Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Nordwestdeutsches Oberkarbon

Teil 2

Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen

Band 33

Nordwestdeutsches Oberkarbon

Teil 2

Beiträge zur Lagerstättenerkundung des nordwestdeutschen Steinkohlengebirges

Mit Beiträgen von

G. BUNTEBARTH, G. DROZDZEWSKI, D. FLACHE, R. HEWIG,
W. KNAUFF, E. KUNZ, D. LEYTHAEUSER, R. LITTKE,
K. OTTENJANN, B. PIEPER, M. RADKE, R. G. SCHAEFER,
M. SCHOELL, TH. SCHWARZKOPF, G. STADLER,
K. STEUERWALD, M. TEICHMÜLLER, R. TEICHMÜLLER †,
A. VIETH-REDEMANN, M. WOLFF, V. WREDE, M. ZELLER

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen
Krefeld 1985

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	323 S.	93 Abb.	32 Tab.	7 Taf.	Krefeld 1985

Alle Urheberrechte vorbehalten

© 1985 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. 80-0033

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.

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 TEICHMÜLLER. 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 TEICHMÜLLERs, 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. Band 32 „Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 1" wurde im Dezember 1984 herausgegeben. In ihm wurden 15 mehr überregional ausgerichtete Beiträge zusammengefaßt. Der vorliegende Band 33 „Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 2" enthält 16 Beiträge, die sich einzelnen Problemen des Niederrheinisch-Westfälischen, Ibbenbürener und Aachener Steinkohlenreviers widmen. Aus der Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden ergeben sich dabei vielfältige neue Aspekte und allgemeingültige Aussagen, die über den regionalen Rahmen weit hinausgehen.

Das Verbundbergwerk Haus Aden in Bergkamen begann im April 1978 mit der Erschließung des Nordfeldes. Dieser Auffahrung ging seit 1976 eine Explorationskampagne mit seismischen Untersuchungen und geophysikalisch vermessenen Tiefbohrungen voraus. Dadurch können die Ergebnisse der Vorerkundung mit den im Aufschluß angetroffenen Verhältnissen verglichen werden. Aus der Kombination von Explorationsergebnissen und Aufschlußaufnahmen ergaben sich zahlreiche neue regionalgeologische Erkenntnisse (KUNZ & WREDE).

Für die zwischen Marl und Lüdinghausen liegenden Teilbereiche der Lippe- und der Lüdinghausener Hauptmulde wurden im Rahmen des beim Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen durchgeführten Forschungsvorhabens „Exploration von Steinkohlenlagerstätten durch übertägige Tiefbohrungen" eine regionaltektonische Detailuntersuchung durchgeführt. Grundlage hierzu waren vor allem tektonische Bearbeitungen der zwischen 1974 und 1983 in diesem Raum abgeteuften Explorationsbohrungen und linienseismische Untersuchungsergebnisse. Das Bohrnetz weist in diesem Raum eine solche Dichte auf, daß die punktuell gewonnenen Informationen sowohl zu detaillierten tektonischen Schnitten als auch zu flächenhaften Projektionen bestimmter Flöze verknüpft werden können (STEUERWALD & WOLFF).

Die Schachtanlage General Blumenthal bei Recklinghausen betreibt seit 1980 intensive Maßnahmen zur Erschließung des Kohlenvorrats im Feld Haltern. Die Streckenauffahrungen boten Gelegenheit, einen zusammenhängenden Aufschluß durch das Auguste-Victoria-Anticlinorium geologisch aufzunehmen, strukturell auszuwerten und mit den Ergebnissen der dem Aufschluß vorausgegangenen Explorationsphase zu vergleichen. Hieraus ergeben sich neue Erkenntnisse zur Überschiebungstektonik und über die regionalen Zusammenhänge der Bruchtektonik. Eine kohlenpetrologische Untersuchung von Flözproben ermöglicht Aussagen zum regionalen Inkohlungsbild (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN). Der im Querschlag auf der 10. Sohle der Schachtanlage General Blumenthal von Schacht 8 nach Norden aufgefahrene, stark gestörte Kern des Auguste-Victoria-Sattels wurde geologisch-tektonisch detailliert aufgenommen und dokumentiert. Die stark gestörten Verhältnisse im Kern des Sattels werden auf eine verfaltete Überschiebungszone mit zwei Hauptstörungsbahnen zurückgeführt (FLACHE).

Im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenrevier ist die Gliederung des höheren Teils der Bochumer Schichten (Westfal A) schwierig, da zwischen dem Katharina- und dem Wasserfall-Horizont keine hochmarinen Horizonte vorhanden sind. Als Leithorizonte geeignete Kaolin-Kohlentonsteine wurden für diesen Schichtenabschnitt bisher nur im östlichen Revier nachgewiesen. Der im westlichen und mittleren Revier durch eine marin beeinflußte Mikrofauna sicher erkennbare Horizont über dem Flöz Albert 4, der Albert-4-Horizont, ist daher als Leithorizont von besonderer Bedeutung. Etwa 200 Explorationsbohrungen, die überwiegend in der nördlichen Reservezone des Niederrheinisch-Westfälischen Reviers niedergebracht wurden, ermöglichten eine mikrofaunistische Untersuchung des Albert-4-Horizontes in der gesamten Explorationszone. Dadurch konnten die Möglichkeiten zur Schichtengliederung und Flözidentifizierung des oberen Westfals A in diesem Raum verbessert werden (KNAUFF & PIEPER).

Zur Ermittlung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten im Flözaufbau wurde eine Folge von Flözproben aus der Bohrung Wulfener Heide 1, die

nordöstlich von Dorsten niedergebracht wurde, kohlenpetrologisch untersucht. Trotz individueller Besonderheiten im Flözaufbau lassen sich die Flöze dieser Bohrung drei Flöztypen zuordnen. Ausgehend von den Erkenntnissen der Entwicklung rezenter Torfmoore wurden für diese Flöztypen unterschiedlichen Bildungsmilieus abgeleitet (LITTKE).

Zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Inkohlung und den Isotopenverhältnissen wurden an Maceralgruppen von 44 Steinkohlenproben aus Explorationsbohrungen im nördlichen Ruhrrevier Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopenuntersuchungen durchgeführt. Bei den Kohlenstoffisotopen ergeben sich wenig signifikante Unterschiede bei den einzelnen Marceralgruppen; die Wasserstoffisotopen sind jedoch deutlich von der Maceralzusammensetzung der Kohle abhängig. Die Inkohlung verändert die Isotopenverhältnisse nicht merklich. Die festgestellten Isotopenvariationen in der Kohle und ihren Bestandteilen sind daher in erster Linie auf primäre Isotopenunterschiede in den pflanzlichen Ausgangsstoffen zurückzuführen (SCHWARZKOPF & SCHOELL).

Bei gering inkohlten Kohlen ist es schwierig, durch die Bestimmung der geläufigen Inkohlungsparameter Flüchtige Bestandteile und Reflexionsgrad des Vitrinits, den Inkohlungsgrad und den teufenabhängigen Inkohlungsfortschritt festzulegen. An Kohlenproben aus der bei Wulfen abgeteuften Bohrung Specking 1 wurden daher verschiedene Methoden der Fluoreszenzphotometrie zur Ermittlung des Reifegrades angewandt. Die disperse Verteilung bituminöser Substanzen und die Produktion sekundärer bituminöser Exsudate findet dabei besondere Beachtung (OTTENJANN).

Bei der Extraktion von Steinkohlen mit unspezifischen Lösungsmitteln erhält man ein Gemisch niedermolekularer Kohlenwasserstoffe, das in seiner Zusammensetzung dem Erdöl ähnelt. Die Extraktausbeuten von Kohlenproben aus den Explorationsbohrungen Kohlhaus 1 bei Dorsten und Uedem 1 am Niederrhein zeigen Beziehungen zum Inkohlungsgrad: Mit zunehmender Inkohlung nimmt im allgemeinen die Extraktausbeute ab, außerdem ändert sich die Zusammensetzung der Extrakte in charakteristischer Weise mit der Änderung des Inkohlungsgrades. Die organisch-geochemische Untersuchung der aromatischen Kohlenwasserstoffe konzentrierte sich auf das Phenanthren und die isomeren Methylphenanthrene. Zwischen einem definierten Methylphenanthren-Index und dem Reflexionsgrad des Vitrinits besteht eine sehr gute Korrelation. Dieser Index und der daraus rechnerisch abzuleitende Reflexionsgrad geben als chemischer Reifeparameter ein gutes Maß für den Ablauf der Kohlenwasserstoffgenese (RADKE & SCHAEFER & LEYTHAEUSER & M. TEICHMÜLLER).

Wichtig für die Erdölexploration ist das Erkennen und die Beurteilung der Migration von Kohlenwasserstoffen im Mutter- und Trägergestein. In der Bohrung Kökelsumer Heide 1 wurden in Abschnitten des Westfals A und B muttergesteinsartige Schiefertone und potentielle Sandstein-Trägerhorizonte angetroffen. Durch quantitative organisch-geochemische Untersuchungen der schwerflüchtigen gesättigten Kohlenwasserstoffe wird nachgewiesen, daß die muttergesteinsartigen Schiefertone bei der primären Migration in erhöhtem Maße Kohlenwasserstoffe abgegeben haben und diese Abgabe mit Fraktionierungseffekten verbunden war. Als Mechanismus der primären Migration kommen Sedimentkompaktion und der sich mit fortschreitender Kohlenwasserstoffgenese aufbauende Gasdruck in Frage (LEYTHAEUSER & SCHAEFER & RADKE).

Inkohlungsuntersuchungen an Kohlenproben aus fünf Bohrungen in der Ibbenbürener Karbon-Scholle zeigen deutlich den Einfluß der magmatischen Aufheizung durch das Bramscher Massiv, das als basisches bis ultrabasisches Intrusiv an der Wende Unter-/Oberkreide in das Niedersächsische Tektogen eindrang. Die regionalen Inkohlungsunterschiede in der Ibbenbürener Karbon-Scholle werden aufgezeigt und erklärt (R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER). Aus der maximalen Versenkung der Schichten und den Inkohlungsdaten werden Paläotemperaturgradienten errechnet, die mit 65 - 92° C/km ebenso hoch sind wie die Paläotemperaturgradienten des Westfals am linken Niederrhein, wo ebenfalls ein Magmenkörper die Inkohlung der Flöze beeinflußt hat. Mittels eines Abkühlungsmodells wird der Einfluß des Bramscher Intrusiv auf die Inkohlung in der Ibbenbürener Karbon-Scholle berechnet (BUNTEBARTH).

Für das flözführende Oberkarbon (Westfal A und B) im Wurm-Revier und im Erkelenzer Revier wurde ein gemeinsamer Schichtenschnitt erarbeitet, der als Richtschichtenschnitt für das Aachen - Erkelenzer Steinkohlenrevier vorgeschlagen wird. Die Schichtenfolge wurde aus Grubenaufschlüssen, die eine kontinuierliche Schichtenfolge repräsentieren, durch eine detaillierte geologische Aufnahme ermittelt. Ein Normalprofil der 1944 stillgelegten Steinkohlengrube Eschweiler-Reserve im Inde-Revier wird mit dem vorgeschlagenen Richtschichtenschnitt verglichen. Der Vergleich der stratigraphischen Abfolge zeigt deutlich, daß im Wurm-Revier und im Inde-Revier die Sedimentation unter sehr ähnlichen Bedingungen in geringer räumlicher Entfernung abgelaufen ist (ZELLER).

Eine der bedeutenden Überschiebungen des variscischen Gebirges ist die Aachener Überschiebung. Sie tritt im Aachener Gebiet im Kern des Aachener Sattels auf, der das Wurm-Revier vom Inde-Revier trennt. An dieser Überschiebung ist der Aachener Sattel auf die durch nordvergente, sehr steile Spezialfalten im Namur C und Westfal ausgezeichnete Engfaltenzone auf der Südflanke der Wurm-Mulde aufgeschoben. Als Hypothese wird die Möglichkeit erörtert, daß sich die Aachener Überschiebung nach Nordosten bis in den Velberter Sattel des rechtsrheinischen Schiefergebirges fortsetzt und daß Zusammenhänge mit der Satanella-Überschiebung des Ruhrkarbons bestehen (WREDE).

Band 33 und der vorausgegangene Band 32 sollen dazu beitragen, die durch eine systematische Explorations- und Aufschlußtätigkeit des Steinkohlenbergbaus und der Erdölgesellschaften gewonnenen neuen Kenntnisse über Stratigraphie und Tektonik des Oberkarbons und über seine Lagerstätten vorzustellen, noch offene Fragen aufzuzeigen und den Austausch wissenschaftlicher Erkenntnisse zu vertiefen. Die neuen Ergebnisse sind nicht nur von großen wissenschaftlichem Interesse, sie berühren zugleich in vielfacher Hinsicht wirtschaftliche Fragestellungen.

Krefeld, im März 1985

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

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort 3

E. KUNZ und V. WREDE: Exploration und Aufschluß des Nordfeldes der Zeche Haus Aden aus geologischer Sicht 11
Einleitung S. 12. Kenntnisse über das Nordfeld Haus Aden vor der Exploration S. 13. Neue Vorstellungen vom geologischen Bau nach der Exploration S. 14. Beobachtungen bei der Streckenauffahrung S. 16. Stratigraphische Einstufung der Schichten S. 16. Kleintektonische Formen S. 19. Großtektonische Einbindungen der Strukturen des Nordfeldes S. 23. Die Explorationsergebnisse im Vergleich mit den bergmännischen Aufschlüssen S. 27. Explorationsaufwand und -nutzen S. 30.

K. STEUERWALD und M. WOLFF: Der tektonische Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen) 33
Einführung S. 34. Lippe-Hauptmulde S. 35. Überblick und Methodik S. 35. Bemerkungen zur Stratigraphie S. 36. Seismische Auswertung S. 37. Tektonische Auswertung S. 37. Lüdinghausener Hauptmulde S. 40. Überblick und Methodik S. 40. Stratigraphische Verhältnisse S. 41. Seismische Auswertung S. 41. Einengungstektonik S. 44. Dehnungstektonik S. 47.

G. DROZDZEWSKI, R. HEWIG und A. VIETH-REDEMANN: Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon) 51
Einleitung S. 52. Strukturgeologie (G. DROZDZEWSKI & R. HEWIG) S. 52. Untersuchungsmethoden und Problemstellung S. 52. Die durchörterten Schichten und großtektonischen Elemente S. 58. Stratigraphie S. 58. Wittener Schichten S. 58. Bochumer Schichten S. 59. Tektonik S. 60. Falten und Überschiebungen S. 60. Sprünge S. 65. Blattverschiebungen S. 68. Inkohlungsuntersuchungen (A. VIETH-REDEMANN) S. 70. Vorbemerkungen S. 70. Probenmaterial S. 70. Analysenergebnisse S. 72. Geologische Auswertung S. 73. Allgemeines Inkohlungsbild S. 73. Zunahme der Inkohlung S. 73. Regionale Inkohlungsänderung S. 77. Tektonische Einflüsse auf die Inkohlung S. 80. Zusammenfassung S. 80.

D. FLACHE: Die Weseler-Berge-Überschiebung im Kern des Auguste-Victoria-Sattels bei Haltern 89
Einleitung S. 90. Methodik S. 92. Tektonische Verhältnisse und durchörterte Schichtenfolge S. 95. Gesamtbild und Ergebnisse S. 99.

W. KNAUFF und B. PIEPER: Der Albert-4-Horizont, ein mikrofaunistischer Leithorizont in den Bochumer Schichten (Westfal A) des westlichen und mittleren Ruhrreviers 105
Einleitung S. 105. Fauna des Albert-4-Horizonts S. 107. Die Verbreitung des Albert-4-Horizonts S. 114. Stratigraphische Bedeutung S. 115.

Seite

G. STADLER: Schwefelkiesgerölle in Konglomeratlagen des Ruhrkarbons 119
Einleitung S. 120. Petrographische Beschreibung der Konglomerate S. 121. Finefrau-Konglomerat in der Bohrung Holtwick 1 S. 121. Konglomeratlage im Sandstein der W-Flözgruppe der Bohrung Köhl 2 S. 122. Zusammenfassung und genetische Folgerungen S. 124.

R. LITTKE: Flözaufbau in den Dorstener, Horster und Essener Schichten der Bohrung Wulfener Heide 1 (nördliches Ruhrgebiet) . . . 129
Einleitung S. 130. Aufbauschema der Flözprofile S. 131. Allgemeine Flöztypen S. 131. Beschreibung der untersuchten Flöze S. 133. Generelle Veränderungen des Flözaufbaus S. 140. Genetische Deutung der Flözprofile S. 141.

TH. SCHWARZKOPF und M. SCHOELL: Die Variation der C- und H-Isotopenverhältnisse in Kohlen und deren Abhängigkeit von Maceralzusammensetzung und Inkohlungsgrad 161
Einleitung S. 162. Material und Methodik S. 162. Abhängigkeit von der Inkohlung S. 163. Abhängigkeit von der Maceralzusammensetzung S. 167.

K. OTTENJANN: Fluoreszenzeigenschaften von Flözproben aus stratigraphisch jungen Schichten des Oberkarbons 169
Einleitung S. 170. Untersuchte Proben S. 171. Methodik der Fluoreszenzmessungen S. 172. Inkohlung der Proben, dargestellt an ausgewählten Kennwerten S. 173. Maceralzusammensetzung der Proben S. 175. Zusammenhänge zwischen Liptinitgehalt, Menge des Desmocollinits und Bituminisierungsgrad S. 177. Messung der Fluoreszenzintensität S. 179. Alteration der Fluoreszenzintensität S. 181. Spektrale Verteilung der Fluoreszenz S. 187. Beurteilung der Inkohlung in der Bohrung Specking 1 aufgrund der Fluoreszenzmessungen S. 189.

M. RADKE, R. G. SCHAEFER, D. LEYTHAEUSER und M. TEICHMÜLLER: Bildung und Umwandlung schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe in Kohlen des Ruhrkarbons in Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad . . 197
Einleitung S. 199. Proben S. 200. Zur Petrologie der Proben S. 200. Methoden der organisch-geochemischen Untersuchungen S. 204. Extraktausbeuten S. 205. Ausbeuten ausgewählter gesättigter Kohlenwasserstoffe S. 206. Ausbeuten ausgewählter aromatischer Kohlenwasserstoffe S. 209. Die Anwendung des Methylphenanthren-Index als Inkohlungsparameter S. 211. Zusammenfassung und Schlußfolgerung S. 213.

D. LEYTHAEUSER, R. G. SCHAEFER und M. RADKE: Aspekte der Erkennung und Beurteilung der primären Migration des Erdöls – erläutert an einem Beispiel aus dem Ruhrkarbon 219
Einleitung S. 220. Proben und Methoden S. 220. Das organische Material der Schiefertone S. 222. Konzept der geochemischen Erkennung und Beurteilung von Migrationsphänomenen S. 220. Abgabe von Kohlenwasserstoffen aus den dünnen Schiefertonlagen S. 223. Pristan/n-Heptadecan-Verhältnis als Indikator für Abreicherung im Zuge der primären Migration S. 226. Geologische Bedeutung S. 227.

R. TEICHMÜLLER und M. TEICHMÜLLER: Inkohlungsgradienten in der Anthrazitfolge des Ibbenbürener Karbons 231
Einleitung S. 232. Proben, Methodik S. 233. Zunahme der Vitrinit-Reflexion in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, 2 und 3 S. 236. Zunahme der Vitrinit-Reflexion in den Untertagebohrungen Ibbenbüren UB 150 und UB 251 im Ostfeld S. 244. Ergebnis S. 248.

Seite

G. BUNTEBARTH: Das Temperaturgefälle im Dach des Bramscher Massivs aufgrund von Inkohlungsuntersuchungen im Karbon von Ibbenbüren 255

Einführung S. 256. Geothermische Interpretation der Inkohlungsprofile S. 258. Zur thermischen Wirkung des Bramscher Intrusivs auf die Kohlenflöze des Westfals S. 261.

M. ZELLER: Vorschlag eines Richtschichtenschnittes für das flözführende Oberkarbon (Westfal A und B) des Aachen - Erkelenzer Steinkohlenreviers 265

Einleitung S. 266. Zur Aachener Einheitsbezeichnung S. 267. Die Referenzprofile für den Richtschichtenschnitt S. 268. Obere Stolberger Schichten S. 269. Kohlscheider Schichten S. 274. Alsdorfer Schichten S. 278. Merksteiner Schichten S. 285.

M. ZELLER: Ein Versuch zur Flözgleichstellung im Oberkarbon (Westfal A) zwischen dem Inde-Revier und dem Wurm-Revier (Aachener Steinkohlengebiet) 289

V. WREDE: Die Fortsetzung der Aachener Überschiebung nach Osten - eine Arbeitshypothese 297

Einleitung S. 297. Der Verlauf der Aachener Überschiebung S. 298. Aachener Gebiet S. 298. Erkelenzer und Jackerather Horst S. 299. Südwestliches Ruhrkarbon und Velberter Sattel S. 301. Folgerungen S. 304.

Namenregister 307

Sach- und Ortsregister 310

Verzeichnis der Tafeln in der Anlage 323

Inhaltsübersicht des Bandes 32
(Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 1) 323

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	11 - 32, 9 Abb.	Krefeld, März 1985

Exploration und Aufschluß des Nordfeldes der Zeche Haus Aden aus geologischer Sicht

Von ERWIN KUNZ und VOLKER WREDE *

Reconnaissance, development, coalfield, coal mine (Haus Aden), stratigraphy, tectonics, costs, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Seit 1978 fährt das Verbundbergwerk Haus Aden in Bergkamen Strecken in sein unverritztes Nordfeld auf. Dem ging eine Explorationskampagne in der Form von seismischen Untersuchungen und mehr als 40 geophysikalisch vermessenen Kernbohrungen voraus. Die daraus gewonnenen regionalgeologischen Erkenntnisse über den inneren Bau der Essener Hauptmulde auf dem Kamener Horst werden dargelegt und in einen größeren geologischen Rahmen gestellt. Es werden außerdem einige Regelmäßigkeiten der Falten- und Überschiebungstektonik des Ruhrkarbons abgeleitet.

Schließlich werden die Explorationsergebnisse mit den Erkenntnissen über den geologischen Bau aus den bergmännischen Aufschlüssen verglichen, und es wird festgestellt, daß sie weitgehend übereinstimmen und sich sinnvoll ergänzen. Die finanzielle Belastung der geförderten Kohle durch die Exploration ist im Verhältnis zur Gesamtinvestition des Aufschlußvorhabens relativ gering und wird vom Nutzen für die optimale Planung der neuen Schächte, Strecken und Abbaue weit überwogen.

[Exploration and development of the new coalfield Haus Aden-North in geological view]

Abstract: In 1978 the coal mine Haus Aden (Bergkamen, Ruhr district) begun the development of it's northern field by starting the drift of cross-cuts towards the north. This activity had been proceeded by an exploration-campaign that consists of seismic surveys and more than 40 test-boreholes, all geophysically logged.

Information on the geological results of this exploration is given and these are discussed within their regional setting in the Essen syncline and the Kamen horst of the Ruhr Carboniferous. The results of the exploration-campaign are compared with the exposures surveyed within the newly drifted cross-cuts. By this it is proved that the prediction of the geological situation based on the exploration has been of high quality.

Exploration-costs are considered to be rather low in relation to the total amount of investment for the development of the new coalfield and are overweighed by the value of the exploration-based data that now can be used for the planning of the new mine.

[Exploration et exploitation au gisement au Nord de la Houillère Haus Aden (Bergkamen, R.F.A.) dans la perspective géologique]

Résumé: Depuis 1978 la mine de charbon Haus Aden a ouvert son gisement au Nord à l'exploitation par des voies de taille. Une exploration au moyen des investigations sismiques et plus de 40 forages avec des mesures géophysiques a précédée cettes activités minières.

---

* Anschriften der Autoren: Dr. E. KUNZ, Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Herner Straße 45, D-4630 Bochum 1; Dr. V. WREDE, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

Basées là-dessus, les connaissances géologiques de la structure intérieure du synclinorium de Essen sur le horst de Kamen sont expliquées et placées dans un cadre géologique plus grand. En outre, quelques régularités concernant la tectonique de plissement et des cheveauchements dans le carbonière de la Ruhr sont dérivées. En fin, en comparant les résultats de l'exploration avec des reconnaissances minières de la structure géologiques on pent constater qu'elles correspondent et se compètent raisounablement.

L'exploration n'apporte qu'une charge financière relativement petite au côut total de l'investissement nécessaire pour l'extraction du charbon. Ce côut suppleméntaire est largement compensé par le gain apporte lors de la planification de nouveaux puits, voies de taille et arrière-tailles.

1. Einleitung

Das Verbundbergwerk Haus Aden in Bergkamen begann im April 1978 mit der Streckenauffahrung zum Aufschluß des Nordfeldes. Veranlaßt durch die langfristig gesehen ungünstige Vorratssituation im Altfeld bereitet dieser Schritt die Verlagerung der Abbaue der Zeche aus der Bochumer Hauptmulde in die Essener Hauptmulde vor, wobei durch die dazu notwendigen Querschlagsauffahrungen der Wattenscheider Hauptsattel durchörtert wird.

Bruchtektonisch gesehen befinden sich die Abbaue der Zeche im Bereich des Kamener Horstes zwischen Unnaer Sprung im Südwesten und Königsborner Sprung im Nordosten (Abb. 1).

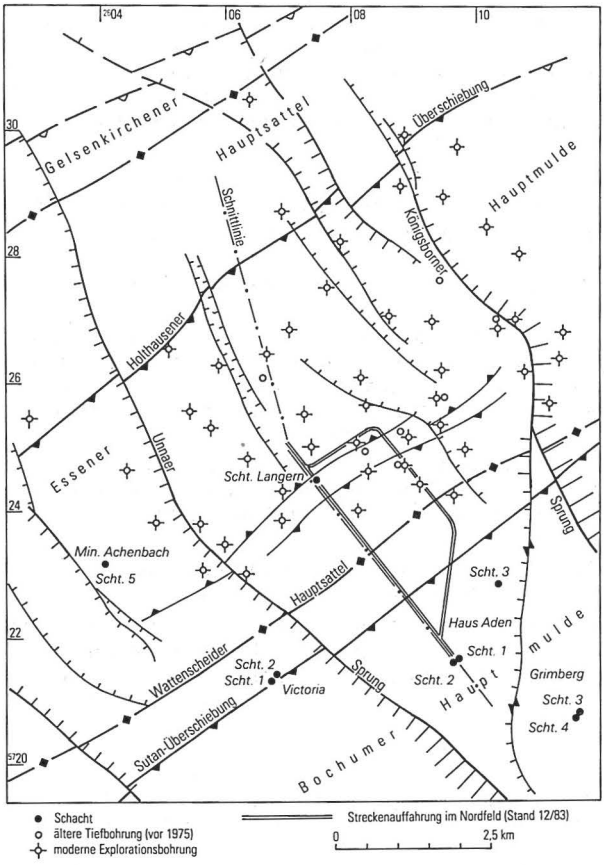


Abb. 1
Lageplan des Nordfeldes der Zeche Haus Aden mit den wichtigsten tektonischen Strukturen, den Ansatzpunkten der Tiefbohrungen und dem bisher aufgefahrenen Streckennetz

Fig. 1
Situation of the northern field of the Haus Aden mine, main tectonic elements, location of the exploration-wells, and the system of the so far completed mine-galleries

Seit 1976 ging dieser bergmännischen Erschließung eine moderne Exploration in Form von seismischen Untersuchungen und geophysikalisch vermessenen Tiefbohrungen voraus. Dadurch läßt sich in diesem Fall zwischen der Lagerstättenkenntnis vor und nach der modernen Exploration sowie nach der Streckenauffahrung unterscheiden, und es können die Ergebnisse der einzelnen Erkundungsschritte mit den tatsächlich angetroffenen Aufschlüssen verglichen werden.

Durch insgesamt über 40 Befahrungen der Neuaufschlüsse war es den Autoren möglich, spezielle Beobachtungen hinsichtlich der tektonischen Strukturen und der stratigraphisch-faziellen Verhältnisse zu machen und im ständigen Meinungsaustausch mit der Werksmarkscheiderei zur Interpretation der von ihr durchgeführten, routinemäßigen Aufnahme der Streckenaufschlüsse beizutragen.

Diese Ergebnisse wurden fortlaufend in die aus der Exploration gewonnene Grundvorstellung vom Gebirgsbau eingearbeitet und jene den neuen Aufschlüssen angeglichen. Aus der Kombination von Explorationsergebnissen und Querschlagsaufschlüssen ergaben sich so zahlreiche neue regionalgeologische Erkenntnisse. Einige der angetroffenen geologischen Gegebenheiten können sicherlich als beispielhaft auch für andere Teile des Ruhrkarbons angesehen werden.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf den Bereich der Hauptquerschläge Nordfeld der Zeche Haus Aden, die auf der 1 000-m-Sohle (– 940 m NN) und der 745-m-Sohle (– 680 m NN) aufgefahren wurden. Die mit einer Vollschnittmaschine aufgefahrene Diagonalstrecke und die Hauptrichtstrecke im Niveau der 1 000-m-Sohle (Abb. 1) wurden von den Autoren ebenfalls bearbeitet, können hier aber nicht detailliert dargestellt werden.

Wir sind der Direktion und der Markscheiderei des Verbundbergwerks Haus Aden zu großem Dank verpflichtet für die entgegenkommende Zusammenarbeit, für viele anregende Gespräche und für die Bereitstellung der Unterlagen. Unser Dank gilt ganz besonders auch der Hauptabteilung Markscheidewesen und Bergschäden der Bergbau AG Westfalen für die Überlassung der Explorationsergebnisse dieses Raumes und der daraus gewonnenen grund- und schnittrißlichen Projektionen.

2. Kenntnisse über das Nordfeld Haus Aden vor der Exploration

Die ältesten Aufschlüsse im Bereich des Nordfeldes Haus Aden existieren in Form von 20 Mutungsbohrungen aus der Zeit zwischen 1899 und 1905 (Brg. Bochum 2 bereits 1873). Es folgen dann die zwischen 880 m und 1 511 m tiefen Bohrungen Wilhelmine Catharina A–D und König Wilhelm A und B (1940–1949) (HAHNE 1949) und linienseismische Messungen (1951/52). Diese Untersuchungen ließen nur sehr vage Vorstellungen über den weiteren Verlauf und die Gestalt der von Südwesten her bekannten Faltenelemente nach Nordosten zu. Immerhin deutete sich eine Trogmulde mit 2,5 km Breite als Kern der Essener Hauptmulde an (Abb. 2 a; vgl. KUNZ 1983: 43; Tektonische Übersichtskarte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1 : 10 000: Bl. Lünen u. Bl. Werne–Varnhövel).

