebiet (s. Abb. 1: Rasterpunkte) von der Deckgebirgsgrenze bis zu einer Teufe von - 1 500 m NN angeben zu können. Die Lösung dieser Aufgabe wurde in zwei Schritten vorgenommen. Aufgrund der räumlichen Verteilung der Aufschlußbohrungen und des gleichmäßigen Einfallens der Lagerstätte nach Norden wurden zunächst für die Bohrprofile die fehlenden Schichten bis zum Deckgebirge sowie bis zur Teufe von – 1500 m NN ergänzt. Im Anschluß daran wurden drei Bereiche: Südwest, Südost und Nord definiert. Aus den innerhalb dieser Bereiche liegenden Aufschlußbohrungen wurden die Schichten unter Berücksichtigung bekannter geologischer Störungen parallelisiert und hieraus für jeden Bereich ein repräsentativer Schichtenschnitt konstruiert (s. Abb. 1: fiktive Bohrungen). Die ihrer räumlichen Lage nach bekannten Gebirgstemperaturmeßstellen konnten nun stratigraphisch den entsprechenden Aufschlußbohrungen beziehungsweise konstruierten Schichtenschnitten zugeordnet werden. Da die Auswertestrategie selbst eine stärker differenzierte petrographische Unterteilung nicht benötigte, wurden diejenigen Schichten zusammengefaßt, die ähnliche Wärmeleitfähigkeiten aufwiesen. Durch Berücksichtigung der häufigsten Gesteinsarten im Karbon (Sandstein Sst, Sandschieferton Ssch, Schieferton Sch und Kohle K) sowie des Deckgebirges wurde den unterschiedlichen Temperaturgradienten in den jeweiligen Schichten Rechnung getragen.

Die summarischen Mächtigkeiten sind in Tabelle 1 (S. 293) mit Angabe der Gauß-Krüger-Koordinaten (R/H), der um 34° ins Generalstreichen und um einen lokalen Nullpunkt (R 25 53 587, H 57 09 586) reduzierten Koordinatenwerte (R*/H*), den Deckgebirgsmächtigkeiten (D) sowie den gemessenen Temperaturen (T) aufgelistet worden.

Für den Planungsraum wurde ein 500-m-Raster festgelegt und jedem der 71 Rasterpunkte wurde die in geringster Entfernung zu dem betreffenden Rasterpunkt liegende Aufschlußbohrung zugeordnet. Durch Ergänzen der fehlenden Schichtenfolgen aus den konstruierten Schichtenschnitten wurde für jeden einzelnen Rasterpunkt ein petrographischer Schichtenschnitt vom Deckgebirge bis – 1500 m NN erzeugt (Tab. 2, S. 294–295).

5. Mathematische Auswertung

Unter Zuhilfenahme der zusammengefaßten petrographischen Schichtenabfolge und den Deckgebirgsmächtigkeiten (Tab. 1) wurde für die Temperaturberechnung ein Regressionsansatz mit den folgenden Größen benutzt:

- R* = reduzierter und um 34° ins Generalstreichen gedrehter Rechtswert
- H* = reduzierter und um 34° ins Generalstreichen gedrehter Hochwert

Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...

- D = M\u00e4chtigkeit des Deckgebirges
- K = summarische Mächtigkeit der Kohle
- Sst = summarische Mächtigkeit des Sandsteins
- Ssch = summarische Mächtigkeit des Sandschiefertons
- Sch = summarische Mächtigkeit des Schiefertons

Aufgrund des geringen Datenumfanges von 28 Gebirgstemperaturen und der oben genannten sieben Einflußgrößen war die Auswahl möglicher Ansatzvarianten beschränkt. Bei verschiedenen Voruntersuchungen, bei denen die Einflußgrößen linear, quadratisch, kubisch, logarithmisch, reziprok und als Wurzelausdruck miteinander kombiniert wurden, sollte festgestellt werden, welcher Ansatztyp am wirkungsvollsten das Temperaturfeld beschreibt. Diese Untersuchungen führten zu dem Regressionsansatz:

$$\begin{split} \vartheta &= a_0 + a_1 K + a_2 Sst^3 + a_3 \sqrt{Sch'} + a_4 Sch \\ &+ a_5 Ssch + a_6 Ssch^2 + a_7 Sch \cdot Ssch \\ &+ a_8 \frac{Sch^2}{Ssch} + a_9 H^* + a_{10} H^{*2} + a_{11} R^* \\ &+ a_{12} R^{*2} + a_{13} \sqrt{D} + a_{14} \frac{1}{\sqrt{D'}} \end{split}$$

Die Regressionsanalyse mit automatischer Ansatzwahl lieferte hiermit den folgenden signifikanten Ansatz:

$$\vartheta = 15,18 + 0,15 \text{ K} + 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ Sst}^3 - 0,51 \text{ // Sch}^3$$
$$+ 0,16 \text{ Sch} - 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ Ssch}^2 - 0,03 \frac{\text{Sch}^2}{\text{Ssch}}$$
$$- 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ H}^* + 0,74 \cdot 10^{-7} \text{ H}^{*2}$$
$$+ 0,25 \cdot 10^{-7} \text{ R}^{*2} + 0,36 \text{ // D}^{T}$$

Das Bestimmtheitsmaß betrug 99,8 %, die Reststandardabweichung \pm 0,35 K.

In Tabelle 3 (S. 295) ist eine Gegenüberstellung gemessener und gerechneter Temperaturen aufgelistet worden. Maximale Temperaturdifferenzen traten an den Meßpunkten 1 und 3 mit – 0,74 und + 0,69 K auf. An den restlichen Meßstellen waren die Differenzen kleiner als 0,4 K, so daß der Ansatz das vorliegende Meßgebiet geeignet beschreibt.

Unter Berücksichtigung der im Planungsraum zu erwartenden Schichtenabfolge (Tab. 2, S. 294 – 295) ergaben sich die in der Abbildung 3 dargestellten Geoisothermen für das Niveau – 1 500 m NN. Die mittlere Gebirgstemperatur beträgt dort 61,7 \pm 0,4° C.



— 62.00 —— Geoisotherme (°C)

Abb. 3 Geoisothermenkarte für das Niveau – 1 500 m NN

Fig. 3 Map of geo-isothermal lines at -1500 m below sea leval



4.35 Linie gleicher Temperaturgradienten (K/100 m)

Abb. 4 Temperaturgradienten im Niveau – 1 500 m NN Fig. 4 Temperature gradients at – 1 500 m below sea level Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...



Temperatur-/Tiefenverlauf für den Rasterpunkt 55 Fig. 5 Vertical temperature profile at network point n^o 55

Abb. 5

Die Temperaturgradienten wurden aus der Differenz der berechneten Temperaturwerte bei – 1 400 und – 1 500 m NN ermittelt (Abb. 4). Im Planungsraum beträgt die mittlere Temperaturzunahme 4,28 \pm 0,08 K/100 m.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Teufe für den Rasterpunkt 55. Die Kurve ist im wesentlichen nicht linear, was auf eine unterschiedliche Zusammensetzung der Gesteine bei den verschiedenen Teufen zurückzuführen ist. Im Deckgebirge dagegen sind die Temperaturen zu hoch berechnet worden (durchgezogene Linie), vermutlich deswegen, weil der Schichtenaufbau im Deckgebirge nicht berücksichtigt wurde. Nimmt man eine mittlere jährliche Konstanttemperatur von etwa 8° C in einer Teufe von 10 m an (LEONHARDT 1983), so erhält man für den Temperaturverlauf im Deckgebirge die gestrichelte Linie.

6. Plausibilität

Die nachfolgenden Betrachtungen sollen zeigen, ob der für den Planungsraum benutzte Regressionsansatz physikalisch plausibel ist. Durch partielle Differentiation wurde die Wirksamkeit der verschiedenen Einflüsse x_i abgeschätzt. (Für die Mächtigkeiten bzw. Rechts- und Hochwerte in den Differentialquotienten wurden Mittelwerte x_i verwendet).

Die Tabelle 4 (S. 296) macht deutlich, daß die statistisch errechneten Koeffizienten dem Sinne nach physikalisch richtig wirken und die Temperatur mit zunehmender Mächtigkeit der Gesteinsarten ansteigt. Der Gradient in der Kohle ist wegen ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit wesentlich größer als die Gradienten in den übrigen Gesteinsarten. Wie bereits erwähnt wurde, ist der Gradient im Deckgebirge zu niedrig errechnet worden. Der Einfluß der Ortskoordinaten ist, wie es auch die Abbildungen 3 und 4 zeigen, ohne Bedeutung.

Das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung hat im Jahre 1980 aus Temperaturmessungen in der Bohrung 8 (Zechenbezeichnung der Bohrung 8 = 528/80) eine mittlere Wärmestromdichte von $88 \pm 21 \text{ mW/m}^2$ ermittelt (ZOTH 1981). Unter Benutzung dieses Wertes und der Temperaturgradienten der Tabelle 4 (S. 296) wurden mittlere Wärmeleitfähigkeiten nach der Beziehung

$$\lambda = \frac{Q}{\text{grad}}$$

berechnet. Im einzelnen ergaben sich für die ausgewerteten Gesteinsarten:

$$\lambda_{K} = \frac{0.088 \text{ W/m}^{2}}{0.145 \text{ K/m}} = 0.61 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{Sch} = \frac{0.088 \text{ W/m}^{2}}{0.0497 \text{ K/m}} = 1.77 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{Ssch} = \frac{0.088 \text{ W/m}^{2}}{0.0324 \text{ K/m}} = 2.72 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{Sst} = \frac{0.088 \text{ W/m}^{2}}{0.014 \text{ K/m}} = 6.29 \text{ W/mK}$$

Mittelt man diese Wärmeleitfähigkeiten, so erhält man

$$\lambda = 2,85 \text{ W/mK}$$

Zum Vergleich dazu hat das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung die mittlere Wärmeleitfähigkeit an über 70 Bohrkernen der Bohrung 8 zu

$$\lambda = 2,62 \pm 0,76 \text{ W/mK}$$

bestimmt (ZOTH 1981). Der Vergleich der gerechneten mit der gemessenen Wärmeleitfähigkeit stimmt somit im Bereich der Fehlergrenzen überein.

Das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung hat in der oben erwähnten Bohrung 8 mit drei Maximumthermometern Temperaturmessungen in – 1 477 m NN durchgeführt und dort eine Temperatur von 60,6° C gemessen. Extrapoliert man diesen Wert auf – 1500 m NN mit dem vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung errechneten Gradienten von 0,0341 K/m, so erhält man dort 61,4° C (ZOTH 1981). Der errechnete Wert betrug am Nordschacht 61,9° C. Beide Werte können im Rahmen der Zuverlässigkeit als übereinstimmend aufgefaßt werden. Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...

7. Schriftenverzeichnis

- JAHNS, H. (1956 a): Die Vorarbeiten zur Ermittlung der natürlichen Gebirgstemperatur in den Bergwerken des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbezirks. – Mitt. Markscheidewes., **63**: 143 – 173, 8 Abb., 8 Tab.; Herne.
- (1956 b): Richtlinien f
 ür die Ermittlung der nat
 ürlichen Gebirgstemperatur. Mitt. Markscheidewes., 63: 174 – 185, 4 Abb., 1 Tab.; Herne.
- LEONHARDT, J. (1983): Die Gebirgstemperaturen im Ruhrrevier. Markscheidewes., 90: 218-230, 20 Abb., 1 Tab.; Essen.
- REIFGERSTE, K. (1967): Untersuchungen über Gebirgs- und Wettertemperaturen im Steinkohlenbergbau und daraus abgeleitete N\u00e4herungsverfahren f\u00fcr die Vorausberechnung. – Diss. Tech. Hochsch. Clausthal: 78 S., 36 Abb., 11 Tab., 5 Anl.; Clausthal-Zellerfeld.
- ZOTH, G. (1981): Thermische Messungen in der Bohrung 528/80 der Bergwerksanlage Osterfeld/Nordschacht. – 8 S.; Hannover (Niedersächs. L.-Amt Bodenforsch.). – [Unveröff.]

Eingang des Manuskriptes: 4. 4. 1984

Koordinaten	red. K na	oordi- ten	Deckge- birgsm.	gemess. Temp.	Kohle	Mäch Sandst.	tigkeit Sand-	Schiefer-
R H	R* (m)	H* (m)	D (m)	T (°C)	(m)	(m)	schlefert. (m)	ton (m)
$\begin{array}{c} 2553700 5716401\\ 2553708 5715986\\ 2553942 5716446\\ 2556080 5711467\\ 2556085 5713547\\ 2556085 5713547\\ 2556647 5715562\\ 2556477 5715562\\ 2556695 5715924\\ 2556695 5713517\\ 2556738 5713517\\ 2556738 5713517\\ 2556738 5713517\\ 2556738 5713517\\ 2557930 5711515\\ 2557930 5711515\\ 2558126 5711554\\ 2558126 5711554\\ 2558126 5711555\\ 2558126 5711555\\ 2558454 5711555\\ 2558454 5711555\\ 2558454 5711555\\ 2558969 5711754\\ 2559051 5709596\\ 2559222 5710775\\ 2559600 5712900\\ 2559222 5710775\\ 2555660 5712900\\ 2554782 5714202\\ \end{array}$	3905 3679 4130 3119 4286 4292 5729 5738 3149 6121 4810 4810 4810 4810 3797 4679 4679 5117 4863 4865 4987 5162 5146 5674 4535 5337 3572 3572	5587 5238 5489 165 1887 1481 3338 - 594 3516 1497 1497 1497 1497 - 635 - 829 - 830 - 431 - 907 - 906 - 953 - 1051 - 1609 - 1212 - 3047 - 2165 1588 3159	470 460 470 360 440 446 460 340 480 447 447 447 447 337 315 315 360 348 348 348 348 348 348 348 348 348 348	35,60 29,44 37,10 23,80 31,00 49,11 39,77 43,97 36,00 33,70 37,50 36,75 36,75 36,75 34,45 34,77 37,00 37,00 37,00 37,00 34,52 34,42 30,20 37,00 37,00 37,00 37,00 37,00 37,00 34,77 34,77 34,77 34,77	$\begin{array}{c} 14,55\\ 9,35\\ 17,18\\ 3,28\\ 12,25\\ 26,53\\ 21,32\\ 22,05\\ 16,34\\ 15,16\\ 19,85\\ 17,77\\ 17,77\\ 17,77\\ 12,39\\ 14,78\\ 14,17\\ 12,97\\ 13,37\\ 13,37\\ 13,37\\ 13,37\\ 13,37\\ 13,37\\ 14,08\\ 5,51\\ 1,60\\ 15,46\\ 11,66\\ 25,61\\ 19,41\\ \end{array}$	225,31 151,09 241,89 122,20 188,99 299,14 259,29 272,57 173,81 220,46 258,78 254,49 254,49 254,49 132,75 179,98 175,95 196,85 163,71 159,63 168,09 181,95 36,09 182,75 195,8	95,36 73,24 107,56 21,08 73,09 172,93 125,08 133,58 96,97 70,59 124,48 114,23 116,43 116,43 116,43 116,57 108,88 108,88 96,81 104,30 109,71 66,34 109,71 66,34 117,97 165,41 117,97	110,78 66,32 143,37 30,44 89,67 308,40 168,30 224,78 200,88 103,79 145,89 137,51 136,31 156,29 154,36 154,00 119,37 142,62 140,24 148,26 133,06 10,28 283,49 203,72 307,84 145,38

Tabelle 1

Mächtigkeiten zusammengefaßter Gesteinsarten in den Temperaturmeßstellen

Tabelle 2

Mächtigkeiten zusammengefaßter Gesteinsarten an den Rasterpunkten bis - 1500 m NN

Koord	inaten	red. K	loordi-	Deckge-	gemess.		Mäch	tigkeit	
		na	ten	birgsm.	Temp.	Kohle	Sandst.	Sand-	Schiefer-
								schiefert.	ton
R	Н	R* (m)	H* (m)	D (m)	T (°C)	(m)	(m)	(m)	(m)
			. ,	. ,			. ,		. ,
25 53 000	57 16 000	3100	5646	470	62.24	36.01	366,29	248.07	443.5
25 53 500	57 16 000	3515	5366	470	62,06	35.85	365 14	247 45	443 4
25 54 000	57 16 000	3020	5086	470	61 00	35 74	363 57	246.83	113.8
25 54 500	57 16 000	1211	4907	470	61.01	25.01	262 02	240,00	445,0
25 55 000	57 10 000	4044	4007	470	01,91	30,91	303,02	240,71	445,5
23 33 000	57 10 000	4/00	4527	470	62,05	30,24	302,91	240,00	448,0
20 00 000	57 16 000	51/3	4248	470	62,13	36,34	362,74	245,68	451,0
25 56 000	57 16 000	5587	3968	470	62,11	36,07	363,30	243,29	451,5
25 56 500	57 16 000	6002	3689	470	61,95	35,14	365,58	237,29	450,3
25 57 000	57 16 000	6416	3409	470	61,74	34,09	368,05	230,79	448,9
25 53 000	57 15 500	2820	5231	470	61,92	35,72	368,27	247,98	441,0
25 53 500	57 15 500	3235	4952	470	61,69	35,51	366,44	247,17	440,9
25 54 000	57 15 500	3649	4672	470	61.33	35.15	361.81	245.67	441.0
25 54 500	57 15 500	4064	4392	470	61 41	35 41	361.84	245.88	442 9
25 55 000	57 15 500	4478	4113	470	61 79	36,20	362 40	246 34	448 9
25 55 500	57 15 500	1803	2822	470	61 02	36.37	361 55	245,34	452.0
25 56 000	57 15 500	5200	2554	470	61.01	26 17	261 50	243,30	452,5
20 00 000	57 15 500	5300	3004	470	01,91	30,17	301,39	243,40	455,0
23 30 300	57 15 500	5/22	3274	460	61,63	35,07	365,07	230,50	450,9
25 57 000	57 15 500	6137	2994	460	61,06	32,69	370,95	222,02	447,7
25 57 500	57 15 500	6551	2/15	460	61,70	34,72	366,75	234,92	449,1
25 53 000	57 15 000	2541	4817	460	61,54	35,31	372,00	248,04	436,9
25 53 500	57 15 000	2955	4537	460	61,39	35,00	372,97	247,71	434,9
25 54 000	57 15 000	3370	4257	470	61,19	35,24	363,50	246,07	440,7
25 54 500	57 15 000	3784	3978	470	61,30	35,61	362,48	246,10	443.8
25 55 000	57 15 000	4199	3698	470	61.70	36.42	362.33	246.19	451.0
25 55 500	57 15 000	4613	3419	460	61.63	36,20	359,56	243 69	456.4
25 56 000	57 15 000	5028	3139	460	61.55	35,82	357 75	241 71	458 4
25 56 500	57 15 000	5442	2859	460	61 72	36,60	360.02	245 29	153.8
25 57 000	57 15 000	5857	2580	460	61 70	36,44	261 21	243,25	450,0
25 57 500	57 15 000	6071	2300	400	61.07	30,44	261 54	244,00	450,9
25 57 500	57 13 000	0271	2300	400	01,07	30,02	301,34	240,20	450,0
20 00 000	57 14 500	20/0	4123	460	61,20	34,85	375,27	247,94	433,0
25 54 000	57 14 500	3090	3843	460	61,32	35,87	367,90	247,55	442,3
25 54 500	57 14 500	3505	3563	470	61,58	36,53	364,73	246,75	448,9
25 55 000	57 14 500	3919	3284	470	61,79	36,96	363,51	245,85	454,1
25 55 500	57 14 500	4334	3004	460	61,61	36,59	359,96	244,27	457,8
25 56 000	57 14 500	4748	2725	460	61,41	35,84	356,96	241,51	459,9
25 56 500	57 14 500	5163	2445	460	61,75	38,13	356,12	252.84	455.0
25 57 000	57 14 500	5577	2165	450	61.46	40.08	347.07	263,46	451.6
25 57 500	57 14 500	5992	1886	450	61 69	38 51	356,20	260,32	449.6
25 54 000	57 14 000	2811	3428	450	61.35	36 77	366 35	248 12	447 7
25 54 500	57 14 000	3225	31/0	470	61 74	37 17	365.00	245 65	153 1
25 55 000	57 14 000	3640	2960	450	61 02	27.25	267.65	240,00	450,1
25 55 500	57 14 000	1051	2009	450	01,02	37,33	307,05	239,02	409,1
20 00 000	57 14 000	4034	2090	450	01,87	37,98	304,00	247,12	458,4
23 30 000	57 14 000	4469	2310	440	62,12	39,33	362,62	253,58	460,2
25 56 500	57 14 000	4883	2030	450	61,87	38,83	358,11	254,25	457,6
2551000	57 14 000	5298	1751	450	61,45	39,95	348,96	263,59	451,9
25 57 500	5/14000	5712	1471	447	61,35	38,27	356,15	267,35	446,5
25 54 000	57 13 500	2531	3014	450	61,34	37,33	364,90	248,95	450,2
25 54 500	57 13 500	2946	2734	450	61,54	37,55	365,66	247,06	453,8
25 55 000	57 13 500	3360	2455	450	61.77	37.37	369.26	236.95	460.8
25 55 500	57 13 500	3775	2175	450	61.82	38,25	364.39	249.39	457.5
25 56 000	57 13 500	4189	1896	440	62 07	39.32	362 77	253 55	460.9
25 56 500	57 13 500	4604	1616	447	61 99	38 47	358 06	246 75	467 1
25 57 000	57 12 500	5012	1226	117	61 97	28 20	261 00	254 04	464.0
2001000	01 10 000	5010	1000	447	01,07	00,00	301,92	204,04	404,0

Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen...

			parent to a contra		•.			
linaten	red. K na	loordi- ten	Deckge- birgsm.	gemess. Temp.	Kohle	Mäch Sandst.	tigkeit Sand-	Schiefer-
Н	R* (m)	H* (m)	D (m)	T (°C)	(m)	(m)	(m)	(m)
$\begin{array}{c} 57 \ 13 \ 500 \\ 57 \ 13 \ 500 \\ 57 \ 13 \ 500 \\ 57 \ 13 \ 500 \\ 57 \ 13 \ 500 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 13 \ 000 \\ 57 \ 12 \ 500 \ 57 \ 12 \ 500 \\ 57 \ 12 \ 500 \ 57 \ 12 \ 500 \ 57 \ 50 \ 50 \ 50 \ 50 \ 50 \ 5$	5433 5847 2666 3081 3495 3910 4324 4739 5153 5568 2386 2801 3215 3630 4044 4459 4874	1057 777 2320 2040 1761 1481 1201 922 642 363 1905 1626 1346 1066 787 507 228	430 430 450 450 450 446 440 440 430 430 450 450 450 450 440 440 430	$\begin{array}{c} 61,71\\ 62,41\\ 61,31\\ 61,24\\ 61,09\\ 62,09\\ 61,90\\ 61,90\\ 61,95\\ 62,42\\ 61,11\\ 60,79\\ 60,31\\ 61,33\\ 61,82\\ 62,00\\ 61,94 \end{array}$	37,58 35,43 38,02 38,71 38,82 38,44 37,88 37,54 37,08 35,46 38,33 39,36 39,84 37,59 37,59 37,37 37,29	368,10 393,46 363,52 361,56 359,87 360,34 368,00 372,08 375,15 393,31 362,21 359,04 356,73 362,56 371,49 374,49 373,13	259,21 257,73 254,02 260,28 266,25 242,38 251,67 252,94 255,86 257,14 255,86 257,14 258,89 268,96 278,08 261,81 253,76 253,05 254,91	446,6 434,8 450,2 447,6 445,4 474,2 455,3 450,4 445,9 435,3 447,5 441,7 435,2 449,1 450,3 448,6 447,6
01 12 000	5200	- 52	400	02,14	50,70	511,05	200,00	444,0
	H 57 13 500 57 13 500 57 13 000 57 12 500 57 12 500	Iinaten red. K H R* (m) 57 13 500 5433 57 13 500 5847 57 13 000 2666 57 13 000 3495 57 13 000 3495 57 13 000 3495 57 13 000 3495 57 13 000 4324 57 13 000 5153 57 13 000 5153 57 12 500 2386 57 12 500 3215 57 12 500 3215 57 12 500 4044 57 12 500 4459 57 12 500 4874 57 12 500 5288	red. Koordi- naten H R* (m) H* (m) 57 13 500 5433 1057 57 13 500 5847 777 57 13 000 2666 2320 57 13 000 3081 2040 57 13 000 3495 1761 57 13 000 3495 1761 57 13 000 3495 1201 57 13 000 4324 1201 57 13 000 4324 1201 57 13 000 5568 363 57 12 000 2386 1905 57 12 500 22801 1626 57 12 500 3215 1346 57 12 500 4044 787 57 12 500 4459 507 57 12 500 4459 507 57 12 500 4874 228 57 12 500 5288 -52	Iinaten red. Koordi- naten Deckge- birgsm. H R* (m) H* (m) D (m) 57 13 500 5433 1057 430 57 13 500 5847 777 430 57 13 000 2666 2320 450 57 13 000 3081 2040 450 57 13 000 3495 1761 450 57 13 000 3495 1761 450 57 13 000 3495 1761 450 57 13 000 424 1201 440 57 13 000 4739 922 440 57 13 000 5153 642 430 57 12 000 2386 1905 450 57 12 500 2301 1626 450 57 12 500 3630 1066 450 57 12 500 3630 1066 450 57 12 500 4459 507 440 57 12 500 4874 228 430 57 12 500 4874	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Tabelle 3

Gegenüberstellung von gerechneten und gemessenen Gebirgstemperaturen

gerechnet	gemessen	Differenz
(°C)	(°C)	(°C)
34,8615 29,5279 37,7904 23,5677 30,9230 49,3788 39,9664 43,6180 36,2499 33,6565 37,6859 36,6930 36,6160 34,4180 35,0137 34,8553 33,1138 34,2567 34,2567 34,2567 34,2121 34,9032 30,5646 23,2810 39,8170 37,7108 48,9296 37,3862 53,2063	35,6000 29,4400 37,1000 23,8000 31,0000 49,1100 39,7700 43,9700 36,0000 33,7000 36,7500 36,7500 36,7500 34,4500 34,4500 34,7700 34,7700 34,7700 34,7700 34,7700 34,7700 34,7700 34,800 34,8800 34,8800 34,8800 35,0200 30,2000 23,0800 40,0000 37,6100 49,2000 37,1000 53,2000	$\begin{array}{c} -0.7385\\ 0.8787D-01\\ 0.6904\\ -0.2323\\ -0.7698D-01\\ 0.2688\\ 0.1964\\ -0.3520\\ 0.2499\\ -0.4347D-01\\ 0.1859\\ -0.5701D-01\\ -0.1340\\ -0.3201D-01\\ 0.2437\\ 0.8528D-01\\ -0.8617D-01\\ -0.2633\\ -0.2133\\ -0.2133\\ -0.1679\\ -0.1168\\ 0.3646\\ 0.2010\\ -0.1830\\ 0.1008\\ -0.2704\\ 0.2862\\ 0.6344D-02\end{array}$

Einflußgröße x _i	Differentialquotient $\frac{\delta \vartheta}{\delta x_i}$	Mittelwert ^X i (m)	mittlerer Gradient (K/100 m)
Kohle	0,15	15,20	14,50
Sandstein	$0,39 \cdot 10^{-6} \text{ Sst}^2$	189	1,40
Schieferton	$\frac{-0.51}{2 \sqrt{Sch'}}$ +0,16- $\frac{0.06Sch}{Ssch}$	$\overline{\mathrm{Sch}}$ = 165; $\overline{\mathrm{Ssch}}$ = 107	4,97
Sandschieferton	$-0,33 \cdot 10^{-3}$ Ssch + $\frac{0.03 \text{Sch}^2}{\text{Ssch}^2}$	Ssch = 107; Sch = 165	3,24
lok. Hochwert	- 0.23 · 10 ⁻³ + 0,15 · 10 ⁻⁶ H*	893	- 0,01
lok. Rechtswert	0,51 · 10 ⁻⁷ R*	4571	0,02
Deckgebirge	0.36 2 // D'	395	0,91

Tabelle 4 Berechnung mittlerer Temperaturgradienten für die Einflußgrößen aus dem Regressionssatz

-

Arbeitsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung – dargestellt an Beispielen aus dem Ruhrkarbon

32

Von MANFRED HOFFMANN, BARBARA KREGE, RAINER RÖDER und LOTHAR STEINBERG

Hard coal, Upper Carboniferous, resources, scientific research project, data processing, databank, local tectonics, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Rhine-Ruhr coal district)

Kurzfassung: Das Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung hat zum Ziel, den Kohleninhalt der wichtigsten Steinkohlenlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland zu erfassen und zu berechnen. An vier Beispielen aus dem Ruhrkarbon wird vereinfacht dargestellt, wie geologische Strukturen entsprechend dem geometrischen Blockmodell von Geologen so umgesetzt werden, daß sie digital verarbeitbar sind und berechnet werden können. Neben Aussagen zum gesamten Kohleninhalt können auch Vorratsmengen nach wählbaren Grenzkriterien für definierte Teilgebiete angegeben werden. Die errechneten Kohleninhalte der vorgestellten Gebiete werden genannt und zum Teil erläutert.

[Some results of the research project "Coal Resources Calculation" demonstrated by four examples from the Ruhr Carboniferous]

Abstract: The research project "Coal Resources Calculation" intents to register and to calculate the resources of the most important hard coal deposits of the Federal Republic of Germany. Four examples taken from the coal-bearing Upper Carboniferous of the Ruhr district show in a simplified manner how geological structures are transformed by geologists for data processing and reserve calculation, using a geometrical block model. Besides statements on total coal resources, it is possible to give distinct quantities of coal reserves determined by different parameteres for special areas. The calculated coal resources of the areas in question are shown and partially described.

[Quelques résultats du projet «Détermination des Ressources charbonnières» montrés à l'aide d'exemples du carbonifère de la Ruhr]

Résumé: Le projèt de recherche « Détermination des Ressources Charbonnières » a pour but l'aquisition de données des gisements de charbon les plus importants en République Fédérale d'Allemagne et le calcul de leur contenu. En quatre examples du carbonifère du district houiller de la Ruhr est montré de façon simplifiée, comment des structures géologiques sont transformées par le géologue afin de permettre un traîtement par ordinateur à l'aide d'un modèle géometrique procédant par blocs homogènes. Les chiffres de contenu total peuvent être différencies pour chaque zone selon des critères de limite variables. Les chiffres de contenu pour les zones en question sont présentées et en partie expliquées.

^{*} Anschrift der Autoren: Dipl.-Geol. M. HOFFMANN, Dipl.-Geol. B. KREGE, Dipl.-Geol. R. RÖ-DER und Dipl.-Geol. L. STEINBERG, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

1. Einleitung

Im Jahre 1978 wurde im Zusammenhang mit dem Energieforschungsprogramm der Bundesregierung das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen beauftragt, im Rahmen eines befristeten Forschungsvorhabens den Kohlenvorrat der wichtigsten Steinkohlenlagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland zu erfassen und zu berechnen.

Das Konzept des Vorhabens geht davon aus, daß

- die Steinkohlenlagerstätten anhand tektonischer und stratigraphischer Unstetigkeiten in zahlreiche Teilstücke untergliedert werden können, die in digitale Daten umformbar sind, aus denen sich Kohlenvolumen errechnen lassen
- tektonische Strukturen und stratigraphische Verhältnisse auch in unverritzten Gebieten einigermaßen sicher inter- und extrapolierbar sind.

Eine Untergliederung der Steinkohlenlagerstätten ergibt sich durch die stratigraphische Flözabfolge und im einzelnen Flöz durch tektonische Störungen und Schichtumbiegungen. Die Grenzen dieser Zerlegung des Steinkohlengebirges werden im vorliegenden Fall bei einer unteren Kohlenmächtigkeit von 30 cm sowie bei Störungsbeträgen von mindestens 10 m und einer Änderung des Schichteneinfallens um mindestens 20 gon definiert. Die sich daraus ergebenden Flözteilstücke (Fläche x Mächtigkeit) stellen die Grundbausteine des Erfassungssystems dar.

Das Blockmodell (JUCH & die Arbeitsgruppe Kohlenvorratsberechnung 1983, 1984) erlaubt es, stratigraphisch übereinanderliegende Flözteilstücke in jeweils einem Block zusammenzufassen, der allseitig von tektonischen Elementen begrenzt ist, die den oben genannten Kriterien entsprechen. Von diesem Block werden jeweils nur die oberste und die unterste Fläche projiziert, mittels Digitalisiertisch auf Datenträger erfaßt und zu errechneten Ausgleichsebenen umgeformt. Umriß, Raumlage, Flächeninhalt und Volumen der Zwischenflöze werden mit Hilfe eines stratigraphischen Abstandsprofils über ein geometrisches Modell errechnet. Sie können außerdem ohne großen Aufwand graphisch dargestellt werden. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit und der Datenverwaltung werden ca. 30 – 200 Blöcke zu "Großschollen" zusammengestellt, die meist einer tektonischen Großeinheit entsprechen. Die Abbildung 1 zeigt schematisch diese Arbeitsabläufe am Beispiel einer Großscholle.

Die Grundlagen für die geologischen Auswertungen, das heißt die Erstellung der Flözrisse, der Schnitte und der stratigraphischen Flöz-Abstandsprofile sind markscheiderische Bergwerksunterlagen, Bohrungsergebnisse, seismische Auswertungen und geologische Karten. In den Flözrissen und in den Schnitten wird die Blockeinteilung vorgenommen. Zusätzlich zu den tektonischen Elementen für die Blockbegrenzung wurden weitere Kriterien vereinbart, um lokale geologische Besonderheiten individuell berücksichtigen zu können. Untergrenze der Erfassung ist im Ruhrkarbon Flöz Sarnsbank oder Flöz Sarnsbänksgen. Wegen ihrer Kohlenarmut werden die Sprockhöveler Schichten zur Zeit nicht berücksichtigt.