In der Südflanke des Gelsenkirchener Sattels wurde steile Lagerung und Spezialfaltung vermutet, ohne genauere Vorstellungen über die Faltenformen

und die Lage der Faltenachsen und über deren Anschluß nach Südwesten. Es wurde dort auch die nach Nordwesten einfallende Holthausener Überschiebung angenommen, die nach Südwesten aber nicht mit der Waltroper Überschiebung zu verbinden sein sollte (KUNZ 1976). Letztere sollte vielmehr noch westlich des Unnaer Sprunges auslaufen.

Im Südflügel der Essener Hauptmulde vermutete man ganz allgemein nach Nordwesten einfallende Überschiebungen, die mit dem Altlünener Wechsel der Zeche Minister Achenbach verbunden wurden. Die Langerner Überschiebung, der Cappenberger Sattel und die Cappenberger Überschiebung waren völlig unbekannt, ebenso die tief eingefaltete Spitzmulde und Spezialfaltung im Liegenden und Langerner Überschiebung.

Der Wattenscheider Sattel wurde analog den weiter im Süden gelegenen Aufschlüssen (Bergwerk Victoria 1/2) als Spitzsattel mit steilen Flanken ohne weitere Differenzierung projiziert. In seiner Südflanke existierte seit 1957 eine Strecke des Bergwerks Haus Aden auf der 745-m-Sohle, die durch die Identifizierung des Flözes Katharina einen sicheren Anhalt für die stratigraphische Einstufung der Schichten im Liegenden der Sutan-Überschiebung bot. Die dort angetroffene Spezialfaltungs- und Störungstektonik im Liegenden von Flöz Katharina mußte aber aufgrund der Neuauffahrung (Abb. 2 c) anders als ursprünglich angenommen interpretiert werden.

3. Neue Vorstellungen vom geologischen Bau nach der Exploration

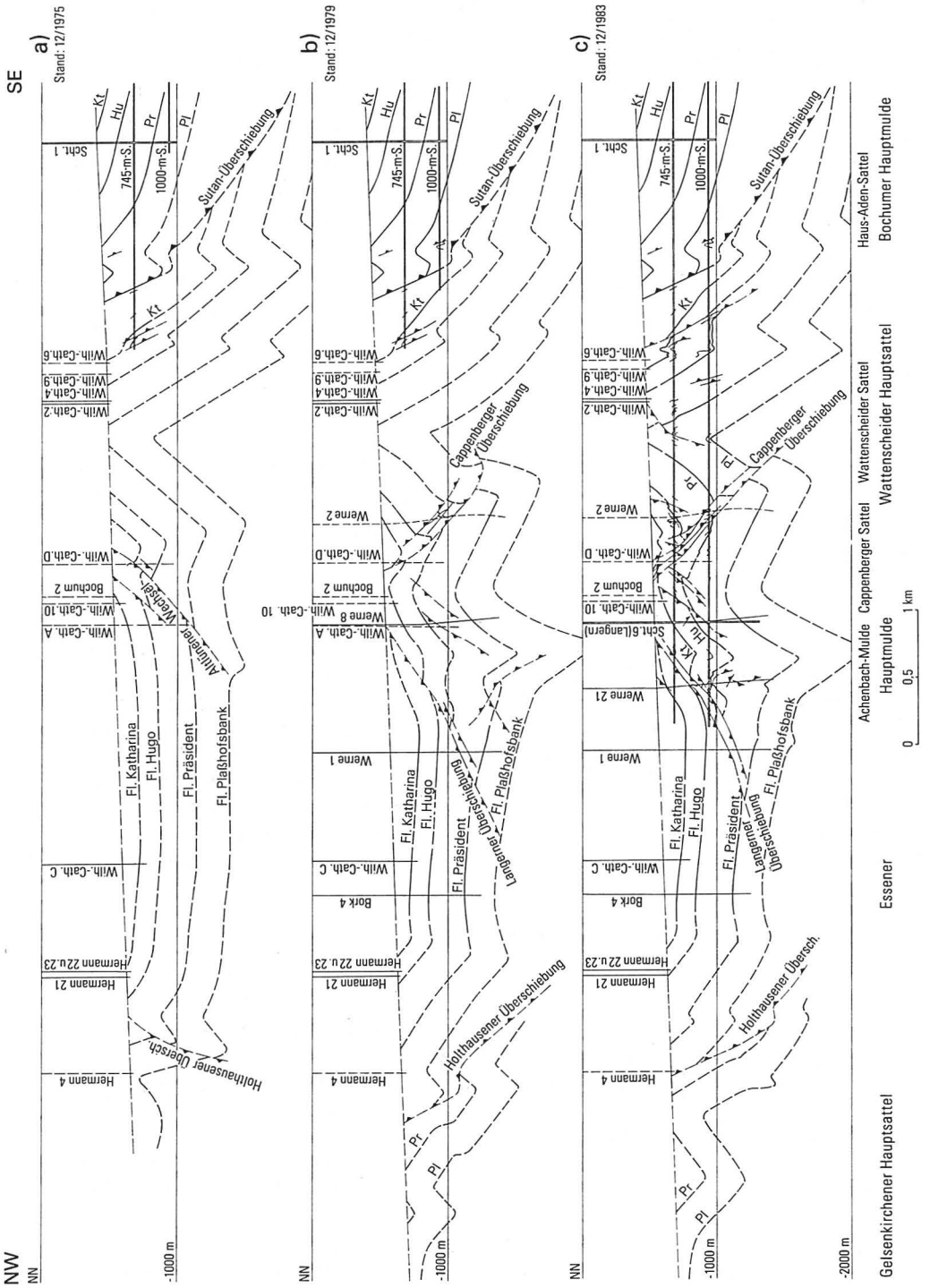
Im Jahre 1976 begann die Bergbau AG Westfalen mit der Erkundung des Reserveraumes Haus Aden-Nord, der ganz oder teilweise die Steinkohlenfelder Altlünen, Wilhelmine-Catharina, König Wilhelm, Aachen I - IV und Hermann I - IV nördlich von Lünen und westlich von Werne umfaßt. Es wurden (bis Ende 1983) etwa 65 km Linienseismik und etwa 20 km^2 Flächenseismik gemessen und 45 im Karbon durchgehend gekernte Bohrungen meist bis etwa 1 500 m Teufe niedergebracht. Hinzu kommen die routinemäßig stets in den Bohrlöchern vorgenommenen geophysikalischen Messungen (Dichte, Schallaufzeit, elektrisches Leitvermögen, natürliche Gammastrahlung der Gesteine, Schichteneinfallen und -streichrichtung). Dadurch wurde eine sehr große Menge von Daten über Strukturen, Mächtigkeiten und Eigenschaften der Flöze, über die fazielle Ausbildung der Nebengesteine, über die stratigraphische Abfolge, über die Lagerungsverhältnisse und die Störungstektonik gewonnen. Auf die umfangreiche Auswertung der Daten und die angewandte Methodik soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden (vgl. hierzu RACK & FIEBIG & SCHUSTER 1974; BORNEMANN & JUCH 1979; DROZDZEWSKI et al. 1980; DICKEL & HEIL 1983; KUNZ 1983; SCHMITZ 1983, 1984).

Die Abteilung Markscheidewesen der Bergbau AG Westfalen setzte unter Einbeziehung aller Explorationsergebnisse die geologischen Erkenntnisse in

---

Abb. 2 Querschnitt durch die Hauptabteilung Nordfeld der Zeche Haus Aden; Entwicklung des geologischen Kenntnisstandes in zeitlicher Reihenfolge (Lage des Schnittes s. Abb. 1)

Fig. 2 Section following the main cross-cuts in the northern field of the Haus Aden mine; development of geological knowledge during time of exploration and mine-drifting (for location see fig. 1)


SE
NW
a)
Stand: 12/1975
b)
Stand: 12/1979
c)
Stand: 12/1983
Kt
Hu
Pr
Pl
745-m-S.
1000-m-S.
Schr. 1
Sutan-Überschiebung
Wiln.-Catn.6
Wiln.-Catn.9
Wiln.-Catn.4
Wiln.-Catn.2
Cappenberger Überschiebung
Werne 2
Wiln.-Catn.D
Bochum 2
Wiln.-Catn.10
Werne 8
Wiln.-Catn.A
Schr.6(Langern)
Werne 21
Werne 1
Wiln.-Catn.C
Bork 4
Hermann 22 u.23
Hermann 21
Hermann 4
Fl. Katharina
Fl. Hugo
Fl. Präsident
Fl. Plaßhofsbank
Langenbrahm-Überschiebung
Holthausener Überschiebung
Wechsel
Allunental
-1000 m
-2000 m
NN
Gelsenkirchener Hauptsattel
Essener
Achenbach-Mulde
Cappenberger Sattel
Hauptmulde
Wattenscheider Sattel
Wattenscheider Hauptsattel
Haus-Aden-Sattel
Bochumer Hauptmulde
0
0,5
1 km

eine sehr umfangreiche und detaillierte Auswertung der Lagerstätte für die geplanten bergmännischen Maßnahmen um.

Danach zeichneten sich im Südflügel des Gelsenkirchener Sattels steile Lagerung und die nach Südosten (!) einfallende Holthausener Überschiebung mit 380 m bankrechtem Verwurf ab. Nördlich davon existiert ein weiterer, vorher unbekannter Spezialsattel (Abb. 2 b). In seiner Lage im Raum und in der stratigraphischen Abfolge gut umrissen war der trogförmige, ungestörte, ca. 2,5 km breite Kern der Essener Hauptmulde. Die Vorstellungen vom Südflügel der Essener Hauptmulde mußten durch die Explorationsergebnisse völlig geändert werden: Im Liegenden der neu gefundenen, nach Nordwesten einfallenden Langerner Überschiebung (bankrechter Verwurf maximal 180 m) zeigte sich intensive Spezialfaltung mit kleinen Überschiebungen und die dort sehr tief eingefaltete Achenbach-Mulde. Südlich dieser Mulde wurde der bedeutende Cappenberger Sattel neu entdeckt und auch die offenbar mit ihm verknüpfte, nach Südosten einfallende Cappenberger Überschiebung (bankrechter Verlauf maximal 200 m) in dessen Südflanke. Die großtektonische Einbindung dieser Falten und Überschiebungen im Streichen nach Südwesten und Nordosten wird in Kapitel 5. geschildert.

Unnaer und Königsborner Sprung waren aus der Bochumer Hauptmulde bekannt und wurden in ihrem Verlauf und Verwurfsmaß in der Essener Hauptmulde erkundet. Als weitere größere Querstörungen neu gefunden und im Streichen festgelegt wurden der Osticker, Varnhöveler und Ehringhausener Sprung.

Über den grundsätzlichen tektonischen Bau der Essener Hauptmulde auf dem Kamener Horst hinaus wurden durch die Exploration eine Vielzahl von Details bekannt, die für die Abbauplanung ebenfalls sehr wichtig sind: So zum Beispiel die Lage der Umbiegung aus der flachen Lagerung der Essener Mulde zur Südflanke des Gelsenkirchener Sattels und eine stärkere Einmuldung dieser Umbiegung zur Teufe hin, die kurze Schichtenversteilung im Hangenden der Langerner Überschiebung, die Aufsattelung mit kleinen Überschiebungen in deren Liegendem, die zunehmende Versteilung der Nordflanke des Cappenberger Sattels zur Teufe und dessen gleichmäßig und ruhig mit etwa 23° einfallende Südflanke, intensive Spezialfaltung mit Störungen im Hangenden der Cappenberger Überschiebung und die weite Ausbuchtung des Unnaer Sprunges nach Südwesten.

4. Beobachtungen bei der Streckenauffahrung

4.1. Stratigraphische Einstufung der Schichten

Die bei der Exploration und Streckenauffahrung des Nordfeldes der Zeche Haus Aden erschlossene Schichtenfolge umfaßt im wesentlichen die gesamten Bochumer Schichten (Westfal A) und reicht vor allem im Ostteil des Explorationsgebietes noch weit in die Essener Schichten hinein. Die ältesten durch die Nordfelderschließung berührten Flöze gehören den obersten Wittener Schichten im Bereich der Girondelle-Gruppe an, die im Hauptquerschlag der 1 000-m-Sohle noch im Altfeldbereich im Hangenden der Sutan-Überschiebung angetroffen wurden.

Im Bereich des Hauptquerschlages der 745-m-Sohle war die Sutan-Überschiebung bereits im Jahre 1975 durchörtert worden. Dort war im Hangenden

der Störung eine Spezialmulde in Flöz Sonnenschein aufgeschlossen worden, die auf stark gestörte Essener Schichten der Grimberg-Gruppe überschoben war. Der bankrechte Verwurf am Sutan ließ sich daher mit ca. 750 m abschätzen.

Nach der Durchörterung der Sutan-Überschiebung bei der Neuauffahrung auf der 1 000-m-Sohle war es zunächst vorrangige Aufgabe, die stratigraphische Einstufung der im Liegenden angetroffenen Gebirgsschichten zu klären. Zu diesem Zweck wurden sowohl den Flözen, die beim Streckenvortrieb im Liegenden der Sutan-Überschiebung angetroffen wurden, als auch zu Vergleichszwecken den Flözen Girondelle 3 und 4 im Hangenden des Sutans Kohlenproben entnommen und im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen und von der Qualitätsstelle der Bergbau AG Westfalen auf ihre Inkohlung untersucht. Hieraus ergab sich ein Inkohlungssprung am Sutan von ca. 8 % bei den Flüchtigen Bestandteilen, da die Flöze Girondelle 3 und 4 23,6 beziehungsweise 24,6 % Flüchtige Bestandteile (waf), entsprechend einem mittleren Reflexionsvermögen von $\bar{R}m = 1{,}40$ beziehungsweise 1,38 % aufwiesen, die Flöze im Liegenden dagegen ca. 29 – 32 % Flüchtige Bestandteile (waf), entsprechend $\bar{R}m$ um 1,0 %.

Aufgrund dieser Werte und eines Vergleichs der im Maßstab 1 : 200 aufgenommenen Schichtenfolge in der 745-m- und 1 000-m-Sohle ergab sich die Vermutung, daß das vorläufig als Flöz 6 bezeichnete Flöz mit dem Flöz Katharina der Ruhreinheitsbezeichnung identisch sein könnte. Bei dieser Einstufung spielte neben einem Vergleich der Flözstrukturen und Abstände der einzelnen Flöze besonders auch das Auftreten eines auffallenden, ca. 45 m mächtigen flözfreien Schichtenabschnittes über Flöz 6 eine Rolle. Eine daraufhin durchgeführte gezielte Probennahme im Hangenden dieses Flözes erbrachte dann auch schnell den Nachweis des typischen marinen Faunenhorizontes, der eine reiche, meist verkieste Makro- und Mikrofauna führte. Gefunden wurden:

Anthracoceras sp.
Anthracoceras vanderbecki (LUDWIG)
Lingula sp.
Dunbarella sp.
Conodontenbruchstücke
Ammodiscus sp.
Glomospira sp. } massenhaft

(Bestimmung: W. KNAUFF, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)

Die hierdurch gegebene eindeutige Identifizierung von Flöz 6 der 1 000-m-Sohle als Flöz Katharina wurde zusätzlich durch die chemische Analyse der Kohle bestätigt, die einen für dieses Flöz typischen hohen Schwefelgehalt von 4,97 % ergab.

War hiermit zunächst ein wichtiger Anhaltspunkt für die stratigraphische Einstufung der Schichtenfolge gefunden, so ergaben sich beim weiteren Streckenvortrieb erneut Probleme dadurch, daß sich im Bereich der 1 000-m-Sohle ebenso wie im Bereich der 745-m-Sohle stark gestörte Spezialfalten einstellten, die keine Aufnahmen längerer, zusammenhängender stratigraphischer Profile erlaubten. Ein im Hangenden von Flöz 6 der 745-m-Sohle festgestellter Foraminiferen und Ostracoden führender Faunenhorizont gewann

daher an Bedeutung, weil er sich mit einem ähnlichen Horizont, der zum Beispiel aus der Bohrung Werne 8 über Flöz Anna 1 bekannt war, vergleichen ließ. Die hiermit angenommene Einstufung bestätigte sich beim weiteren Streckenvortrieb.

Die bei der Auffahrung angetroffenen Schichten wurden durch die Mitarbeiter der Markscheiderei sehr detailliert im Maßstab 1 : 200 aufgenommen; gezielte Probennahmen und spezielle Untersuchungen durch Mitarbeiter der Westfälischen Berggewerkschaftskasse und des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen ergänzten diese Aufnahme. Auf dieser Grundlage war es möglich, die gesamte in den Querschlägen ins Nordfeld angetroffene Schichtenfolge gemäß der Ruhrgebietseinheitsbezeichnung einzustufen.

Besonders günstig wirkte sich dabei aus, daß durch die etwa gleichzeitig erfolgte Auffahrung auf zwei Sohlen ein Vergleich der Aufschlüsse in diesen beiden Sohlen untereinander ebenso möglich war, wie die Korrelation mit den in den modernen Tiefbohrungen im Nordfeld angetroffenen und bereits stratigraphisch eingestuften Gebirgsschichten.

Eine weitere eindeutige Stütze erfuhr die stratigraphsiche Einstufung der Schichtenfolge im Hauptquerschlag der 1 000-m-Sohle durch die Auffindung des marinen Wasserfall-Horizontes im Hangenden eines nur 3 cm mächtigen Flözes ca. 200 m südlich des Kernbereiches des Wattenscheider Sattels, der massenhaft Foraminiferen (*Ammodiscus* sp., *Glomospirella* sp., *Glomospira* sp., *Hyperammina* sp.) sowie zahlreiche Conodontenbruchstücke führte. Dieser Faunenhorizont konnte dann auch im Sattelnordflügel über Flöz 67 erneut aufgefunden werden.

Foraminiferen und Ostracoden führende Horizonte wurden bei der Streckenauffahrung außerdem über folgenden Flözen festgestellt: Gretchen-Gruppe, Anna 1, Mathilde 1, Albert 4, dem gescharten Flöz Luise/Karoline/Angelika, Dickebank und Dünnebank. Aus dem Faunenhorizont über Flöz Luise/Karoline/Angelika konnten ferner großwüchsige Exemplare von *Carbonicola pseudorobusta* TRUEMAN und *Carbonicola communis* DAVIS & TRUEMAN geborgen werden.

Die Ergebnisse der vor der bergmännischen Erschließung niedergebrachten - und zum Teil in unmittelbarer Streckennähe gelegenen - Explorationsbohrungen und des mittlerweile abgeteuften Schachtes Langern, die in erster Linie von Mitarbeitern der Westfälischen Berggewerkschaftskasse untersucht worden sind und von der Abteilung Markscheidewesen der BAG Westfalen in ein umfangreiches Lagerstättenmodell eingearbeitet wurden, hatten bereits ein relatives klares Bild vom stratigraphischen Aufbau des Gebirges geliefert.

Es liegt hier vorwiegend die bergwirtschaftlich besonders interessante Folge der Bochumer Schichten (Westfal A) vor, die zahlreiche Kohlenflöze enthält. Von diesen Flözen dürften etwa 10 - 15 Flöze bauwürdig sein, die zusammen einen gewinnbaren Vorrat von ca. 148 Mt Steinkohle enthalten (LAPPE 1984 a, 1984 b).

Der stratigraphische Aufbau und die Flözfolge entsprechen im großen und ganzen den Verhältnissen, wie sie aus den benachbarten Bergbaugebieten bekannt sind. Im Detail lassen sich allerdings auch deutliche Unterschiede erkennen: So ist beispielsweise das Flöz Wilhelm, das im östlichen Ruhrkarbon sonst teilweise sehr große Mächtigkeit erreicht, im Haus Aden-Nordfeld

örtlich aufgespalten und dadurch in seiner Bauwürdigkeit eingeschränkt. Andererseits bildet sich durch die Scharung der Flöze Robert, Albert 1 und Albert 2 Oberbank, die im Altfeld der Zeche Haus Aden getrennt liegen, im Nordfeld ein 3,5 m mächtiges, bauwürdiges Flöz heraus.

Die Inkohlung der Schichten nimmt erwartungsgemäß vom Hangenden zum Liegenden hin zu. So liegen an der Grenze Essener/Bochumer Schichten Gasflammkohlen mit ca. 36,5 – 37 % Flüchtigen Bestandteilen (waf) – entsprechend $\bar{R}m = 0{,}96\,\%$ – vor, während im tieferen Teil der erschlossenen Schichtenfolge bei Flöz Sonnenschein die Inkohlungsparameter 24,8 % Flüchtige Bestandteile (waf) – entsprechend $\bar{R}m = 1{,}4\,\%$ – lauten.

Die bankrechte Mächtigkeit des aufgeschlossenen Schichtenpaketes beträgt rund 880 Meter.

4.2. Kleintektonische Formen

Die aufgeschlossenen tektonischen Formen im Dezimeter- bis Meterbereich sind Musterbeispiele für die Falten- und Überschiebungstektonik des Ruhrkarbons.

Im Hangenden der Sutan-Überschiebung ist das Gebirge tektonisch relativ wenig beansprucht. Es gibt als einzige Falte den Haus-Aden-Sattel, der auf der 1 000-m-Sohle stratigraphisch in der Girondelle-Gruppe durchfahren wurde. Im Kern dieses Sattels stehen die Schichten seiger bis überkippt und sind spezialgefaltet (Abb. 3).

Die Sutan-Überschiebung selbst liegt in einem mit 65° nach Südosten einfallenden, etwa 2 m mächtigen Schiefertonpaket (Ton- und Schluffstein),

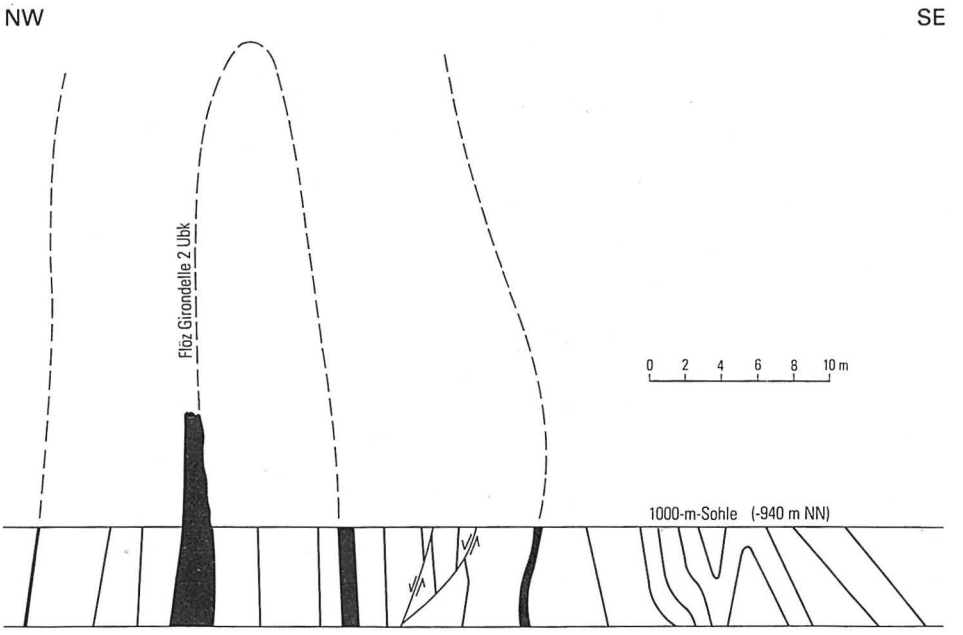


Abb. 3 Kern des Haus-Aden-Sattels; Bergwerk Haus Aden, Hauptabteilung, 1 000-m-Sohle
Fig. 3 The center of the Haus Aden anticline (main cross-cut, 1 000 m level)

NW

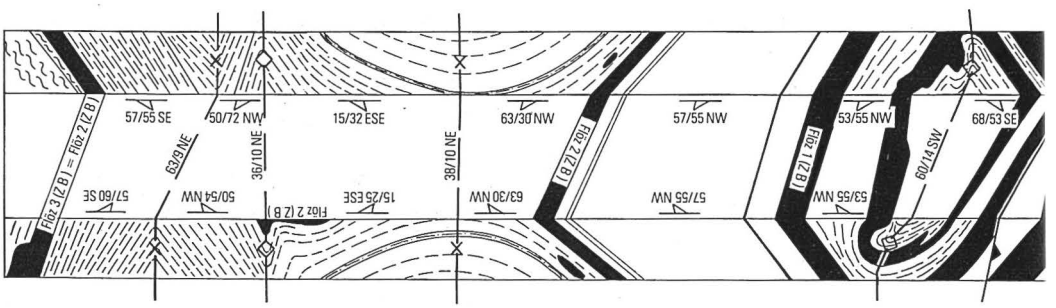


Abb. 4 Spezialfaltung im Südflügel des Wattenscheider Sattels; Bergwerk Haus Aden, Hauptabteilung, 745-m-Sohle

Fig. 4 Special folds and overthrusts in the southern flank of the Wattenscheid anticline (main cross-cut, 745 m level)

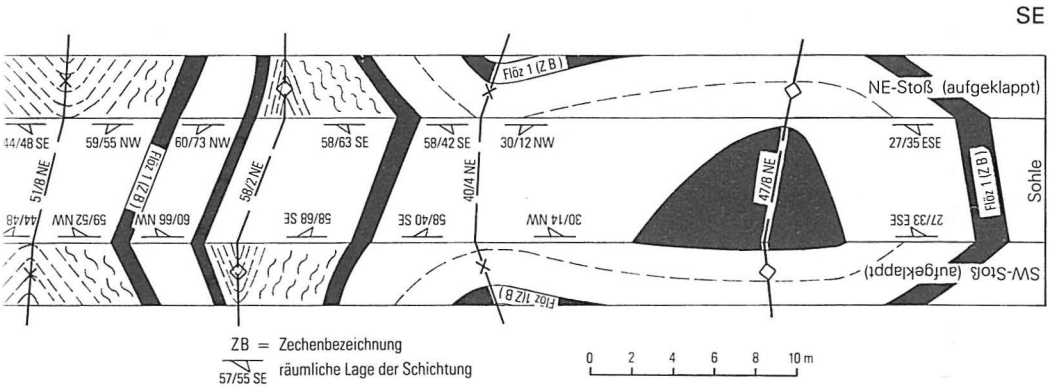
das natürlich in sich völlig zerschert ist. Im Hangenden der Sutan-Überschiebung liegt eine mit 68° entgegengesetzt zu ihr einfallende Überschiebung, so daß zwischen beiden Störungen eine keilförmige Scholle vorhanden ist. Beim Unterfahren dieser Scholle entstand in der Streckenfirste ein sich nach oben verbreiternder Ausbruch von ca. 300 m^3 Rauminhalt. Dieser Ausbruch wurde noch dadurch begünstigt, daß an der gegen die Sutan-Überschiebung einfallenden Störung Schieferton an Sandstein grenzt.

Das Liegende der Sutan-Überschiebung und der Südflügel des Wattenscheider Sattels sind tektonisch stark beansprucht. Neben zahlreichen kleinen Überschiebungen und Blattverschiebungen tritt dort eine größere Überschiebung (bankrechter Verwurf 30 m) auf, die im Liegenden eine 150 – 250 m mächtige Partie mit intensiver Spezialfaltung aufweist. Abbildung 4 zeigt diese Spezialfaltung auf der 745-m-Sohle (– 680 m NN) aus der Darstellung der Markscheiderei umgezeichnet. Auch die konstruktive Verbindung der Streckenaufschlüsse in der 745-m-Sohne und 1 000-m-Sohle in diesem Abschnitt bot einige geometrische Schwierigkeiten, und das Faltenbild wird in Wahrheit wesentlich komplizierter sein, als in Abbildung 5 wiedergegeben (z. B. intensivere Faltung, mehr kleine Überschiebungen).

Der Kern des Wattenscheider Sattels ist auf der 745-m-Sohle stark durch Spezialfaltung, Blattverschiebungen und Überschiebungen gestört. Dagegen handelt es sich auf der 1 000-m-Sohle um einen einfachen Rund- bis Spitzsattel.

Auch die Zone der Cappenberger Überschiebung ist auf beiden Sohlen völlig unterschiedlich entwickelt: Auf der tieferen Sohle stehen die Schichten zwischen zwei Störungsbahnen auf 120 m Streckenlänge seiger bis überkippt und sind zum Teil intensiv durchbewegt. Dagegen sind auf der höheren Sohle auf 450 m Streckenlänge mehrere Spezialfalten und nach Südosten und Nordwesten einfallende Überschiebungen vorhanden, so daß die Verbindung mit den beiden gut definierten Störungsbahnen auf der 1 000-m-Sohle nicht eindeutig möglich ist (Abb. 6).

Die rasche Veränderlichkeit solcher Störungszonen auch im Streichen zeigt der Vergleich mit der 150 m nordöstlich gelegenen Bohrung Werne 2 (1977).



Dort ist die Störungszone der Cappenberger Überschiebung - senkrecht zu den begrenzenden Störungsästen gemessen - 110 m mächtig, in dem Streckenaufschluß auf der 1 000-m-Sohle nur 60 m. Auch die in jener Bohrung durchsunkene Untervorschiebung (JUCH 1977) wurde in den Strecken nicht angetroffen. Im Liegenden der Cappenberger Überschiebung im Südflügel des Cappenberger Sattels wurde auf der 1 000-m-Sohle überraschend eine Falte mit etwa 25 m Wellenlänge und 15 m Amplitude aufgefahren, die weder aus der Seismik noch aus den Bohrungen bekannt war. Vermutlich klingt sie zur Teufe bald aus, während zum Hangenden ein Zusammenhang mit den auf der 745-m-Sohle erschlossenen Falten herstellbar ist (Abb. 6).

Der Kern des Cappenberger Sattels ist auf der 1 000-m-Sohle eine ruhige, ungestörte Biegefalte, dagegen auf der höheren Sohle intensiv verschuppt

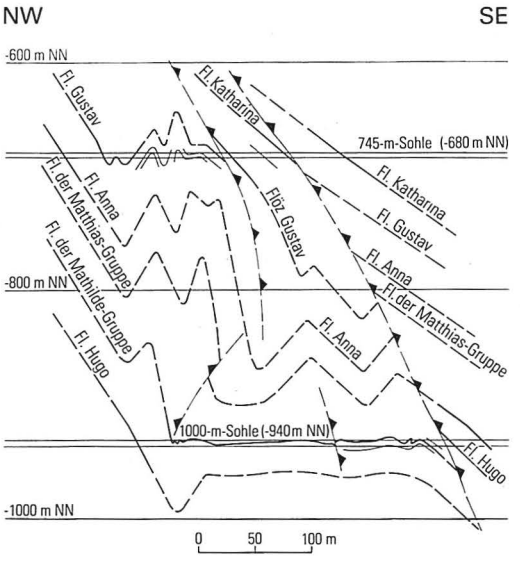


Abb. 5
Spezialfaltung mit Überschiebungen im Südflügel des Wattenscheider Sattels; Bergwerk Haus Aden, Hauptabteilung

Fig. 5
Special folds and overthrusts in the southern flank of the Wattenscheid anticline (main cross-cuts)

(Abb. 6). Nördlich des Cappenberger Sattels folgt die Achenbach-Mulde, die die deutliche Tendenz zeigt, zur Tiefe stärker einzufalten beziehungsweise zum Hangenden auszuklingen. Ihr Kern ist auf der 1 000-m-Sohle eine einfache, schwach südostvergente Spitzmulde. Das Gestein ist tektonisch durchbewegt, jedoch scheinen - von der stratigraphischen Abfolge her - keine Anzeichen für den dort vermuteten Osticker Sprung vorzuliegen.

Schließlich ist bezüglich kleintektonischer Formen die Langerner Überschiebung von Interesse. Es lassen sich auf beiden Sohlen und auch in der 160 m nordöstlich liegenden Bohrung Werne 21 zwei Störungsäste unterscheiden, wovon der Hangende der bedeutendere ist. Im Liegenden der Langerner Überschiebung ist auf der 1 000-m-Sohle Spezialfaltung (fünf Sättel und vier Mulden) mit kleinen Überschiebungen aufgeschlossen, aber auf der 745-m-Sohle hauptsächlich steile (bis überkippte ?) Lagerung mit eingeschalteten Lettenzonen (Abb. 7).

Allgemein läßt sich aus den Aufschlüssen im Nordfeld Haus Aden über die Entwicklung der längstektonischen Elemente im Streichen und zur Teufe folgendes ableiten:

- Spezialfaltung im Meter- und Dezimeterbereich kann sich im Streichen und zur Teufe sehr schnell verändern oder ausklingen.
- Größere, einfach gebaute Falten gehen im hier untersuchten Bereich zum Hangenden in Spezialfaltung und Überschiebungen über. Daraus ist zu

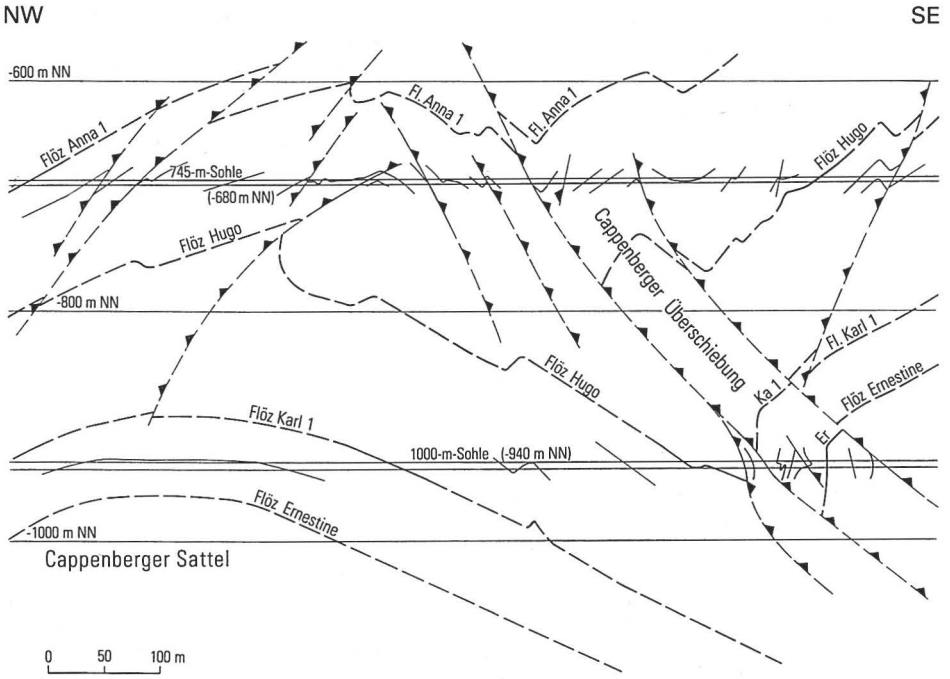


Abb. 6 Entwicklung von Cappenberger Sattel und Cappenberger Überschiebung in vertikaler Richtung; Bergwerk Haus Aden, Hauptabteilung

Fig. 6 Development of the Cappenberg anticline and Cappenberg overthrust in vertical direction (main cross-cuts)

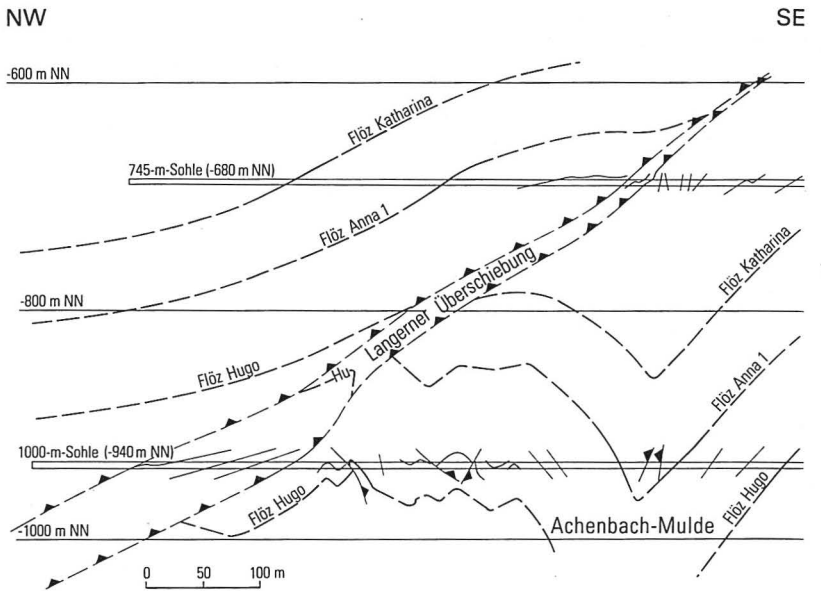


Abb. 7 Langerner Überschiebung mit der sich nach unten stark verbreitenden Störungszone; Bergwerk Haus Aden, Hauptabteilung

Fig. 7 The Langern overthrust with its downwards enlarged fault-zone (main cross-cuts)

schließen, daß sich die bisher geschaffenen Querschlagsaufschlüsse am Südrand der Essener Hauptmulde im Grenzbereich zwischen unterem und mittlerem tektonischen Stockwerk im Sinne der Gliederung von DROZDZEWSKI et al. (1980) befinden. Erst nördlich des Langerner Wechsels tritt das ruhig gelagerte obere Stockwerk auf.

- Bei Überschiebungen kann sowohl die Hangend- als auch die Liegendscholle tektonisch besonders stark beansprucht sein oder umgekehrt im Liegenden oder im Hangenden derselben eine tektonisch ruhige Scholle vorhanden sein. Für ersteres ist die Cappenberger Überschiebung, für letzteres sind Langerner und Sutan-Überschiebung Beispiele.
- Für die Breite des gestörten Bereichs im Hangenden und Liegenden von Überschiebungen kann kein allgemein gültiges Maß angegeben werden. Die Breite dieses Bereichs ist zudem an ein- und derselben Überschiebung mit der Teufe variabel.

5. Großtektonische Einbindungen der Strukturen des Nordfeldes

Wie schon erwähnt wurde, entspricht die Verlagerung der Abbaue des Bergwerks Haus Aden von der großtektonischen Situation her dem Schritt vom Altfeld in der Bochumer Hauptmulde in das Nordfeld, das in der Essener Hauptmulde liegt.

Das Ruhrkarbon gliedert sich bekanntlich vom Standpunkt der Faltentektonik her gesehen in etwa Nordost - Südwest streichende Hauptsättel (Antiklinorien) und Hauptmulden (Synklinorien). Diese Großfaltenstrukturen werden

von einer Querwellung überlagert, die von erheblichem Einfluß auf die Ausbildung dieser Großfalten im Detail ist: So sind in Bereichen mit Achsenhochlage die Hauptmulden meist als spezialgefaltete Engfaltenmulden ausgebildet, im Bereich von Achsendepressionen dagegen als breite Trogmulden mit vorwiegend flacher Lagerung. Bei den Hauptsätteln ist häufig eine genau entgegengesetzte Tendenz zu beobachten: Im Bereich von Achsendepressionen sind die Hauptsättel schmal und bestehen meist aus wenigen, enggefalteten Spezialsätteln. In Kulminationsbereichen liegen oft breite, kofferförmige Antiklinorien vor (DROZDZEWSKI et al. 1980). Die Abbaufelder der Zeche Haus Aden befinden sich im Übergangsbereich zwischen der Dortmunder Achsenaufwölbung im Westen und der Hammer Achsendepression im Osten. Bruchtektonisch gesehen wird das Nordfeld der Zeche Haus Aden im Westen vom Unnaer Sprung und im Osten vom Königsborner Sprung begrenzt, die den Kamener Horst bilden (vgl. Abb. 1, S. 12).

Essener und Bochumer Hauptmulde werden vom Wattenscheider Hauptsattel getrennt, der bei der Streckenauffahrung ins Nordfeld querschlägig durchörtert wurde, so daß dort die bislang am weitesten östlich gelegenen Aufschlüsse entstanden, die einen Einblick in den Internbau dieses Antiklinoriums erlauben.

In den Aufschlüssen der nach Westen zu nächstgelegenen Zechen Minister Achenbach und Gneisenau (Victoria 1/2) stellte sich die Situation wie folgt dar (Abb. 8: Schnitte 1 und 2):

Die Nordflanke der Bochumer Hauptmulde wird an der Sutan-Überschiebung mit ca. 800 m bankrechtem Verwurf auf die Südflanke des Wattenscheider Sattels überschoben. Im Hangenden der Sutan-Überschiebung bildet sich noch westlich des Unnaer Sprunges eine Spezialfalte (Abb. 8, Schnitt 2), die Haus-Aden-Sattel genannt wird. Vor allem aber das Liegende der Sutan-Überschiebung ist intensiv spezialgefaltet und in den höheren Niveaus auch verschuppt.

Besteht der Wattenscheider Sattel weiter im Westen noch aus zwei etwa gleichbedeutenden Kuppen, so bildet sich im Bereich der Zeche Minister Achenbach die nördliche Kuppe als markanter Spitzsattel zum alleinigen Hauptsattelhöchsten heraus (KUNZ 1983: 70). Dessen lange und weitgehend ungestörte Nordflanke leitet zu den Spezialfaltenstrukturen Achenbach-Mulde und -Sattel über, die den Beginn eines tieferen, spezialgefalteten Stockwerks unter der sich hier in den höheren Schichten als weitgespannte Schüssel herausbildenden Essener Hauptmulde andeuten. Deren nördliche Begrenzung gegen den Gelsenkirchener Hauptsattel bilden einige Spezialfalten, die von West nach Ost an Bedeutung verlieren und als Habinghorster Sattel und Mulde und Brockenscheidter Sattel und Mulde bezeichnet werden. Diese Falten werden von der nordfallenden Waltroper Überschiebung, deren Verwurfshöhe nach Osten ebenfalls abnimmt, über das Tiefste der Essener Hauptmulde überschoben (KUNZ 1980: Taf. 3).

Die Ergebnisse der Exploration und Streckenauffahrungen im Nordfeld der Zeche Haus Aden erbrachten nun ein Bild vom strukturellen Bau der Essener Hauptmulde, das sich in einigen Punkten wesentlich von dem hier skizzierten des westlichen Nachbargebietes unterscheidet (Abb. 8: Schnitt 3):

Südlich der Sutan-Überschiebung wird der Haus-Aden-Sattel bedeutender. Die übrigen Spezialfalten auf der Südflanke des Wattenscheider Hauptsattels

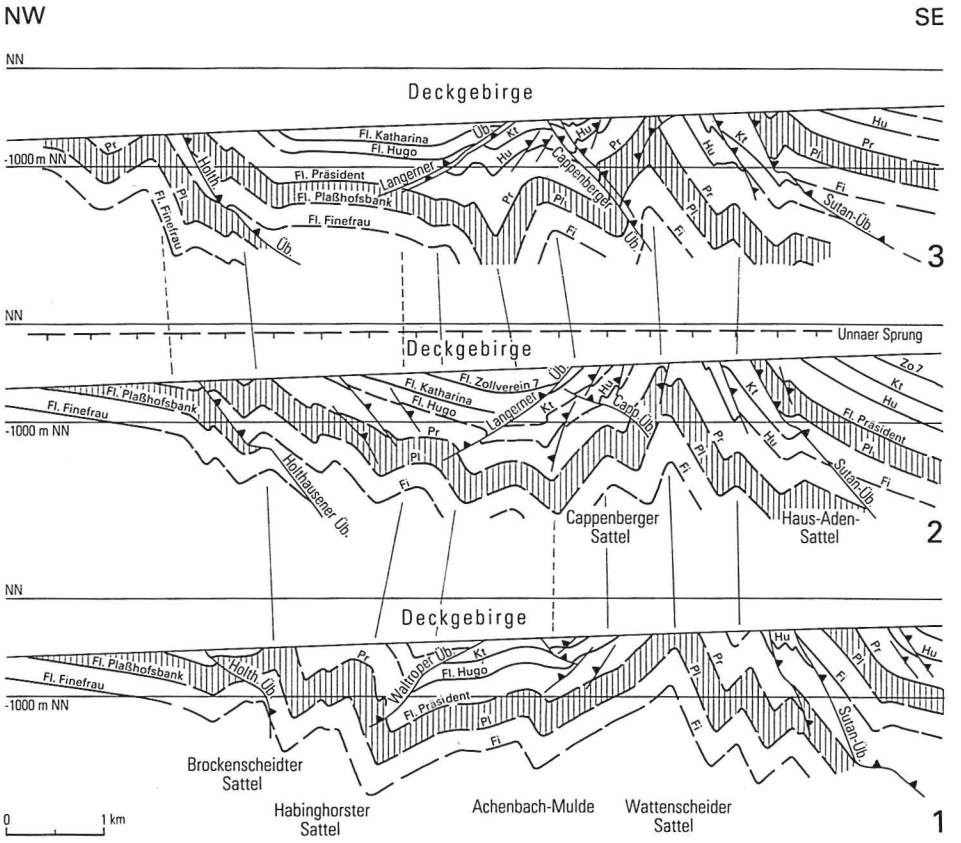


Abb. 8 Querschnittserie durch die Essener Hauptmulde im Bereich der Zechen Minister Achenbach und Haus Aden (Schnitt 1 im Westen, Schnitt 3 im Osten; Schnitt 3 entspricht der Hauptabteilung der Zeche Haus Aden, vgl. Abb. 2)

Fig. 8 Series of cross-sections through the Essen syncline in the area of the mines „Minister Achenbach" and „Haus Aden" (section 1 is located in the West, section 3 in the East; section 3 is identical to the main cross-cuts of the Haus Aden mine, compare fig. 2)

behalten im Vergleich mit den weiter westlich bekannten Aufschlüssen ihre Bedeutung etwa bei, verändern aber stark ihren inneren Bau.

Während der Wattenscheider Sattel als Kern des Wattenscheider Hauptsattels seine Spitzfaltenform in etwa beibehält, ändern sich die Verhältnisse auf seiner Nordflanke in Relation zu denen, die weiter westlich bekannt sind, völlig. Aus der langen, ruhig einfallenden Nordflanke des Sattels entwickelt sich ein bedeutender Spezialsattel heraus, der als Cappenberger Sattel bezeichnet wird. Die ihm südlich vorgelagerte Spezialmulde (Cappenberger Mulde) wird vom Störungssystem der südfallenden Cappenberger Überschiebung mit max. 200 m bankrechtem Verwurf zerschert. Jedoch deutet die erhebliche Versteilung der Nordflanke des Wattenscheider Sattels in den Aufschlüssen der Zeche Victoria 1/2 (2. nördl. Abt.; Abb. 8: Schnitt 2) darauf

hin, daß Cappenberger Sattel und Cappenberger Überschiebung bereits westlich des Unnaer Sprunges in der Tiefe vorhanden sein können.

Die Deutung der Cappenberger Überschiebungszone, in der auch nordwestfallende Störungselemente auftreten, bereitete bei der Interpretation der Bohrung Werne 2 noch Schwierigkeiten (KUNZ 1980: 100). Durch weitere Bohrungen und die Streckenaufschlüsse ist das Störungsbild nun eindeutig geklärt worden. Nördlich des insgesamt recht ruhig gebauten Cappenberger Sattels tieft sich mit steilen Flanken (ca. 70° Schichteneinfallen) die Achenbach-Mulde stark ein.

Die nordfallende Langerner Überschiebung besitzt maximal etwa 180 m bankrechten Verwurf und bildet sich vermutlich in der Tiefe im aufschlußfreien Bereich zwischen dem Bergwerk Minister Achenbach und dem Nordfeld Haus Aden neu, während die gleichsinnig einfallende Waltroper Überschiebung in diesem Bereich ausläuft. Möglicherweise ist die Langerner Überschiebung aber auch die Fortsetzung der Waltroper Überschiebung, wofür eine Schichtenverdoppelung von 80 m in der alten Bohrung Bochum A im Gebiet von Minister Achenbach ein Indiz wäre. In diesem Fall wäre die Waltroper oder Langerner Überschiebung in der Tiefe unter Schacht 5 dieses Bergwerks zu erwarten.

Der Trogmuldenbereich der Essener Hauptmulde mit flacher Lagerung der Flöze setzt im Bereich des Nordfeldes der Zeche Haus Aden im Hangenden der Langerner Überschiebung ein, das heißt wesentlich weiter nördlich, als es nach den Aufschlüssen weiter westlich zu erwarten war. Dieser flache Trogmuldenbereich reicht hier aber auch weiter nach Norden, so daß insgesamt eine allmähliche Verlagerung der Essener Hauptmulde nach Norden zu konstatieren ist.

Ermöglicht wird die Ausdehnung der flachen Lagerung nach Nordwesten durch das Ausklingen von Habinghorster und Brockenscheidter Sattel nach Nordosten. Zugleich nimmt damit der Verwurfsbetrag der Holthausener Überschiebung in dieser Richtung bis auf bankrecht 380 m zu. Es scheint hier die gebirgsbildende Energie im einen Fall zur Bildung von Falten geführt zu haben und im anderen hauptsächlich auf einer Überschiebungsbahn aufgezehrt worden zu sein.

Nördlich der Holthausener Überschiebung bildet sich allmählich ein neuer Sattel aus der flachen Lagerung auf dem kofferförmigen Gelsenkirchener Sattel heraus, die im Südwesten zu beobachten ist. Dies läßt sich gut in den seismischen Messungen verfolgen.

Die weitere Entwicklung der beschriebenen Falten über den Kamener Horst hinaus nach Nordosten in die Felder Röchling und Donar ist weit weniger gut bekannt. Es deuten sich grundsätzliche Änderungen an, die im Herausheben des Walstedder Sattels (von KUNZ 1980, 1983 noch Holthausener Sattel genannt) aus dem Zentrum der flachen Lagerung in der Essener Hauptmulde ihren stärksten Ausdruck finden (vgl. z. B. Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000, 1982). Die Spezialfaltung im Südflügel des Gelsenkirchener Hauptsattels verspringt gleichzeitig noch weiter nach Nordwesten, wodurch Platz geschaffen wird für die weitere Verlagerung der Trogmulde im Kern der Essener Hauptmulde nach Nordwesten. Die weitere Entwicklung der Teilfalten des Wattenscheider Hauptsattels - speziell des Cappenberger Sattels -

nach Nordosten bis in den Bereich des Bergwerks Radbod ist im Grunde unbekannt. Eine Deutungsmöglichkeit ist in KUNZ (1980) wiedergegeben.

Bezüglich der Sprungtektonik konnten durch die Exploration der Verlauf und die Verwurfsbeträge sowohl von Unnaer und Königsborner Sprung geklärt werden, die das Nordfeld von Haus Aden seitlich begrenzen, als auch von einigen anderen Querstörungen, deren Existenz erst durch die Explorationsarbeiten bekannt wurde. Der Unnaer Sprung klingt nach Nordwesten in den Abbauen der alten Zeche Hermann aus. Die Fortsetzung des Königsborner Sprunges nach Nordwesten ist noch nicht ganz geklärt. Es scheinen in der Südflanke des Gelsenkirchener Sattels von dieser Störung Abschiebungen und Blattverschiebungen mit Verwurfsbeträgen im Zehner-Meter-Bereich abzuspalten. Möglicherweise zersplittert er sich dort völlig. Andererseits scheint die Bohrung Südkirchen 1 auf dem Höchsten des Gelsenkirchener Sattels in einer Grabenscholle zu liegen, und es bietet sich an, den Königsborner Sprung in der Projektion entsprechend zu verlängern, worauf auch die Flächenseismik Ehringhausen Hinweise gibt.

6. Die Explorationsergebnisse im Vergleich mit den bergmännischen Aufschlüssen

Das Nordfeld der Zeche Haus Aden ist eines der ersten Beispiele, bei denen die Ergebnisse einer der in den 70er Jahren im Ruhrkarbon durchgeführten großräumigen Explorationskampagnen mit den Ergebnissen bergmännischer Aufschlüsse verglichen werden können. Es zeigt sich, daß das bei der Exploration des Nordfeldes angewandte Verfahren der Kombination von Kernbohrungen und reflexionsseismischen Untersuchungen von hoher Aussagekraft ist und bei entsprechender, die geologischen Rahmenbedingungen berücksichtigender Interpretation ein sehr genaues Bild des Gebirgsbaus zu zeichnen vermag.

Die reflexionsseismischen Untersuchungen geben dabei einen generellen Eindruck von den Hauptstrukturen des Gebirgsbaus. Neben der Tiefenlage der Karbon-Oberfläche lassen sich in den seismischen Profilen (ebenso in der 3D-Seismik) leicht die Bereiche mit ruhiger, flacher bis mäßig steiler Lagerung (max. ca. 45° Einfallen) sowie die größeren Gebirgsstörungen erkennen. Dabei ist es wichtig, daß die seismischen Profillinien entsprechend dem Generalstreichen des Gebirges, das heißt möglichst parallel (Längsschnitte) oder senkrecht dazu (Querschnitte) ausgerichtet werden (BORNEMANN & JUCH 1979). Stärker gestörte Bereiche, Spezialfaltung und steiler als 45° einfallende Faltenflanken lassen sich dagegen allein anhand der Seismik nicht sicher interpretieren.

So sind in dem als Beispiel dargestellten Schnitt (Abb. 9) die Bereiche flacher Lagerung nördlich der Langerner Überschiebung, der ungefähre Verlauf dieser Überschiebung sowie generell die stärker gefalteten und gestörten Bereiche am Wattenscheider und Gelsenkirchener Hauptsattel zu erkennen. Einzelheiten dieser Bereiche mit unruhiger Lagerung und selbst größere Störungselemente, wie die Cappenberger Überschiebung, lassen sich aber nicht identifizieren. Ebenso sind keine Aussagen über die Verwurfsbeträge an den Störungen möglich. Die Bereiche mit sehr steiler Schichtenlagerung im Kern des Wattenscheider Hauptsattels und an der Nordflanke der Essener Haupt-

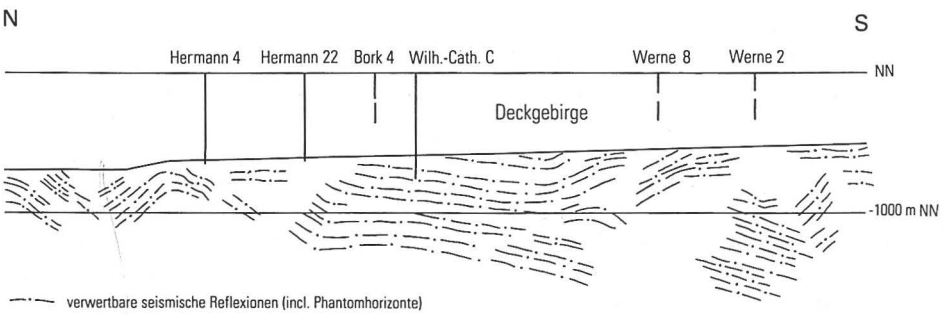


Abb. 9 Seismischer Querschnitt aus dem Bereich des Nordfeldes Haus Aden (Lage des Schnittes entspricht der des Querschnittes in Abb. 2); zur besseren Orientierung wurden die Ansatzpunkte einiger Bohrungen mit eingezeichnet, die erst nach Abschluß der seismischen Messungen niedergebracht wurden

Fig. 9 Seismic cross-section from the northern field of the Haus Aden mine (this section is identical to the cross-section in fig. 2); the locations of some borehole which were drilled after completion of the seismic survey are added for better orientation

mulde werden von der Seismik gar nicht aufgelöst und stattdessen durch horizontale Phantomhorizonte wiedergegeben.

Durch den Einsatz der 3D(Flächen)-Seismik lassen sich die Aussagemöglichkeiten der reflexionsseismischen Untersuchungen wesentlich erweitern (DICKEL & HEIL 1983). Der sehr dichte Profilabstand (12,5 m) und die Möglichkeit, Horizontalschnitte des Untersuchungsgebietes zu erzeugen, erlauben eine weitgehend gesicherte Identifikation von Störungszusammenhängen – vor allem der Sprünge – und geben ein räumliches Bild der Faltenentwicklung.

Bislang ist es aber nicht möglich, bestimmten seismischen Reflexionshorizonten eindeutig stratigraphische Einheiten zuzuordnen, zumal sich gezeigt hat, daß auch in Gebieten mit relativ flachem Schichteneinfallen durchaus bemerkenswerte Abweichungen zwischen den tatsächlichen und dem aus der Seismik ablesbaren Einfallswerten auftreten können (z. B. im Bereich der Bohrung Bork 4; s. auch KUNZ 1983: 47). Diese Unsicherheiten in der Aussage seismischer Messungen können durch den Einsatz von Kernbohrungen weitgehend beseitigt werden.

Neben den unverzichtbaren Daten über den stratigraphischen Aufbau des Gebirges, die Flözführung und Kohlenqualität, die die Kernbohrungen in Kombination mit geophysikalischen Bohrlochmessungen zu liefern vermögen, erlaubt die Auswertung der tektonischen Strukturen am Bohrkern in Verbindung mit den geophysikalischen Dipmetermessungen im Bohrloch eine Aussage über die tektonischen Strukturen des Gebirges gerade in den Bereichen, die von der Seismik nicht aufgelöst werden können. Es hat sich gezeigt, daß diese tektonische Bohrungsbearbeitung vor allem durch die Kombination der Ergebnisse mehrerer Bohrungen eine hohe Aussagesicherheit erreicht. Hierbei ließen sich eventuell in Einzelfällen, wo aus einer Bohrung allein keine Klarheit über den Verlauf eines bestimmten tektonischen Elementes (z. B. einer Störung) gewonnen werden kann, mit Hilfe eines zweiten, abgelenkten Bohrastes verbleibende Unsicherheiten mit relativ geringem Aufwand beseitigen.

Die Methodik der tektonischen Bohrungsbearbeitung wird von BORNEMANN & JUCH (1979), DROZDZEWSKI (1980) und KUNZ (1983) eingehend beschrieben. Es ist bei der Auslegung des Bohrrasters wünschenswert, die Bohransatzpunkte möglichst auf die seismischen Profillinien zu legen, so daß einerseits eine Einbindung der in den Bohrungen angetroffenen tektonischen Strukturen in die regionalen Zusammenhänge erleichtert wird, andererseits auch eine durch die Bohrungen gesicherte Interpretation der seismischen Ergebnisse erfolgen kann.

Das Profil der Bohrung Werne 2, die etwa 150 m außerhalb der Hauptquerschläge ins Nordfeld niedergebracht worden war, zeigte beispielsweise bereits deutliche Abweichungen in der Ausbildung der einzelnen tektonischen Strukturen von der in den Querschlägen angetroffenen Struktur. Ebenso differiert, zum Teil auch durch das Herausheben der Faltenachsen bedingt, die Höhenlage der einzelnen Flöze. Eine Projektion von Bohrungen oder Aufschlüssen in bestimmte Schnittlinien hinein führt zwangsläufig zu Unsicherheiten, die sich bei optimaler Kombination von Bohrraster und Seismik-lay-out vermindern lassen. Andererseits kann es beispielsweise zur Festlegung des Verlaufs von Störungen zweckmäßig sein, Bohrungen auch außerhalb der seismischen Profile anzusetzen.

Die Darstellung der seismischen Profile und der Bohrergebnisse in tektonischen Schnitten und deren Anordnung zu querschlägig zum Gebirgsbau angeordneten Schnittserien hat sich als zweckmäßig erwiesen, da in einer solchen Darstellung die streichenden Veränderungen des Gebirgsbaus sehr anschaulich werden und ein quasi räumliches Bild des Gebirges erzielt wird. Darüber hinaus sind natürlich Horizontalschnitte und Flözgrundrisse wichtige Darstellungsmittel.

Die guten Ergebnisse, die sich beim sinnvollen Einsatz moderner Explorationsmethoden erzielen lassen, sollten nicht dazu verleiten, auf eine sehr detaillierte Gebirgsschichtenaufnahme während der anschließenden Streckenauffahrung zu verzichten. Vielmehr ergänzen sich diese Darstellungen in hervorragender Weise, und es wird möglich, die bei der Auswertung der Explorationsergebnisse verbleibenden Projektionsspielräume weiter einzugrenzen. Zum Beispiel wurde die Kuppe des Cappenberger Sattels auf der 1 000-m-Sohle breiter und flacher angetroffen als erwartet, was für einen zukünftigen Abbau interessant sein dürfte.

Darüber hinaus können bei den Streckenauffahrungen noch weitere geologische Elemente entdeckt werden, die zwar zu kleinräumig sind, um vom Explorationsraster erfaßt zu werden, für die bergmännische Planung jedoch von Bedeutung sein können. Dazu gehört zum Beispiel die Spezialfaltung, die sich auf der Südflanke des Cappenberger Sattels im Bereich der 1 000-m-Sohle abzeichnet. Diese Struktur war weder in der Seismik zu erkennen, noch wurde sie von irgendeiner Bohrung erfaßt. Sie könnte sich aber auf einen zukünftigen Abbau in diesem Bereich durchaus negativ auswirken, falls sie eine größere räumliche Erstreckung aufweisen sollte. Dies ist durch gezielte weitere Untersuchungen zu klären.