Die einzelnen abgegrenzten Blöcke werden durch zusätzliche Parameter, wie zum Beispiel Art der Begrenzungselemente, Störungsdichte parallel und senkrecht zum Streichen, Faltungsfaktor, Aussagesicherheit der Lagerung,



- Abb. 1 Schrittweise Berechnung der Ausgleichsebenen in einem Lagerstättenteil des westlichen Ruhrgebietes
- Fig. 1 Stepwise calculation of plane sectional areas in part of a coal deposit in the western Ruhr district

Tiefenlage der Karbon- und Erdoberfläche, genauer beschrieben. Diese Parameter, die Angaben über die Aussagesicherheit der geologischen Deutung, die für die Errechnung der Zwischenflöze notwendigen Flözabstände und die geschätzten Kohlenmächtigkeiten werden verschlüsselt und auf Datenträger übernommen.

Im folgenden zeigen drei Beispiele die geologisch-tektonische Arbeitsweise und die Vorbereitung zur Digitalisierung nach dem Blockmodell.

Ein weiteres Arbeitsbeispiel aus dem östlichen Ruhrgebiet zeigt das Ergebnis der Arbeitsweise mit dem Blockmodell anhand der Vorratszahlen zweier benachbarter Großschollen und einer Analyse dieser Zahlen.

Für die Datenhaltung und Berechnung der Flözteilstücke wurde ein Hewlett-Packard-Minicomputer der Serie 1000 am Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen benutzt. Die Datenbank basiert auf dem System Image-1000 von Hewlett-Packard, das durch eigene Programme erweitert wurde. Das Blockmodellprogramm stammt von A. THOMSON, für die Auswertung wurden Programme von R. BINDER, A. THOMSEN und CH. TIMPE (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) verwendet.

Die Bergwerksgesellschaften der Ruhrkohle AG, der Eschweiler Bergwerksverein und die Gewerkschaft Auguste Victoria stellten freundlicherweise die erforderlichen Unterlagen zur Verfügung.

Wir danken Dr. D. JUCH und Dipl.-Math. A. THOMSEN für viele anregende Diskussionen und G. MÜLLER, Dipl.-Ing. R. BINDER und K. DONAUER für ihre tatkräftige Unterstützung.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (03E-2007-A) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

2. Bruchtektonik und flachwellige Faltung im westlichen Ruhrgebiet (M. HOFFMANN)

Im folgenden wird die Bearbeitung eines kleineren Lagerstättenteils vorgestellt (Abb. 2), der im westlichen Ruhrgebiet knapp westlich des Rheins im Blattgebiet 4405 Rheinberg der Topographischen Karte 1:25000 liegt.

Das in der Rheinberger Staffel liegende Gebiet gehört zur Explorationszone der Zeche Rheinland. Das flözführende Oberkarbon ist in diesem Bereich mit modernen Tiefbohrungen, älteren Mutungsbohrungen sowie seismischen Untersuchungen erkundet worden. Die erarbeitete Stratigraphie und Tektonik des Gebietes kann als einigermaßen gesichert angenommen werden, für eine detaillierte Bergbauplanung dürfte der Aufschlußgrad allerdings noch verbesserungsbedürftig sein.

Stratigraphie: Unmittelbar unter dem Deckgebirge stehen die Essener Schichten des unteren Westfals Ban. Das höchste in einer Bohrung angetroffene Flöz ist das Flöz D 1/2. Zum Liegenden ist das Oberkarbon bis zum Flöz Karoline (Ke) der Bochumer Schichten des oberen Westfals A aufgeschlossen. Da in diesem Gebiet tieferreichende Aufschlüsse fehlen, die Kohlenvorratsberechnung jedoch bis einschließlich Flöz Sarnsbänksgen (Sb) beziehungsweise Sarnsbank (Sa) durchgeführt wird, mußten für die Vervollständigung der stratigraphischen Abfolge Aufschlüsse aus einer ca. 600 m entfern-



- Abb. 2 Projektion des Flözes Zollverein 1 Unterbank/Zollverein 2 bzw. Zollverein 1/Zollverein 2 Oberbank
- Fig. 2 Projected coal seam Zollverein 1 Unterbank/Zollverein 2 resp. Zollverein 1/Zollverein 2 Oberbank

ten Bohrung, in der Flöz Sonnenschein 2 erbohrt wurde, und aus mehrere Kilometer entfernt liegenden Gebieten herangezogen werden.

Die Angaben über Mächtigkeit und Teufenlage der tieferen Flöze können daher nur als eine Annäherung an die tatsächlichen stratigraphischen Verhältnisse in diesem Gebiet angesehen werden.

Tektonik: Der Lagerstättenteil liegt im Kern des flachgewölbten Dorstener Sattels, der hier in drei ebenfalls flache Sättel und zwei Mulden gegliedert ist. Weitaus wichtigere tektonische Elemente als die Faltenachsen sind Abschiebungen (Sprünge) und Überschiebungen (Wechsel). Sie bestimmen die tektonische Struktur der Lagerstätte in diesem Gebiet, das als gestörter Graben innerhalb der Rheinberger Staffel zu bezeichnen ist (s. Abb. 3).

A u s w e r t u n g: Die geologische Bearbeitung wurde auf der Basis der zuvor genannten Unterlagen durchgeführt. Ausgehend von einer flächendeckenden Projektion des Flözes Zollverein 8 (Zo 8) für die gesamte Explora-



Abb. 3

Schnitte durch einen Lagerstättenteil im westlichen Ruhrgebiet (Lage der Schnitte siehe Abb. 2) Fig. 3

Sections through part of a coal deposit in the western Ruhr district (for position of sections see fig. 2)



tionszone wurde für dieses Gebiet als oberstes zu berechnendes Flöz Zollverein 1 Unterbank/Zollverein 2 (Zo 1Ubk/Zo 2) beziehungsweise Zollverein 1/ Zollverein 2 Oberbank (Zo 1/Zo 2Obk) projiziert. Diese Scharungen der Flöze Zollverein 1 und Zollverein 2 sind fast im gesamten Lagerstättenteil flächenhaft ausgebildet, nur im südwestlichen Bereich streicht das Flöz am Deckgebirge aus. Der Kohleninhalt des an dieser Stelle über das Deckgebirge hinaus projizierten Flözes wird bei der Berechnung abgezogen.

Auf die Erfassung höherer Flöze wurde verzichtet, da sie entweder unterhalb der festgesetzten Mächtigkeitsgrenzen liegen oder in ihrer flächenhaften Ausbildung unter dem Deckgebirge sehr gering sind.

Als tiefstes Flöz wurde Sarnsbänksgen (Sb) konstruiert. Entsprechend den blockbegrenzenden Kriterien folgt die Zerlegung des Lagerstättenteils in einzelne Blöcke (Abb. 4). Zwischen der nördlichen und südlichen Sattelachse wurden die Überschiebungen nicht als blockbegrenzende Elemente berücksichtigt. Die Flächen der von ihnen durchsetzten Flöze wurden gemäß dem Blockmodell zu "Zusammengesetzten Flözteilflächen" zusammengefaßt. "Zusammengesetzte Flözteilflächen" werden unter anderem dann verwendet, wenn aus Zeitgründen ein nicht vertretbarer Arbeitsaufwand vermieden werden soll. Die Kennzeichnung als "Zusammengesetzte Flözteilfläche" sowie weitere Angaben verhindern, daß diese Flächen als große, ungestörte und somit gut abbaubare Bereiche interpretiert werden. Trotz dieser Vereinfachung waren etliche weitere Zwischenprojektionen erforderlich, die als Basisflöze höherer Blöcke beziehungsweise als oberste Flöze tieferer Blöcke benutzt wurden, um der im wesentlichen von den Abschiebungen bestimmten Geometrie der Lagerstätte möglichst nahezukommen.



Abb. 4 Schnitt 1 mit Blockeinteilung (vgl. Abb. 3) Fig. 4 Section 1 subdivided into blocks (see fig. 3)

Teufe	F	Summe		
(m NN)	0-60	60 - 105	> 105	
bis – 1 500	17,7	30,3	21,7	69,7
unter – 1 500	7,6	5,5	2,4	15,5
Summe	25,3	35,8	24,1	85,2

Tabelle 1 Kohleninhalt (in Mio. m³)

Sämtliche Blöcke wurden mit der gleichen Aussagesicherheitskennziffer 3 belegt. Sie bedeutet, daß die ungefähre räumliche Lage und Größenordnung der tektonischen Elemente nachgewiesen ist, daß allerdings eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich ihres Verlaufs und der Teufenlage der Flöze besteht.

Datenaufnahme und Arbeitsweise des Rechners werden durch den Vergleich der Projektionen der digitalisierten Flöze (vgl. Abb. 2, S. 301) mit den dazugehörenden errechneten Ausgleichsflächen (Abb. 5 oben) überprüft. Zur visuellen Kontrolle der gestalteten Blöcke werden Ausgleichsflächen von nicht projizierten Zwischenflözen errechnet und graphisch dargestellt (Abb. 5 unten). Dadurch kann die räumliche Lage der tektonischen Begrenzungselemente der Blöcke überprüft und gegebenenfalls verändert werden.

Die berechneten Kohlenvolumen der dreizehn Blöcke des Lagerstättenteils werden nach Kohleninhalt (Tab. 1) und Kohlenvorrat (Tab. 2) gegliedert. Der Gesamtkohleninhalt von 85,2 Mio. m³ verteilt sich auf 307 Flözteilstücke, der

Teufe		Flözmächt	tiakeit (cm)		Summe
(m NN)	60 – 105	105 - 150	150 - 255	> 255	Ounnie
bis - 800	11,3	3,6	-	-	14,9
- 800 - 1 000	8,1	7,1	2,9	-	18,1
- 1 000 - 1 200	6,4	7,6	-	-	14,0
- 1 200 - 1 500	4,5	-	0,5	-	5,0
Summe	30,3	18,3	3,4	-	52,0

Tabelle 2

Kohlenvorrat (in Mio. m³) in Flözen ab 60 cm Mächtigkeit oberhalb – 1500 m NN

Abb. 5 Errechnete Ausgleichsebenen

- a) projiziertes Flöz Zollverein 1 Unterbank/Zollverein bzw. Zollverein 1/Zollverein 2 Oberbank
- b) tiefstes projiziertes Flöz Sarnsbänksgen
- c) Zwischenflöz Ernestine 1 Unterbank
- d) Zwischenflöz Girondelle 6

Fig. 5	Calculated	plane	sectional	areas
--------	------------	-------	-----------	-------

- a) projected coal seam Zollverein 1 Unterbank/Zollverein 2 resp. Zollverein 1/Zollverein 2 Oberbank
- b) lowermost projected coal seam Sarnsbänksgen
- c) intermediate coal seam Ernestine 1 Unterbank
- d) intermediate coal seam Girondelle 6



lenvorrat von 52 Mio. m³ auf 133 Flözteilstücke, deren Flächen alle unter 1 km² liegen und deren Einfallen weniger als 20 gon beträgt.

Die Klasse mit der Mächtigkeit über 105 cm und der Teufenlage oberhalb von – 1500 m NN, die den vom Bergbau zur Zeit bevorzugten Lagerstätteneigenschaften weitgehend entspricht, beinhaltet einen Kohlenvorrat von 21,7 Mio. m³ in 35 Flözteilstücken; in lediglich 26 % der Flözteilstücke sind also 42 % des Vorrats konzentriert. Davon müßte unter Berücksichtigung der derzeitigen bergbautechnischen Gewinnungsverfahren ein nicht unerheblicher Prozentsatz abgezogen werden, um die für den heutigen Kohlenbergbau interessanten Vorräte zu ermitteln. Dies ist jedoch nicht das Ziel des Forschungsvorhabens.

3. Steile Sattelflanke mit Überschiebungstektonik aus dem mittleren Ruhrgebiet (B. KREGE)

Als zweites Beispiel wurde ein Bereich gewählt, der südwestlich des Ortes Flaesheim im Bereich der Blattgebiete 4209 Haltern und 4309 Recklinghausen der Topographischen Karte 1:25000 liegt. Es handelt sich um eine Sattel – Mulden-Struktur in Südwest – Nordost-Erstreckung vom Flaesheimer bis zum Auguste-Victoria-Sattel (s. auch DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985). Das Gebiet wird im Osten vom Halterner Sprung begrenzt, im Westen zunächst vom westfallenden Holtwicker Sprung durchschnitten, dann schließlich vom ostfallenden Haard-Sprung begrenzt. Die erfaßte Schichtenfolge des Karbons umfaßt den Bereich von Flöz Albert 4/Wellington 1 (Al 4/We 1) bis Sarnsbank 1 (Sa 1). Dabei sind die Flöze von Albert 4/Wellington 1 (Al 4/We 1) bis Mausegatt 1/2 (Mg 1/2) in ihrer Ausbildung durch Streckenauffahrungen bekannt.

Die dargestellte geologische Situation (Abb. 6) wird durch benachbarten Abbau, Streckenauffahrungen und Bohrungen bis etwa 1100 m Teufe als wahrscheinlich angesehen (Aussagesicherheit 2; in größerer Teufe liegt die Aussagesicherheit bei 3: nur die ungefähre räumliche Lage und Größenordnung der tektonischen Elemente ist bekannt).

Diese Situation wirft bei der für die weitere Bearbeitung notwendigen Blockeinteilung nach verbindlichen Grenzkriterien Probleme auf, die anhand der Schnitte in der Abbildung 7 veranschaulicht werden sollen.

Die Südflanke des Flaesheimer Sattels kann problemlos zu einem Block zusammengefaßt werden, wobei eine steil verlaufende Blattverschiebung mit einem Versatzbetrag unter 10 m als nicht blockbegrenzend angesehen werden muß (Abb. 7: Schnitt 3).

Im Anstieg zur Nordflanke des Auguste-Viktoria-Sattels treten zwei Probleme auf (Abb. 7):

- Unter anderem um Aussagen über Rohstoffdaten nicht zu ungenau werden zu lassen, wurde festgelegt, daß ein Flöz innerhalb eines Blockes nicht mehr als 500 m Höhenunterschied überwinden darf. Diesem Kriterium wurde durch künstliche Begrenzungselemente Rechnung getragen.
- Eine Überschiebungsbahn, die in einer Tiefbohrung und einer Querschlagsauffahrung erschlossen ist, kompliziert die Lagerungsverhältnisse im höheren Teil des Sattels. Hier wurde eine zusätzliche Blockeinteilung nötig, wobei die Überschiebungsbahn als Begrenzungselement fungiert.



Abb. 6 Projektion von Flöz Sarnsbank 1 in einem ausgewählten Bereich des mittleren Ruhrgebietes (a) und errechnete Ausgleichsebenen der projizierten Flöze Albert 4/

Projected coal seam Sarnsbank 1 in a selected part of the central Ruhr district (a) and calculated plane sectional areas of the projected coal seams Albert 4/Welling-

Schnitt 4

132 136

126 129



123

122

128

127



NW

PriH



0

Schnitt 5

500 m

Schnitte durch das Arbeitsgebiet im mittleren Ruhrgebiet mit Blockeinteilung (Lage der Schnitte s. Abb. 6)

Fig. 7

Sections through the area investigated in the central Ruhr district, subdivided into blocks (for position of sections see fig. 6)

Nach der Erfassung der projizierten Flöze können zur Kontrolle neben den errechneten Ausgleichsebenen der projizierten Flöze auch die errechneten Ausgleichsebenen von Zwischenflözen graphisch dargestellt werden (vgl. Abb. 5, S. 305).

Das Ergebnis der Berechnung des Kohleninhaltes im besprochenen Bereich zeigt Tabelle 3. Der Gesamtkohleninhalt des vorgestellten Teilbereiches beträgt 91,5 Mio. m³; davon liegen 33,9 Mio. m³ (37 %) in einer Tiefe bis 1 500 m und gehören Flözen an, die mehr als 60 cm mächtig sind (Tab. 4). Von diesen

	Kol	hleninhalt (in Mio. m³)		
Teufe (m NN)	F 0 – 60	-lözmächtigkeit (cm) 60–105	> 105	Summe
bis - 1500	18,3	17,0	17,1	52,4
unter – 1 500	13,0	14,7	11,4	39,1
Summe	31,3	31,7	28,5	91,5

Tabelle 3 Kohleninhalt (in Mio. m³

AgiDii

PI

Romonvorrat (m	11102.111 / 111 1102.		Muoningkon obo	inale rooon	
Teufe		Flözmäch	tigkeit (cm)		Summe
(m NN)	60 – 105	105 – 150	150-255	> 255	
bis - 800	0,4	-	_	-	0,4
- 800 - 1000	7,4	2,4	1,8	-	11,6
- 1 000 - 1 200	3,7	5,0	2,1	-	10,8
- 1 200 - 1 500	5,4	3,5	2,2	-	11,1
Summe	16,9	10,9	6,1	-	33,9

Tabelle 4 Kohlenvorrat (in Mio. m³) in Flözen ab 60 cm Mächtigkeit oberhalb – 1500 m NN

Tabelle 5

Kohlenvorrat nach Einfallsbetrag in Kohlenflözen ab 60 cm Mächtigkeit oberhalb – 1500 m NN

Einfalls- winkel (gon)	Mio. m ³	%
0-20	1,3	3,8
20-40	10,2	30,4
40 - 60	17,0	49,8
60 - 100	5,4	15,9
Summe	33,9	100,0

37% sind 17,0 Mio. m³ 105–255 cm mächtig, also von größerem Interesse. Das sind 19% des gesamten Kohleninhaltes, wobei noch erwähnt werden muß, daß alle Flächenstücke kleiner als 1 km² sind.