Durch Untertagebohrungen von der 1 000-m-Sohle ins Hangende wurde – als Beispiel für weitere Untersuchungen – die genaue Lage des Flözes Robert/Albert 1 im Hangenden der Langerner Überschiebung ermittelt. Diese Kenntnis war für die Vorrichtung des ersten Abbaues im Nordfeld Haus Aden unerläßlich.

Zusammenfassend läßt sich also feststellen, daß die als Kombination von reflexionsseismischen Untersuchungen (Linien- und 3D-Seismik) und Kernbohrungen durchgeführte Exploration des Nordfeldes des Bergwerks Haus Aden zu sehr guten Ergebnissen geführt hat. Auch die enge und über einen längeren Zeitraum hin kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen den mit der Exploration befaßten Mitarbeitern der Werksmarkscheiderei und der Bergbau AG Westfalen einerseits und den geologischen Mitarbeitern der Westfälischen Berggewerkschaftskasse und des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen andererseits erwies sich als für beide Seiten fruchtbar.

Das durch die Exploration erzeugte Bild vom stratigraphischen wie tektonischen Bau der Lagerstätte wurde durch die mittlerweile aufgefahrenen Strecken im Bereich des Anschlußfeldes Haus Aden-Nord weitgehend bestätigt.

7. Explorationsaufwand und -nutzen

Bei der Erkundung des Nordfeldes Haus Aden wurde ein erheblicher Explorationsaufwand getrieben: Es wurden über 45 Tiefbohrungen niedergebracht, ca. 65 km Linienseismik geschossen und ein Bereich von ca. 20 km^2 mit 3D-Seismik überdeckt. Der finanzielle Aufwand für diese Maßnahmen betrug insgesamt ca. 60 Mio. DM (LAPPE 1984 a). Es stellt sich vor allem in Anbetracht einer angespannten Wirtschaftslage die Frage, ob dieser Aufwand in einer vertretbaren Relation zum Explorationsnutzen steht.

Setzt man daher den Explorationsaufwand in bezug zu den Gesamtinvestitionskosten, die das Anschlußbergwerk Haus Aden-Nord bis zur Erlangung seiner vollen Förderkapazität erfordern wird, beziehungsweise zum Wert der im Nordfeld enthaltenen und durch die Exploration nachgewiesenen, gewinnbaren Kohlenvorräte (ca. 148 Mt), so erkennt man, daß die finanzielle Belastung mit ca. 0,40 DM/t Kohle (entsprechend ca. 0,2 % des Kohlepreises) relativ gering ist.

Aufgrund der Explorationsergebnisse konnte die Planung des zukünftigen Grubenzuschnittes, der Schachtansatzpunkte, der Auslegung der langlebigen Grubenbaue und der Abbaufelder schrittweise optimal an die Lagerstättenverhältnisse angepaßt werden (LAPPE 1984 b): Statt eines ursprünglich vorgesehenen, querschlagsorientierten Aufschlusses in „Heugabel-Struktur" wird nun ein vornehmlich in streichender Richtung orientiertes Grubengebäude aufgefahren (vgl. hierzu auch HEISING & WILKE 1978).

Allein die durch diese Anpassung des Grubengebäudes an die Lagerstättengeometrie vermiedenen Fehlinvestitionen dürften den Explorationsaufwand aufwiegen, wenn man bedenkt, daß zum Beispiel die Kosten eines sonst eventuell ungünstig positionierten Wetterschachtes im Nordfeld ca. 50 Mio. DM betragen, oder eines Meters (!) der bisher aufgefahrenen Gesteinsstrecken rund 10 000 - 11 000 DM. Auch die aufgrund der Explorationsergebnisse erfolgte Umstellung der geplanten Verhiebsrichtung von streichend auf schwebend dürfte Einsparungen in der Größenordnung von 50 Mio. DM mit sich bringen (GROTOWSKY 1983).

Die durch die Optimierung des Aufschlußkonzeptes langfristig insgesamt eingesparten Betriebskosten lassen sich nicht ohne weiteres beziffern, doch geben beispielsweise die von HUDEWENTZ & DUCKSTEIN & LEHMANN (1982) angegebenen Strebmehrkosten in Höhe von 1,2 Mio. DM bei der Durchörte-

rung eines 2-Meter-Verwurfes in einem 3 m mächtigen Flöz einen Eindruck von der Größenordnung, mit der geologische Risiken den heutigen mechanisierten Bergbau finanziell belasten. Als weiteres Beispiel sei auf die Arbeit von SANIO (1983) verwiesen, der nachweist, daß Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Vollschnittmaschinen beim Streckenvortrieb in starkem Maße von geologischen Faktoren abhängen. Wirtschaftlichkeitsprognosen für solche Streckenvortriebe sind daher um so schwieriger und unzuverlässiger, je weniger über die Details des zu durchörternden Gebirges bekannt ist. Auch RAUHUT (1978) weist mit verschiedenen Beispielen auf die erheblichen Risiken hin, denen Entscheidungen über Zuschnitt und Abbauverfahren in einer unzureichend aufgeklärten Lagerstätte unterworfen sind.

Es wird unter Berücksichtigung dieser Fakten klar, daß gerade in Anbetracht des immensen Investitionsvolumens, das ein modernes Bergwerk erfordert, eine nur durch intensive Exploration zu gewinnende, detaillierte Lagerstättenkenntnis entscheidend zur Verringerung des Investitionsrisikos beiträgt und somit einen rationellen und wirtschaftlichen Bergbau ermöglicht.

Wie das Beispiel Haus Aden-Nordfeld gezeigt hat, ist es durch den Einsatz heutiger Explorationstechnik und moderner geologischer Interpretationsmethoden möglich, ein weitgehend zuverlässiges Lagerstättenbild zu entwerfen. Diese Maßnahmen dürften damit letztlich als kostensenkender Faktor im Bergbau zu betrachten sein.

8. Schriftenverzeichnis

BORNEMANN, O., & JUCH, D. (1979): Tektonische Auswertungen von seismischen Profilen und Bohrungen im Ruhrkarbon. - Z. dt. geol. Ges., **130**: 77 - 91, 17 Abb.; Hannover.

DICKEL, U., & HEIL, R. (1983): Fortschritte in der Übertageseismik zur Erkundung des Steinkohlengebirges. - Glückauf-Forschungsh., **44**: 219 - 225, 8 Abb.; Essen.

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., & BORNEMANN, O., & KUNZ, E., & WREDE, V. (1980): Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons. - 192 S., 108 Abb., 7 Tab., 31 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

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.

GROTOWSKY, U. (1983): Leistungsfähige Abbaubetriebe - Möglichkeiten, Grenzen und Alternativen mit ihren wirtschaftlichen Auswirkungen. - Glückauf, **119**: 1122 - 1129, 14 Abb.; Essen.

HAHNE, C. (1949): Die Bohrung König Wilhelm B und die Gebirgsverhältnisse in den Feldern Wilhelmine Katharina und König Wilhelm der Gewerkschaft Dahlbusch in Hinblick auf den späteren Abbau. - 33 S., 1 Anl.; Bochum (Westf. Berggewerkschaftsk.). - [Unveröff.]

HEISING, F., & WILKE, F. L. (1978): Planungsflexibilität beim Zuschnitt und Aufschluß eines neuen Grubenfeldes. - In: Unternehmensforschung im Bergbau. - Schr. Operations Research u. Datenverarb. im Bergb., **6**: 163 - 192; Essen.

HUDEWENTZ, D., & DUCKSTEIN, H. W., & LEHMANN, G. (1982): Probleme der Bewältigung geologischer Störungen im Abbau (Tl. III). - Bergbau, **33**: 349 - 404, 7 Abb.; Gütersloh.

JUCH, D. (1977): Die Tektonik in der Tiefbohrung Werne 2. - 8 S., 7 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

KUNZ, E. (1976): Untersuchung zur Tektonik der Essener Mulde zwischen Lünen und Werne unter Zuhilfenahme von seismischen Messungen, Bohrungen und Bergbauaufschlüssen. – 4 S., 3 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]

– (1980): Tiefentektonik der Emscher- und Essener Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet. – In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 85 – 134, 41 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

– (1983): Methodische Möglichkeiten der Untersuchung der Tektonik im Oberkarbon des E'Ruhrgebietes (Westfalen) am Beispiel von Emscher- und Essener Hauptmulde. – Mitt. westf. Berggewerkschaftsk., **45**: 133 S., 39 Abb., 8 Taf.; Bochum.

LAPPE, F. J. (1984 a): Exploration, Planung und Aufschluß des Nordfeldes Haus Aden. – Vortr., geh. im Rahmen d. Techn. Wissenschaftl. Vortragswes. d. Steinkohlenbergb., Bochum 26. 1. 1984.

– (1984 b): Exploration, Planung und Aufschluß des Nordfeldes Haus Aden. – Glückauf, **120**: 803 – 818, 11 Abb., 2 Tab.; Essen.

RACK, P., & FIEBIG, H., & SCHUSTER, A. (1974): Lagerstättenerkundung durch Seismik und Bohrungen vom Tage. – Glückauf, **110**: 319 – 324, 6 Abb.; Essen.

RAUHUT, F. (1978): Entwicklung von Methoden zur Risikobetrachtung bei bergtechnischen Problemen im Steinkohlenbergbau – eine neue Aufgabe der Unternehmensforschung. – In: Unternehmensforschung im Bergbau. – Schr. Operations Research u. Datenverarb. im Bergb., **6**: 8 – 42, 22 Abb.; Essen.

SANIO, H. P. (1983): Nettovortriebsprognose für Einsätze von Vollschnittmaschinen in anisotropen Gesteinen. – Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **11**: 147 S., 38 Abb., 28 Tab.; Bochum.

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.; Hannover.

– (1984): Das Erscheinungsbild von Kohlenflözen in geophysikalischen Bohrlochmessungen. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 231 – 241, 6 Abb.; Krefeld.

Tektonische Übersichtskarte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1 : 10 000, Darstellungsebenen – 500 m NN, – 750 m NN und – 1 000 m NN. – Hrsg. Westf. Berggewerkschaftsk.; Bochum.
Blatt Lünen (1962)
Blatt Werne-Varnhövel (1963)

Eingang des Manuskriptes: 10. 4. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	33-50, 2 Abb., 1 Taf.	Krefeld, März 1985

Der tektonische Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen)

Von KLAUS STEUERWALD und MICHAEL WOLFF*

Upper Carboniferous, hard coal, exploratory drilling, line-seismic survey, tectonic structure, fault, overthrust, tectonic cross-section, structure map, Rhenish-Westphalian basin (Lippe syncline, Lüdinghausen syncline), Northrhine-Westphalia (Ruhr district), TK 25: 4208, 4209, 4210, 4309

Kurzfassung: Im Raum zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen/Ruhrrevier) wird der tektonische Bau der Lippe-Hauptmulde und der Lüdinghausener Hauptmulde anhand von Schnittserien und tektonischen Strukturkarten näher untersucht. Diese Studie stützt sich im wesentlichen auf die Resultate von Explorationsbohrungen und seismischen Untersuchungen.

Es können zwei tektonische Stockwerke unterschieden werden, die nicht an bestimmte stratigraphische Folgen geknüpft sind. Die Schichtenfolge in der Lippe-Hauptmulde (Dorstener bis Obere Bochumer Schichten) zeigt eine weitspannige Faltung ohne nennenswerte Überschiebungen. Sie ist dem oberen tektonischen Stockwerk zuzuordnen.

Demgegenüber erbringen die Bohrergebnisse in der Lüdinghausener Hauptmulde ein stärker differenziertes Bild. Im Hangenden wurde eine weitspannig gefaltete, kaum von Überschiebungen erfaßte Folge (Horster bis Mittlere Essener Schichten) erschlossen, die dem oberen Stockwerk gleichzusetzen ist. Darunter folgt ein tieferes Stockwerk mit kurzwelligen Spezialfalten, die mit Überschiebungen verknüpft sind (Untere Essener Schichten bis Mittlere Bochumer Schichten).

Beide variscisch angelegten Hauptmulden sind trogförmig ausgebildet und zeigen ein schwaches axiales Abtauchen nach Nordosten. Durch eine intensive Dehnungsbruchtektonik sind sie in durchschnittlich weniger als 1 km breite Horst- und Grabenschollen zerlegt.

[The tectonic structure of the Lippe synclinorium and of the Lüdinghausen synclinorium between Marl and Lüdinghausen (Westphalia)]

Abstract: The tectonics of the Lippe synclinorium and of the Lüdinghausen synclinorium have been studied closely by means of section series and structure contour maps in the region between Marl and Lüdinghausen (Westphalia/Ruhr district). This investigation is based mainly on exploration drilling and seismic results.

Two tectonic levels (= stockwerks) can be distinguished which do not coincide with certain stratigraphic sequences. The stratigraphic sequence explored in the Lippe synclinorium - Dorsten beds (Westphalian C) to the upper Bochum beds (Upper Westphalian A) - shows broad folds without major overthrusts. It is considered to be the upper tectonic stockwerk.

In contrast to it the Lüdinghausen synclinorium seems to be more differentiated. On top there is a gently folded sequence without major overthrusts - Horst beds (Upper Westphalian B) to the middle Essen beds (Lower Westphalian B) - also considered as the upper tectonic stockwerk. To the depth follows another tectonic stockwerk characterized by narrow folds combined with major overthrusts - lower Essen beds (Lower Westphalian B) to the middle Bochum beds (Upper Westphalian A).

*Anschrift der Autoren: Dipl.-Geol. K. STEUERWALD und Dr. M. WOLFF, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

Both Variscan synclinoria are of trough-like shape with axes slightly plunging to the Northeast. Both are cut up into horsts and grabens by tensional faulting, the width generally less than 1 km.

[Le style tectonique du synclinorium de Lippe et du synclinorium de Lüdinghausen entre Marl et Lüdinghausen (Westphalie)]

Résumé: Entre Marl et Lüdinghausen (Westphalie/district houiller de la Ruhr) le style tectonique du synclinorium de Lippe et du synclinorium de Lüdinghausen est examiné en détail à l'aide de coupes et de plans de veine de houille. Cette recherche se base sur des résultats des forages et des investigations sismiques.

On peut distinguer deux étages tectoniques qui ne sont pas conformes à certaines suites stratigraphiques. La suite stratigraphique explorée dans le synclinorium de Lippe – à partir des couches de Dorsten (Westphalien C) jusqu'à la partie supérieure des couches de Bochum (Westphalien A supérieur) – montre un plissement à grand rayon de courbure et sans chevauchements remarquables. Elle correspond à l'étage tectonique supérieur.

Au contraire, les résultats des forages dans le synclinorium de Lüdinghausen donnent une image plus differenciée. Au toit il existe une suite pliée faiblement à peine atteinte par des chevauchements, qui correspond à l'étage tectonique supérieur. Elle comprend les couches d'Horst (Westphalien B supérieur) jusqu'à la partie moyenne des couches d'Essen (Westphalien B inférieur). Une zone de plissement spécial avec des chevauchements suit dessous, qui équivaut à un étage tectonique plus bas et contient la partie inférieure des couches d'Essen (Westphalien B inférieur) jusqu'à la partie moyenne des couches de Bochum (Westphalien A supérieur).

Les deux synclinoriums hercyniens se présentent comme des auges larges et montrent un plongement axial faible vers le Nord-Ouest. Ils sont divisés en horsts et grabens d'une largeur moyenne de moins d'un kilometre par une tectonique de rupture intense.

1. Einführung

Im Rahmen der nach Norden fortschreitenden Steinkohlenexploration im Ruhrrevier ist der Raum zwischen den Orten Marl und Lüdinghausen im südlichen Münsterland von Bohrungen und Seismik erfaßt worden. Strukturgeologisch handelt es sich dabei um Teilbereiche der Lippe- und der Lüdinghausener Hauptmulde, die durch den Auguste-Victoria-Hauptsattel getrennt werden (Taf. 1 in der Anl.).

Zur Auswertung kommen insgesamt 130 Tiefbohrungen, abgeteuft im Auftrag der Bergbau AG Lippe und der Gewerkschaft Auguste Victoria. Die dieser Publikation zugrunde liegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (Forschungsvorhaben 03E-3051A „Exploration von Steinkohlenlagerstätten durch übertägige Tiefbohrungen") gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren.

Die vorliegende regionalgeologische Auswertung basiert im wesentlichen auf den tektonischen Bearbeitungen der Explorationsbohrungen, vorgenommen im Zeitraum 1974 – 1983 durch die Westfälische Berggewerkschaftskasse und durch das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen. Das in diesem Raum erreichte Bohrnetz weist eine solche Dichte auf (Abstand max. 1 km), daß die punktuell gewonnenen Informationen nicht nur zu tektonischen Schnitten, sondern auch zu detaillierten flächenhaften Projektionen bestimmter Flöze verknüpft werden können. Eine wertvolle Hilfe bieten hierbei linienseismische Untersuchungsergebnisse der PRAKLA-SEISMOS GmbH, Hannover.

In die Auswertung miteinbezogen wurden unveröffentlichte Schnitte, Flöz- und Grundrisse, die freundlicherweise von der Bergbau AG Lippe (Pla-

nungsräume Haard/Haltern und Olfen-West der Bergwerksdirektion Haard, Planungsraum Wulfen der Bergwerksdirektion Fürst Leopold und Planungsraum Hohemark der Bergwerksdirektion Blumenthal) und von der Gewerkschaft Auguste Victoria (Planungsraum Hohemark) zur Verfügung gestellt wurden. Hinzu kommen unveröffentlichte Schnitte und Grundrisse im Bereich der Lüdinghausener Hauptmulde, bereitgestellt von E. KUNZ.

Ausgehend von den markscheiderischen Unterlagen der Bergbauzone wird die regionalgeologische Interpretation anhand der Projektionen des Flözes Zollverein 7/8 (Lippe-Hauptmulde) und des Flözes Karl (Lüdinghausener Hauptmulde) aufgezeigt. Als besonders wertvoll erweist sich diese Darstellungsform bei der näheren räumlichen Fixierung der querschlägig verlaufenden tektonischen Trennflächen sowie bei der Parallelisierung streichender Strukturelemente, etwa bei Schichtenumbiegungen und Überschiebungen. Mit den Vertikalschnitten ergeben diese Strukturkarten ein klares dreidimensionales Bild (Taf. 1 in der Anl.).

Ausdrücklich hervorgehoben sei an dieser Stelle, daß die gründliche und ausgezeichnete tektonische Bearbeitung der Bohrungen durch Dr. G. DROZDZEWSKI, R. FINSTERWALDER, Dr. D. JUCH und Dr. J. PRÜFERT (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) sowie Dr. J. GROSCURTH, Prof. Dr. H.-F. KRAUSSE, Dr. E. KUNZ, M. SAUDER, R. SCHLÜTER und Dr. M. VON SPERPER (Montan-Consulting GmbH und Westfälische Berggewerkschaftskasse) diese regionaltektonische Interpretation erst ermöglichte.

Für die Bereitstellung von Unterlagen sowie für wertvolle Diskussionsbeiträge und Anregungen sind wir Markscheider Dipl.-Ing. H. W. BÖHNE (Gewerkschaft Auguste Victoria), Markscheider Dipl.-Ing. W. KLEMP (Bergwerksdirektion Haard), Dr.-Ing. U. KLINGE (Bergbau AG Lippe), Dr. E. KUNZ (Westfälische Berggewerkschaftskasse) sowie Dr. G. DROZDZEWSKI, Dr. D. JUCH und weiteren Kollegen des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen sehr zu Dank verpflichtet.

2. Lippe-Hauptmulde

2.1. Überblick und Methodik

Das westliche Untersuchungsgebiet, nördlich der Stadt Marl gelegen, befindet sich im Bereich der Blattgebiete 4208 Wulfen und 4209 Haltern der Topographischen Karte 1 : 25 000. Es umfaßt eine Fläche von ca. 65 m^2 und erstreckt sich vom Blumenthal-Sprung im Westen bis zum Halterner Sprung im Osten. Die südliche geologische Begrenzung bildet der Auguste-Victoria-Hauptsattel (AV-Hauptsattel), die nördliche der Holtwicker und Wulfener Sattel, Spezialsättel, die dem Dorstener Hauptsattel angehören. Die Auswertung umfaßt sieben Quer- und zwei Längsschnitte, von denen in Tafel 1 (in der Anl.) fünf Quer- und ein Längsschnitt dargestellt sind, die in Verbindung mit der Flächenprojektion einen näheren Einblick in die tektonischen Zusammenhänge gestatten. Als Niveau für die Strukturkarte wurde das in der Lippe-Hauptmulde bauwürdige Flöz Zollverein 7/8 (Einheitsbezeichnung, EB) ausgesucht. Die Lage der Schnitte geht aus den Schnittspuren in der Strukturkarte hervor (Taf. 1). Die komplette Schnittserie befindet sich im Archiv des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen (STEUERWALD 1983). Der Maßstab für alle Darstellungen beträgt 1 : 40 000. Die Schnittserie verdeutlicht,

daß die Bohrungen nur das obere tektonische Stockwerk erfaßt haben (Dorstener und Mittlere Essener Schichten), das sich im wesentlichen durch einen weitspannigen Faltenbau auszeichnet. Lediglich im Anstieg zum Dorstener Hauptsattel, der durch Spezialfaltung gekennzeichnet ist, wird das mittlere tektonische Stockwerk erbohrt. Das Blockbild (Abb. 1) ermöglicht einen dreidimensionalen Einblick in die Tektonik des Hülser Horstes. Durch die Blickrichtung parallel zur Muldenachse läßt sich die Asymmetrie der Lippe-Hauptmulde klar erkennen.

2.2. Bemerkungen zur Stratigraphie

Die im Untersuchungsgebiet gekernte karbonische Schichtenfolge reicht von den Mittleren Wittener Schichten bis zu den Unteren Dorstener Schichten. Während die Bohrung Holtwick 1 die ältesten Flöze erfaßt (Flöz Mentor), werden in der Bohrung Annaberg 4 die stratigraphisch jüngsten Karbon-Flöze (Donar-Gruppe) angetroffen. In der beschriebenen stratigraphischen Abfolge befinden sich nicht weniger als 30 bauwürdige Flöze. Das Flöz Zollverein 7/8 (EB), das im Mittel mehr als 1,5 m mächtig ist, stellt über das bearbeitete Gebiet betrachtet ein bauwürdiges Flöz mit großem Raumvolumen dar, das über große Bereiche für den Abbau günstige Lagerungsverhältnisse aufweist. Die Tiefenlage des Flözes Zollverein 7/8 schwankt zwischen -700 m bis -800 m NN an der Ausbißkante zur Karbon-Oberfläche und erreicht Tiefen von -1 300 m bis -1 350 m NN im Muldenzentrum.

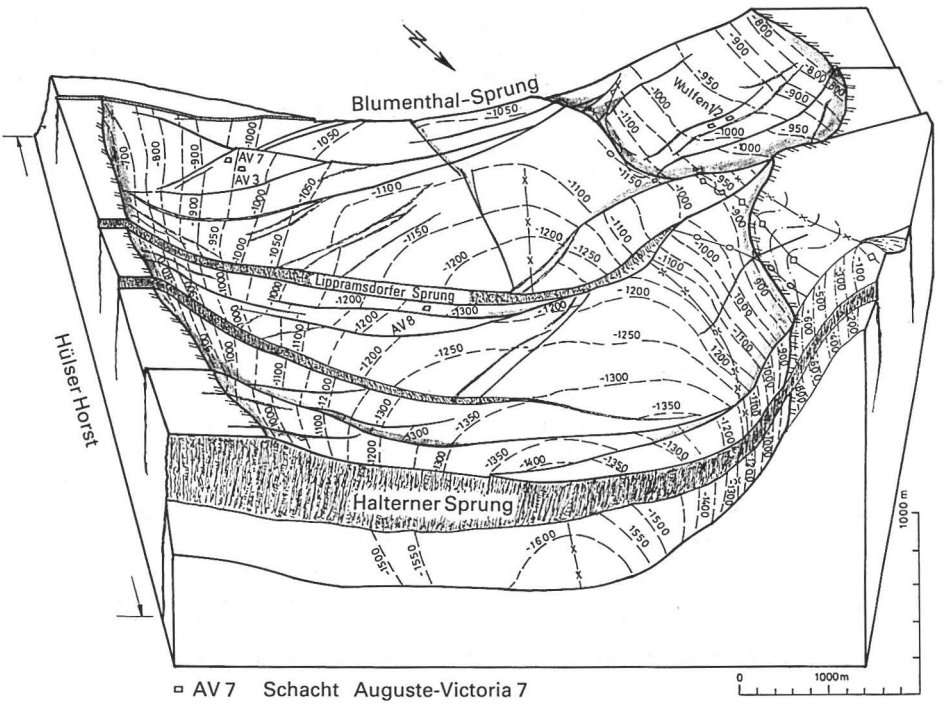


Abb. 1 Blockbild der Lippe-Hauptmulde im Niveau von Flöz Zollverein 7/8 (Parallelperspektive, Überhöhung etwa 2fach)

Fig. 1 Bloc diagram of the Lippe synclinorium at the level of the coal seam Zollverein 7/8 (parallel perspective, vertical exaggeration 2fold)

2.3. Seismische Auswertung

Ein wesentliches Hilfsmittel für die strukturgeologische Bearbeitung des Untersuchungsgebietes waren die reflexionsseismischen Messungen, die von der Firma PRAKLA-SEISMOS GmbH 1976, 1977 und 1980 a im Explorationsraum „Hohemark" durchgeführt wurden. So konnte zum Beispiel die Lage des Holtwicker und Halterner Sprunges festgelegt werden. Eine flexurartige Umbiegung der Deck- und Karbon-Schichten sowie ein 100-m-Höhenversatz der Karbon-Oberfläche wurden im Bereich des Lippramsdorfer Grabens erkannt. Ferner deutet dort die Schichtenlagerung im Karbon auf eine größere Abschiebung hin, die als Ostendorf-Sprung angesprochen wurde. Im Niveau der Deckgebirgsbasis handelt es sich hierbei um eine Inversionsstörung mit Abschiebung im Karbon und Aufschiebung im Deckgebirge.

Im Gegensatz zur östlichen Begrenzung des Lippramsdorfer Grabens ist die westliche Begrenzung nicht klar in der Seismik erkannt worden. Eine Klärung, in welche Richtung die in der Bohrung Schlenke 1 angetroffene Abschiebung einfällt, kann auch die Seismik nicht endgültig herbeiführen. Bemerkenswert ist ferner eine mehrere hundert Meter tiefe Einmuldung der Deckgebirgsbasis (Taf. 1: Schnitt 4) im Zentrum der Lippe-Hauptmulde, die als Diskordanzfläche hier nicht, wie sonst meist im Ruhrrevier, relativ gleichmäßig nach Norden absinkt, sondern in der Sattelregion des Auguste-Victoria-Sattels und des Dorstener Sattels eine postkretazische Aufwölbung andeutet.

2.4. Tektonische Auswertung

Bei der Auswertung aller Explorationsmaßnahmen im Planungsraum „Hohemark" zeigt sich, daß zwischen dem Auguste-Victoria-Hauptsattel und dem Dorstener Hauptsattel folgende streichende Strukturen (von Norden nach Süden) auftreten: Dorstener Sattel - Wulfener Mulde - Wulfener Sattel - Holtwicker Mulde - Holtwicker Sattel - Lippe-Hauptmulde - Flaesheimer Sattel - Flaesheimer Mulde - Auguste-Victoria-Sattel.

Die Lippe-Hauptmulde ist in diesem Bereich eine breite, asymmetrische Mulde mit einem Achsenabtauchen von 5 - 10 gon nach Nordosten. Diese trogförmige Struktur weist im untersuchten Gebiet eine steile Nord-, aber relativ flache Südflanke auf. Aufschluß darüber geben zum Beispiel die im Südosten gelegenen Explorationsbohrungen Hammerberg 2 und Hammerberg 3, in denen das Flöz Zollverein 7/8 (EB) mit maximal 18 gon zum Muldentiefsten einfällt. Im Nordwesten wurden in den Bohrungen Eppendorf 1, Eppendorf 3 und Tannenberg 1, die im Bereich der nördlichen Muldenflanke der Lippe-Hauptmulde niedergebracht wurden, steile Einfallswerte bis maximal 45 gon nach Südosten gemessen. Die asymmetrische Form der Lippe-Hauptmulde kommt im Schnitt 4 (Taf. 1) besonders deutlich zum Ausdruck. Aus dem Abbaubereich Fürst Leopold/Wulfen, im Westen des bearbeiteten Gebietes, entwickeln sich tektonische Strukturen, die aus der Lippe-Hauptmulde zum Dorstener Hauptsattel überleiten. Diese tektonischen Elemente streichen im Abbaubereich Südsüdwest - Nordnordost, schwenken dann aber nordöstlich der Bohrung Stemmerberg 1 in die variscische Streichrichtung (Südwest - Nordost) ein. Die im Südwesten noch relativ flachwellige Spezialfaltung gewinnt nach Nordosten anscheinend größere Bedeutung. Auch das seismische Profil 21 (Hohemark 1977) belegt, daß sich nördlich des Ostendorf-Sprunges im Bereich der Bohrung Eppendorf 3 der mit flacher Nordwest-

und steiler Südostflanke kofferförmige Holtwicker Sattel nach Nordosten heraushebt, dessen Projektion durch die Bohrung Tannenberg 5 bestätigt wurde. In der Nähe der Bohrung Holtwick 1 hebt sich das Sattelhöchste so stark heraus, daß die Nordwestflanke große Einfallswerte aufweist. Das Flöz Zollverein 7/8 (EB) ist im Bereich der Bohrung Holtwick 1 im Flözriß als Luftsattel (über der Karbon-Oberfläche) projiziert (Taf. 1).

Im Nordwesten folgt auf den Holtwicker Sattel die Holtwicker Mulde, die im Südwesten in der Nähe der Bohrung Drostenfeld 1 ihren Anfang nimmt. Sie wird ferner durch den Abbau Wulfen und die seismischen Profile 21 und 25 (Hohemark 1977) belegt. Ihre streichende Fortsetzung in Nordost-Richtung ist als vorläufige Projektion einzustufen, da eine exakte räumliche Fixierung der Struktur wegen fehlender Bohrungen noch nicht vorgenommen werden kann.