Daneben gilt, daß etwa 65 % der Vorräte von mehr als 60 cm Flözmächtigkeit und Tiefenlagen über 1 500 m steil gelagert sind (Tab. 5: 40 – 50 gon = 49,8 %; 60 – 100 gon = 15,9 %). Das bedeutet, daß nur ca. ein Drittel der vorhergenannten Kohlenflöze von 105 – 255 cm Mächtigkeit flach (0 – 40 gon) gelagert

sind. Damit sind ca. 5,7 Mio. m³ Kohle in dem vorgestellten Bereich von größerem wirtschaftlichen Interesse; das sind nur 6,2 % des Gesamtkohleninhalts dieses Teilbereiches.

4. Engfaltenzone im östlichen Ruhrgebiet (R. RÖDER)

Komplizierte Überschiebungstektonik und kleinräumigen Faltenbau soll ein Beispiel aus dem Osten des Ruhrkarbons zeigen. Es handelt sich dabei um eine Spezialstruktur der Bochumer Hauptmulde östlich des Münster-Sprunges im Bereich der Zeche Westfalen des Eschweiler Bergwerk-Vereins auf dem Blatt 4213 Ahlen der Topographischen Karte 1:25000.

Die hier ausgewählte Teilscholle wird durch zwei westfallende Sprünge (= Abschiebungen) im Westen und Osten begrenzt, im Norden durch den Sutan-Wechsel (= Überschiebung) und im Süden durch die sogenannte Südliche Wittekind-Mulde (Abb. 8 u. 9). Die Abbildung 9 zeigt die starke Zergliederung dieses Lagerstättenteils durch kleinräumigen Faltenbau. Weiterhin prägen der sogenannte Nördliche Begleitwechsel und im Hangenden davon ein weiterer Wechsel das tektonische Bild.

Hervorzuheben ist außerdem das uneinheitliche Abtauchen der Faltenachsen im Streichen sowie die Änderung der Faltung mit zunehmender Teufe. So entwickelt sich aus dem Koffersattel, der durch den Flözberg in Flöz Präsident 1/2 (Pr 1/2) erschlossen wurde, im Liegenden ein kleiner Spitzsattel (s. Abb. 9). Die kleinräumigen Faltenelemente jeweils im Hangenden der beiden Wechsel können nicht mit denen der stratigraphisch tieferen Bereiche verbunden werden. Der im vorgestellten Schnitt erschlossene Faltenbau, hier im Übergangsbereich zwischen Bochumer Hauptmulde und Wattenscheider Hauptsattel, zeigt die für Teile des Ruhrkarbons typische Stockwerkstektonik (DROZD-ZEWSKI 1980). Es sind jedoch nur das mittlere Stockwerk mit kurzspannigen

- Abb. 8 Projektion von Flöz Sonnenschein 1/2 in einem eng gefalteten Lagerstättenbereich im östlichen Ruhrgebiet (a), errechnete Ausgleichsebenen des projizierten Flözes Sonnenschein 1/2 (b) sowie Projektion der Flöze Ernestine 1/2 (c) und Sarnsbank 2 (d)
- Fig. 8 Projected coal seam Sonneschein 1/2 in a densely folded part of the eastern Ruhr district (a), calculated plane sectional areas of the projected coal seam Sonnenschein 1/2 (b) as well as projections of the coal seams Ernestine 1/2 (c) and Sarnsbank 2 (d)

Arbeitsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung...

Falten und zahlreichen Überschiebungen und das untere Stockwerk – meist charakterisiert durch diverse Spezialfalten – erschlossen. Die Überschiebungen laufen wahrscheinlich – wie im Schnitt erkenntlich – mit zunehmender Teufe aus. Durch diese starke Untergliederung und um für die weitspannigen Schichtenverbiegungen eine gute Anpassung der Ebenenberechnung an die tatsächliche Geologie zu gewährleisten, mußte der Lagerstättenanteil in viele kleine Blöcke unterteilt werden (Abb. 9).

Die generelle Blockeinteilung erfolgte in den zwei stratigraphischen Abschnitten Ernestine 1/2 bis Sonnenschein 1/2 (Er 1/2 bis So 1/2) und Sonnenschein 1/2 bis Sarnsbank 2 (So 1/2 bis Sa 2) anhand von Projektionen dieser Flöze (vgl. Abb. 8). Insbesondere durch die beiden auftretenden Überschiebungen, das bereichsweise Ausstreichen von Flöz Ernestine an der Mergelgrenze und die Veränderungen im Faltenbau waren außerdem Flächen, Linien und Punkte aus weiteren elf Flözen für Zwischen- oder Sonderkonstruktionen nötig. Dies führte teilweise zu sehr kleinen Blöcken und Flözteilflächen in den Schnitten und Projektionen (Abb. 9), so daß graphische Darstellungen von errechneten Ausgleichsflächen der Zwischen- und auch der digitalisierten Flöze teilweise sehr unübersichtlich wirken können (vgl. Abb. 8, oben rechts).

Durch Sonderkonstruktionen können unter anderem uneinheitlich verlaufende Blockgrenzen, wie zum Beispiel mitgefaltete Überschiebungen oder das Abknicken einer Sattel- und Muldenachse, räumlich genauer erfaßt und somit eine korrektere Lage der errechneten Zwischenflöze erreicht werden.

Stratigraphisch wurden durch das Blockmodell 31 Flöze von Flöz Ernestine 1/2 bis Sarnsbank 2 erfaßt; es handelt sich hierbei um den unteren Abschnitt der Mittleren und die Unteren Bochumer Schichten sowie um die Wittener Schichten des Westfals A. Davon gehen 26 Flöze mit einer Gesamtmächtigkeit von 22,22 m Kohle in die Vorratsberechnung ein. Fünf Flöze erreichen nicht den für das Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung definierten



Abb. 9 Querschnitt durch den ausgewählten Lagerstättenanteil im östlichen Ruhrgebiet mit Blockeinteilung (Lage s. Abb. 8) Fig. 9

Cross-section through the selected part of a coal deposit in the eastern Ruhr district, subdivided into blocks (for position see fig. 8)

Teufe (m NN)	Teufe Flözmächtigkeit (cm) (m NN) 0-60 60-105 > 105					
bis - 1 500	6,6	10,4	20,7	37,7		
unter – 1 500	0,7	1,1	-	1,8		
Summe	7,3	11,5	20,7	39,5		

Tabelle 6 Kohleninhalt (in Mio. m³)

Tabelle 7

Kohlenvorrat (in Mio. m³) in Flözen ab 60 cm Mächtigkeit oberhalb - 1 500 m NN

Teufe (m NN)	60 – 105	Summe			
bis - 800	-	-	-	-	-
- 800 - 1 000	5,8	6,5	4,8	2,1	20,3
- 1 000 - 1 200	2,5	0,7 .	1,1	3,8	8,2
- 1 200 - 1 500	1,1	1,6	-	-	2,6
Summe	10,4	8,8	5,9	5,9	31,1

Grenzparameter von mindestens 30 cm Kohlenmächtigkeit und werden somit nicht berechnet.

Die Tabellen 6–8 zeigen das Ergebnis der Vorratsberechnung nach einem im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeiteten Schema. Die vorgestellte Teilscholle – insgesamt 21 Blöcke mit zusammen 204 Flözteilstücken – hat einen Gesamtinhalt von 39,5 Mio. m³ Kohle. Diese Angabe des gesamten Kohleninhalts ist durch definierte Grenzparameter wie Teufenlage, Mächtigkeit der Flöze, Flächengröße, Einfallsbetrag und andere beliebig in diverse Teilmengen zerlegbar. Darüber hinaus lassen sich unter Rückgriff auf weitere, im Prinzip frei wählbare Parameter ganz spezielle Aussagen über Art und Lagerung des Kohlenvorrats in einem definierten Teilgebiet treffen.

Tabelle 7 zeigt eine Standardauswertung der vorgestellten Teilscholle in

Tabelle 8

Kohlenvorrat nach Einfallsbetrag in Kohlenflözen ab 60 cm Mächtigkeit oberhalb – 1500 m NN

Einfalls- winkel (gon)	Mio. m³	%
0-20	19,9	63,9
20-40	2,7	8,6
40-60	8,5	27,5
60 - 100	-	-
Summe	31,1	100,0

Abhängigkeit von Teufenlage und Flözmächtigkeit, bei der nur Flöze über 60 cm und über - 1 500 m NN Teufenlage in die Mengenbilanz eingehen. Wählt man nun zur Angabe eines realistischen Kohlenvorrats für die beschriebene Teilscholle die Grenzparameter Teufenlage über - 1 500 m NN, Flözmächtigkeit über 105 cm und ein Einfallen der Flözteilstücke von 0-40 gon, so ergibt sich ein Vorrat von 15,0 Mio. m³ Kohle. Dies entspricht 38 % des gesamten Kohleninhalts, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß die Flächengrößen ausschließlich unter 1 km² liegen.

5. Vorratszahlen zweier benachbarter Großschollen des östlichen Ruhrgebietes (L. STEINBERG)

Die Kohleninhalte zweier benachbarter Großschollen der Bochumer Hauptmulde des östlichen Ruhrgebietes werden nach den Variablen Kohlenvolumen vor und nach dem Abbau, Flächengröße, Reinkohlenmächtigkeit, Teufenlage und Winkel des Einfallens aufgeschlüsselt und für die Gesamtgroßschollen und sechs Teilgebiete dieser beiden Schollen näher betrachtet. Die angegebenen Variablen werden auch für die Flözteilstücke, in denen mehr als 5% des Kohlenvolumens abgebaut sind, gesondert untersucht.

Die tektonischen Strukturen, die die beiden Großschollen A und B umgrenzen (Abb. 10) sind im Norden der Wattenscheider Hauptsattel, im Osten der Unnaer Sprung, im Süden Kirchlinder Sattel und Nördlicher Monopol-Sattel,



- Abb. 10 Übersicht der Großschollen A und B aus der Bochumer Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet
- Fig. 10 Schematic map of the major block units A and B in the Bochum syncline, eastern Ruhr district

M. HOFFMANN et al.

im Westen Windemuth- und Achenbach-Sprung. Tektonisches Grenzelement zwischen beiden Großschollen ist der Kurler Sprung.

Zwei Querschnitte durch die beiden Großschollen verdeutlichen die Lagerungsverhältnisse (Abb. 11). Im Süden liegt ein flachgelagerter Bereich mit teils flachem Anstieg zum Kirchlinder Sattel, teils steilerem Anstieg zum Nördlichen Monopol-Sattel. Nördlich davon schließt sich als Tiefstes der Bochumer Hauptmulde die Hardenberg-Mulde an. Ihre ruhig gelagerte Nordflanke wird vom Sutan-Wechsel, einer Überschiebung mit ca. 800m bankrechtem Versatz, gekappt. Nördlich davon folgt die stark gestörte und enggefaltete Flanke des Wattenscheider Hauptsattels. Die Karbon-Oberfläche liegt im Süden bei etwa – 100m und im Norden bei etwa – 450m NN.

Liegendflöz beider Großschollen ist Flöz Sarnsbank 1, oberstes Flöz ist in der westlichen Großscholle A, einem Horstbereich, das Flöz Zollverein 3 oder Zollverein 7, unter der Sutan-Überschiebung Flöz Wellington 2. In der östlichen Großscholle B, einem Grabenbereich, ist oberstes Flöz das Flöz D2 und unter dem Sutan Flöz Katharina. Es werden also die Wittener und Bochumer Schichten des Westfals A und Teile der Essener Schichten des Westfals B erfaßt.

Die berechneten Variablen und ihre Dimensionen sind:

 Kohlenvolumen vor Abbau, Kohlenvolumen nach Abbau und abgebautes Kohlenvolumen im Mio. m³

Der abgebaute Anteil einzelner Flözteilstücke wurde anhand der Bergbauunterlagen ermittelt.

- Flächengröße der Flözteilstücke in km²
- Tiefenlage des errechneten Flächenschwerpunktes in m bezogen auf NN

Dieses Kriterium erleichtert die Berechnung, ist aber etwas ungenau. Es berücksichtigt nämlich nicht, daß Flözteilstücke, die eine angegebene Tiefenlage schneiden, Volumenanteile oberhalb und unterhalb dieser Grenze besitzen. Ein geplantes neues Computerprogramm soll diese Ungenauigkeit beseitigen.

 Kohlenmächtigkeit in cm als Durchschnittswert der Reinkohle der Flöze ≥30 cm

Flözscharungen, Mächtigkeitsschwankungen und Schwankungen in den bankrechten Flözabständen sind in 21 Referenzprofilen, zum Teil verschiedener stratigraphischer Abschnitte, berücksichtigt.

Einfallwinkel der errechneten Flözteilstücke in gon

Die errechneten Kohlenvolumen basieren auf 101 Blöcken mit 1986 Flözteilstücken in der Großscholle A und 77 Blöcken mit 1755 Flözteilstücken in der Großscholle B.

Im Dezember 1980 waren nach den Bergwerksunterlagen von der Großscholle A 7% und von der Großscholle B 2% des gesamten Kohleninhaltes abgebaut (für beide Großschollen 4,1 Vol.-%; s. Tab. 9). Innerhalb des berechneten stratigraphischen Abschnittes wurden zwei Teilgebiete mit intensiver Durchbauung nicht berücksichtigt (in Abb. 11 schraffiert). Rechnet man die von den Bergwerksgesellschaften angegebenen Abbauzahlen pro Jahr zu 50% von den berücksichtigten Abbaugebieten ab, kann man zur Mitte des Jahres 1984 für beide Großschollen zusammen ein abgebautes Kohlenvolumen von ca. 4,5 Vol.-% annehmen. Die weiteren Berechnungen beziehen sich jedoch auf die Bergwerksunterlagen mit Stand Dezember 1980.



Abb. 11 Querschnitte durch die Großschollen A und B (Schnittlinien siehe Abb. 10)

Fig. 11 Cross-sections of the major block units A and B (section lines see fig. 10)

Arbeitsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung ..

А	В	A + B
880	1 2 1 0	2 0 9 0
817	1 187	2004
63	23	86
7	2	4,1
		4,5
	A 880 817 63 7	A B 880 1210 817 1187 63 23 7 2

Tabelle 9 Kohleninhalt und Kohlenvorrat der Großschollen A und B

Gesamtkohlenvolumen und abgebautes Kohlenvolumen von ganzen Großschollen können durch Einteilung in einzelne Klassen, basierend beispielsweise auf den angegebenen Variablen, und durch Betrachtung von Teilgebieten transparenter gemacht werden. Die Klassengrenzen (Tab. 10) werden in Anlehnung an Werte von LEONHARDT (1981) – ohne Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Gesichtspunkte – definiert.

Der derzeit wegen großer Teufenlage oder zu geringer Kohlenmächtigkeit nicht abbaubare Vorrat der Klasse III für die beiden Großschollen ist der Tabelle 11 zu entnehmen: 20% des Kohlenvolumens der Großscholle A und 29% des Kohlenvolumens der Großscholle B gehören dieser Klasse an. Davon liegen 6% beziehungsweise 15% des Gesamtkohlenvolumens in Flözteilstücken, deren Flächenschwerpunkt unter – 1 500 m NN liegt; 80% dieser Flöze sind jedoch mächtiger als 60 cm. Es sollten deshalb zumindest die Vorräte in der Großscholle B mit 150 Mio. m³ bei zukünftigen Abbautechnologien beachtet werden. Der Vorrat unter – 1 500 m NN ist in dieser Großscholle so groß, weil im Grabenbereich mit nach Osten abtauchender Muldenachse die in der Bochumer Hauptmulde besonders ergiebigen Bochumer Schichten bei mäßig steiler bis flacher Lagerung zum Teil schon unterhalb Flöz Ernestine durch das Klassenkriterium der Tiefenlage in die Klasse III fallen.