Die westlichste im Arbeitsgebiet explorierte Spezialfalte zwischen Lippe-Hauptmulde und Dorstener Hauptsattel ist der weitgespannte Wulfener Sattel, der im unteren tektonischen Stockwerk vermutlich als Koffersattel ausgebildet ist. Belegt durch die Abbaufelder des Bergwerks Fürst Leopold/Wulfen sowie durch die Bohrung Stemmerberg 1 leitet diese Struktur zum Dorstener Hauptsattel über. Die Bohrungen Annaberg 2, Tannenberg 3, Tannenberg 1, Hagenfeld 1 und Galgenberg 1 im Zentrum der Lippe-Hauptmulde geben das umlaufende Streichen der Hauptmulde besonders deutlich wieder. Sie zeigen ferner, daß der Zentralbereich der Hauptmulde leicht spezialgefaltet ist. Streichende Überschiebungen größeren Ausmaßes, das heißt abbaubegrenzend, treten im Projektionsraum im Flöz Zollverein 7/8 (EB) nicht auf.

Das projektierte Gebiet zwischen dem Blumenthal-Sprung und Halterner Sprung wird bei der großtektonischen Betrachtung als Hülser Horst bezeichnet. Diese Hochlage ist durch mehrere Nordwest - Südost streichende, querschlägige, ost- oder westfallende Abschiebungen in einzelne nicht näher bezeichnete Kippschollen zergliedert, die das Flöz Zollverein 7/8 (EB) vertikal und lateral versetzen (Abb. 1, S. 36). Die östliche Begrenzung der Hülser Horstscholle bildet der Halterner Sprung, der in der Lüdinghausener Hauptmulde mehrfach in Untertageaufschlüssen nachgewiesen wurde und sich in der Lippe-Hauptmulde in Richtung des Dorstener Sattels fortsetzt. Mit Hilfe der seismischen Profile 11 a, 22 und 23 (Hohemark 1977) konnte seine Lage konstruiert werden. Ferner wurde in den Bohrungen Annaberg 1 (Vertikalverwurf t ~ 330 m), Vogelsheide 1 (Nebenast t ~ 90 m) und Holtwick 2 (t ~ 130 m) der Hauptstörungsast und einer seiner Nebenäste durchbohrt. Nach derzeitigem Kenntnisstand verringert sich die Sprunghöhe des Halterner Sprunges in nördlicher Richtung auf den Dorstener Hauptsattel zu.

Als nächste Störung, nach Westen anschließend, verwirft der Holtwicker Sprung das Flöz Zollverein 7/8 (EB) mit Verwurfsbeträgen von t ~ 50 - 150 m. Geometrische Zwänge bedingen die Konstruktion dieser zwischen den Bohrungen Lünzumer Mark 1 und Holtwick 2 verlaufenden westfallenden Abschiebungen (t ~ 200 m). Die Abschiebung könnte sich westlich der Bohrung Ennenberg 1 und östlich der Bohrung Annaberg 3 mit abnehmendem Verwurfsbetrag in südlicher Richtung fortsetzen und in der Bohrung Hammerberg 3 mit t ~ 60 m erbohrt worden sein. Zum gleichen Sprungsystem gehören wahrscheinlich die erbohrte Abschiebung in der Bohrung Annaberg 3 mit t ~ 30 m (unbenannt) und der mit dem Halterner Sprung korrespondierende Ne-

benast (unbenannt) des Holtwicker Sprunges zwischen den Bohrungen Vogelsheide 1 und Ennenberg 1, der aufgrund unterschiedlicher Flözhöhenlagen konstruiert werden muß.

Als weitere Störung ist der im südlichen Grubenfeld der Zeche Auguste Victoria bereits einige Male aufgeschlossene Haard-Sprung anzuführen. Er wurde in mehreren Aufklärungsstrecken in Nordost-Richtung angefahren und scheint in Richtung Muldenzentrum auszuklingen. Der Sprungbetrag nimmt von nachweislich t ~ 60 m im Süden kontinuierlich in nördlicher Richtung ab. Die seismischen Profile 31 und 34 (Hohemark 1979) sowie 25 (Hohemark 1977) und 13 (An der Haard 1975) können aufgrund der geringen Sprunghöhe im Auslaufbereich der Störung den Verlauf des Haard-Sprunges nicht aufzeigen, da die Flächenschrift-Seismogramme im Maßstab 1 : 10 000 den geringen Sprungbetrag nicht aufzulösen vermögen.

Im Zentralbereich des Hülser Horstes befindet sich die Lippramsdorfer Grabenscholle, in der die Abbaue um den Schacht 8 der Schachtanlage Auguste Victoria liegen. Im Westen wird diese Scholle durch den Lippramsdorfer Sprung (= 50-m-Sprung, Zechenbezeichnung, ZB) begrenzt. Der Sprungbetrag von t ~ 50 m wurde bei der mehrfachen Durchörterung des Sprunges im Niveau von Flöz C/D (ZB) festgelegt. Beginnend nordöstlich von Schacht 6 durchzieht er den gesamten Muldenbereich in nordwestlicher Richtung, bis er nördlich der Bohrung Heitkämpe 1 wahrscheinlich ausklingt. Der Verlauf der Störung im Bereich der Bohrung Bromberg 1 ist allerdings fraglich geworden, da neue Streckenauffahrungen der Zeche Auguste Victoria (Richtstrecke NW, 5. Sohle) ein Abknicken des Sprunges nach Westnordwest andeuten.

Die östliche Begrenzung der Lippramsdorfer Grabenscholle, in deren Zentralteil sogar Dorstener Schichten erbohrt wurden, bildet der durch die Bohrung Wienheide 1 nachgewiesene Ostendorf-Sprung mit einer Sprunghöhe von t ~ 180 m. Die an der Südflanke der Lippe-Hauptmulde einsetzende Abschiebung erreicht ihren maximalen Verwurf muldenwärts nördlich der Bohrung Wienheide 1 mit über t ~ 200 m Verwurf und setzt ihren Verlauf in Westnordwest-Richtung fort. Nach heutigem Kenntnisstand, basierend auf den Aufschlüssen in der Nordost-Richtstrecke (Zeche Auguste Victoria, 5. Sohle) könnte der Ostendorf-Sprung auch in der Bohrung Schlenke 1 angetroffen worden sein. Letzte Klärung aber können nur Streckenauffahrungen in diesem Bereich bringen.

Der Ostendorf-Sprung ist im bearbeiteten Raum als Inversionsstörung ausgebildet. Die Karbon-Oberfläche wird durch die Aufschiebung im Muldenzentrum mindestens 100 m in ihrer Höhenlage versetzt. Der Versatz der Karbon-Oberfläche kommt auch in den seismischen Profilen 22 und 25 (Hohemark 1977) und 31 (Hohemark 1979) besonders deutlich zum Ausdruck. Hingegen beweisen die Höhenlagen identischer Flöze in der Hangend- und Liegendscholle, daß es sich im Karbon um eine größere Abschiebung handeln muß. Dem Ostendorf-Sprung ist in östlicher Richtung, im Bereich des Schachtes 8 (Auguste Victoria), eine von der Zeche als Herner Sprung bezeichnete ostfallende Abschiebung vorgelagert, die mehrfach in Aufklärungsstrecken angefahren wurde. Der bankrechte Verwurf schwankt zwischen t ~ 15 m im Bereich der Mutungsbohrungen Haltern 5 und 8 und t ~ 35 m in der Aufklärungsstrecke nach Nordosten (5. Sohle in Flöz L (ZB) bei -1 015 m NN). Anscheinend ist der tektonisch weniger bedeutsame Herner Sprung ein Ast

des Ostendorf-Sprunges, der sich nördlich der Bohrung Wienheide 1 vom Hauptsprung abspaltet.

Im Südwesten des bearbeiteten Gebietes treten vor allem im Bereich der Schächte 3 und 7 (Auguste Victoria) Diagonalstörungen gehäuft auf. Die Mehrzahl der Störungen, die vornehmlich dextralen Blattcharakter aufweisen, streichen Westnordwest - Ostsüdost und erreichen Abschiebungsbeträge bis maximal t ~ 50 m. Diese Störungen lassen sich einer der beiden Scherflächenrichtungen der variscischen Faltung zuordnen. Die zweite Richtung (Nordnordost - Südsüdwest) scheint im gesamten Explorationsraum stark unterdrückt zu sein. Das Auftreten von Diagonalstörungen mit einer Horizontalkomponente nimmt anscheinend von Südwesten nach Nordosten ab, was aber auch auf den derzeitigen Aufschlußgrad zurückgeführt werden kann.

Die Scholle, die zwischen den Abbauen von Fürst Leopold/Wulfen und dem Lippramsdorfer Graben liegt, wird durch einen Nord - Süd streichenden Sprung begrenzt, der durch die Tiefbohrung Kusenhorst 2 nachgewiesen wurde. Auch durch die Profile 22 und 25 der Seismik (Hohemark 1977) konnte die Lage dieser Abschiebung (t = 55 - 75 m) genauer festgelegt werden, deren Sprunghöhe nach Norden zuzunehmen scheint. Als Seitenast, der von der zuvor beschriebenen Abschiebung abspaltet, kann der Sprung in der Bohrung Heitkämpe 1 eingestuft werden. Er fällt unterhalb der Karbon-Oberfläche mit t = 120 m wahrscheinlich nach Südwesten ein. Vermutlich sind die abbaubegrenzenden, im Norden der Schachtanlage Wulfen angefahrenen Störungen (t ~ 170 m) mit den Abschiebungen aus den Bohrungen Heitkämpe 1 und Kusenhorst 2 zu verbinden. Der Abbaubereich Wulfen ist vorwiegend von Westnordwest - Ostsüdost streichenden Störungselementen durchzogen, die jedoch nur relativ geringe Verwurfsbeträge zeigen.

Nach der Auswertung aller zugänglichen Unterlagen zeigt sich, daß die Lippe-Hauptmulde als breite asymmetrische Trogmulde ausgebildet ist. Der Bereich zwischen Blumenthal-Sprung und Halterner Sprung stellt eine tektonische Hochlage dar (Hülser Horst), die durch Nordwest - Südost verlaufende Störungen in einzelne Kippschollen gegliedert ist. Die flachwellige Lippe-Hauptmulde geht im Nordwesten in eine Zone mit mehreren Spezialfalten über, die bereits zum Dorstener Hauptsattel zu rechnen ist.

Während vor der Fusion der verschiedenen Bergwerksgesellschaften zur Ruhrkohle AG nur im geringen Umfang und keine den jeweiligen Felderbesitz übergreifende Exploration im heutigen Sinn betrieben wurde, ist der Planungsraum „Hohemark" ein gutes Beispiel für eine übergreifende Explorationstätigkeit der dort ansässigen Bergbaugesellschaften Gewerkschaft Auguste Victoria und der zur Ruhrkohle AG gehörenden Bergbau AG Lippe. Die modernen Explorationsmaßnahmen, wie Tiefbohrungen, und die damit verbundenen Bohrkernaufnahmen, geophysikalischen Messungen in den Bohrungen und mit den Tiefbohraufschlüssen korrespondierenden Strukturseismiken lieferten eine Menge Datenmaterial für diese strukturgeologische Bearbeitung des Planungsraumes Hohemark.

3. Lüdinghausener Hauptmulde

3.1. Überblick und Methodik

Das östliche der beiden tektonisch bearbeiteten Gebiete ist ein Teilbereich der Lüdinghausener Hauptmulde. Es überdeckt die Blattbereiche 4309 Reck-

linghausen, 4210 Lüdinghausen und zum Teil 4209 Haltern der Topographischen Karte 1:25000 und umfaßt den Nordostteil des Planungsraumes „Haard/Haltern" und den Planungsraum „Olfen-West" der Bergwerksdirektion Haard (Bergbau AG Lippe). Die Begrenzung ist im Nordwesten durch den Auguste-Victoria-Hauptsattel beziehungsweise die Auguste-Victoria-Überschiebung gegeben, im Südosten durch den Blumenthal-Hauptsattel. Die Südwestgrenze liegt auf der Verbindungslinie der beiden Bohrungen Weseler Berge 1/1a und St. Johannes 2, die Nordostgrenze bildet der Olfener-Heide- und Olfener Sprung (Taf. 1 in der Anl.).

Die Auswertung umfaßt eine Serie von elf Querschnitten und einen Längsschnitt im Maßstab 1:40000. Auf Tafel 1 gelangen von diesen elf Querschnitten sechs zur Darstellung; die vollständige Schnittserie befindet sich im Archiv des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen (WOLFF 1983). Zu erwähnen ist, daß die Schnitte nicht geradlinig verlaufen, sondern Bohrungsverbindungen sind. Für eine detaillierte tektonische Deutung wurde zudem eine Strukturkarte im Niveau von Flöz Karl (EB) angefertigt. Alle Darstellungen, ursprünglich im Maßstab 1:10000 entworfen, liegen im Maßstab 1:40000 vor (Taf. 1). Zusätzlich gibt eine perspektivische Blockdarstellung im Niveau von Flöz Karl (Abb. 2) einen räumlichen Einblick in den tektonischen Baustil der Lüdinghausener Hauptmulde.

3.2. Stratigraphische Verhältnisse

Die in den insgesamt 80 Bohrungen angetroffene Schichtenfolge reicht von der Basis der Wittener Schichten (Flöz Sarnsbank in der Bohrung Alte Fahrt 1) bis zum Top der Horster Schichten (Y/X-Flözgruppe in der Bohrung Ripsheide 2). Den Hauptanteil der erbohrten Folge stellen die Bochumer und die Unteren Essener Schichten (Taf. 1: Schnitt 6 – 10). Östlich des Olfener Sprunges treten die Horster Schichten hinzu (Taf. 1: Schnitt 11). Das in der Strukturkarte dargestellte Flöz Karl (EB) gehört zu den Mittleren Bochumer Schichten.

Genaugenommen handelt es sich um das Flöz Karl 1 (EB). Es tritt überwiegend geschart auf, und zwar mit den Liegendflözen Karl 2 und Blücher 1 im Südwesten (Karl/Blücher 1, mittlere Gesamtmächtigkeit ca. 2 m) und mit den Hangendflözen Albert 4 und Wellington im Nordosten (Albert 4/Wellington/Karl 1, mittlere Gesamtmächtigkeit ca. 1,6 m). Die Scharungsgrenze verläuft in etwa parallel zum Westlevener Sprung (Taf. 1). Allein in der Südostflanke der Hauptmulde östlich des Westlevener Sprunges tritt das Flöz Karl 1 ungeschart auf (mittlere Mächtigkeit ca. 1,5 m). Das sogenannte Flöz Karl ist durchweg als bauwürdig zu bezeichnen.

Im Raum westlich des Halterner Sprunges hat das Flöz Karl ein mittleres Teufenniveau von – 800 m NN und wird weitflächig abgebaut. Östlich des Halterner Sprunges liegt seine Teufenlage im Muldenzentrum zwischen – 1250 m und – 1500 m NN, um östlich des Olfener Sprunges auf – 1800 m bis – 1900 m NN abzusinken.

3.3. Seismische Auswertung

An seismischen Unterlagen standen insgesamt sieben linienseismische Untersuchungen der PRAKLA-SEISMOS GmbH (1958, 1969, 1971, 1976, 1980 b, 1982) für die geologische Interpretation zur Verfügung: Emscher-Lippe-Nordfeld 1958, Datteln 1968, An der Haard 1971 und 1975, Olfen-West 1979 und

Olfen-Ost 1981. Im folgenden wird nur auf die beiden Meßreihen Olfen-West 1979 und Olfen-Ost 1981 eingegangen, die sich qualitativ von den älteren seismischen Untersuchungen deutlich abheben. Fünf Profile verlaufen parallel zum Generalstreichen Südwest - Nordost und überlappen sich teilweise (27 und 38, 28 und 36, 40). Fünf Profile (29, 30, 35, 37, 39) sind annähernd querschlägig Nordwest - Südost ausgerichtet (Taf. 1). Markante Reflexionshorizonte der seismischen Profile, die annähernd parallel zu den tektonischen Schnitten verlaufen, sind auch zeichnerisch dargestellt (Taf. 1: Schnitt 9 - 11 sowie Längsschnitt B).

Aus den querschlägigen seismischen Profilen läßt sich deutlich die streichende Veränderung des Faltenbaus entnehmen. Während im Westen (Meßgebiet Olfen-West 1979) die weitgespannte trogförmige Lüdinghausener

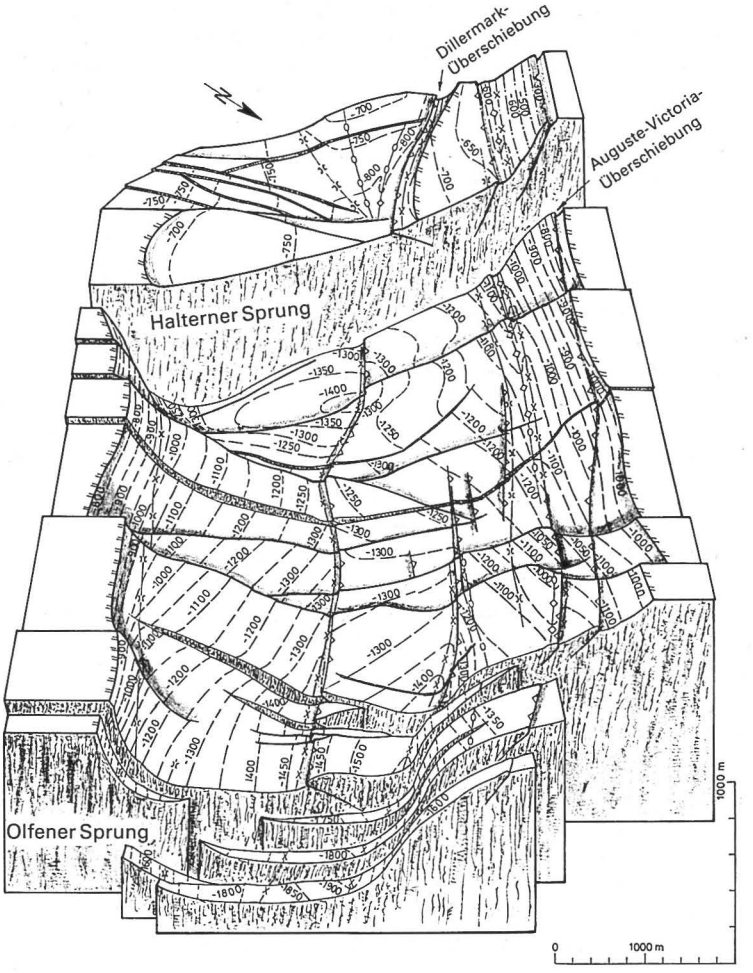


Abb. 2 Blockbild der Lüdinghausener Hauptmulde im Niveau von Flöz Karl (Parallelperspektive, Überhöhung etwa 2fach)

Fig. 2 Bloc diagram of the Lüdinghausen synclinorium at the level of the coal seam Karl (parallel perspective, vertical exaggeration 2fold)

Hauptmulde noch zwei Spezialmulden erkennen läßt, zeigt sich im Osten (Meßgebiet Olfen-Ost 1981) nur noch eine Spezialmulde. Die Reflexionslinien können Spezialfalten fast durchgehend nachzeichnen, wie etwa die sich zur Teufe hin entwickelnde Nördliche Westerholter Mulde im Seismogramm 29 zwischen den Bohrungen Westleven 2 und Vogelsang 1 (vgl. auch Taf. 1, Schnitt 9). Generell deckt sich die flache Schichtenneigung in den tektonischen Schnitten (Taf. 1) in etwa mit dem Verlauf der durchgehenden Reflexionslinien in den Seismogrammen. Allerdings ergeben sich bei einem quantitativen Vergleich der Einfallswerte Grenzwerte: 30 - 33 gon längs den seismischen Sektionen 30 und 35 (Olfen-West) beziehungsweise 42 gon längs Sektion 37 (Olfen-Ost) (vgl. BORNEMANN & JUCH 1979). Oberhalb dieser Grenzwerte wird die ungestörte Schichtenneigung nicht mehr durch Reflexionslinien wiedergegeben; sie reißen ab, wie zum Beispiel längs Sektion 35 im Bereich des Schnittpunktes mit Sektion 27 (beiderseits der Bohrung Stever 3).

Größere der durch Tiefbohrungen nachgewiesenen, variscisch (Südwest - Nordost) streichenden Überschiebungen lassen sich teilweise in der Seismik an gekrümmten oder abgerissenen Reflexionslinien wiedererkennen. Jedoch sind diese Kriterien nie so charakteristisch, daß die genaue Lage und das Einfallen allein aus der Seismik entnommen werden können.

In den Südwest - Nordost gerichteten Profilen (Olfen-West 27 und 28 sowie Olfen-Ost 36, 38 und 40) parallel zum variscischen Streichen bilden sich die Querstörungen im allgemeinen deutlich ab. Bemerkenswert ist, daß sich ein Teil der kleineren Sprünge (Vertikalverwurf t max. 30 m) als flexurartige Verbiegungen der Reflexionslinien abzeichnen, möglicherweise als Schichtenanschleppungen zu deuten. Beispiele dafür sind der unbenannte westliche Ast des Eversumer Sprunges und der Westlevener Sprung (Taf. 1). Ansonsten sind die Sprünge im allgemeinen durch ein Abreißen der Reflexionslinien gekennzeichnet. Mit zunehmender Breite beziehungsweise Aufspaltung in Teiläste treten in der Störungszone reflexionslose Bereiche auf.

Der Olfener Sprung ist ein markantes Beispiel dafür, daß größere Sprünge nicht immer genau lokalisiert werden können, und eine nähere Angabe über den Sprungbetrag aus den Seismogrammen generell unmöglich ist. Aus den Ergebnissen benachbarter Bohrungen ergab sich ein Sprungbetrag von insgesamt ca. 400 m. In der ersten, relativ grobspurigen Abspielung (Spurabstand der Flächenschrift = 1,5 mm) des Profils Olfen-West 27 werden in diesem Bereich durchgehende Reflexionen vorgetäuscht. In Wirklichkeit dürfte es sich jedoch in den obersten Schichten des Karbons um Nachschwingungen der Deckgebirgsbasis-Reflexion und auf Höhe des seismisch auskartierten Horizontes W (Flöz Wasserfall/Sonnenschein) um den nahtlosen Übergang zweier verschiedener Reflexionshorizonte handeln. Zwischen diesen scheinbar ungestörten Niveaus ist ein Abreißen der Reflexionen nur schwach angedeutet. In einer erneuten Abspielung von Profil Olfen-West 27 zusammen mit Profil Olfen-Ost 36 (Spurabstand 0,5 mm in Auswertung Olfen-Ost 1981) ist das Abreißen der Reflexionen zwar deutlicher, aber es erwies sich als unmöglich, in Unkenntnis des Sprungbetrages charakteristische Horizonte beiderseits des Sprunges zuzuordnen.

Bisweilen lassen sich gewisse Wechselbeziehungen zwischen variscischer und Deckgebirgstektonik in den Seismogrammen beobachten. Versätze der

nicht immer deutlich abgebildeten Deckgebirgsbasis sind in den Ausbißbereichen des Halterner Sprunges, Eversumer Sprunges und Olfener Sprunges erkennbar. Weiterhin läßt sich der Olfener-Heide-Sprung nach der Auswertung von Seismogramm Olfen-West 27 bis ins Deckgebirge hinein verfolgen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die kombinierte Analyse der tektonischen Bohrergebnisse und der Seismogramme der Faltenbau sowie der Störungsverlauf ohne Schwierigkeiten und plausibel konstruiert werden können (Abb. 2, S. 42 und Taf. 1).

3.4. Einengungstektonik

Westlich des dargestellten Arbeitsgebietes, etwa 6 km westlich des Halterner Sprunges, entwickelt sich die Lüdinghausener Hauptmulde aus dem Vestischen Hauptsattel (LAUTSCH 1977). In diesem Übergangsbereich lassen sich zwischen Auguste-Victoria-Hauptsattel und Blumenthal-Hauptsattel von Norden nach Süden folgende Spezialsättel und -mulden unterscheiden (BORNEMANN 1980): Lenkerbecker Mulde, Lenkerbecker Sattel, Nördliche Westerholter Mulde, Nördlicher Westerholter Sattel, Südliche Westerholter Mulde, Südlicher Westerholter Sattel und Schlägel-&-Eisen-Mulde. Von diesen streichenden Strukturen erreichen lediglich Lenkerbecker Mulde und Sattel sowie Nördliche Westerholter Mulde und Sattel den Halterner Sprung.

Die Südliche Westerholter Mulde, der Südliche Westerholter Sattel und die Schlägel-&-Eisen-Mulde enden am Speckhorner Sprung. Mit Auslaufen dieser drei Spezialfalten entwickelt sich nach Nordosten hin die charakteristische Trogform der Lüdinghausener Hauptmulde.

Für die tektonische Projektion maßgebend waren bergbauliche Aufschlüsse der Abbauzone westlich des Halterner Sprunges. Es handelt sich um den 1982 aufgefahrenen Verbindungsquerschlag zwischen Schacht General Blumenthal 8 und den Schächten Haltern 1 und 2 (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985) im Norden, im Süden um Abbaufelder und um die Querschläge 1 Ost und 2 Ost (Abbaugrundrisse sowie die Schnitte 102 und 104 der Zeche Haard). Der westlichste tektonische Schnitt (Taf. 1: Schnitt 6) zeigt im Norden eine Projektion der Aufschlüsse des Verbindungsquerschlages und folgt im Süden dem Querschlag 1 Ost der Zeche Haard.

Die Lüdinghausener Hauptmulde stellt sich im Planungsraum Olfen als weitgespannte und flachgelagerte Trogmulde mit zwei Spezialmulden dar, der Stever-Mulde und der Nördlichen Westerholter Mulde (Taf. 1: Schnitt 6 - 11). Hinzu kommen als streichende Elemente zwei Muldenumbiegungsachsen im Übergang zum Auguste-Victoria-Sattel im Norden und Blumenthal-Sattel im Süden sowie mehrere Überschiebungen, die sich im Nordwestteil der Lüdinghausener Hauptmulde konzentrieren (Taf. 1, Karte und Abb. 2, S. 42). Bei einem durchschnittlichen Achsialgefälle von 2 - 4 gon verbreitert sich die Lüdinghausener Hauptmulde deutlich nach Nordosten. Die generelle Streichrichtung der Faltenachsen wie Überschiebungen liegt bei 55 - 65 gon. Lediglich die Nördliche Westerholter Mulde, verknüpft mit der Dillermark-Überschiebung, streicht mit 75 gon etwas „flacher". Sie durchquert spitzwinklig den Zentralteil der Lüdinghausener Hauptmulde. Mit Erreichen der Eversumer Staffel wird sie als Muldentiefstes von der Stever-Mulde abgelöst, die zwischen Nordflügel und Zentralteil der Hauptmulde neu einsetzt. Beide Spezialmulden zeigen eine deutliche Südvergenz.

Insgesamt lassen sich vier Überschiebungssysteme unterscheiden, die sich im Nordteil der Hauptmulde ansiedeln (Abb. 2, S. 42). Zwei Südost fallenden Überschiebungssystemen im Norden, dem Auguste-Victoria-Wechsel und der St.-Johannes-Überschiebung, stehen zwei Nordwest fallende im Süden gegenüber, die Stever- und Dillermark-Überschiebung. Die Scheitellinie liegt etwa in der nördlichen Muldenumbiegung der Hauptmulde. Die beiden synthetischen Überschiebungen im Norden, der Auguste-Victoria-Wechsel und die St.-Johannes-Überschiebung, wurden im Verbindungsquerschlag zwischen Schacht General Blumenthal 8 und den Haltern-Schächten (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985) durchörtert. Sie sind mit einer Spezialfaltung, Lenkerbecker Sattel und Mulde, verknüpft.

Der Auguste-Victoria-Wechsel ist in streichender Fortsetzung nach Nordosten durch die Bohrungen Möllenwinkel 1 und Antrup 2 sowie durch Seismik bis zum Olfener-Heide-Sprung belegt (Taf. 1). Seine maximale bankrechte Schubweite erreicht er mit 160 m in der Bohrung Möllenwinkel 1.

Die Lenkerbecker Struktur ist östlich des Halterner Sprunges nur lückenhaft nachgewiesen. Deren Sattelstruktur wurde in den Bohrungen Schrammberg 2 (Taf. 1: Schnitt 7) und Stever 4 (Taf. 1: Schnitt 10) erbohrt. Aus der Bohrkernaufnahme und Auswertung der Dipmetermessung lassen sich mehrere Überschiebungen in dieser Struktur erkennen, von denen eine südfallende Überschiebung deutlich dominiert. Diese ist als die streichende Verlängerung der St.-Johannes-Überschiebung westlich des Halterner Sprunges (Taf. 1: Schnitt 6) anzusehen. Wahrscheinlich löst die St.-Johannes-Überschiebung die Lenkerbecker Struktur zwischen den Bohrungen Schrammberg 2 und Stever 4 (Taf. 1: Schnitt 9) lokal ab. In der Bohrung Hullern 2 erreicht sie ihren maximalen bankrechten Verwurf von 120 m, der mit Wiederauftauchen der Lenkerbecker Struktur in der Bohrung Stever 4 auf 16 m reduziert wird. Fischschwanz-Strukturen (DROZDZEWSKI 1980) sind nicht selten, bedingt durch kleine antithetische Begleitüberschiebungen wie etwa in der Bohrung Hullern 2. Östlich des Olfener-Heide-Sprunges dürfte sich die St.-Johannes-Überschiebung in den Bohrungen Hemig 2, Hemig 1 und Reckelsumer Heide 1 (Taf. 1: Schnitt 11) wiederfinden. Demgegenüber enden Lenkerbecker Struktur sowie auch der Auguste-Victoria-Wechsel am Olfener-Heide-Sprung im Niveau von Flöz Karl oder klingen aus. Östlich des Olfener-Heide-Sprunges ist der Nordwestflügel der Lüdinghausener Hauptmulde nördlich der Linie Hemig 1 - Reckelsumer Heide 1 deutlich verflacht und „geglättet" (Taf. 1: Schnitt 11).

Bei der streichenden Verbindung der in den einzelnen Bohrungen nachgewiesenen Überschiebungen sind alternative Deutungen möglich. Der hohe bankrechte Verwurfsbetrag von 120 m in der Bohrung Hullern 2 verführt dazu, diese Überschiebung dem Auguste-Victoria-Wechsel gleichzusetzen. Dagegen spricht, daß die Hullern-2-Überschiebung auf der streichenden Verbindung der beiden Bohrungen Schrammberg 2 und Stever 4 liegt. Auch läßt sich in der Seismik Olfen-West (Prof. 30) eine zweite, weiter nördlich gelegene Überschiebungszone erkennen, die eher dem Auguste-Victoria-Wechsel entsprechen dürfte.