Aus Abbildung 12 ist die Verteilung des Gesamtkohlenvolumens auf die Klassen I, II und III ersichtlich. Die Klasse la ist in Klasse I enthalten und stellt den für den heutigen Bergbau günstigsten Teil des Kohlenvorrates dar. Die Klasse la ist in der Großscholle A zu 25% und in der Großscholle B zu 5% abgebaut, die übergeordnete Klasse I jedoch erst zu 14% in der Scholle A und zu 3% in der Scholle B. Nach Abbau sind in der Großscholle A, dem Horstge-

Klasse	Flöz- mächtigkeit (cm)	Teufe (m NN)	Fläche der Flözt (km²)	Einfallswinkel eilstücke (gon)	
l la II IIIa IIIb	> 105 > 105 60 - 105 > 60 < 60	bis – 1 500 bis – 1 500 bis – 1 500 unter – 1 500	>1	< 40	

Tabelle 10 Klassengrenzen zur Einteilung der Kohlenvolumen

Großscholle		A	В
Gesamtkohlenvolumen	(Mio. m ³)	177	348
Klasse III	(%)	20	29
Kohlenvolumen Klasse IIIa (oberhalb – 1 500 m NN, ≧ 60 cm Flözmächtigkeit)	(Mio. m³) (%)	43 5	150 12
Kohlenvolumen Klasse IIIb	(Mio. m ³)	134	197
(< 60 cm Flözmächtigkeit)	(%)	15	15
oberhalb – 1 500 m NN	(Mio. m ³)	127	162
	(%)	14	13
unterhalb – 1 500 m NN	(Mio. m³)	7	36
	(%)	1	3

Tabelle 11 Kohlenvolumen der Klasse III in den Großschollen A und B

biet, 73 Vol.-% (640 Mio. m³) und in der Großscholle B, dem Grabenbereich, 69 Vol.-% (838 Mio. m³) den Klassen I und II zuzuordnen; 17 % von diesem Wert entfallen in Großscholle A und 30 % in Großscholle B auf die Klasse Ia, das sind in Großscholle A 30 % und in Großscholle B 54 % der Klasse I.

In den Teilbereichen der beiden Großschollen sind die Kohlenvorräte der Klassen I und II gegenüber den Großschollen sehr unterschiedlich (Abb. 13). Hauptursachen dafür sind die faltungsbedingte unterschiedliche Tiefenlage vergleichbarer stratigraphischer Abschnitte und Schwankungen der Reinkohlenmächtigkeiten einzelner Flöze. Die unterschiedliche Tiefenlage der ergiebigsten Flözpartien, in etwa der Abschnitt von Flöz Katharina bis Flöz Sonnenschein der Bochumer Schichten, spiegelt sich in der Tiefenklassifizierung der Klassen I und II wider (Abb. 14). Die Prozentanteile der Kohlenvolumen oberhalb – 800 m NN verschieben sich durch den Abschiebungsbetrag des Kurler Sprunges und das Abtauchen der Muldenachse nach Osten vom Horst (Großscholle A: 55%) zum Graben (Großscholle B: 45%). Dies gilt entsprechend auch für die jeweiligen Teilbereiche. Die deutlich unterschiedlichen Volumenanteile der Muldenflanken der Hardenberg-Mulde oberhalb – 800 m NN (Teilbereiche A1, A2 und B1, B2) zu denen der im Süden gelegenen Hochgebiete (Teilbereich A3 und B3) sind durch die Faltung bedingt.



M. HOFFMANN et al.



In Abbildung 10 (S. 313) sind die durchschnittlichen Einfallswerte für die Klassen I und II der Großscholle A und B in den Schritten 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60 und 60 - 100 gon dargestellt. Die Einfallswerte der Teilbereiche sind in denselben Abstufungen angegeben. Von Großscholle A nach Osten – nach Großscholle B - verkleinert sich der südliche Flachbereich (Teilbereich A3/B3). Der steile Anstieg zum Nördlichen Monopol-Sattel zeichnet sich im Teilbereich B3 deutlich ab. Die südliche Muldenflanke der Hardenberg-Mulde hat im Teilbereich A2 und Teilbereich B2 mittelstarkes Einfallen, ist in der Großscholle B aber durch das Fallen der Muldenachse nach Osten und die Abnahme des südlichen Flachbereiches länger und insgesamt etwas flacher. Im Teilbereich A1 fällt der plötzliche Übergang des flachen Anstieges von der Muldenachse nach Norden in den mittelsteilen Bereich der Nordflanke der Hardenberg-Mulde auf. Im Teilbereich B1 ist der Übergang von mittelsteil zu flach nicht so abrupt wie im Teilbereich A1, was den Einfallsbereich von 20-40 gon hervortreten läßt, zumal ein im mittelsteilen Bereich liegendes Hauptabbaugebiet aus der Berechnung herausgehalten wurde. Die steilen Einfallswerte über 60 gon (7% von Großscholle A und 11% von Großscholle B) stammen hauptsächlich aus den enggefalteten und stark gestörten Teilbereichen A0 und B0

(vgl. Abb. 10) im Liegenden der Sutan-Überschiebung. Nach Abzug der abgebauten Flächen verändern sich diese Werte um durchschnittlich 1% (max. 4%).

Die Flözmächtigkeitswerte, aufgeteilt in drei Gruppen von 60 – 105, 105 – 150 und 150 – 255 cm Reinkohlenmächtigkeit verändern sich bei intensiver Durchbauung (Großscholle A) deutlich zu ungunsten der mächtigen Flöze (Abb. 15). Im Teilbereich A1 beträgt die Verschiebung 9%. Auffallend ist der geringe Anteil von Flözen der mächtigsten Gruppe im Teilbereich B1. Dort wurden auch Flöze der Klasse II häufig und intensiv durchbaut, wobei angemerkt sei, daß auch Flözteilstücke mit einer Fläche von 2,8 km² und einem Einfallen von 33 gon bei einer Reinkohlenmächtigkeit von 103 cm (z. B. Flöz Gustav 2 in Teilbereich B2) noch in die definierte Klasse II fallen.

Flöze mit einer Durchschnittsmächtigkeit über 255 cm sind nur im Liegenden der Sutan-Überschiebung aufgeschlossen. Auch die Volumenanteile der Flächen, die größer als 1 km² sind, nehmen durch den selektiven Abbau der



100%

Abb. 15

Kohlenvolumen der Klassen I und II, vor und nach dem Abbau, in Flözmächtigkeitsgruppen

Fig. 15

Coal volume of the classes I and II, with and without worked-out parts, in groups of seam thickness

Abb. 16

Kohlenvolumen der Klassen I und II, vor und nach dem Abbau, in Flözteilstücken größer und kleiner als 1 km²

Fig. 16

Coal volume of the classes I and II, with and without worked-out parts, in seam sectional areas larger and smaller than 1 km²

großen ungestörteren Baufeldteile allgemein ab (Abb. 16). Nur im Teilbereich B2 steigt der Anteil der größeren Flächen gegenüber dem der kleineren, die im Verhältnis stärker abgebaut wurden.

Die Angaben, die sich auf das Gesamtvolumen vor und nach Abbau beziehen, berücksichtigen nicht, daß nur in weniger als der Hälfte der Flöze mit über 60 cm Reinkohle Bergbau umging, diese Flöze also aus verschiedenen Gründen als besonders bauwürdig ausgegliedert wurden. So sind in der Großscholle A 18 von 43 Flözen durchbaut und in Großscholle B 23 von 54 Flözen.

Die Abbildung 17 zeigt die prozentualen Anteile der Flözteilstücke mit Abbau (>5%) aufgegliedert in die Klassen Ia (als Teil von I), I und II. Weiterhin



Fig. 17 Coal volume of seam sectional areas worked-out more than 5%

			2						
Großschollen und Teilbereiche		А	B ·	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Kohlenvolumen d. Klassen I u. nach Abbau (Mio. m ³)	H	640	838	149	215	115	286	246	139
Kohlenvolumen d. Flözteilstück mit Abbau (Mio. m ³)	е	140	91	67	32	41	42	24	20
abgebautes Kohlenvolumen (Mio. m ³)	e	63	23	36	11	17	12	5	5
Anteil der abgeb. Kohlenvol. am Kohlenvol. d. Flözteil- stücke (%)		45	26	53	35	40	30	20	24
Anteil d. abgeb. Kohlenvol. am Kohlenvol. d. Kl. I u. II vor Abbau (%)		9	3	19	5	13	4	2	3
durchschnittl. Flächengröße (km²)		1	1,5	1,2	0,6	1,3	1,6	1,6	1,7
durchschnittl. Einfallswinkel (gon)		29	35	27	41	10	32	37	9
Reinkohlen- mächtigkeit (cm)	max. min.	154 (230) (70)) (223) 154 (95)	148	170	140	123	187	195
Anzahl der Flözteilstücke		90	42	36	33	21	23	8	6
Anzahl der Flöze		18	23	15	11	9	14	7	6
stratigraphischer Abschnitt		Katharina bis Mausegatt	D 2 bis Sonnenschein	Katharina bis Finefrau	Gustav 2 bis Angelika	Blücher bis Mausegatt	D 2 bis Sonnenschein	D2 bis Karoline	lda bis Karoline

Tabelle 12 Flözteilstücke mit mehr als 5% Abbau in den Großschollen A und B und deren Teilbereichen

wurde der abgebaute Kohlenvolumenanteil in Prozent eingetragen. So sind 45% vom Gesamtkohlenvolumen der Flözteilstücke mit Abbau in der Großscholle A und 25 % in der Großscholle B abgebaut. Besonders hoch liegt der Wert im Bereich der Teilscholle A1 mit 53% Abbau vom Gesamtkohlenvolumen, das sind 56 % des Kohlenvolumens der Klasse I. Der Teilbereich A1 ist das Abbaugebiet eines stillgelegten Zechenteiles. während in den anderen Teilbereichen noch intensiver Abbau umgeht und teilweise nur die besten Flöze nach Mächtigkeit, Lagerung (und Rohstoffparametern) abgebaut wurden (Tab. 12). Die Angaben für den Anteil des abgebauten Kohlenvolumens am Kohlenvolumen der Flözteilstücke mit Abbau (Tab. 12: Zeile 5) verglichen mit dem Anteil des abgebauten Kohlenvolumens am Kohlenvolumen der Klassen I und II des Bereiches (Tab. 12: Zeile 6) und der Zahl der Flöze mit Abbau lassen die mögliche bergbauliche Zukunft der einzelnen Großschollenteile in etwa abschätzen. Für eine solche Betrachtung ist natürlich auch der absolute Wert des Gesamtkohlenvolumens der Klasse I und II des jeweiligen Bereiches entscheidend. Der Teilbereich A1 ist schon stillgelegt, kann also als Grenzfall gelten; der Teilbereich A3 nähert sich größenordnungsmäßig den Werten des Teilbereichs A1 bei kleinerem stratigraphischem Abschnitt, während in dem Teilbereich A2 und in den Teilbereichen B1 - B3 noch interessante Kohlenvorräte liegen.

6. Ausblick

Diese Betrachtung von einzelnen Gebieten der Kohlenlagerstätte des Ruhrgebietes und ihrer Vorräte zeigt nur einen Teil der Möglichkeiten des Informationssystems des Forschungsvorhabens Kohlenvorratsberechnung. Durch die routinemäßige Berücksichtigung weiterer Informationen wie Asche- und Schwefelgehalt, Reflexionsvermögen des Vitrinits, Flüchtige Bestandteile etc. und zusätzlicher blockbezogener Angaben vor allem zur Tektonik, unter anderem Störungsdichte und Faltungsgrad, sind differenziertere Aussagen über die bearbeitete Lagerstätte möglich.

Ziel der Datensammlung ist es, eine benutzerfreundliche und fortlaufend aktualisierbare Datenbank zu erstellen, die es erlaubt, umfassend und detailliert Auskunft über die geologischen Kohlenvorräte der Bundesrepublik Deutschland zu geben.

7. Schriftenverzeichnis

- DROZDZEWSKI, G. (1980): Zielsetzung, Methodik und Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens "Tiefentektonik des Ruhrkarbons". – In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 15 – 43, 19 Abb.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- DROZDZEWSKI, G., & HEWIG, R., & VIETH-REDEMANN, A. (1985): Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon). – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- JUCH, D., & die Arbeitsgruppe Kohlenvorratsberechnung (1983): Die Erfassung von Steinkohlenlagerstätten mittels eines Blockmodells und geostatistischer Methoden. – Schr.-R. GDMB, 39: 131–144, 2 Abb.; Weinheim.
- -, & (1984): New methods of coal resources calculation. C. R. 10. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Madrid 1983: 20 S., 3 Abb. - [Im Druck]
- LEONHARDT, J. (1981): Die Kohlengrundlagen des deutschen Steinkohlenbergbaus. Glückauf, **117** (14): 846-855, 17 Abb.; Essen.

Eingang des Manuskriptes: 3. 4. 1984

Namenregister

Allaud, L. A. 233 Allen, J.R.T. 192 Arnemann, H. 18, 20 Baadsgaard, H. 120 Bachmann, M. 245 Backfisch, S. 126, 127, 136, 137 Bärtling, G. 260 Bässler, R. 254 Barnard, P.C. 25 Bartenstein, H. 13-16, 24-26, 36, 42, 85 Bell, U. 91 Bender, F. 16, 25, 40, 42 Bertrand, R. 13, 101 Binder, R. 300 Bisewski, L. 26, 66 Bitschene, P.R. 139 Bitterli, P. 201 Bless, M. J. M. 26, 61, 66, 83, 266 Bode, H. 68 Böger, H. 261 Böhne, H.W. 138 Bohrmann, H. 138 Boigk, H. 41, 82 Bonhomme, M. 120, 136 Bouma, A. H. 205 Bouroz, A. 136, 177, 178 Brauckmann, F.J. 19, 24 Breuer, K. H. 139 Brongniart, A. 93-96, 116 Büttner, D. 26 Buisine, M. 94-96, 98, 105 Buntebarth, G. 21, 269-272, 275-277, 279-281 Burger, K. 101, 119, 123, 128, 135, 151, 157 - 159, 171, 172, 178, 179, 207, 259, 264 Campbell, S.M. 196 Carpentier, J. 91 Casshyap, S. M. 188, 190, 207, 214, 220, 222 Chagnon, A. 13 Clausen, C.D. 79 Cleal, C. J. 96 Cole, R. D. 19 Conze, R. 187 196 Cooper, B.S. 25 Cornelius, C.-D. 276 Cremer, R. 159

Dahm, H. 188 Dallmeyer, R.D. 131 Dalrymple, G. B. 130, 131 Damberger, H.-H. 191 Damon, P.E. 120, 135 Dannenberg, A. 172 Deutloff, O. 15, 18-20, 26 Deutsch, R.-R. 191 Dickel, U. 191 Dövény, P. 277 Donaldson, A.C. 200 Donauer, K. 300 Dopita, M. 123, 126, 129, 138 Draxler, S.K. 46 Drong, H.J. 20 Drozdzewski, G. 26, 159, 306, 310 Drumm, R. 172 Eckardt, F.-J. 157, 172 Eichwald, E. 95, 96, 105 Edwards, W. 261 El Masri, Z. 233, 240 Elsing, J. 214, 220, 228 Fabian, H. J. 16, 40, 50, 52, 55, 56, 75, 254 Falk, F. 192 Fiebig, H. 26, 44, 49, 59, 60, 75, 79, 80, 91, 101, 123, 151, 156, 159, 174, 188, 190, 209, 232, 244, 245, 251, 257, 259-266, 270 Fisk, H. N. 200 Folinsbee, R.E. 120 Francis, E. H. 120, 138 Franke, D. 16, 42, 75, 79-81, 83 Freudenberg, U. 243, 263 Fülöp, A. 232, 233, 240 Füchtbauer, H. 13, 40, 191, 208 Funke, H. 139 Gaertner, H.R. von 172 Gale, N. H. 120, 137, 138 Gedenk, R. 40 Giesemann, A. 138 Goddard, E. N. 197 Gothan, W. 94, 95, 99 Grand'Eury, F.C. 96, 110, 116 Groscurth, J. 59, 91, 101, 251, 257 Grothusen, W. 192, 195, 197, 208, 209 Grube, H. 188 Gutbier, A. von 96, 110, 116
Hahne, C. 79, 188 Hallbauer, D. 173 Healld, M.T. 195 Hecht, F. 40 Hedemann, H.-A. 14-16, 21, 23, 25, 26, 35, 37, 40-42, 47, 52, 56, 62, 74, 75, 78-80, 83, 85, 254, 259, 270 Hellmann, K.N. 120, 131 Herbst, G. 253 Héroux, Y. 13 Hess, J.C. 119–121, 126, 127, 129, 135– 137, 179 Hewig, R. 306 Hirschmann, G. 83 Hoehne, K. 177 Hölscher, G. 15 159 Hoffmann, F. 94, 95, 101, 103, 116 Hoffmann, H. 138 Hoffmann, M. 297, 300 Hollmann, F. 245 Horvàth, F. 277 Hoth, K. 83 Hoyer, P. 16, 254 Hüttner, H. 40 Hunt, J. M. 13, 23 Hutton, W. 93-95 Jäger, E. 131, 135 Jahns, H. 285 Jankowski, B. 191 Jessen, W. 188, 190, 201, 203, 228, 232, 265 Jödicke, H. 79 Jordan, H. 15, 20 Josten, K.-H. 49, 79, 89, 94, 96, 98 - 103, 105, 254, 260, 262 Jubitz, K.-B. 16 Juch, D. 298, 300 Kimpe, W.F.M. 253 Kirsch, H. 173 Klawuhn, H.J. 159 Kleber, F. 83 Klinge, U. 191, 258 Klopp, R. 191 Koch, J. 15, 18, 20, 31 Kötter, K. 271, 280 Köwing, K. 26, 101 Koppe, I. 21, 269-272, 275-277, 279-281 Kralik, J. 123, 126, 129, 138 Krege, B. 297, 306 Kühnle, E. 138 Kukuk, P. 172, 189, 259 Lanphere, M.A. 130, 131 Larese, R.E. 195 Laveine, J.-P. 89, 94, 96, 99-101, 105, 116, 262 Leonhardt, J. 285, 291, 316 Lerbekmo, J.F. 120 Liebe, P. 277

Lindley, J. 93-95 Littke, R. 192, 209 Lippolt, H. J. 119-121, 126, 127, 129, 131, 135-137.179 Lipson, J. 120 Lösch, J. 26, 41, 43, 78 Loose, W. 191 Lüdke, F. 15, 20 Ludwig, H. 201, 203 Lutz, A. 139 Lutz, M. 25 Mackowsky, M. Th. 14, 200, 271, 280 Maerz, U. 207 Malmsheier, K.-W. 207 Maynard, J.B. 195 Mendes, F. 120 Menyesch, W. 210 Merrihue, C.M. 130 Michelau, P. 245, 260 Müller, G. 40, 300 Nodop, I. 20, 24, 25 Oberste-Brink, K. 260, 266 Odin, G.S. 120, 137, 138 Otte, M.-U. 169, 261 Palm, H. 75, 80, 244 Paproth, E. 15, 26, 49, 50 Patijn, R.J.H. 13, 40 Patteisky, K. 15 Peppers, R.A. 202 Pieper, B. 26, 75, 80, 244 Pfisterer, W. 31, 159, 169, 259, 261, 262, 264, 265 Pflanzl, G. 25 Philipp, W. 20, 24 Phillips, T.-L. 202 Picard, M. D. 196 Plein, E. 25, 26 Potonié, H. 93, 99 Potter, P. E. 195 Pratsch, J.-C. 25 Pruvost, P. 262, 265 Pryor, W. A. 195 Rabitz, A. 26, 101, 188, 191, 245, 259 Rack, P. 44, 232 Rau, H. F. 258 Paoding, H. C. 100 Reading, H.G. 199 Reeves, D.R. 240 Reifgerste, K. 285 Reineck, H.-E. 196, 199, 202, 204 Reinicke, K. M. 20, 24 Remy, W. 101 Richter, R. 203 Riedel, L. 40 Ringot, J. 233 Rippel, G. 177 Robert, P. 24 Röder, R. 297, 309

Roeschmann, G. 188 Roos, W.F. 177 Roques, M. 136 Ross, C.S. 177 Rühl, W. 40 Saltzwedel, K. 101 Sawitzki, H.-H. 159 Schaub, H. 232 Scheidt, G. 191, 195, 197 Scherp, A. 177 Schleicher, L. 201 Schlepper, H. 258, 260, 261 Schloms, H. 79, 191, 264 Schlotheim, E. F. 93, 94 Schmidt, K. 42, 75, 79-81, 83 Schmidt, W. J. 24-26 Schmitz, D. 44, 231, 233 Schöneich, H. 40 Schröder, L. 40, 72, 82 Schüller, A. 177 Schuster, A. 14, 36, 40, 41, 43, 44, 46, 47, 53-57, 59-62, 68, 70, 72, 73, 75, 78, 80, 83, 84, 232, 254, 258, 259, 261, 262, 265 Schwarzbach, M. 202 Scott, J. H. 235, 238 Singh, I.B. 196, 199 Smith, J.V. 130 Smith, R.L. 177 Stadler, G. 16, 24-26, 30, 34, 123, 126, 128, 138, 151, 157, 159, 171, 172, 178, 261, 263, 264 Stancu-Kristoff, G. 15, 21-23, 26, 41, 42, 62, 78, 84, 254 Stehn, O. 21-23, 26, 42, 84, 254 Steiger, R. H. 131, 135 Steinberg, L. 297, 313 Sternberg, K. von 93, 99 Stewart, D.B. 130 Stöffler, D. 177 Strack, Ä. 243 Stubblefield, C.J. 261

Taylor, G. 203 Teichmüller, M. 13-16, 18, 21, 24, 30, 33, 34, 36, 42, 85, 200, 270 - 272, 276, 277, 279, 280 Teichmüller, R. 13-16, 18, 21, 25, 33, 36, 41, 42, 74, 75, 79, 80, 85, 98, 100, 101, 120, 135, 188, 232, 254, 260, 270, 271, 276. 277 Thiadens, A. A. 74, 80, 81 Thiermann, A. 36 Thomson, A. 300 Timpe, Ch. 300 Tissot, B.P. 13, 23, 196, 201 Tourette, M. 136 Trusheim, F. 40, 41, 83 Turner, G. 130 Vialette, Y. 120, 136 Vieth-Redemann, A. 15, 18, 26, 30, 322 Wagenitz, V. 20 Wahl 235 Weber, K. 15 Weber, V. 283 Welte, D. H. 13, 23, 196, 201 Wendt, A. 207 Wijhe, D. H. van 25, 61 Wolburg, J. 16, 36, 75 Wolf, M. 15, 30, 34, 172, 272, 280 Wolff, W. 232 Woodland, A.W. 120, 138 Woodyer, K.D. 203 Wrede, V. 253 Wunderlich, F. 204 Zeiller, R. 94 Zeller, M. 253 Zenker, F.C. 94 Ziegler, P.A. 22, 79 Znosko, J. 16

Zoth, G. 292



Sach- und Ortsregister

Aachen 79 Aachener Steinkohlenrevier 45, 61, 124, 253 Aachenbach-Sprung 314 Achterhock (Niederlande) 80 Acoustilog 53, 54 Alethopteris corsini 96-99, 102, 105 grandini 95–97, 100–102, 116 michauxi 94, 95 serli 93, 94 Aller 62, 70, 72-74, 81, 83 Alters -bestimmung 120, 121, 123, 129, 131, 135, 136, 138 -bestimmungsmethode 130 - bestimmungstechnik 120, 136 - spektren 134, 135 Amsterdam 80, 81 Annularia radiata 93 sphenophylloides 94 stellata 94 Anomalonema reumauxi 262, 265 Anthraconauta 261, 262 Anthrazitisierung, telemagmatische 23 Anthrazit-Stadium 20 Anzin 91 Assise d' 98 -, Fosse Cuvinot 91, 105, 110 Appalachen 192 Arsten 24 Articulaten 93 Aschegehalt 232, 240, 322 Aschenschmelztuff 177 Asterophyllites equisetiformis 93 grandis 93 Aufheizung, telemagmatische 24 Auguste-Victoria-Hauptsattel (-Sattel) 155, 214, 306 Australien 138 Bad Waldliesborn 30 Baden-Baden 127, 136 ball-and-pillow-Struktur 205, 226 Baryt 24 Becken s. Steinkohlenbecken , Münsterländer 21, 36, 254 , Niedersächsisches 21, 22, 42 , Pannonisches 277 Belastungsmarken 193 Belorhaphe kochi 201, 203

Belgien 61, 253, 254 Bentheim 16, 18, 66, 73 Bergbauplanung 152, 300 Bergbauzone 152, 160, 167, 172, 244 Béthune 91 Bioturbation 193, 194, 200-202, 206, 214 Bleiglanz 20, 25 Blumenthaler Sprung 259 Bochum 191, 192, 199 Geologischer Garten 191, 192, 214, 222 Bochumer Hauptmulde (-Mulde) 155, 166, 309, 310, 313, 314, 316 Schichten 157-164, 207, 246, 248, 253, 284, 300, 314, 316, 317 – – , Mittlere 61, 311 --, Obere 61, 190, 220, 284 , Untere 61, 190, 214, 216, 220, 228, 311 Bockrader Graben 53 Böhmen 138 . Mittel- 123, 125 Bohrlochmessungen 13, 36, 43-45, 47, 49, 52, 57, 59-64, 75, 76, 80, 84, 232, 233, 258, 260, 262 Bohrung Alfhausen Z1 23 Altenkamp 1 261, 263 Annaberg 1 32 Apeldorn Z2 47 – 50, 52 Arsten Z1 23, 49, 51 Bärenstraße 32 Bahrenborstel Z2 20, 24 Balderhaar Z1 43, 60, 61, 74 -Besenkamp 1 159, 259, 263, 264 Betzendorf Z1 34 -Bevergern 1 21, 36 --Bockraden 1 57 - -2 55, 57 3 55, 57 - -4 - -54-57 5 - -54, 55, 57 6 50-7 54,77 53-56 - -- -Bokel Z1 20, 30 Bommelsen 30 -Bruckerfeld 1 32 -Brüggen 30 Coesfeld S1 -16 Dachsbruch 32 -

- Dalum Z4 56

-- Z5 51 - Dorfmark Z1 26 - Dreilingen Z1 20, 34 - Drostenfeld 2 32, 116 - Dwingelo 2 80 Egelsberg 32
Ellerburg Z1 20 Emlichheim Z7 51 -_ _ -Nord Z3 51, 66 Emmelkamp 2 159
 Emshorn Z1A 21, 30
 Fehrmann Z1 34 Flothkamp 1 32, 160, 162, 262, 263, 265 - Frenswegen 5 55 - Gildehaus Z2 30 - Groothusen Z1 21, 66, 68 - Hagen 1 32 - Hameln Ost Z1 30 Hammfeld 2 32 -_ Hamsfeld 32 Hamwiede Z3 30 _ -- Z4 30 Hebelermeer Z2 47-50 Hemmelte Z2 30 Herbern 43 32 -Hiltrup 1 31, 46 Holderberg 3 32 Holthusen Z2 23 Hoya Z1 26, 59, 261 _ -Z2 46 - -Hoxberg 1 258, 262, 263 Hude Z1 51 -Ibbenbüren UB 150 57, 72-74, 77, 91 _ Itterbeck-Halle Z5 43, 55, 78 - - -Z6 55, 57, 78 - - -Z10 55, 57 Kalle Z4 49 Kampen Z1 60 _ Kusenhorst 1 263 ----- - 3 222 Lamershof 61 Lange Heide 1 32, 261 - 263 Larsfeld 2 32 - Leer Z2 50, 51 Lehrte Z1 20, 61, 80 - Lembeck 1 32, 259, 263, 264 - - 2 259, 263 - 265 - Leucht 2 32 Limbergen 2 36 -Lippermulde 1 116, 258, 259, 262-264 ----Mölln Tief 1 34 Mövensteert Z1 21, 31 Münsterland 1 16, 21, 36, 37, 44, 74, 80, 157 Munster Z2 34 Nehden 1 18 Neukirchen 4 34 Niederwald 2 33 Niendorf II Z1 34 Norddeich Z1 21, 31

Norddeutschland 8 43, 50, 53 - 59, 66, 68, 73, 78 Norderney Z1 22 Nordhorn Z1 51 -Nordlicht Ost 2 116 Nordschacht (Zeche Osterfeld) 105 Nordsee A1 78 - - E1 50, 66, 78 Ochtrup Z1 18 -- Z2/Z2A 18, 31 Oostzaan 80 Ortland Z2 53, 58 Osnabrück-Holte Z1 53, 54, 56, 68, 73 Overberge 1 192, 214, 216, 220, 226 Oythe Z2 57-59 -Parchim 1 16, 75 Prerow 1 83 Rhade 2 159, 258, 261, 263, 264 Randzelgat Z1 21, 31 Rheden 21 20, 53-59, 68 Rembergshof 1 33 Rheurdt 33 Rödby 16 Rosche Z2 34 --Saalhoff 2 33 -Saar 1 124 Sagermeer Nord Z1 31 - Süd Z3 31
- Scheeßel Z1 49, 52 Schlägersheide 2 33 Schwarzer Bach 6 33 Schwickingsfeld 1 258, 263 -Sellien 3Z 16, 52, 83 Siebenstern 1 33 -Solling-Devon 1 19, 20 _ Specking 1 33, 58, 59, 91, 95, 101, 159, -251, 259, 262-266 Spick 1 33 Sprengel 49 _ Staatsmijnen LXXVI 61 -_ Staufenberg T₃A 127 Steinbeck Z1 34 _ Stenden 61 Stolzenau Z1 20, 43, 61, 75 Sturbruch 1 33 _ -Süchteln-Sittard 1 33 _ Südkirchen 1 21.33 Syke Z1 34 Texas Z1 34 Tjuchem 1 75, 79 Traar 2 33 Uchte Z2 20, 24, 31 -- Z3 24 Uelsen Z1 60 -Venn 1 228, 258, 262 Victorbur Z1 57 Vingerhoets 40 -Wachtendonk 1 18, 33 - Walsrode Z1A 31 - Walstedde 12 33

- Wedehof 2T 47-49, 52

- Werne 29 Wielen Z4 43 Wietingsmoor Z2 72 -- Z4 31 Wittorf Z1 26, 31 Wohnungswald 2 33 Wüstenhof 1 263 Wulfen 20 - Wulften 1 31 - Wustrow Z1 16 - Wybelsum Z1 31, 66 - , Explorations- 26, 155, 157 - 159, 161 -164, 168, 172, 192, 232, 240 - , Kern- 6a (Hattingen) 222 - , - 9a (Hattingen) 220 - , - 10d (Hattingen) 216, 222 -, - 546 (Bochum, Universitätsstr.) 216 -, Untertage- 173 (Zeche Haus Aden) 214, 216 -, - 175 (Zeche Haus Aden) 228 -, - 176 (Zeche Haus Aden) 220 - , - 177 (Zeche Haus Aden) 214 - , - 181 (Zeche Haus Aden) 214 Bramscher Massiv (Intrusiv) 15, 19-23, 25, 36 Bremen 63, 76, 85 Bruay 91 Fosse 6 105 Buntsandstein 13, 22, 41, 192 Campine 253 Calamites (Stylocalamites) cisti 93 -- suckowi 93 – – undulatus 93 Carbonita-Gruppe 261, 262 Cephalopoden 200 Cevennen 136 Cinérit 177 Conchostraken 262, 264 Conodonten 200 convolute bedding 205 Cordaites principalis 93 ČSSR 125, 136 Dänische Bucht 16 Datierung 94, 136 Densilog 64 Deutschland - , Bundesrepublik 13, 14, 25, 298, 322 - , DDR 16 - , Nord- 37 - , Nordwest- 13-16, 25, 29, 30, 35, 38, 40-43, 47, 49, 52, 57, 59, 62, 64-69, 71-84, 90, 94, 96-98, 100-104, 253, 254, 262, 265 - , West- 15, 16 Devon 15, 18 Dichte 44, 52, 236, 239-241 -messung 64, 232-239 Dickenberg-Sandstein 56, 59, 84 Diepholz 54, 58

Dilsburger Schichten 126, 142 Dinant 14, 15, 18, 20, 124 Diplog 233 Dipmetermessung 233, 234, 236, 239 Domina-Horizont 60, 155 Dornbusch-Sandstein 84 Dorsten 248, 249 Dorstener Hauptsattel (-Sattel) 155, 166, 301 - Horst 263 - Schichten 44, 97, 127, 142, 146, 157 -159, 162, 163, 165, 173, 190, 250, 259, 260. 266 - - , Mittlere 222 - - , Untere 46, 82, 228, 238, 263 Dortmund 245, 247, 248 Durchwurzelung 193, 201 Elbe 42, 47, 49, 52, 60, 83 - , Unter- 15, 26, 84 Emden 40, 66, 68, 70, 77, 83 Ems 41, 66, 70, 83 - -land 53, 70, 81, 85 - - , West- 50, 55 - 57, 60, 63, 66, 68, 71 -75, 77, 80, 82, 83 -mündung 21, 22, 25, 62, 66, 80, 81, 83 - -Senke 16, 25, 47, 49-52, 54-58, 66, 67, 83, 84 -Weser-Aller-Gebiet 73 Emscher-Hauptmulde (-Mulde) 155, 166, 179, 251, 263 England 259, 261 - , Mittel- 46, 61 - , Nord- 253 Ennepe-Störung 18, 21 Erdgas 13, 14, 21, 40, 42, 43 - bildung 13, 24
- bohrung 41, 43 - 45, 61, 63, 233 - -entstehung 40 - -exploration 40-43, 62, 63 - Explorationsbohrung 42, 74 - -feld 22, 24, 81 - - Alfeld Elze 24 - - Apeldorn 24 - - Bahrenborstel 24, 25, 66 -- Barrien 24 -- Dreilingen 24 -- Fehndorf 84 - Groningen 40- Itterbeck-Halle 57, 68 - - Munster 24 - - Rehden 25, 53, 66, 70 - Söhlingen 24
- Uchte 24, 25, 66, 70
- Wustrow 24 - -förderhorizont 81, 84 - -förderung 13
- lagerstätte 13, 16, 25, 40
- muttergestein 79, 80
- speichergestein 40