Eine weitere Alternative bietet sich an, wenn man die berechtigte Frage stellt, warum der Auguste-Victoria-Wechsel nicht an den Auguste-Victoria-Sattel geknüpft bleibt, der weiter nördlich zu suchen ist: Der Auguste-Victoria-Wechsel folge dem Divergenztrend nach Nordosten, sichtbar in der „steilen

Streichrichtung" um die Bohrung Hullern 1 (Taf. 1), und sei durch die bisherige Exploration nicht erfaßt worden. Die Konsequenz wäre, daß die in der Bohrung Antrup 2 angetroffene Überschiebung (Taf. 1: Schnitt 9) nicht dem Auguste-Victoria-Wechsel entspricht, sondern als eine neue Überschiebung zwischen dem Auguste-Victoria-Wechsel und der St.-Johannes-Überschiebung fiederförmig aufreißt. Gegen diese Version spricht, daß die sicher als Auguste-Victoria-Wechsel erkannte Überschiebung in der Bohrung Möllenwinkel 1 wahrscheinlich mit der in Bohrung Antrup 2 identisch ist.

Die antithetische Stever-Überschiebung tritt erst östlich des Halterner Sprunges neu auf. Sie entwickelt sich aus einem weitgefächerten Bündel von mindestens vier parallelen Überschiebungen, sicher nachgewiesen in den Bohrungen Westleven 3 (Taf. 1: Schnitt 9) und Kökelsumer Heide 1. Weiter östlich ist sie im Bereich der Bohrung Stever 2 durch ein eng gebündeltes Überschiebungspaar mit einer Schubweite von insgesamt 32 m nachgewiesen. Möglicherweise quert der Hauptast auch den Olfener-Heide-Sprung, wenn man annimmt, daß dessen Niveau durch die Explorationsbohrungen östlich des Sprunges nicht erreicht wurde. Erbohrt ist lediglich in den Bohrungen Hemig 2 und Reckelsumer Heide 2 (Taf. 1: Schnitt 11) eine Fischschwanz-Struktur, die als „Relikt" des Stever-Überschiebungssystems die St.-Johannes-Überschiebung weiter nach Nordosten begleitet.

Die Stever-Mulde entwickelt sich aus einer Schleppfaltung im Liegenden der Stever-Überschiebung, erstmalig erbohrt in der Bohrung Antrup 1. Nach Nordosten tieft sie sich stark ein und löst die Nördliche Westerholter Mulde als Hauptmulden-Tiefstes ab.

Generell läßt sich festhalten, daß sich mit der abnehmenden Überschiebungsintensität nach Nordosten die Hauptmuldennordflanke aufgliedert in einen steileren Südteil, die Nordflanke der Stever-Mulde, und einen flacheren Nordteil. Im Nordteil entwickelt sich der Lenkerbecker Sattel zu einer langgezogenen Kofferstruktur (Taf. 1: Schnitt 11). Mit einer schwachen Einmuldung unterhalb der St.-Johannes-Überschiebung (Taf. 1: Schnitt 10) verbreitert sich gleichzeitig die Lenkerbecker Mulde (Taf. 1: Schnitt 11). Die Lenkerbecker Struktur steht hier nicht mehr im Steilanstieg zum Auguste-Victoria-Hauptsattel (vgl. Taf. 1: Schnitt 7). Ob in nordwestlicher Fortsetzung des Schnittes 11 solch ein Steilanstieg noch zu erwarten ist, läßt sich zur Zeit aufgrund der Aufschlußverhältnisse nicht entscheiden.

Die weiter südlich gelegene antithetische Dillermark-Überschiebung steht mit ihrer Wurzelzone noch im Nordflügel der Lüdinghausener Hauptmulde. Eine maximale bankrechte Schubweite wurde in der Bohrung Gerneberg 2 mit fast 50 m erbohrt (Taf. 1: Schnitt 7). Mit Eintritt in die Südflanke verliert die Dillermark-Überschiebung deutlich an Schubweite und klingt aus.

Es läßt sich schwer entscheiden, ob sich die Nördliche Westerholter Mulde im Liegenden der Überschiebung als Rund- oder Spitzfalte zur Tiefe entwickelt. Das Bohrergebnis von Ahsen 3 spricht mehr für eine Spitzfaltenbildung mit erheblichem Tiefgang (Taf. 1: Schnitt 9). In Richtung des variscischen Streichens sind Mulde und Überschiebung durchgehend von der Bohrung Dillermark 2 im Westen bis zur Bohrung Stever 1 im Osten gut belegt. Im Bereich der Olfener Staffel scheinen beide Strukturen auszuklingen (Taf. 1: Schnitt 11).

Hervorzuheben ist, daß die Südflanke der Hauptmulde fast überhaupt keine Spezialfaltung oder Überschiebungstektonik aufweist (vgl. Abb. 2, S. 42).

Der Effekt der vertikalen Stockwerkstektonik (vgl. DROZDZEWSKI 1980) wird in fast allen tektonischen Querschnitten (Taf. 1: Schnitt 7 - 11) deutlich sichtbar. Die hangende Schichtenfolge, Horster sowie Obere und Mittlere Essener Schichten, zeigt eine schwache weitspannige Faltung und wird kaum von Überschiebungen berührt. Die liegende Abfolge, Untere Essener sowie Obere Bochumer Schichten, wird von mehreren Überschiebungen, wie zum Beispiel der Stever- und Dillermark-Überschiebung, erfaßt, die in dem stratigraphischen Niveau der Mittleren Bochumer Schichten ausklingen. Mit deren Ausklingen setzt in den Mittleren Bochumer Schichten zur Teufe hin eine Spezialfaltung ein, deutlich dokumentiert in der Stever- und Nördlichen Westerholter Mulde.

Im Gegensatz dazu läßt sich feststellen, daß der streichende Wechsel von Überschiebungs- zu Faltentektonik nach Nordosten weniger ein Effekt vertikaler Stockwerkstektonik, sondern eine laterale Änderung ist. Mit dem allmählichen Verschwinden der Überschiebungen verstärkt sich der Trogmuldencharakter der Hauptmulde deutlich (vgl. Abb. 2, S. 42).

Eine Aussage über die Wechselbeziehung zwischen Faltung und Querstörung, das heißt eine Prägung früh angelegter Querstörungen durch die Faltung, läßt sich aufgrund der flachen Schichtenlagerung und der geringen Verwurfsbeträge nicht machen. Auffallend ist allein die Faltenentwicklung im Raum Stimberg-Blatt - Halterner Sprung: im Westen ein flacher, welliger Muldenanstieg zum Blumenthal-Hauptsattel (Taf. 1: Schnitt 6), im Osten ein steiler Anstieg (Taf. 1: Schnitt 7). So lassen die Streichkurven der Strukturkarte (Taf. 1) eine stärkere, erstaunlicherweise fast bruchlose Einsenkung östlich des Halterner Sprunges erkennen. Wenn man davon ausgeht, daß diese lokale Achsendepression dem Aufreißen der Querstörungen vorausging (vgl. DROZDZEWSKI 1980), kann man vermuten, daß der Halterner Sprung schon während der Faltung angelegt wurde. Bemerkenswert ist, daß er bis in postvariscische Zeit als Umkehrverwerfer in den Deckgebirgsschichten nachweisbar ist.

3.5. Dehnungstektonik

Durch eine intensive Dehnungstektonik wird die Lüdinghausener Hauptmulde in ein Schollenmosaik zerlegt. Von Westen nach Osten lassen sich folgende Bruchschollen unterscheiden, die wiederum durch kleinere Störungen untergliedert sind:

- Staffelzone westlich des Halterner Sprunges
- Grabenscholle zwischen Halterner und Waltroper Sprung
- Horstscholle zwischen Waltroper und Westlevener Sprung
- Eversumer Staffel-Zone
- Horstscholle zwischen Eversumer Staffel und Olfener Staffel
- Olfener Staffel mit Olfener-Heide- und Olfener Sprung

In der Staffelzone westlich des Halterner Sprunges sind die Störungsverhältnisse im Zentralteil der Lüdinghausener Hauptmulde durch den Abbau in Flöz Karl und Robert gut bekannt. Es zeigt sich eine Nordwest gerichtete, staffelförmige Absenkung zu einer schmalen Grabenzone (Taf. 1: Schnitt B), die nach Norden spitzwinklig auf den Halterner Sprung zuläuft.

Die Grabenscholle zwischen Halterner und Waltroper Sprung ist wieder in sich zerlegt in zwei Teilgrabenschollen mit einer zentralen Horstscholle. Letztere, durch den Gerneberg-Sprung im Westen und einen unbenannten Sprung im Osten begrenzt, zeichnet sich durch ihr abweichendes Axialgefälle nach Südwesten aus. Mit deren „Normalisierung", das heißt Schollenkippung nach Nordosten, erhöht sich nordwärts der Vertikalverwurf des Gerneberg-Sprunges auf t ~ 100 m und klingt der horstbegrenzende Sprung im Osten aus. Demnach läuft der Gerneberg-Sprung nach Süden aus und ist nicht die Verlängerung des Achenbach-Sprunges, wie ursprünglich angenommen.

Die Ostbegrenzung der Grabenscholle, der Südwest fallende Waltroper Sprung, wurde mit einem Vertikalverwurf von t ~ 135 m in der Bohrung Schorfheide 2 durchörtert. Mit weiteren Eintritt in die Lüdinghausener Hauptmulde steigt der Sprungbetrag auf t ~ 200 m an, wie in Bohrung Schorfheide 1 nachgewiesen wurde. Nach Norden spaltet der Waltroper Sprung allmählich auf (Prof. 28 der Seismik Olfen-West 1979). In der Bohrung Ahsen 2 wurde nur noch ein Nebenast der breiter gewordenen Störungszone angetroffen. Nördlich der Dillermark-Überschiebung gabelt sich der Waltroper Sprung schließlich in zwei Äste auf. Der westliche Ast setzt sich in Nordwest-Richtung fort und läßt sich noch im Profil 27 der Seismik Olfen-West 1979 belegen. Der östliche, fast Nord – Süd streichende Ast ist in der Bohrung Westleven 2 mit t ~ 60 m nachgewiesen und klingt nördlich der Bohrung Westleven 3 aus (Taf. 1).

Die räumliche Lage des Westlevener Sprunges, der mit dem Waltroper Sprung einen Horst begrenzt, ist recht gut durch Bohrungen fixiert: Seine Sprunghöhe wächst stetig in nördlicher Richtung an. Während er in den Bohrungen Vogelsang 3 und Vogelsang 2 nur mit einem Vertikalverwurf von t ~ 5 m angetroffen wurde, zeigt er sich in der Bohrung Vogelsang 1 mit t ~ 20 m und schließlich in der Bohrung Westleven 3 mit t ~ 45 m. Die Konstanz und weite streichende Erstreckung des Westlevener Sprunges im Vergleich mit den Nachbarstörungen spricht für sein relativ junges Alter. Hieraus läßt sich eventuell folgern, daß der östliche Ast des Waltroper Sprunges durch den Westlevener Sprung versetzt wird. Insgesamt gesehen zeigt die Horstscholle zwischen Waltroper Sprung und Westlevener Sprung ein leichtes Nordostgefälle, das sich mit Annäherung an den Waltroper Sprung durch schwache Anschleppung in Südwest-Richtung umkehrt (Taf. 1: Schnitt B). Im Norden wird ein Grabenteil durch den östlichen Ast des Waltroper Sprunges abgetrennt, in dem stärkeres Achsengefälle nach Nordosten gegeben ist.

Die nordöstlich folgenden Sprünge lassen sich zu der sogenannten Eversumer Staffel zusammenfassen. Das Einfallen ist nach Südwesten gerichtet. Von einem Hauptast, dem Eversumer Sprung, zweigen drei Äste, darunter der Antruper Sprung, fiederartig ab. Sie schließen stärker gekippte Bruchschollen ein (Taf. 1). Für den Eversumer Sprung ergibt sich nach der Flözrißkonstruktion ein maximaler Verwurfsbetrag von ca. 150 m im Süden. Möglicherweise ist er die streichende Fortsetzung des von Süden kommenden Waltroper Wassersprunges.

Östlich der Eversumer Staffel schließt sich eine 1,5 km breite, wohl ungestörte Horstscholle an, die im Osten durch den Olfener-Heide-Sprung begrenzt wird. Es läßt sich lediglich eine kleine, Nordost fallende Störung durch die Seismik Olfen-Ost 1981 belegen. Sie quert die Stever-Mulde bei der Bohrung Stever 3 (Taf. 1).

Im Osten der Horstscholle treten zwei miteinander verbundene Störungssysteme auf, das des Olfener Sprunges und das des Olfener-Heide-Sprunges. In dieser als Olfener Staffel bezeichneten Zone sind die Bruchschollen ostwärts abgesunken.

Der Hauptast des Olfener-Heide-Sprunges erreicht im Zentralteil der Hauptmulde einen Wert von t ~ 180 m. In der Bohrung Kökelsum 1 wurde ein Schichtenausfall von 155 m festgestellt. Südwärts fächert er in vier Teiläste auf, die eine Grabenzone einschließen. Zwei Nordost fallenden Ästen stehen zwei Südwest fallende Sprünge gegenüber. Möglicherweise lassen sich die beiden letzten Teiläste mit dem Borker Sprung verbinden, der von Süden her in die Hauptmulde eintritt.

Der im Süden deutlich gebündelte Olfener Sprung mit einem maximalen Gesamtverwurf von ca. 400 m fasert nach Norden in mindestens drei Teiläste auf (Taf. 1). Aus Detailbeobachtungen bei der Bohrkernbearbeitung sowie aus regionaltektonischer Sicht haben hier neben Vertikal- auch Horizontalbewegungen stattgefunden. Die Ostscholle wurde dabei längs Schrägabschiebungen und Blattverschiebungen relativ nach Süden bewegt, wie auch das Blockbild (Abb. 2, S. 42) deutlich zeigt. Der Hauptabriß zeigt sich am westlichsten Störungsast, der sich im Anstieg zum Auguste-Victoria-Sattel mit dem Olfener-Heide-Sprung vereinigt.

4. Schriftenverzeichnis

BORNEMANN, O. (1980): Tiefentektonik der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 173 - 191, 2 Abb., 9 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

BORNEMANN, O., & JUCH, D. (1979): Tektonische Auswertungen von seismischen Profilen und Bohrungen im Ruhrkarbon. - Z. dt. geol. Ges., **130**: 77 - 91, 17 Abb.; Hannover.

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**: 51 - 88, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

LAUTSCH, H. (1977): Tektonische Grundbereiche als Grundlage für die lagerstättenkuandliche Beurteilung und für die bergbauliche Planung im Ruhrkarbon. - Glückauf, **113** (14): 712 - 717, 11 Abb.; Essen.

PRAKLA GmbH (1958): Bericht über reflexionsseismische Messungen im Gebiet Emscher-Lippe-Nordfeld. - PRAKLA, Nr. 58 045: 7 S.; Hannover. - [Unveröff.]

- (1969): Bericht „Datteln 1968" über reflexionsseismische Messungen im Gebiet Emscher-Lippe-Nordfeld an der Haard. - PRAKLA, Nr. 68 248: 22 S.; Hannover. - [Unveröff.]

PRAKLA-SEISMOS GmbH (1971): Bericht „An der Haard 1971" über die reflexionsseismischen Messungen im Arbeitsgebiet An der Haard. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 716 001: 22 S.; Hannover. - [Unveröff.]

- (1976): Bericht „An der Haard 1975" über die Auswertung reflexionsseismischer Messungen. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 750 019/4: 29 S.; Hannover. - [Unveröff.]

- (1977): Bericht „Hohemark 1977" über reflexionsseismische Messungen im Gebiet der Hohen Mark. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 770 010/0: 24 S.; Hannover. - [Unveröff.]

- (1980 a): Bericht „Hohemark 1979" über die Auswertung reflexionsseismischer Messungen in den Grubenfeldern Auguste-Victoria, Hohemark und Wulfen VI. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 790 051/4: 17 S.; Hannover. - [Unveröff.]

- (1980 b): Bericht „Olfen-West 1979" über die Auswertung reflexionsseismischer Messungen im Gebiet Olfen-West. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 790 053/4: 19 S.; Hannover. - [Unveröff.]
- (1982): Bericht „Olfen-Ost 1981" über die Auswertung reflexionsseismischer Messungen im Gebiet Olfen Ost. - PRAKLA-SEISMOS, Nr. 810 031/4: 18 S.; Hannover. - [Unveröff.]

STEUERWALD, K. (1983): Strukturgeologische Bearbeitung der Lippemulde im Planungsraum „Hohemark". - 22 S., 2 Tab., 11 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

WOLFF, M. (1983): Der tektonische Bau der Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Halterner und Olfener Sprung. - 16 S., 2 Tab., 13 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

Eingang des Manuskriptes: 9. 4. 1984

Tafel 1 in der Anlage

Tektonischer Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde

Plate 1 in the annex

Tectonic structure of the Lippe and Lüdinghausen synclinorium

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	51 - 88, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.	Krefeld, März 1985

Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon)

Von GÜNTER DROZDZEWSKI, RALF HEWIG und ANGELIKA VIETH-REDEMANN *

Upper Carboniferous, hard coal, tectonic structure, normal fault, folded overthrust, pit section, borehole survey, coalification, Rhenish-Westphalian basin (Auguste Victoria anticline), Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Bei der Auffahrung einer Ausrichtungsstrecke vom Bergwerk General Blumenthal in das Feld Haltern wurde das gesamte Auguste-Victoria-Antiklinorium innerhalb der Wittener und Bochumer Schichten (Westfal A) durchquert. Eine geologisch-tektonische Bearbeitung, deren Methodik erläutert wird, ergab gegenüber bisher bekannten Aufschlüssen eine vielfältigere Überschiebungstektonik. Über die regionalen Zusammenhänge der Bruchtektonik wurden neue Erkenntnisse gewonnen. Die Ergebnisse sind im Grundriß, Quer- und Längsschnitten sowie Schichtenschnitten dargestellt worden. Eine umfassende Analyse von Flözproben ermöglichte Aussagen zu dem regionalen Inkohlungsbild dieses nördlichen Bereiches des Ruhrreviers.

[Structure and coalification of the Auguste Victoria anticlinorium near Haltern (Northern Ruhr-Carboniferous)]

Abstract: The tunnelling of a cross-cut from the General Blumenthal mine to the Haltern coalfield exposed the entire Auguste Victoria anticlinorium within the Witten and Bochum beds (Westphal A). A geological and tectonical survey, of which the methods are explained, showed complex overthrust-tectonics. New perceptions concerning the regional dip-fault system were gained. The results are presented by a horizontal plan, axial and cross-sections as well as by stratigraphical profiles. An entire analysis of coal samples allowed a statement about the regional coalification in this northern part of the Ruhr coal district.

[La structure et la carbonification de l'anticlinorium d'Auguste-Victoria près de Haltern (Carbonifère de la Ruhr du Nord)]

Résumé: Le traçage d'un travers-banc du charbonnage «General Blumenthal» vers le district houiller de Haltern exposait tout l'anticlinorium d'Auguste-Victoria au-dedans des couche de Witten et Bochum (Westphalien A). Des récherches sur la géologie et la tectonique, dont la méthodologie est expliquées, ont prouvé une tectonique de plissement et charriage complexe. En outre, on a gagné connaissance nouvelle de la tectonique régionale des failles normales. Les résultats sont présentés au moyen d'un plan horizontal, des sections transversales et longitudinales ainsi que des profils stratigraphiques. Beaucoup des analyses des échantillons des veines fournissaient des informations sur la carbonification régionale de cette territoire au nord du Carbonifère de la Ruhr.

* Anschrift der Autoren: Dr. G. DROZDZEWSKI, Dipl.-Geol. R. HEWIG und Dipl.-Geol. A. VIETH-REDEMANN, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

1. Einleitung

Die Zeche General Blumenthal der Ruhrkohle AG betreibt seit 1980 intensive Maßnahmen zur bergmännischen Erschließung der Kohlenvorräte im Haltern-Feld. Gleichzeitig mit dem Abteufen der Schächte Haltern 1 und 2 wurde vom Schacht 8 auf der 10. Sohle (– 1 020 m NN) ein Ausrichtungsquerschlag nach Norden vorgetrieben (Abb. 1). Die über 8 km lange Strecke wurde mit einer Robbins-Vollschnittmaschine aufgefahren (HEIDELBACH 1982). Zusätzlich wurde eine Strecke auf der Mergelsohle von Grubenbauen der Zeche Auguste Victoria zu den Haltern-Schächten konventionell vorgetrieben.

Der bergmännischen Erschließung ging eine Explorationsphase voraus, in der seismische Untersuchungen durchgeführt und nachfolgend mehrere Tiefbohrungen abgeteuft wurden. Hierbei wurden die Bohrungen auch tektonisch intensiv bearbeitet und anschließend regionaltektonisch ausgewertet BORNEMANN 1980).

Die Streckenauffahrungen boten nun die Gelegenheit, einen zusammenhängenden Aufschluß durch das Auguste-Victoria-Antiklinorium geologisch aufzunehmen, strukturell auszuwerten und mit den aufgrund der Tiefbohrungen erzielten Ergebnissen zu vergleichen. Zusätzlich wurden alle Flöze des Querschlags auf der 10. Sohle kohlenpetrologisch untersucht und im Hinblick auf das Inkohlungsverhalten in den verschiedenen Faltenstrukturen ausgewertet.

Da die komplizierten tektonischen Verhältnisse im Kern des Auguste-Victoria-Sattels im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht erschöpfend geklärt werden konnten, wurde eine spezielle geologische Aufnahme dieses Bereiches angeregt, über deren Ergebnisse FLACHE (1985) berichtet.

Darüber hinaus beschreiben STEUERWALD & WOLFF (1985) die Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde, die räumlich jeweils direkt im Norden und Süden an das Auguste-Victoria-Antiklinorium angrenzen.

Für freundlich gewährte Unterstützung sei Markscheider Prof. Dr.-Ing. H. LAUTSCH und Markscheider Dipl.-Ing. H. FRISCH (Bergwerk General Blumenthal der Bergbau AG Lippe) sowie ihren Mitarbeitern herzlich gedankt.

Im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen bearbeiteten Dr. E. PAPROTH die Makrofauna und Dr. W. KNAUFF die Mikrofauna, Dr. G. STADLER untersuchte die Kaolin-Kohlentonsteine und erste Flözproben. Von ihm ging die Anregung zur kohlenpetrologischen Bearbeitung der gesamten im Querschlag erschlossenen Flözfolge aus. Den genannten Kollegen möchten wir an dieser Stelle unseren Dank aussprechen.

2. Strukturgeologie (G. DROZDZEWSKI & R. HEWIG)

2.1. Untersuchungsmethoden und Problemstellung

Während die eingangs erwähnten seismischen Untersuchungen im Explorationsraum Haard/Haltern lediglich Hinweise auf die möglichen Lagerungsformen gaben, führten die Tiefbohrungen – nicht zuletzt aufgrund ihrer intensiven geologischen Bearbeitung – zu konkreten Ergebnissen. Im folgenden wird daher das Hauptaugenmerk auf die strukturelle Bearbeitung der Tiefbohrungen sowie der anschließenden Streckenauffahrungen gerichtet.

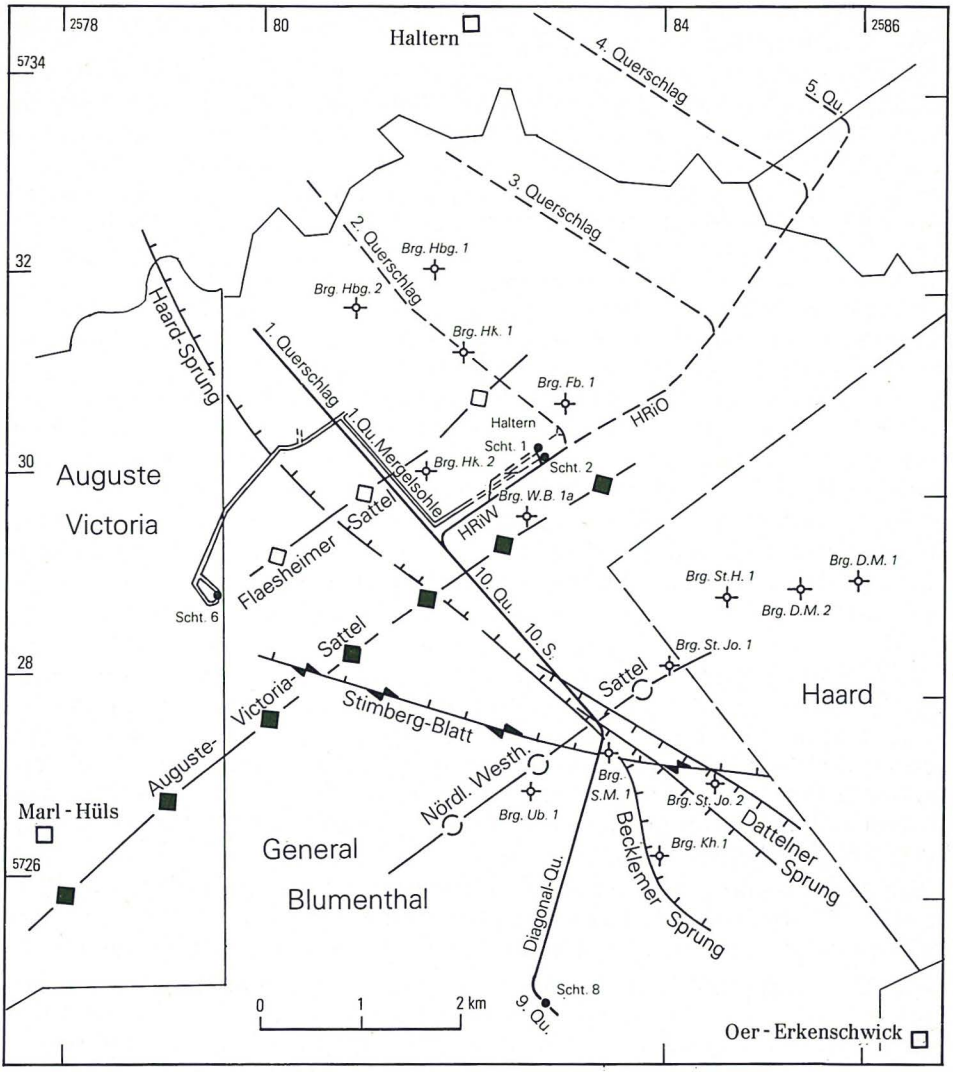


Abb. 1 Übersichtsplan der bergbaulichen Erschließung des Haltern-Feldes (General Blumenthal)

Fig. 1 Areal map of mine development within the Haltern coalfield (General Blumenthal mine)

Im Jahre 1975 begann die Bergbau AG Lippe der Ruhrkohle AG mit dem Abteufen mehrerer Tiefbohrungen beiderseits des Auguste-Victoria-Sattels (KLINGE 1980). Südlich des Sattels stehen im Feld An der Haard die Bohrungen Uhlenbrock 1 (1976), Sinser Mähre 1 (1975), St. Johannes 1 (1976) und St. Johannes 2 (1979), Kalfhaus 1 (1979) und Steinegger Heide 1 (1977) sowie Diller Mark 1 (1975) und Diller Mark 2 (1979). Nördlich des Sattels stehen im Feld Haltern die Bohrungen Weseler Berge 1/1 a (1976), Finkenberg 1 (1976)

und Haltern 13 (1978), Holtkamp 1 (1975), Holtkamp 2 (1976) sowie Hammerberg 1 (1975) und Hammerberg 2 (1978).

Die meisten Bohrungen wiesen tektonische Komplikationen in Form von Schichtenverbiegungen und Störungen auf, die sich nur durch eine systematische Bearbeitung aufklären ließen. Daher wurden die Bohrkerne nicht allein stratigraphisch, sondern zusätzlich auch tektonisch aufgenommen und ausgewertet. Die Untersuchungsmethode, die schon wiederholt beschrieben wurde (BORNEMANN & JUCH 1979, DROZDZEWSKI 1980 a, KUNZ 1983) ist inzwischen Routine und wird seither bei allen Explorationsbohrungen angewendet. Sie besteht - ohne daß hier auf Details eingegangen werden soll - in einer vollständigen Aufnahme der Schichtung und ihrer Störungen am Kern und der anschließenden Auswertung unter Verwendung der geophysikalischen Dipmetermessungen. Auch ohne Kenntnis der genauen stratigraphischen Abfolge läßt sich der Störungstyp oft schon am Kern aufgrund der tektonischen Charakterisierung des Störungsgefüges angeben. So spricht ganz allgemein Fältelung im Bereich der Störung für Überschiebung, Brekziierung für Abschiebung. Weitere Kriterien geben zusätzlich Hinweise.

Die zusammenfassende Darstellung der Bohrung erfolgt im Quer- oder Längsschnitt im Maßstab 1 : 2 000 (vgl. Abb. 5, S. 61 und 8, S. 66). Wesentliche Daten für dessen Konstruktion sind die einheitlich auf die Schnittebene umgerechneten Einfallswerte der Flöze sowie die Lotabweichung der Bohrlochachse.

Ein wichtiges Konstruktionsprinzip für die Darstellung der Lagerungsverhältnisse außerhalb der Bohrlochachse ergibt sich daraus, daß im Ruhrkarbon die Schichtenmächtigkeiten durch die Faltung weitgehend unverändert blieben. Jede größere bruchlose Veränderung des Schichteneinfallens führt konsequenterweise zur Konstruktion von Faltenachsen- oder Umbiegungsachsenflächen, aus deren Lage sich dann der Faltenbau in der näheren Umgebung des Bohrloches ergibt.

Die Aussagekraft einer tektonisch bearbeiteten Bohrung soll kurz am Beispiel der Tiefbohrung Holtkamp 2 demonstriert werden, auf die weiter unten im Zusammenhang mit den Streckenauffahrungen noch eingegangen wird.

Die Bohrung steht dicht neben den später aufgefahrenen Strecken am Südrand der für den Kohlenabbau vorgesehenen flachen Lippe-Mulde. Während die Bohrung unter dem Deckgebirge zunächst nordfallende, wenn auch stärker gestörte Schichten antraf, so überraschte die Tatsache, daß schon nach 130 m die Schichten verflachten und südliches Einfallen annahmen. Die südliche Einfallsrichtung hielt über 300 m - mit Werten von 25 - 35 gon - bis zur Endteufe an. Obwohl im oberen Bohrungsabschnitt Überschiebungen auftreten, kam Schleppung als Ursache für die unerwartete Einfallsrichtung der Schichten nicht in Frage. Die Konstruktion des Faltenbaus ergab eindeutig, daß die Bohrung Holtkamp 2 auf dem Südflügel eines recht bedeutenden Sattels steht, der - inzwischen als Flaesheimer Sattel bezeichnet - im gesamten Haltern-Feld angenommen werden muß.