Erdöl

- -bildung 13

329

- -bohrung 233 - entstehung 41
- lagerstätte 13 - -muttergestein 196 Erkelenzer Horst 253 Erzmineral 24, 25 Essener Hauptmulde (-Mulde) 155, 166 - -Schichten 44, 60, 74, 81, 157-167, 172, 192, 248, 253, 300, 314 --, Untere 214, 216, 226 Europa - , Mittel- 121-124 , Nordwest- 121, 122, 153 - , West- 120 Eusphenopteris striata 94, 95 Exploitation 153 Exploration 40 - 43, 62, 63, 152, 153, 160 - , Erdgas- 40 - 43, 62, 63 - , Kohlenwasserstoff- 36 - , Steinkohlen- 43, 152, 153, 160 Explorationsbohrung 26, 42, 74, 75, 155, 157 – 159, 161 – 164, 168, 172, 192, 232, 240 Explorationszone 160, 167, 301 Faisceau de Du Souich 95, 97, 98, 100 - d' Edouard 95, 97
- d' Ernestine 94, 95, 97, 100 - de Pouilleuse 98 - de Six-Sillons 94, 97-99, 100 Finefrau-Konglomerat 192, 222 - -Sandstein 81, 207 Fischschuppen 200, 261, 262 Flaesheim 306 Flaesheimer Sattel 306 Flammkohlenschichten, Obere 260 Flechtinger Höhenzug 15 Flöz (-gruppe, -niveau; s. auch Kohlenflöz) - Ägir 45, 60, 73, 99, 249-251 - Albert 3 45 - - 4 45, 56, 61, 66, 68, 94, 306, 307 - Alexander 54, 56, 66, 68, 94 - Angelika 61, 192, 214, 220, 228, 300, 321 - Anna 2 45, 61, 284 - (veine) Arago 116 - B1 287 - Baldur 45, 46, 69, 73, 259, 264 - Bentingsbank 94 - (veine) Bienvenue inf. 116 - Blücher 321 - Bockraden 55 - Buchholz 100 - Chriemhilt 73, 98, 105, 259 - D1 300 - Dickebank 228 - - 2 45, 192, 216 - Dickenberg 52, 54, 56, 66, 68, 101, 265 - Donar 73, 98, 264 -- 1-5 259 - Dreckbank 94

- Dreibänke 95, 100, 101, 105 - Dünnebank 222 - Eleonora 128, 148 Erda 73, 96, 98, 99, 103, 260, 264
Ernestine 1 304, 316 - - 1/2 288, 310, 311 - F1 45 - Finefrau-Nebenbank 45, 192, 199, 205, 214, 245, 321 - Flothwell 54, 56, 66, 68, 100 - Franz 54-56, 66, 68 - Freya 73, 98 - - 1-3 260 - G2 45 - Gabriela 128, 148 - Geitling 2 192 - Girondelle 245, 304 - Glücksburg 59, 94, 96, 265 - Gottessegen 192 - Gretchen 61 - Grimberg 4 266 - - 6 60, 214, 216, 249 - Gudrun 73, 264 -- 1-2 260 - Gustav 284 - - 2 192, 220, 319, 321 - Hagen 68, 69, 72, 73, 105, 172, 260 - - 1 46, 251, 260, 264 - - 4 228, 260, 264 - Hermann 222, 284 - Hugo 2 45, 61, 284, 288 - Ida 321 - Iduna 71, 98-100, 116, 260, 264 - - 1 260 Itterbeck 54 – 56, 66, 68, 84 - Johann 1 45, 61 -- 2 61 - Johannisstein 94, 101, 116 Karl 247, 248 Karoline 61, 192, 214, 220, 228, 300, 321 Katharina 45, 74, 222, 246-249, 317, 321 - Kobold 71, 72, 98, 99, 260, 261 - - 1 261, 264 - K2 60 L 248, 249 - Laura 1 45, 60, 249 - Loki 70-72, 98-100, 222, 261 - Luise 61 - (veine) M 105 -Matthias 2 61, 284 -Mausegatt 245, 321 - - 1/2 306 - Max 148 ----Mettingen 55, 66 Midgard 69, 71, 99, 260 -- 1 261 -- 2 261, 264 - Mittel 100, 101 - Nibelung 58, 59, 69, 71, 99-101, 251, 259-261, 264, 266

- N/M 60 Odin 59, 69, 71, 82, 99, 259, 262, 264, 265 - (veine) Omérine 110 - P 81 -- 4 45, 60 - Parsifal 58, 59, 71, 82, 96, 98-100, 259, 262, 264, 265 Plaßhofsbank 45, 245, 246, 248, 307 Präsident 45, 61, 192 - - 1/2 309 - Q1 288 - R 60 Röttgersbank 2 61, 286, 287 - Rübezahl 70, 71, 98, 262 - S2 286, 288 Sarnsbank 1 306, 307, 314
2 45, 216, 220, 222, 245, 298, 300, 310. 311 - Sarnsbänksgen 298, 300, 303, 304 Schieferbank 192
Siegfried 70, 71, 98, 99, 116, 262, 265 Sonnenschein 61, 161, 248, 272, 277, 278, 280, 281, 317, 321
1/2 310, 311
2 45 (veine) St. Augustin 116 Ť 249, 250 Theodor 100
Tristan 70, 71, 262, 263, 265
Undine 70, 71, 263, 265
Viktoria 60, 249 Volker 58, 59, 70, 71, 161, 263, 265
Walküre 59, 70, 71, 265 Wahlschied (= 950) 126, 142, 177
Wasserbank 192, 199 - Wasserfall 74, 192, 214 - Wellington 306, 307 - Xanten 59, 95, 251 Yggdrasil 265 - Z1 173, 174 Ziu 265 Zweibänke 94, 101 Zollverein 1 60, 249, 301-304 - - 2 277 - 280, 301 - 304 -- 3 314 -- 5 60 -- 7 45, 60, 192, 314 -- 8 249, 301 - 3 (= 400) 177 - 3a 177 - (veine) 16 105, 110 - 19-25 259 – gruppe s. Flöz - - 2 98, 99 - - , Zwischen- I-IV 59, 70, 265 - -folge 156 – niveau s. Flöz - -struktur 236 - -verband 158, 159 Flüchtige Bestandteile 15, 322 Flußspat 24

Foraminiferen 16, 200, 203, 261, 262 Fortopteris latifolia 94 Fosse s. Schachtanlage Frankreich 96, 136 - , Nord- 61, 90, 92, 94-105, 110, 116, 178, 253, 261 Gamma-Ray-Log 45-61, 64, 66, 232, 260 Gammastrahlungs-Anomalie 46, 47, 49, 52, 56, 61 - - Maximum 45-47, 60, 61 - (Gamma-Ray)-Messungen 46, 50, 64, 233, 237, 239, 240, 262 Gas s. Erdgas Gebirgstemperatur 284, 285, 289, 295 Gelsenkirchener Hauptsattel (-Sattel) 155 Geologische Karte des Ruhrkarbons 1:100000 16, 35, 179 Geologischer Garten Bochum 191, 192, 214, 220 Geoisothermen 289 - -karte 290 Gewölbe - , Krefelder 18, 25, 245, 276, 280 , Lippstädter 18, 25, 79
, Rehburger 25
Gifhorner Trog 20 Glas, vulkanisches 174, 175, 182, 184 - -blasengefüge 184 - blasenstrukturen 176 - scherbenrelikte 177 – 179, 182 Goniatiten 193 Graben , Bockrader 53 , Kirchhellener 258, 262 , Marler 258, 262, 264 _ , Oberrhein- 271 Graf-Moltke-Wilhelmine-Victoria-Sprung 258, 259 Graphitisierung 20 Graphit-Stadium 23 Graupentonstein 172 gravimetrisches Maximum 19 Grenzlager-Gruppe 126 Groningen 75, 79 Groninger Hoch 25 Grubenklima 284 Gymnospermen 93 Gyrochorte carbonaria 201 Haard-Sprung 306, 307 Haltern 214, 218 Halterner Sprung 259, 306 Hameln 61 Hamwiede 16 Hannover 75, 80 - , Ost- 25 - , Süd- (Gebiet) 79 Hannoversches Wendland 76 Hardenberg-Mulde 314, 317, 318

Hasselt 254 Harz 15, 20 Hattingen 191, 192, 216, 220, 222 Hauptdolomit (Zechstein) 24 Hauptmulde s. Mulde Hauptsattel s. Sattel Henin-Liétard 91 Hessische Senke 19, 20 Hildesheim 24 Holtwicker Sprung 306 Horizont, mariner , Ägir- 43-45, 47, 72, 73, 90, 94, 101, 157, 174, 190, 259, 264 - , Domina- 43, 44, 47, 60, 155, 157, 190 , Finefrau-Nebenbank- 61 , Katharina- 43, 44, 47, 60, 61, 157, 190 -, Plaßhofsbank- 45, 60 -, Rimbert (Ägir)- 90, 94, 96, 101 , Sarnsbank- 61 - , Wasserfall 1- 45, 60, 61, 190, 216 Horst - , Dorstener 263 , Erkelenzer 253 , Peel- 254 Horster Schichten 44, 60, 74, 81, 127, 146, 157 - 164, 173, 174, 190, 249, 250 Hüggel 15 Ibbenbüren 15, 36, 43, 52-56, 66, 68, 70, 82, 90, 97, 99 - 102, 254, 259, 265 Ibbenbürener Steinkohlenrevier (Karbon, Karbon-Scholle) 15, 21, 36, 42, 43, 52-56, 59, 61, 66, 68, 70, 82, 90, 94-103, 124, 178, 259, 265 Iduna-Sandstein 72,82 Illit-Kristallinität 19, 209, 210 Inde-Mulde 79 Inkohlung 13-15, 19-24, 271, 272, 276 - , Nach- 20-22 Inkohlungs - -bild 15, 18, 20, 23 - -daten 30, 32, 34 - -gas 13, 25 - -grad 14, 16, 18, 21, 22, 24, 168, 270, 276, 278 - -gradient 26, 276 - -hoch 19 - - karte 13-15, 19, 20, 25, 26, 29, 36, 42 - -maximum 19, 20, 24 -temperatur 272 - - untersuchung 13, 20, 36 -zunahme 21 Innersudetisches Steinkohlenbecken 123, 125 Intrusivkörper 19 Jaklovec-Schichten 128, 148 Jura 20, 24 Kalibermessung 64 Kalium 40, 46 - -messung 129

Kaolinisierung 172 Kaolin-Kohlentonstein 96, 97, 120-124, 126, 128, 129, 131, 134 - 136, 138, 142, 148, 152, 155 - 160, 162 - 169, 172 - 179, 195, 238, 251, 258-262, 264, 265 , Baldur 160 , Blücher 2 160, 163, 164 _ , Chriemhilt 159 -, Erda 43, 46, 160, 162, 163 _ , Girondelle 5 159 _ , H1 160, 162, 163 , Hagen 1 43, 46, 101, 126, 127, 134, 136, 138, 142, 160, 162, 165, 166, 173 - , - 2 135 - , - 4 126, 127, 134-136, 146, 160, 163, 168 , Hermance 101 _' - , Ida 160, 164 - , Karl 160, 162-164 - , Laura 160 - , - 3 162-164 , Maurice 100, 101, 261 , Maxence 100 _ , Nibelung 46, 101, 160-163, 168, 261 _ , O (Wahlschied) 134, 136, 142 _ , 01 160, 162, 163 _ _ , Odin 101, 159 , P1 159 _ , - 2 160, 162-163 --, - 3 159, 163 -, - 4 159, 160, 162, 163 - , Parsifal 159 , Patrice 101 -, Prudence 101 , Röttgersbank 1 _ 159 , Siegfried 101, 159 _ , U 159, 160, 163 _ , Viterbe 178 _ , W1 160, 162, 163 -, Wilhelm 160, 162-164 _ , Z1 126-128, 134, 136, 138, 146, 160, _ 162, 163, 168, 173-179, 182, 184 - , Zollverein 2 160, 162-164 -, - 3 160, 162-164 -, - 6 160, 162-164 - , - 8 160, 162-164, 166, 167 , 335 (Eleonora) 126, 128, 134, 136, 138, 148 , 365 (Gabriela) 126, 128, 134, 136, 138, 148 , 479 (Max) 126, 128, 134, 136, 138, 148 , "dichter" 172 , Graupen- 172 , Kristall- 126, 128, 142, 172 , kryptokristalliner 123 , Mixed-layer- 123, 127, 142, 146, 168 , Pseudomorphosen- 123, 128, 148 Karbon-Oberfläche 13-24, 30, 32, 34-37, 153, 251 -Scholle, Ibbenbürener 21, 36, 53, 95, 96 Karpetal 18

Kentucky 138 Keilblattgewächse 93 Kirchhellener Graben 258, 262 Kirchlinder Sattel 313, 314 Klied 32 Kohlen (s. auch Steinkohlen) -flöz (s. auch Flöz) 20, 34, 40, 42, 45, 47, 63 – 80, 82, 83, 120, 121, 152, 155, 157, 169, 190, 199, 232 – 237, 239 – 241, 248, 252, 253, 264, 270, 298, 303, 304, 306, 308, 311, 312, 317, 319, 320 -gerölle 143, 197 -inhalt 244-246, 248-250, 253, 254, 303, 304, 308, 309, 312, 313, 316 -mächtigkeit 63-74, 244-255, 298, 300, 312, 314, 316, 317, 319 -mengen 42, 62, 63, 75-78, 80-82 -revier s. Steinkohlenrevier -stoff(gehalt), organischer 193-195, 197, 199, 201, 205, 210 -tonstein s. Kaolin-Kohlentonstein -verflüssigung 14 -vergasung 14
 -volumen 304, 313, 314, 316, 317, 320, 321 - -vorrat 63, 298, 304, 306, 309, 312, 316-318, 322 -vorratsberechnung 298, 300, 311, 322 - vorratsermittlung 244 -wasserstofflagerstätte 25 - wasserstoffmuttergestein 81 -wasserstoffprospektion 14, 15, 25 Korngröße 193, 194, 199, 206 Korngrößenverteilung 195 Krefelder Gewölbe 18, 25, 245, 276, 280 Kristalltonstein 126, 128, 142, 172 kryptokristalliner Tonstein 123 Kupferkies 20, 25 Kupferschiefer 20, 21, 24, 34 Kurler Sprung 314, 317 Lamershof 32 Laterolog 59 Leine 41 Lembecker Schichten 59, 97, 260, 266 Lens 91 Lepidodendron aculeatum 93 lycopodioides 93 Lepidostrobophyllum lanceolatum 93 Lias 18-20 Lieth 34 Liévin 91, 110, 116 , Fosse 4 110 , Fosse 7 116 Lingula 60 Linopteris regniezi 96, 97, 100, 101, 116 subbrongniarti al. L. neuropteroides 96, 97, 99, 101, 102, 110, 116 Linsenschichtung 204 Lippe-Hauptmulde (-Mulde) 155, 166, 179, 250, 258-260, 262-264, 267, 284 Lippstädter Gewölbe 18, 25, 79

Lohberger Sprung 285 Log s. Bohrlochmessung -konnektierung 42, 43, 47, 50, 51, 53, 54, 56, 57, 59, 61, 62, 68, 69, 81, 84 -stratigraphie 46, 47 Loire 177 -Becken 136 Lothringen 177 Lüdinghauser Hauptmulde (-Mulde) 155, 166 Lycopsiden 93 Magmenaufstieg 24 Magmenkörper 23 magnetisches Maximum 19 Main-"Estheria"-Band 261 Mariopteris nervosa 94 robusta 94 sauveuri 94 Marl 247 Marler Graben 258, 262, 264 Massiv von Bramsche 15, 19-23, 25, 36 von Vlotho 18-20, 23, 25 Mausegatt-Sandstein 207 Mecklenburg 75, 80-84 Meta-Anthrazit 23 -stadium 26 -Exsudatinit 24 Microlog 232 Mississippi-Delta 200 Mittelböhmen 123, 125 Mittelengland 46, 61 Mitteleuropa 121-124 Mittelholländischer Rücken 83 Mixed-layer-Tonstein 123, 127, 142, 146, 168 Moers 155 Münster-Sprung 309 Münsterland 14, 16, 18, 21, 42, 61, 69, 71, 73, 79-81 Münsterländer Abbruch 21, 25, 62, 66 Becken 21, 36, 254 Mulde, Bochumer 155, 166, 309, 310, 313, 314, 316 , Emscher- 155, 166, 179, 251, 263 , Essener 155, 166 , Hardenberg- 314, 317, 318 , Inde- 79 155, 166, 179, 250, 258-260, Lippe-262-264, 267, 284 Raesfelder 155, 166, 250, 251, 261, 263, 264 , Wittekind- 309 Muschelkalk, oberer 19 Muscheln (s. auch Pelecypoden) 261, 262 Nachinkohlung 20-21 Nahe 121, 126 Naiadites 261 Namur 14-16, 18, 20, 37, 74-76 A 123, 126, 128, 134, 136, 138, 148, 190

- B 75, 80, 137, 190 C 59-61, 75, 78-80, 137, 155, 157, 190, 244, 245, 252 Neuropteris attenuata al. N. rarinervis 94. 95 chalardi 96, 97, 99, 101, 102, 105, 110 - dussarti 94-96, 105 - ovata 95-97, 101, 102, 116 - scheuchzeri 94, 103 semireticulata 96-98, 105 tenuifolia 93 Neutronenmessung 233 Niederlande 25, 46, 61, 80, 81, 253, 254 Niederländischer Rücken 15, 25 Niederrhein 14, 16, 18, 61, 76, 245, 254, 270, 280, 300 Niederrheinisch-Westfälisches Steinkohlenrevier (-bezirk, -gebiet) 37, 45, 61, 73, 75, 78, 152, 153, 165, 167, 172, 173, 177, 178, 245, 253, 259 Niedersächsisches Becken 21, 22, 42 Tektogen 13 Noeux 91, 116 - Fosse 2 116 - - 4 114 Nördlicher Monopol-Sattel 313, 314, 318 Nordamerika 120 Norddeutschland 37 Nordengland 253 Nordmecklenburg 80, 83 Nordoldenburg 62 Nordsee 21, 22, 36 - 38, 41, 42, 61, 62, 68, 73-75, 78, 79, 81, 83, 84, 253, 254 Senke 84 Nordwestdeutschland 13-16, 25, 29, 30, 35, 38, 40 - 43, 47, 49, 52, 57, 59, 62, 64 -69, 71 - 84, 90, 94, 96 - 98, 100 - 104, 253, 254, 262, 265 Nordwesteuropa 121, 122, 253 Nordwestfälisch-Lippische Schwelle 36 Oberkreide 36 Oberrhein-Graben 271 Oberschlesien 121, 123, 125, 126, 128 Oldenburg 66, 73, 81, 82 - , Nord- 62 , Süd- 58 _ West- 85 Old-Red-Sedimente 192 Orogenese, appalachische 120 , variscische 120 Osnabrück 15, 23, 43, 52-54, 56, 72, 77, 82, 90, 91, 95, 98-102, 105, 116 Osnabrücker Karbon 68, 80, 95 Osning-Zone 36 Ostfriesland 41, 50, 51, 57, 66, 70, 72, 73, 81, 82, 85 Osthannover 25

Ostholländische Schwelle 56

Ostracoden 200, 203, 261, 262

Ostniedersachsen 52

Ostrauer Revier (Karbon) 121, 128, 129, 134, 136, 138, 146 Ostsee 83 Ostwestfalen 15 Palaeestheria sp. 49, 50, 261, 262, 264 Paläosolhorizont 138 Paläotemperaturgradient 20, 270-272, 276-280 Pannonisches Becken 277 Paripteris gigantea 99 pseudogigantea 93, 99 Pecopteris (Asterotheca) miltoni 93 (Senftenbergia) plumosa 93 Peel-Horst (-gebiet) 61, 253 Pelecypoden 200, 201 Perm 13, 40, 80, 82, 85, 124, 276 , Unter- 123, 226 Pflanzenassoziationen 93 Piesberg 15, 23, 90, 92, 94, 95, 97, 98, 100-103, 105, 116 Achse 36 Planolites ophthalmoides 201, 203, 216, 228, 265 Plutonit 24 Polen 125 Pommern 83, 253 Poruba-Schichten 128, 148 Präsident-Sandstein 81 Prospektion 13, 14, 26 Pseudomorphosentonstein 123, 128, 148 Pteridophyllen 93, 95 Puy-de-Dôme 136 Pyrmonter Achse 36 Pyroklastika 120 Pyrophyllit 24 Quarzkeratophyr-Vulkanismus 177 Raesfelder Hauptmulde (Mulde) 155.166. 250, 251, 261, 263, 264 Recklinghausen 247 Rehburger Gewölbe 25 Rehden 56, 71, 77, 82 Reservefeld 232, 244, 248, 258 Reticulopteris münsteri 95-98, 101-103, 105 Rhät 18-20 Rhein 167, 245, 247 , Nieder- 14, 16, 18, 61, 76, 245, 254, 270, 280, 300 -Ruhrgebiet (-revier) s. Steinkohlenrevier Rheinberger Staffel 300, 301 Rheinisches Schiefergebirge 15, 18, 21, 22, 79, 124, 177 yolith 126 Rhyolith Richtschichtenschnitt 155 Ringköbing-Fünen-Hoch 36, 37 Röntgenanalysen 123, 130 Röntgendiffraktometrie 129, 172

334

Röntgenstrukturanalyse 130 Rostock 83 Rotliegendes 13, 14, 20, 24, 25, 37, 192 Rotliegend-Vulkanit 24, 25 Rügen 83, 84 Ruhrgebiet (-karbon, -revier) s. Steinkohlenrevier. Niederrheinisch-.Westfälisches Saar 121, 126 - -land 177 -revier (-Karbon) 121, 123, 126, 134, 138, 142, 172 -Lothringer Steinkohlenbecken 177 -Nahe-Revier 124 Salzstock 23 Sanidine, pyroklastische 120, 123 Sattel, Auguste-Victoria-155, 214, 306 , Dorstener 155, 166, 301 , Flaesheimer 306 , Gelsenkirchener 155 , Kirchlinder 313, 314 , Nördlicher Monopol-313, 314, 318 Schacht Niederberg 5, 33 , Nord- (Ibbenbüren) 91
 Schachtanlage Brassert 126, 127, 146, 173, 174, 177, 178, 182, 184 (Fosse) Cuvinot 91, 105, 110 Ewald 159, 226, 251 Franz Haniel 261 Friedrich-Thyssen 285 Fürst Leopold-Baldur 126, 127, 142, 258, 260-263, 265 General Blumenthal 214 Göttelborn 126, 142 Haus Aden 192, 216, 220, 228 Jan Fučik 126, 128, 148 Osterfeld 284, 285 President Gottwald 126, 128, 148 Prosper IV 105 - Prosper-Haniel 285 Rheinland 300 Unser Fritz 159 Wehofen 260 Westfalen 309 Schallaufzeit 44, 64 -messung 64, 232-238 Schichten, Bochumer 61, 157-164, 190, 207, 214, 216, 220, 228, 246, 248, 253, 284, 300, 311, 314, 316, 317 , Dilsburger 126, 142 , Dorstener 44, 97, 127, 142, 146, 157 -159, 162, 163, 165, 173, 190, 222, 228, 238, 250, 259, 260, 263, 266 , Essener 44, 60, 74, 81, 157 - 167, 172, 192, 214, 216, 226, 253, 300, 314 , Flammkohlen-, Obere 260 , Horster 44, 60, 74, 81, 127, 146, 157 -164, 173, 174, 190, 249, 250 , Jaklovec- 128, 148

- , Lembecker 59, 97, 260, 266

, Poruba- 128, 148 , Sprockhöveler 190, 192, 216, 227, 228, 298 , Wittener 158, 159, 190, 214, 220, 245, 248, 311, 314 Schmelztuff 173, 177 Schottland 253 Schwarzwald 177 Schwefelgehalt 322 Sedimentgänge (clastic dykes) 202 Sedimentologie 188 Sekundärbitumen 24 Semigraphit-Stadium 23 Sigillaria 16, 93 Soltau 81 Soniclog 47, 50, 52, 53, 59, 60, 64, 75 Spanien 138 Speichergestein 24, 40 Sphenophyllaceae 93 Sphenophyllum cuneifolium 93 emarginatum 93-95 Sphenopteris (Renaultia) gracilis 93 Sprockhöveler Schichten 190, 192, 222, 298 - - , Obere 216 --, Untere 228 Sprung, Graf-Moltke-Wilhelmine-Victoria-258, 259 Haard- 306, 307 Halterner 259, 306, 307 _ , Holtwicker 306 , Kurler 314, 317 --Münster- 309 Unnaer 313 , Windemuth 314 , Wustrower 25 Stefan 13, 15, 16, 23, 25, 37, 43, 45, 47, 49-52, 56, 57, 60, 62, 63, 66, 83-85 A 123, 126, 136, 142, 177 B 123, 126, 177 C 123, 126, 127, 134 -Steinbruch Rauen 192, 199 Zeche Klosterbusch 191, 192, 199, 205 Steinhuder-Meer-Linie 25 Steinkohlen (s. auch Kohlen) -becken, Mittelböhmisches 123, 125 - - , Innersudetisches 123, 125 --, Nord-Pas-de-Calais, du 90, 177 - - . Oberschlesisches 121, 123, 125, 126, 128 --, Saar-Lothringer 177 - bergwerk s. Schachtanlage - -exploration 43, 152, 153, 160 - - Explorationsbohrung 42, 74, 75 – -felder, stillgelegte 152 --, verliehene 152 - revier – – , Aachener 61 Ibbenbürener 15, 21, 36, 42, 43,

, Ibbenburener 15, 21, 36, 42, 43, 52 – 56, 59, 61, 66, 68, 70, 82, 90, 94 – 103, 124, 178, 259, 265

 – Niederrheinisch-Westfälisches 15, 16, 18, 21, 32, 36, 37, 42 - 46, 57 - 61, 69, 73-75, 78-82, 84, 90, 91, 95-103, 105, 116, 121, 123, 124, 126, 134, 135, 138, 142, 146, 152, 153, 155, 156, 158-161, 165, 167, 172 – 174, 177, 178, 188 – 198, 200 – 210, 216, 228, 232, 236, 238, 240, 244-250, 252-255, 258-261, 263, 265, 266, 270, 276, 277, 284, 285, 298, 300, 306, 308, 309, 311, 313 Stralsund 75 Südlimburg 253, 254 Südoldenburg 58 Südoldenburger Rücken 22, 23, 25 Südwales 96, 100 Sutan-Überschiebung (-Wechsel) 309, 314. 319 Temperaturgradient 276-280, 284, 285, 290 - 292- , Paläo- 20, 270-272, 276-280 Texel-ljsselmeer-Hoch 83 Thermalwasseraktivität 271 Thorium 232 - -Anomalie 46 Thüringen 192 Toneisenstein 193 Tonstein s. Kaolin-Kohlentonstein Top Marine Band 59 Topographische Karte 1:25000 (TK 25), Blatt - 1532 Petersdorf 34 - 2224 Barmstedt 34 - 2308 Juist Ost 31 - 2329 Nusse 34 - 2608 Emden West 31 - 2826 Egestorf 34 - 2827 Amelinghausen 34 - 2914 Littel 31 2923 Bothel 31
3014 Garrel 31 - 3018 Syke 34 - 3022 Bendingbostel 30 - 3023 Visselhövede 30 - 3026 Munster 34
- 3028 Gerdau 34
- 3029 Uelzen 34 - 3030 Rosche 34 - 3122 Häuslingen 30 - 3123 Walsrode 31 3213 Essen (Oldb.) 30 3217 Barnstorf 31 3229 Hankensbüttel 30 3419 Uchte Nord 31 3425 Wettmar 34 3708 Gronau (Westf.) 30 3709 Ochtrup 31 3922 Hameln Süd 30 3924 Gronau (Leine) 30 - 4011 Münster 31 - 4208 Wulfen 32, 33 - 4209 Haltern 32, 306

– 4210 Lüdinghausen 32 – 4212 Drensteinfurt 32, 33 – 4213 Ahlen 309 - 4216 Mastholte 30 4306 Hünxe (Drevenack) 33 - 4307 Dorsten 32, 33 - 4308 Marl 32 - 4309 Recklinghausen 306 - 4311 Lünen 33 - 4317 Geseke 31 - 4327 Gieboldehausen 31 - 4404 Issum 32, 33 4405 Rheinberg 32, 33, 300
4406 Dinslaken 33 4407 Bottrop 33
4503 Straelen 33 - 4504 Kerken (Nieukerk) 32, 33 4505 Moers 32, 33
4605 Krefeld 32, 33
4704 Viersen 33 Trias 13, 20 Trochitenkalk 19 Tuff 127, 135, 173 – , Kristall- 127 – -stein 121, 123, 125, 126 Unnaer Sprung 313 Unterdevon 177 Unterelbe 15, 26, 84 - -trog 85 Unterkreide 24 Unterperm 123, 226 Unterweser 26 Uran 46, 238 USA 138 Vegetationsbild 93 Veine Arago 116 Bienvenue inf. 116 - M 105 - Omérine 110 - St. Augustin 116 - 16 105, 110 Vimy-Fresnoy 105 - Fosse 1 105 Visé 79 Vitrinit 14, 15, 21 - -Reflexion 15, 16, 18, 19, 24, 26, 29, 209, 210, 270, 278, 279 Vlothoer Massiv 18-20, 23, 25 Vogesen 177 Wärme - -flußdichte 271, 272, 276 - -leitfähigkeit 217, 276-279, 285, 288, 291, 292 - -leitzahl 277 - -stromdichte 278, 285, 291 Wales 192 Wattenscheider Hauptsattel (Sattel) 155, 310, 313 Wealden 20

Wechsellagerung, rhythmische 202 Wellenschichtung 204

Wesel 249

- Weser 16, 26, 41, 42, 49, 61, 62, 69 71, 73, 79, 80, 82
- -Aller-Gebiet (-Raum) 72, 74
- -Elbe-Gebiet 47, 50-52, 60
- -Ems-Gebiet 66, 70, 83
- Westdeutschland 15, 16
- Westemsland 50, 55-57, 60, 63, 66, 68, 71-75, 77, 80, 82, 83
- Westeuropa 120
- Westfal 14, 18, 40, 45, 63, 66, 76
- A 15, 21, 37, 43, 59 61, 74, 75, 78, 80, 81, 94, 99, 123, 137, 157, 190, 244, 250, 252, 254, 255, 270, 271, 276 - 280, 300, 311, 314
- B 15, 18, 21, 43, 59 61, 74, 75, 78, 81, 90, 96, 98, 99, 103, 123, 126, 127, 134, 136, 137, 146, 161, 166, 167, 174, 190, 244, 248 255, 270, 271, 276 279, 281, 300, 314

- D 13, 15, 16, 23, 37, 42, 43, 47, 49, 52 -60, 66, 68, 77, 78, 80, 83-85, 90-105, 116, 137, 271 Westoldenburg 85 Wetter/Ruhr 228 Widerstand, elektrischer 20, 44, 234 Widerstandslog 52 Widerstandsmessung 232, 233, 235 - 237, 239 Wiehengebirge 16 Windemuth-Sprung 314 Wildsöden 31 Winterswijk 80 Wittekind-Mulde 309 Witten 192, 199, 228 Wittener Schichten 158, 159, 190, 245, 248, 311, 314 , Obere 214 , Untere 220 Wulfen 258 Wurzelboden 63, 64, 71, 72, 84, 188, 190, 199, 200, 236, 239 Wustrower Sporn 25 Zechstein 13, 21, 22, 24, 34, 51 - -Salz 18

Zeitmarken, petrographische 152 Zeitskala 120, 121, 129, 137, 138 Zwischenflöz-Gruppe I – IV 59, 70



Verzeichnis der Tafeln in der Anlage

Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons in Nordwestdeutschland (Tafel 1)

Zu: M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & H. BARTENSTEIN, Inkohlung und Erdgas – eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland. – S. 11–34

Schnitt durch das Oberkarbon-Becken Nordwestdeutschlands und der Nordsee (Tafel 1)

Zu: G. STANCU-KRISTOFF & O. STEHN, Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee. – S. 35 – 38

Vereinfachte Schichtenschnitte des Westfals C-D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland mit den stratigraphisch wichtigsten Pflanzenspezies (Tafel 1)

Zu: K.-H. JOSTEN & J.-P. LAVEINE, Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C-D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland. – S. 89-117

Schichtenschnitte Raesfelder Hauptmulde (Tafel 1) Schichtenschnitte Lippe-Hauptmulde (Tafel 2) Zu: H. FIEBIG & J. GROSCURTH, Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. – S. 257–267





Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1984

Schnitt durch das Oberkarbon-Becken Nordwestdeutschlands und der Nordsee



Cross-section through the Silesian Basin of Northwest Germany and the North Sea









H. FIEBIG & J. GROSCURTH: Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet (Tafel 2)

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1984

Tafel 1



H. FIEBIG & J. GROSCURTH: Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet (Tafel 1)

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1984