Andere wichtige Fragen, wie zum Beispiel die Fortsetzung der größeren Überschiebung zur Teufe, konnten nicht befriedigend gelöst werden. Aufgrund der Streckenauffahrung muß angenommen werden, daß die als Flaesheimer Überschiebung bezeichnete Störung den gesamten Flaesheimer Sattel durchsetzt. Desweiteren ließ sich die Einfallsrichtung der Abschiebungen in

der Bohrung Holtkamp 2 wegen der ungenügenden Auswertung der Dipmetermessung im Störungsbereich nicht sicher angeben. Wegen der hohen Anforderungen, die der heutige vollmechanisierte Kohlenabbau an die Aussagesicherheit der geologischen Prognosen stellt, ist aber die Klärung dieser und weiterer Fragen von großer Bedeutung (LAUTSCH 1977).

Zur Lösung solcher offenen Fragen kann die intensive geologische Bearbeitung der bergmännischen Streckenaufschlüsse wesentlich beitragen, wie am Beispiel der vorliegenden Arbeit gezeigt wird. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß bei der geologischen Streckenaufnahme die gleichen Maßstäbe angelegt werden, wie sie für Explorationsbohrungen gelten. Wie bei einer Bohrung sind detaillierte Gesteinsbeschreibungen, paläontologische und petrographische Untersuchungen der Leitschichten und Flöze sowie die Aufnahme der Raumlage von Schichten und Störungen und die Beschreibungen des jeweiligen Störungstyps erforderlich. Als zeichnerische Grundlage dient hierzu die kombinierte Sohle-Stoß-Darstellung im Maßstab 1:200. Grundsätzlich ist die Aufnahme und zeichnerische Wiedergabe beider Stöße notwendig. Bei dem gewählten Maßstab genügt es, wenn für die Darstellung der gewölbte Stoß als Ebene aufgefaßt wird.

Von Seiten der Zeche lag die routinemäßige Gebirgsschichtenaufnahme in idealisierten Schnitten vertikal und horizontal durch die Mittelachse der Strecke vor. Um die oben genannten Voraussetzungen für eine befriedigende stratigraphische und tektonische Auswertung zu schaffen, wurde eine Überarbeitung der noch zugänglichen Aufschlüsse auf der 10. Sohle von Station 2400-7150 m vorgenommen. Hierbei konnten eine größere Anzahl kennzeichnender konglomeratischer Sandsteine sowie zahlreiche Fossilhorizonte nachgewiesen werden (vgl. Taf. 1 u. 2 in der Anl.). Darüber hinaus wurden genauere Aufnahmen der Flözmächtigkeiten und Flözstrukturen vorgenommen. Verschiedene Störungen wurden zusätzlich gefunden und auf ihren Störungstyp hin näher untersucht.

Die Aufschlußverhältnisse in den durch Vollschnittmaschinen aufgefahrenen Strecken sind im Vergleich zu denen konventionell aufgefahrener Strecken ausgesprochen positiv zu beurteilen. Das anstehende Gebirge wird lediglich durch Stahlbögen in 0,75-1 m Abstand und Knotenverbundmatten mit 10 cm Maschenweite gesichert (vgl. Abb. 6, S. 63). So können auch zu einem späteren Zeitpunkt ohne Zeitdruck und sonstige widrige Umstände geologische Aufnahmen durchgeführt werden, während beim konventionellen Streckenvortrieb nur unmittelbar nach jedem Abschlag das Gebirge sichtbar ist und dann sogleich verbaut wird.

Der geologischen Aufnahme folgte die stratigraphische und tektonische Auswertung. Für die Wittener und Bochumer Schichten, die infolge der Tektonik in den Strecken teilweise mehrfach aufgeschlossen sind, wurden jeweils bankrechte Schichtenschnitte im Maßstab 1:1000 erstellt. Diese ließen sich mit Schichtenschnitten der Nachbarzechen und geeigneten, möglichst ungestörten Tiefbohrungen parallelisieren. Die Flözgleichstellungen sind im Maßstab 1:2000 in Tafel 1 und 2 (in der Anl.) wiedergegeben. Es zeigte sich, daß erhebliche fazielle Schwankungen auftreten können, welche die geologische Bearbeitung der Streckenaufschlüsse teilweise beträchtlich erschwert haben.

Die tektonische Auswertung erfolgte in den Maßstäben 1:2000 sowie 1:10000. Neben dem Grundriß (Abb. 2) im Niveau der 10. Sohle (-1020 m NN)

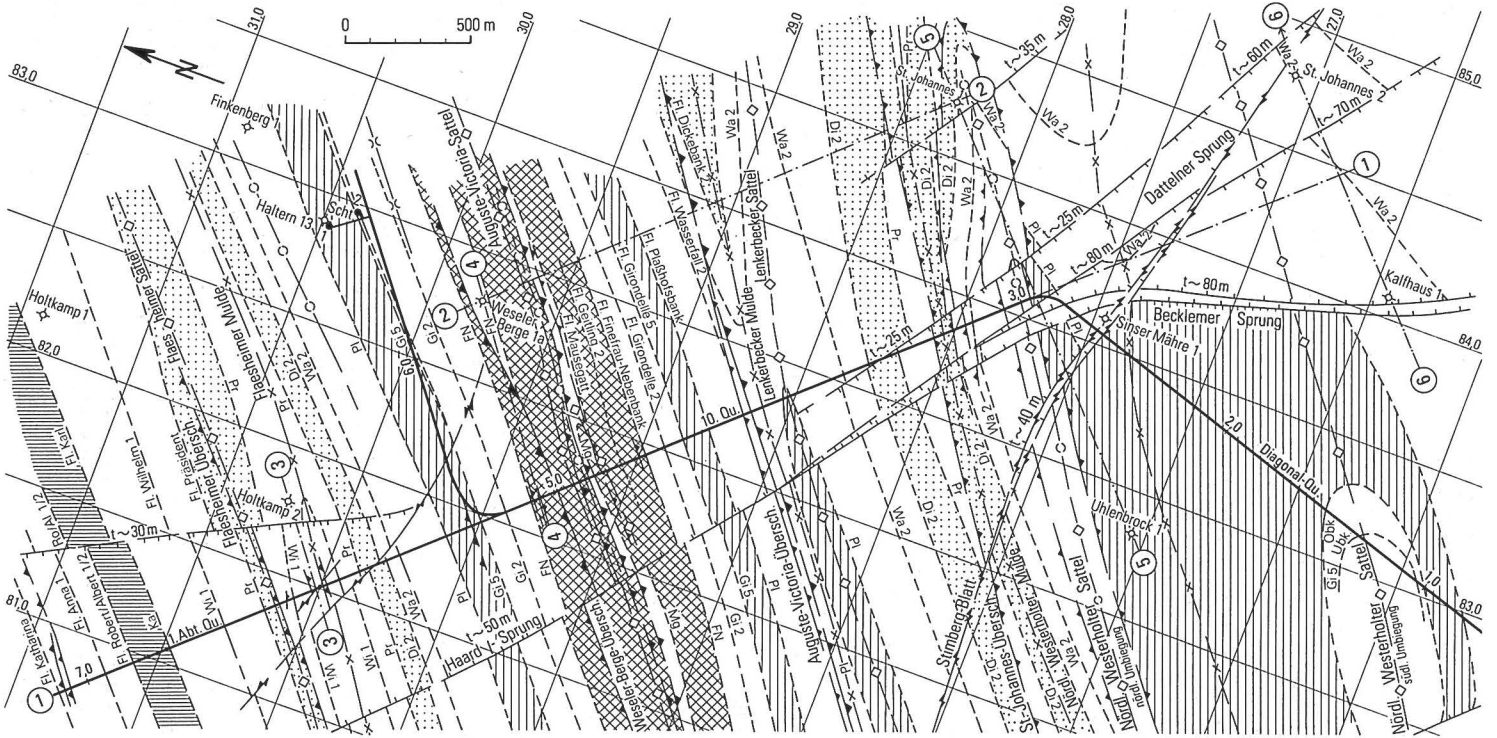


Abb. 2 Grundriß des bearbeiteten Bereiches im Niveau der 10. Sohle (–1020 m NN)
Fig. 2 Horizontal plan showing the investigated area at level 10 (–1020 m MSL)

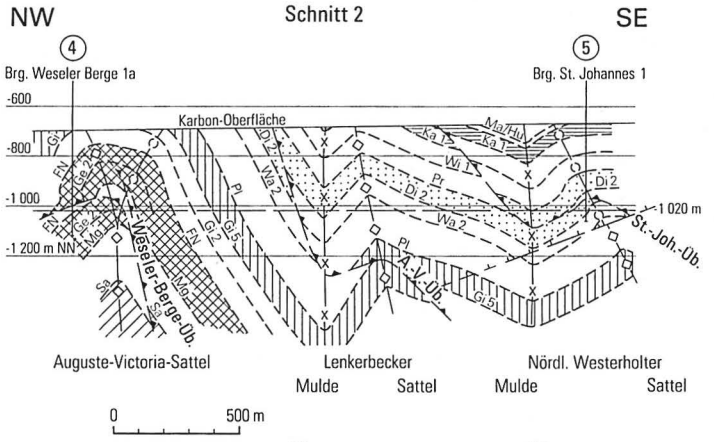
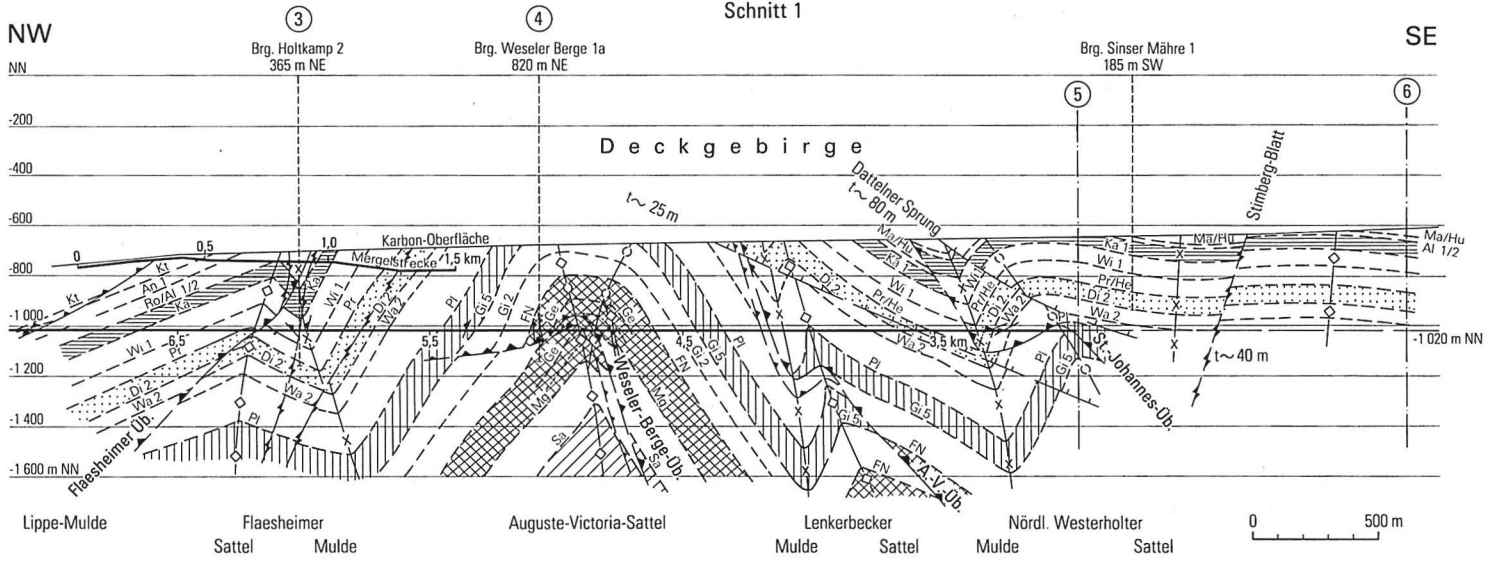


Abb. 4 (links) Querschnitt durch die Tiefbohrungen Weseler Berge 1a und St. Johannes 1

Fig. 4 (left) Cross-section with the boreholes Weseler Berge 1 a and St. Johannes 1

Abb. 3 (unten) Geologischer Schnitt durch die Verbindungsquerschläge nach den Schächten Haltern 1/2

Fig. 3 (below) Geological section of the connecting cross-cuts to the shafts Haltern 1 and 2



wurden Quer- und Längsschnitte konstruiert unter besonderer Beachtung der räumlichen Zusammenhänge und ihrer Gesetzmäßigkeiten (Prinzipien der tiefentektonischen und seitlichen Projektion).

2.2. Die durchörterten Schichten und großtektonischen Elemente

Die Strecke auf der 10. Sohle ist über 8 km lang. Sie verläuft vom Schacht 8 nach der ersten Kurve zunächst in Richtung Nordnordost etwa 3 km weit, schwenkt dann in Nordwestrichtung um bis kurz vor die Markscheide zu Auguste Victoria (vgl. Abb. 1, S. 53). Die Strecke durchquert 400 m nördlich des Schachtes 8 den Speckhorner Sprung und verläuft dann in den Oberen Wittener Schichten diagonal durch den flachen, kofferartigen Nördlichen Westerholter Sattel (Abb. 2).

Kurz vor der Umbiegung nach Nordwesten durchquert die Strecke das Stimberg-Blatt und den Becklemer Sprung, der auch in der ca. 60 m südöstlich liegenden Tiefbohrung Sinser Mähre 1 erfaßt worden ist. Im Kurvenbereich durchfährt die Strecke den Dattelner Sprung und verläuft dann in den steil einfallenden Unteren Bochumer Schichten. Der Nördliche Westerholter Sattel und die Nördliche Westerholter Mulde sind von Störungsbahnen einer mitgefalteten Überschiebung durchsetzt (Abb. 3). Es folgen der Lenkerbecker Sattel und die Lenkerbecker Mulde mit der Auguste-Victoria-Überschiebung. Im anschließenden Auguste-Victoria-Sattel sind die Oberen Wittener Schichten und teilweise die Unteren Wittener Schichten an beiden Flanken aufgeschlossen. Auch dort tritt - besonders im Sattelkern - intensive Überschiebungstektonik auf. Die Strecke durchquert weiter Flaesheimer Mulde und Sattel in den Mittleren Bochumer Schichten und läuft bis zum Ende in der flach nach Nordwesten geneigten Flanke der Lippe-Mulde in den Oberen Bochumer und dann in den Essener Schichten.

In den Abbildungen 2 und 3 sind an der Strecke ausgehend vom Schacht 8 die Stationskilometer abgetragen.

2.3. Stratigraphie

Zur tektonischen Analyse, besonders zur Ermittlung von Verwurfsbeträgen an Störungen, war eine genaue stratigraphische Zuordnung der durchörterten Schichten unerläßlich. Die lithologischen Streckenaufnahmen wurden daher in bankrechte Säulenprofile umgesetzt, ergänzt durch paläontologische und kohlenpetroglogische Untersuchungsergebnisse, um bessere Vergleiche mit benachbarten Aufschlüssen sowie einzelner Streckenabschnitte untereinander zu ermöglichen. Daraus resultierten die parallelisierten Schichtenschnitte der Tafeln 1 und 2 (in der Anl.). Nachfolgend soll nur auf einige stratigraphische Besonderheiten oder Probleme hingewiesen werden.

2.3.1. Wittener Schichten (Taf. 1)

Besonders auffällig ist der Mächtigkeitsunterschied der Oberen Wittener Schichten auf den beiden Flanken des Auguste-Victoria-Sattels. Während der bankrechte Abstand von Flöz Finefrau-Nebenbank bis Flöz Plaßhofsbank auf der Südflanke etwa 245 m beträgt, wächst er auf der Nordseite auf ca. 300 m an, weil der Schieferton im Hangenden von Flöz Finefrau-Nebenbank erheblich zugenommen hat, obwohl der laterale Abstand (über den Sattel gemessen)

nur etwa 900 m beträgt. Da im entsprechenden Bereich aber keine tektonischen Störungen nachgewiesen werden konnten, muß also eine sedimentäre Ursache vorliegen.

Die Gleichstellung der Finefrau-Flöze (incl. Finefrau-Nebenbank) ist problematisch, da auf beiden Seiten des Sattels Überschiebungen die Schichtenfolge teilweise erheblich gestört haben. Auf der Südflanke scheint die normale Abfolge aus drei Flözen zu bestehen.

Auf der Nordseite treten aber durch Verdoppelung an Überschiebungen fünf Flöze auf. Ob hier primär vier oder drei Flöze vorliegen, ist nicht eindeutig geklärt. Die Bohrung Weseler Berge 1 a traf infolge einer Überschiebung die Flözpartie zweimal an; dabei konnten einmal drei und einmal vier Flöze gekernt werden. Auf der Zeche Auguste Victoria sind vier Flöze (mit Finefrau-Nebenbank) auf beiden Sattelflanken bekannt, wobei BAUER (1962) in seinem Schichtenschnitt eine Aufspaltung von Flöz Finefrau-Nebenbank angibt (Taf. 1: Säule 1). Aufgrund der Bohrung Weseler Berge 1 a und den Streckenaufnahmen scheint hier jedoch teilweise eine Aufspaltung von Flöz Finefrau 1 in Oberbank und Unterbank vorzuliegen. Im Südosten, im Bereich der Bergwerke General Blumenthal und Haard, sind die Finefrau-Flöze zu einem Flöz von über 2 m Mächtigkeit geschart.

Flöz Finefrau-Nebenbank ist beide Male in der Strecke durch marine Fauna belegt. Ebenso ist Flöz Kreftenscheer 3 auf der Südflanke durch den Fund einer *Lingula mytilloides* SOWERBY und durch Mikrofauna belegt.

In Kohlenproben des Flözes Girondelle 5 Obk wurde vom Hauptlaboratorium der Bergbau AG Lippe und vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen ein Kaolin-Kohlentonstein von 0,5 und 0,15 cm Mächtigkeit nachgewiesen, der etwa 0,5 m unterhalb der Hangendgrenze des Flözes liegt. Die Fundpunkte liegen bei Station 4 443 m (R 25 82 571, H 57 28 846) und in der Hauptrichtstrecke nahe den Haltern-Schächten bei Station 6 970 m (R 25 83 230, H 57 30 580). Damit hat sich erstmals im Flöz Girondelle 5 ein Kaolin-Kohlentonstein nachweisen lassen (vgl. BURGER & FIEBIG & STADLER 1984). Inwieweit dieser Kohlentonstein mit dem von M. TEICHMÜLLER (1963: 159) in der 40 km nördlich Haltern gelegenen Bohrung Münsterland 1 identisch ist, muß offen bleiben. Der dort dem Flöz Girondelle 1 zugeordnete Tonstein wurde nur anhand einer Spülprobe nachgewiesen, und außerdem ist die stratigraphische Einstufung der fraglichen Schichtenfolge problematisch (JESSEN & MICHELAU 1963).

Daß dem Girondelle-5-Tonstein jedoch eine regionale Bedeutung zukommt, läßt sich aus weiteren Funden in der Zeche Zollverein in Essen, 25 km südlich vom ersten Fundpunkt, schließen. Nach schriftlicher Mitteilung von W. PFISTERER gelang im Hauptlaboratorium der Bergbau AG Lippe der Nachweis des Girondelle-5-Tonsteins in vier Untertagebohrungen.

2.3.2. Bochumer Schichten (Taf. 2)

Auch in den Bochumer Schichten treten markante Mächtigkeitsschwankungen auf, so zum Beispiel im Bereich der Flöze Plaßhofsbank bis Wasserfall 2, wie auch der Flöze Präsident bis Ernestine und in der Abfolge der Oberen Bochumer Schichten. Auffällig sind dort starke fazielle Schwankungen in den Ablagerungen der Matthias- und Mathilde-Flözgruppen. In Flöz Wilhelm 1 Ubk konnte zweimal der Kaolin-Kohlentonstein nachgewiesen werden.

Der Katharina-Horizont (Stat. 7 125 m) ist als schwach bituminöser Schieferton ausgebildet, wie auch in einigen Bohrungen in der Umgebung (Hammerberg 2, Eggenberg 1, Kortenberg 1). Er ist durch Conodonten bis 15 cm im Hangenden des Flözes belegt (vgl. auch S. 62).

Über Flöz Plaßhofsbank konnte stellenweise marine Mikrofauna nachgewiesen werden. Teilweise waren die Proben jedoch fossilleer. Aus Schacht General Blumenthal 8 ist dagegen auch marine Megafauna beschrieben worden (RABITZ 1970). Eine Mikroprobe aus dem Wasserfall-1-Horizont bei Station 3 230 m ergab zahlreiche Foraminiferen.

2.4. Tektonik

2.4.1. Falten und Überschiebungen

Aus bisherigen Aufschlüssen des westlich gelegenen Bergwerks Auguste Victoria war der Auguste-Victoria-Sattel als Spitzsattel und die begleitende Auguste-Victoria-Überschiebung mit 350 m bankrechtem Verwurf bekannt. Die neuen Aufschlüsse zeigen nun, daß sich das Antiklinorium nach Osten hin verbreitert, indem der Hauptsattel eine kofferförmige Struktur annimmt und sich nördlich ein Begleitsattel, der Flaesheimer Sattel, ausgebildet hat. Es treten mehrere bedeutsame Überschiebungen auf. Im folgenden wird zunächst die Tektonik des Hauptsattels beschrieben, dann die der begleitenden Faltenstrukturen.

Der Auguste-Victoria-Sattel, dessen beide Flanken mit durchschnittlich 65 gon einfallen, scheint sich sowohl vertikal nach oben als auch streichend nach Nordosten aus einem Spitzsattel in einen Koffersattel umzuwandeln. Darauf weist das flache Einfallen der Schichten in dem abgewichenen Bohrloch der Bohrung Weseler Berge 1 hin (s. FLACHE 1985: Abb. 9).

In der Strecke lassen Spezialfalten und Aufschuppungen in der südlichen Flanke nahe dem Sattelkern diese Entwicklung erkennen. Der Kernbereich des Sattels von Station 4 900 – 5 000 m ist intensiv deformiert mit teilweise liegenden Spezialfalten. Vergleicht man die Schichtenfolge der Südflanke mit der der Nordflanke, so fällt auf, daß südlich der Sattelachse stratigraphisch tiefere Schichten erreicht werden als auf der Nordflanke. Der Abstand von Flöz Finefrau-Nebenbank zur Sattelachse ist im Süden größer als an der Nordflanke. Etwa 15 m südlich der Sattelachse tritt bei Station 4 906 m eine steil südfallende Überschiebung auf, während nördlich der Sattelachse nach etwa 60 m flache, nordfallende Überschiebungsbahnen von 4 970 – 5 000 m zu erkennen sind. Offensichtlich liegt hier eine mitgefaltete Überschiebung vor, indem die Störung der Südflanke bei Durchkreuzung der Sattelachsenfläche umbiegt und dann flach nach Nordwesten einfällt. Die Interpretation als mitgefaltete Überschiebung, deren flach nordfallender Ast abschiebenden Charakter hat, wird durch die Ergebnisse der Tiefbohrung Weseler Berge 1 a gestützt, die etwa 820 m nordöstlich der Strecke liegt (Abb. 4, S. 57). Die Bohrung steht in der Nordflanke des Auguste-Victoria-Sattels und schließt etwa im Niveau der Strecke eine flach nordfallende, „deckelartige" Überschiebung auf, welche die Finefrau-Flöze verdoppelt. Aus der Bohrung ergibt sich ein bankrechter Verwurf von ca. 50 m. Der gleiche Betrag ist auch für die Überschiebung – für sie wird die Bezeichnung Weseler-Berge-Überschiebung vorgeschlagen – in der Strecke anzusetzen (FLACHE 1985).

Der steilen Nordflanke des Auguste-Victoria-Sattels sind die Flaesheimer Mulde und der Flaesheimer Sattel vorgelagert, an die sich dann die flache Lagerung der Lippe-Mulde anschließt. Die Faltungsintensität wird in diese Richtung geringer. Die Südflanke des Flaesheimer Sattels fällt mit etwa 30 gon Südost, die Nordflanke mit 20 – 25 gon Nordwest ein. Neben der Strecke im Niveau – 1 020 m NN gibt hier die Mergelstrecke etwa im Niveau – 740 m NN Aufschluß über die Strukturen (s. Abb. 3, S. 57). Weiterhin liegt die Tiefbohrung Holtkamp 2 etwa 365 m nordöstlich der Strecke (Abb. 5). Die tektonische Auswertung dieser Bohrung lieferte ein charakteristisches Bild der Mulde, das durch die neuen Aufschlüsse prinzipiell bestätigt wird (s. auch S. 54).

Auf der 10. Sohle durchquert eine nordwestfallende Überschiebung bei Station 6 177 m den Sattel. Für sie wird der Name Flaesheimer Überschiebung vorgeschlagen. Der bankrechte Verwurfsbetrag konnte mit etwa 60 m ermittelt werden, obwohl die kurze Schichtenfolge bis zur Muldenachse in deren Nähe von weiteren, hier südostfallenden Störungen durchsetzt ist. Die stratigraphi-

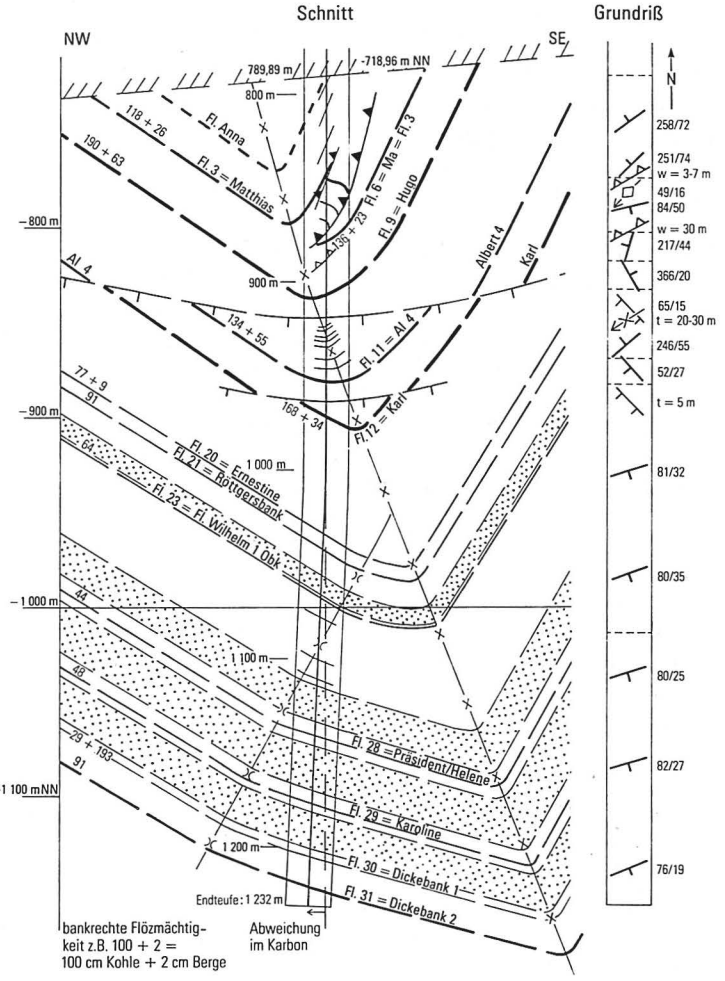


Abb. 5
Tektonische Auswertung der Tiefbohrung Holtkamp 2

Fig. 5
The tectonical evaluation of borehole Holtkamp 2

sche Einstufung ist jedoch gesichert, da in beiden Flanken der Flaesheimer Mulde die Schichten eindeutig durch den Nachweis des Kaolin-Kohlentonsteins an der Basis des Flözes Wilhelm 1 Ubk identifiziert worden sind. Die Störungen im Muldenkern können deshalb nur geringe Bedeutung haben. Bei Station 6 020 m liegt eine 80 gon südostfallende Störung, die aufgrund der Schleppungen als Schrägabschiebung gedeutet wird. Der saigere Verwurfsbetrag dürfte, wie auch bei der Überschiebung bei Station 6 044 m, nicht größer als 5 - 10 m sein.

Da die Achsenflächen des Flaesheimer Sattels und der Flaesheimer Mulde nach oben konvergieren, tritt dort eine intensivere tektonische Beanspruchung auf, wie die Aufschlüsse in der Mergelstrecke zeigen. Es sind verschiedene Störungen sowie auch Spezialfaltung angetroffen worden, jedoch erlauben die Routineaufnahmen der Zeche keine eindeutige Interpretation.

Die Muldenachse kann bei Station 875 m lokalisiert werden. Der Durchgang der 60-m-Überschiebung (Flaesheimer Überschiebung) von der 10. Sohle her kann in der Mergelstrecke bei Station 893 m angenommen werden. Diese Überschiebung entspricht wohl jener, die in der Bohrung Holtkamp 2 bei 873 m durchsunken wurde (Abb. 5). Ihre Wurzel liegt also nicht hier im Muldenkern, wie in der tektonischen Auswertung der Bohrung dargestellt, sondern wesentlich tiefer, da sie die Mulde und weiter zur Teufe hin auch den Flaesheimer Sattel durchquert (vgl. S. 54).

Eine Zuordnung der Flöze im stark gestörten Bereich von Station 820 m bis Station 950 m in der Mergelstrecke ist nicht möglich. Lediglich das 2,19 m mächtige Flöz bei Station 912 m kann als Flöz Mathilde/Hugo angesprochen werden.

In der flachen Nordflanke des Flaesheimer Sattels ist eine weitere Überschiebung aufgeschlossen, die auf der 10. Sohle in zwei mit 20 - 25 gon nahezu schichtparallel einfallende Äste aufgespalten ist. Im Gegensatz zu der zu erwartenden Schichtenverdoppelung fehlt dort das Flöz Hermann/Gustav 1, jedoch sind auf den Überschiebungsflächen bei den Stationen 7 065 m und 7 095 m Kohlelinsen angetroffen worden, die als Reste des jeweils zerscherten Flözes Hermann/Gustav 1 gedeutet werden können. Die Mergelstrecke durchquert die Überschiebung im Liegenden des Flözes Laura 2/3. Aus dem Vergleich der beiden Strecken kann man den bankrechten Verwurf mit etwa 10 m auf der 10. Sohle und etwa 15 m auf der Mergelsohle angeben. Die Störung entwickelt sich offenbar aus schichtparallelen Gleitungen unterhalb der 10. Sohle und nimmt nach oben hin steileres Einfallen und größeren Verwurf an. Das Flöz bei Station 7 125 m auf der 10. Sohle ist durch Conodonten als Flöz Katharina belegt. Im Vergleich zur Mergelstrecke (140 cm Kohle incl. 43 cm Berge) hat es nur noch eine Mächtigkeit von 42 cm. Offenbar ist es hier nicht mehr mit Flöz Hermann 1 geschart.

Der bankrechte Abstand zum Flöz Laura 2/3 beträgt 63 m. In der Tiefbohrung Hammerberg 2, die etwa 900 m nordöstlich der Strecke liegt, ist der Abstand ebenfalls 63 m, jedoch liegt dieser Schichtenabschnitt in einer Meißelstrecke. Der Vergleich mit weiter östlich gelegenen Bohrungen (Hammerberg 1, Annaberg 1, Eggenberg 1), in denen der Abstand zwischen den Flözen Laura 2/3 und Katharina 71 - 75 m beträgt, führte in der tektonischen Bearbeitung der Bohrung Hammerberg 2 zu der Annahme eines Sprunges mit etwa 10 m Verwurf. Der geringere Abstand ist jedoch nach den Streckenaufschlüssen faziell bedingt.

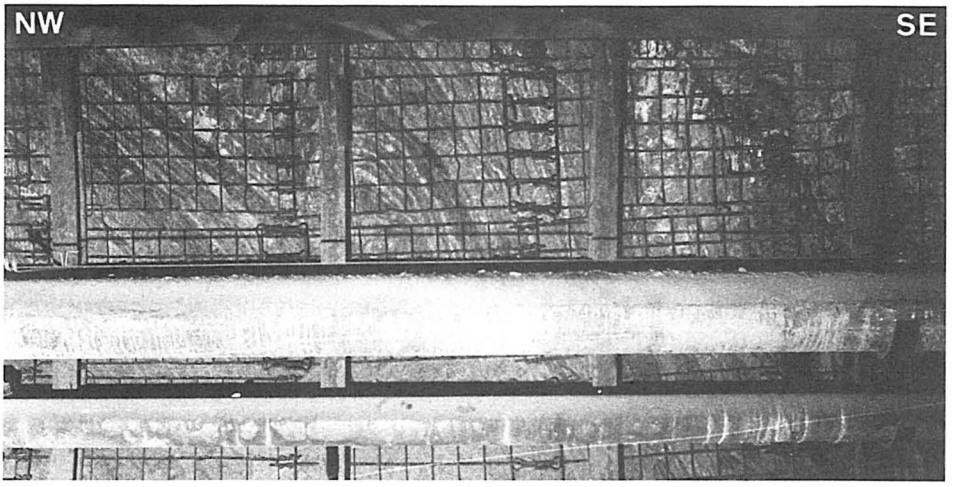


Abb. 6 Die Auguste-Victoria-Überschiebung im östlichen Stoß bei Station 4156 m mit Spezialfaltung und Störungsbahnen (Abstand der Ringausbauprofile 1 m)

Fig. 6 The Auguste Victoria overthrust on the eastern face at station 4 156 m with special folding and lines of disturbance (distance of steel arches 1 m)

Die Südflanke des Auguste-Victoria-Sattels wird von der Lenkerbecker Mulde und dem Lenkerbecker Sattel begleitet. Die starke Einengung zeigt sich in Form des steil aufgefalteten Lenkerbecker Sattels sowie der Auguste-Victoria-Überschiebung. In der Strecke ist beidseitig des Lenkerbecker Sattels bei Station 4 000 m Flöz Plaßhofsbank aufgeschlossen. An der Nordseite werden die Schichten dann sehr schnell steil, teilweise sogar überkippt und bereits nach 105 m biegen sie an der Muldenachse wieder um, die sich, wie auch der Sattel, mit leichter Nordvergenz an den Hauptsattel anschmiegt.

Bei Station 4 156 m überschiebt die Auguste-Victoria-Überschiebung die Schichten mit etwa 100 m bankrechtem Verwurf. Die Störungsfläche fällt hier mit 64 gon SE etwa 10 gon steiler als die Schichtung ein. Im Hangenden der Überschiebungsbahn tritt störungsbedingte Spezialfaltung (Abb. 6) sowie eine gegenfallende Überschiebung ohne bemerkenswerten Verwurf auf. Die Auguste-Victoria-Überschiebung hat bei Station 4 197 m einen unteren, parallelen Ast, der Flöz Sonnenschein 2 (in der Liegendscholle) bis auf einen Rest von 18 cm Kohle zerschert hat. Bemerkenswert ist, daß die Auguste-Victoria-Überschiebung im Bereich der Schächte Auguste Victoria 1 und 2 etwa 350 m bankrechten Verwurf hat, nach Nordosten aber an Bedeutung abnimmt, wie der Aufschluß in der Strecke mit etwa 100 m bankrechtem Verwurf beweist.

Der im Süden anschließende Nördliche Westerholter Sattel ist flach kofferartig ausgebildet. Die Strecke auf der 10. Sohle durchfährt am Ende der zweiten Kurve etwa bei Station 3 000 m die nordwestliche Umbiegungsachse. Die Schichten fallen dann steil mit 60 bis 80 gon NE zur Nördlichen Westerholter Mulde ein, deren nordvergente Achsenebene bei Station 3 338 m durchörtert wurde. Etwa 25 m nördlich der Muldenachse verwirft eine steil nach Südosten fallende Überschiebung – hierfür wird die Be-

zeichnung St.-Johannes-Überschiebung vorgeschlagen - die Schichten um etwa 70 m bankrecht. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie an der Auguste-Victoria-Überschiebung in der Lenkerbecker Mulde. Auf der südlichen Flanke der Nördlichen Westerholter Mulde wurden mehrere nordwestfallende Überschiebungen angetroffen. Bei Station 3 070 m verdoppelt eine mit 40 gon flacher als die Schichtung (55 - 65 gon) liegende Störung die Partie der Schöttelchenflöze um etwa 35 m. Diese Störung läßt sich als abschiebender Ast einer gefalteten Überschiebung mit der Störung nördlich der Muldenachse verbinden. Vergleicht man die Strecke mit der tektonischen Auswertung der 850 m nordöstlich liegenden Bohrung St. Johannes 1 (s. Abb. 4, S. 57), so ergibt sich ein sinnvolles Bild, wenn man das Einfallen der bei 1 066 m durchsunkenen Störung ebenfalls nach Nordwesten annimmt, anstatt nach Südosten. Es liegt dann ein Äquivalent des abschiebenden Störungsastes in der Strecke vor, das auch mit einem bankrechten Verwurf von ca. 40 - 50 m durchaus vergleichbar ist. Das generell nach unten steiler werdende Schichteneinfallen in der Bohrung St. Johannes 1 deutet auf die Umbiegung des Nördlichen Westerholter Sattels hin. Die Schichtenversteilung im Liegenden der Überschiebung läßt sich auch bei Umorientierung des Störungseinfallens als Schleppung erklären. Ein Problem ergibt sich aber aus dem unterschiedlichen stratigraphischen Niveau in Bohrung und Strecke, das von der Störung betroffen ist, da Überschiebungen im Streichen im allgemeinen einigermaßen beständig im stratigraphischen Niveau bleiben. Während die Störung in der Bohrung St. Johannes 1 die Achsenebene im Niveau Flöz Dickebank 2 passiert, liegt sie in der Strecke bei Flöz Plaßhofsbank (s. Abb. 3 u. 4, S. 57). In der Strecke tauchen jedoch parallele, kleinere Störungen im Hangenden von Flöz Wasserfall 2 und bei Flöz Dickebank 2 auf (bei Station 3 240 m und 3 280 m). Es ist daher möglich, daß die Störung aus der Bohrung nach Südwesten hin ausläuft und in der Strecke in Flöz Dickebank 2 nur noch wenige Meter (ca. 5 m) Verwurf hat, während die Störung aus dem Querschlag (im Niveau Plaßhofsbank) nach Nordosten ausläuft, die Störungen sich also in streichender Richtung in ihrer Bedeutung ablösen (Abb. 7). Ähnliche Verhältnisse sind von der Sutan-Überschiebung auf der Zeche Centrum-Morgensonne bekannt (vgl. DROZDZEWSKI 1980 b: 58). Die hier erläuterte Interpretation ist in dem Grundriß im Sreckenniveau (Abb. 2, S. 56) dargestellt. Es wäre andererseits aber auch geometrisch eine direkte Verbindung der Störungen in der Strecke und der Bohrung möglich.

Es muß hier vermerkt werden, daß die stratigraphische Zuordnung des hier betrachteten Streckenabschnittes zwischen den Stationen 3 230 m und 3 335 m problematisch ist. Als sicher kann noch die Ansprache der beiden Flöze bei Station 3 200 m als Flöz Wasserfall 2 und Flöz Sonnenschein gelten. 20 m im Hangenden von Flöz Wasserfall 2 deutet der Nachweis zahlreicher Foraminiferen auf den Wasserfall-Horizont hin. Flöz Dünnebank könnte durch die Störung bei Station 3 240 m ausgefallen sein. Bis zum gestörten Flöz Dickebank 2 bei Station 3 285 m folgt dann allerdings ein Schieferton, während Flöz Dickebank 2 auf der nördlichen Muldenflanke bei 3 650 m im Liegenden über 20 m Sandstein aufweist. Ebenso ist in den benachbarten Bohrungen Flöz Dickebank 2 in mächtige Sandsteine eingebettet; nur im unmittelbar Liegenden des Flözes tritt teilweise Schieferton auf. Die Einstufung als Flöz Dickebank 2 ist daher zweifelhaft. Aber andere Einstufungen treffen ebenfalls auf Schwierigkeiten. Möglich wäre eine Wiederholung von Flöz Wasserfall

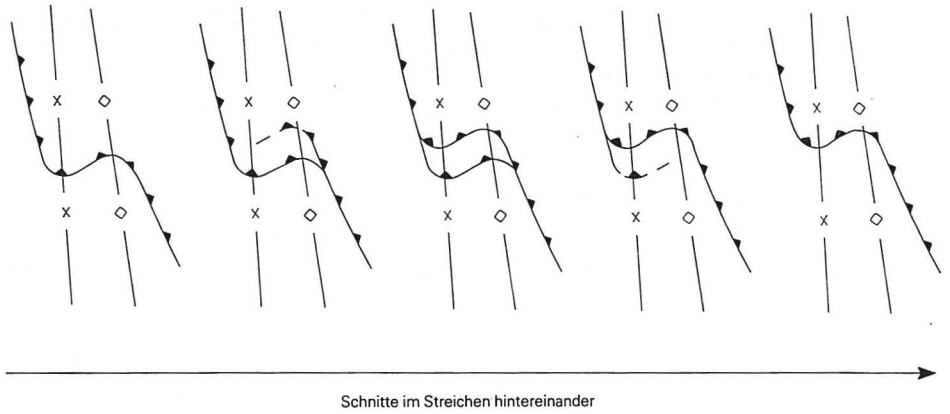


Abb. 7 Schema der streichenden Ablösung von fiedrigen Störungsästen in einer mitgefalteten Überschiebung

Fig. 7 Scheme of striking alternation of splitted thrust branches in a folded overthrust

2/Sonnenschein, aber auch hier müßte der liegende Abschnitt sandig ausgebildet sein. Träfe diese Einordnung dennoch zu, würde sich ein wesentlich größerer Störungsbetrag sowohl für die mitgefaltete Überschiebung als auch für den Dattelner Sprung ergeben (s. S. 66). Auch anhand der Kohlenanalysen ist eine Flözidentifizierung wegen des geringen stratigraphischen Abstandes und der ähnlichen chemischen Zusammensetzung der betreffenden Flöze hier nicht möglich (s. S. 82).

2.4.2. Sprünge

In der Strecke auf der 10. Sohle sind einige bruchtektonische Elemente aufgeschlossen. Etwa 400 m von Schacht 8 entfernt wurde hinter der ersten Kurve der Speckhorner Sprung durchfahren, der auch im Schacht aufgeschlossen ist. Der vertikale Verwurf beträgt etwa 180 m.

Der Becklemer Sprung ist in mehrere parallele Störungsbahnen aufgespalten, die in der Bohrung Sinser Mähre 1 Ursache für die Schichtenausfälle sind (Abb. 8). Die Strecke durchqueren sie zwischen den Stationen 2 750 m und 2 820 m mit 350 gon Streichen und 60 - 85 gon NE Einfallen. Der Gesamtverwurf addiert sich zu 80 - 90 m. Der Becklemer Sprung streicht im Süden etwa mit 350 gon. Da er jedoch westlich der Bohrung Kalfhaus 1 liegt, versteilt das Streichen nach Norden bis zur Strecke auf etwa 380 gon, um dann wieder in die Nordwestrichtung einzuschwenken, da er hinter der Kurve nicht noch einmal die Strecke kreuzt. Wahrscheinlich geht er im Nordwesten in den Haard-Sprung über, der auf der Schachtanlage Auguste Victoria mit 50 m Verwurf in Größe und Lage dem Becklemer Sprung entspricht.

Nur 60 m weiter, in der zweiten Kurve der Strecke, tritt bei 2 882 m eine etwa 70 gon SW fallende Störung auf. Die Störungsfläche liegt in einem stark zerscherten Schieferton, und ihre Bedeutung war zunächst nicht ersichtlich. Aus der stratigraphischen Zuordnung des nachfolgenden Streckenabschnittes (Flöz Wasserfall 2 bei Station 3 225 m) und der Auswertung der Bohrung Sinser Mähre 1 ergibt sich ein Niveauunterschied von ungefähr 80 m, was also dem Saigerverwurf des Sprunges entsprechen muß (s. Abb. 3, S. 57 u. Abb. 9:

Schnitt 5). Diese Störung ist als Fortsetzung des Dattelner Sprunges anzusehen, wie auch eine parallele Abschiebung, die bei 3 580 m spitzwinklig die Strecke durchquert und etwa 25 m Schichtenausfall bewirkt. Der Dattelner Sprung hat weiter im Südosten im Bereich der Emscher-Mulde im Feld Ewald-Fortsetzung einen Verwurf von 500 m. Nach Nordwesten fächert er aber auf und verliert offensichtlich stark an Bedeutung.

Für die Projektion in Schnitt 6 ergeben sich verschiedene Möglichkeiten (Abb. 10). Die tektonische Auswertung der Tiefbohrung St. Johannes 2 ließ offen, ob es sich bei der erbohrten Störung um das Stimberg-Blatt oder den Dattelner Sprung handelt. Auch die Aufschlüsse in der Strecke können wegen der zu großen Entfernung nicht zur endgültigen Klärung beitragen, jedoch

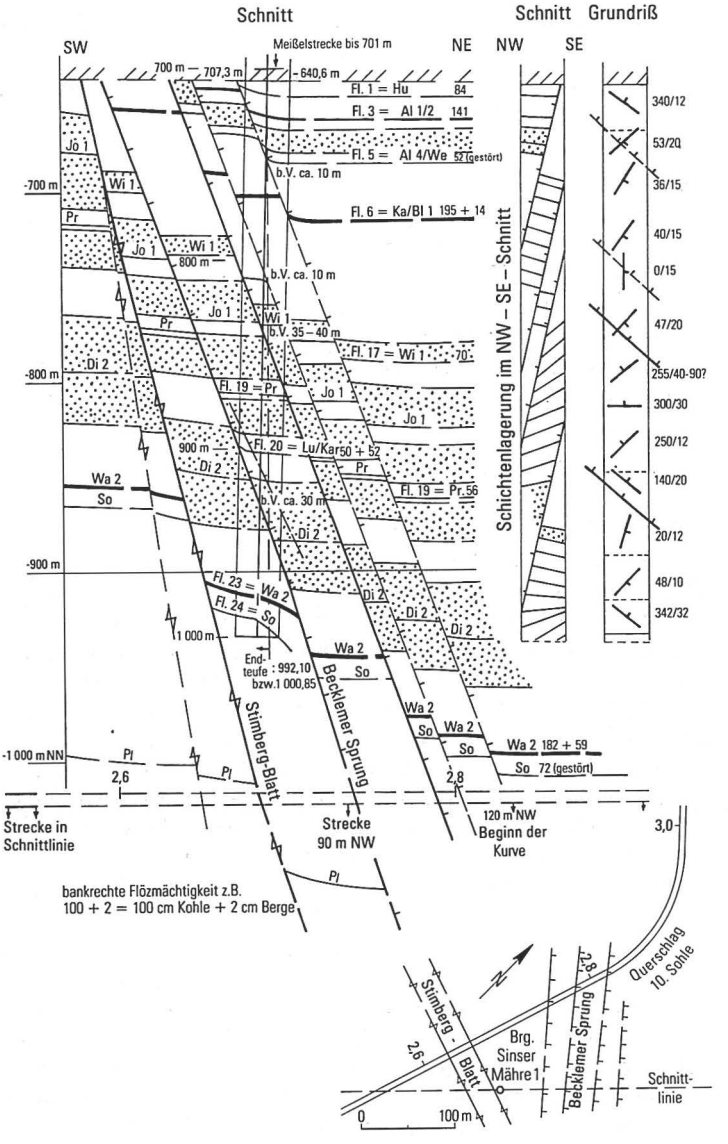


Abb. 8
Tektonische Auswertung der Tiefbohrung Sinser Mähre 1 im Zusammenhang mit der Streckenauffahrung auf der 10. Sohle im Längsschnitt

Fig. 8
The tectonical evaluation of borehole Sinser Mähre 1 in connection with the gangway drifting at level 10 (Axial section)

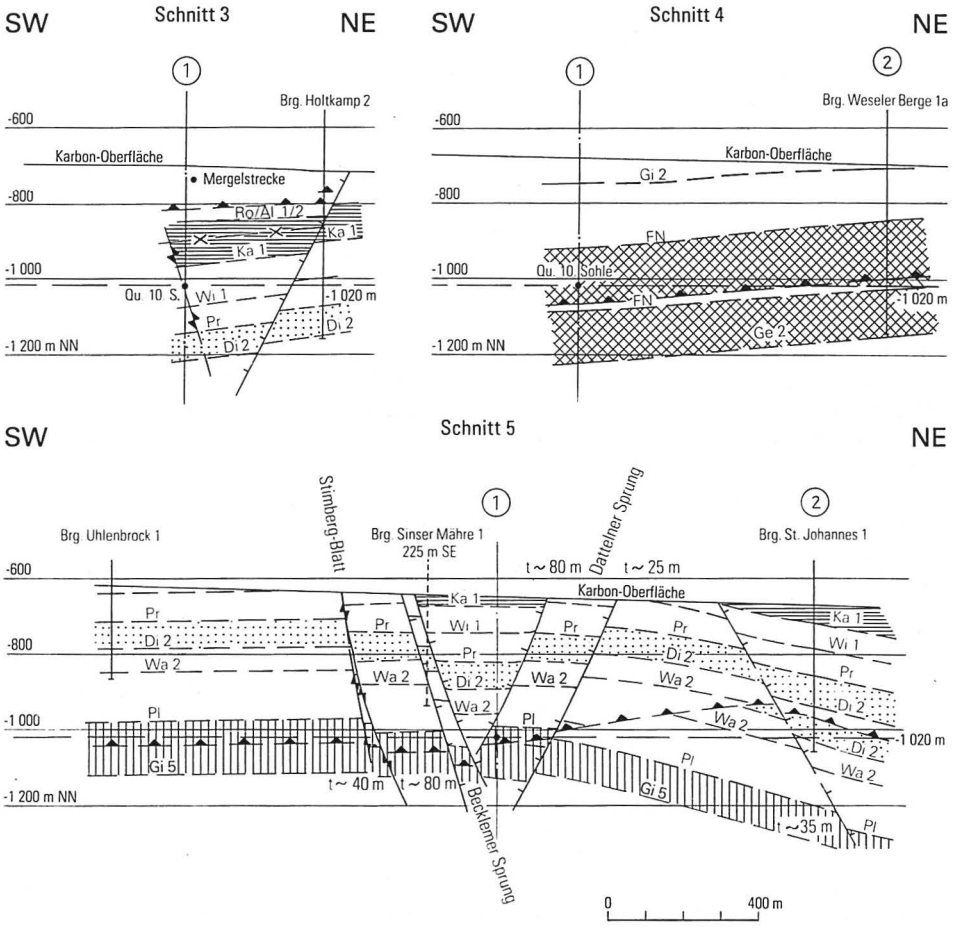


Abb. 9 Anbindung von Tiefbohrungen an das Streckenprofil in Längsschnitten
Fig. 9 Combination of boreholes with the cross-cut section by means of axial sections

wird auch hier der Version 1 (Stimberg-Blatt) der Vorzug gegeben. Die wahrscheinliche Projektion ist in Schnitt 6, Variante A und dem Grundriß dargestellt (Abb. 10 und 2, S. 56). Um auf die Vielfalt der Projektionsmöglichkeiten hinzuweisen, besonders durch die Auffächerung des Dattelner Sprunges, wurden aber drei weitere mögliche Varianten (B, C und D) des Schnittes 6 erstellt (Abb. 10).

Der Sprung ganz rechts im Schnitt 6 (nordostfallend) wurde im Bergwerk Haard in der Untersuchungsstrecke in Flöz Ernestine, Abt. 1 Ost, angefahren. Der Verwurf wird mit etwa 65 m angegeben. Da in der Bohrung St. Johannes 1 im Bohrlochtiefsten Abschiebungen mit Nordostfallen beobachtet wurden, ist hier eine Verbindung zu diesem Sprung projiziert worden (s. Abb. 2, S. 56 u. Abb. 9: Schnitt 5) mit der Annahme, daß der Sprung nach Nordwesten hin zum Lenkerbecker Sattel ausläuft. Es ist aber ebenso möglich, daß der Sprung bei steilerem Streichen die Bohrung St. Johannes 1 weiter östlich passiert.

Im Grundriß (s. Abb. 2) ist ein 30-m-Sprung neben dem nordwestlichen Teil der Strecke eingetragen. Dieser Sprung mit wahrscheinlich Südwesteinfallen ist in der Bohrung Holtkamp 2 erfaßt (Abb. 9: Schnitt 3). Er läuft nach Südosten aus, da in der Richtstrecke nach Schacht Haltern keine Störung mit entsprechendem Verwurf nachzuweisen ist. Allerdings treten in der Richtstrecke der Mergelsohle mehrere südwestfallende Kleinstörungen auf, die als Ausläufer des Sprunges gedeutet werden können. Die Störung scheint ein Ausläufer des Holtwicker Sprunges zu sein (s. STEUERWALD & WOLFF 1985: Taf. 1).

2.4.3. Blattverschiebungen

Die tektonischen Verhältnisse der 1975 geteuften Bohrung Sinser Mähre 1 wurden durch die Streckenaufschlüsse eindeutig geklärt. Demnach ist das 320 gon streichende Stimberg-Blatt nicht mehr in der Bohrung erfaßt. In der Strecke sind zwei Äste des Stimberg-Blattes bei den Stationen 2 627 m und 2 653 m aufgeschlossen. Das Einfallen liegt bei 75 - 90 gon NE. Aus Streckenaufschluß und Bohrung Sinser Mähre 1 läßt sich für das Stimberg-Blatt ein Saigerverwurf von ca. 40 m ermitteln (s. Abb. 8, S. 66). Über den horizontalen Verwurf läßt sich bei der sehr flachen Lagerung nichts aussagen.

Bei einem Vergleich der Abfolge Flöz Dickebank 2 bis Flöz Präsident der Bohrung Holtkamp 2 und der Strecke auf der 10. Sohle nördlich des Auguste-Victoria-Sattels fiel auf, daß hier Flöz Angelika/Dickebank 1 offenbar tektonisch verdoppelt wurde. Das Flöz bei Station 5 742 m ist demnach identisch mit dem Flöz bei 5 782 m. Ebenso tritt Flöz Karoline zweimal auf, bei den Stationen 5 769 m und 5 810 m. Auch ein Vergleich der im Hauptlabor der Bergbau AG Lippe durchgeführten Gesamtkohlen- und Maceralgruppenanalysen dieser Flöze deutet auf eine Wiederholung hin. Als Ursache konnten auf der 10. Sohle Blattverschiebungen nachgewiesen werden, die etwa bei den Stationen 5 776 m und 5 753 m spitzwinklig die Strecke durchqueren. Ihr Streichen beträgt etwa 330 gon, das Einfallen 75 - 80 gon NE. Wie aus dem Verwurf der Flöze abzuleiten ist und durch Schleppungen an kleineren Begleitstörungen angezeigt wird, ist der Verschiebungssinn sinistral mit etwa 40 m horizontalem Verwurf. Die Störungsflächen sind nur als recht unscheinbare Trennflächen im Gestein zu erkennen, lassen sich aber quer durch die Strecke verfolgen. Der größere Verwurf muß der Störung bei Station 5 776 m zugeordnet werden. In den rechtwinklig von den Querschlägen abzweigenden Hauptrichtstrecken zu den Haltern-Schächten ist diese Störung ebenfalls aufgeschlossen. Auf der 10. Sohle (= 3. Sohle Haltern) wurde sie bei Station 5 580 m mit 305 gon Streichen und 85 gon N Einfallen angetroffen. Aus der Schichtenfolge beiderseits der Störung ergibt sich hier allerdings ein dextraler Verwurf von etwa 15 m. Ob eventuell eine Schollenrotation oder andere Ursachen für den gegenläufigen Bewegungssinn dieser Blattverschiebung in Frage kommen, konnte bisher nicht geklärt werden. In der Hauptrichtstrecke der Mergelsohle ist zwar die Störung bei 160 m (vom Querschlag aus) mit 325/100 gon erkannt worden, jedoch läßt sich hier noch nichts über den Verwurfssinn und -betrag aussagen, da die Schichtenfolge östlich der Störung noch nicht einzustufen ist. (Die Auffahrung ist z. Zt. gestundet.) In dem Querschlag der Mergelsohle führt diese Blattverschiebung offenbar zu einer Wiederholung des Flözes Karoline bei Station 1 241 m und bei Station 1 280 m. Weitere Störungen, die in den markscheiderischen Schnitten 1 : 200 bei Flöz Präsident (Stat. 1 210 m) und Flöz Wilhelm 1 Ubk (Stat. 1 124 m) dargestellt wurden, sind vermutlich gleich-

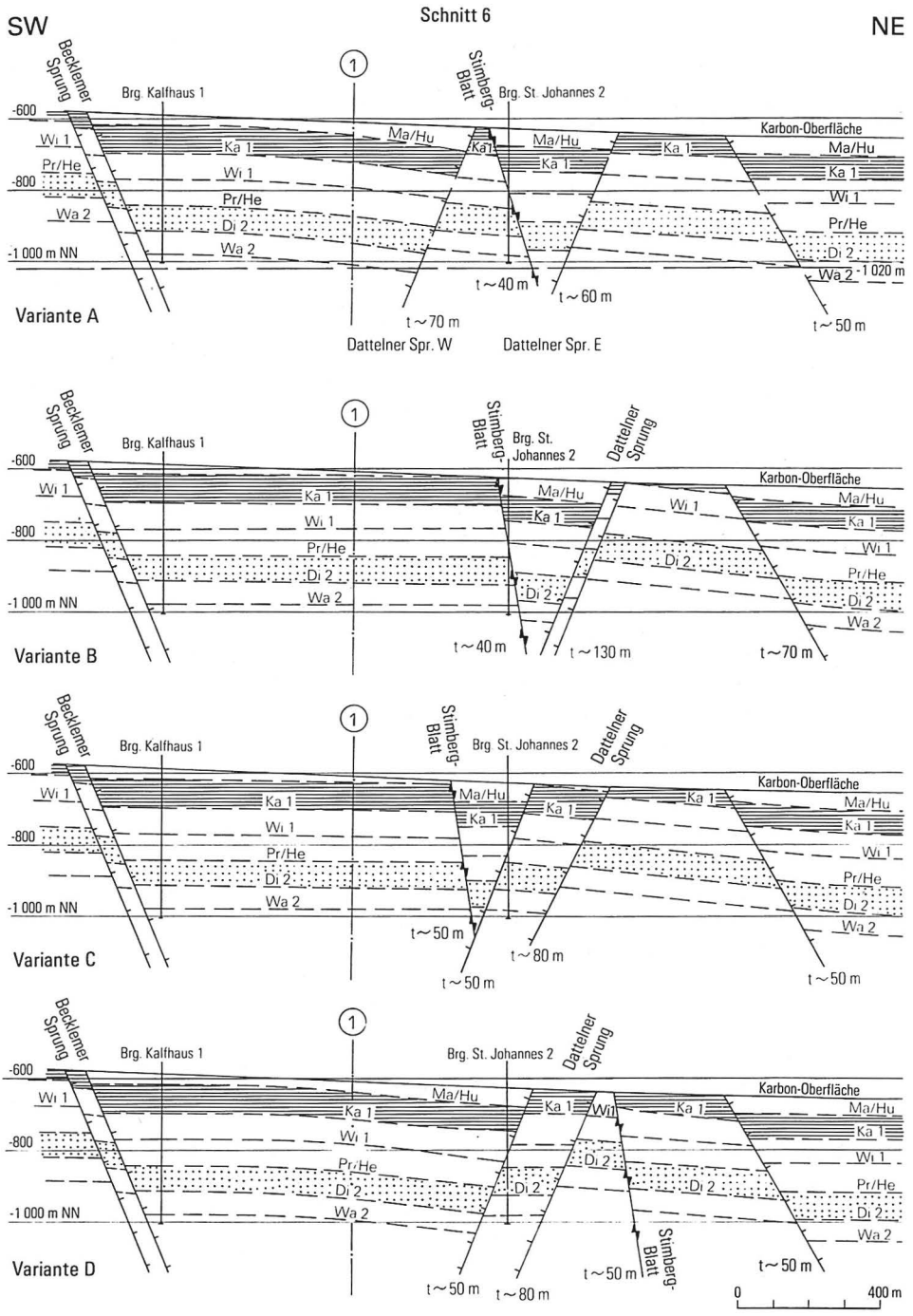


Abb. 10 Verschiedene Interpretationsmöglichkeiten der Störung in der Tiefbohrung St. Johannes 2 im Längsschnitt

Fig. 10 Different interpretations of the fault in borehole St. Johannes 2 in axial sections

artige Blattverschiebungen. Ebenso ist in dem Bereich Station 940 - 960 m eine Flözverdoppelung (Robert/Albert 1/2) an einer derartigen Störung wahrscheinlich. Schwarmweises Auftreten solcher Blattverschiebungen ist nicht ungewöhnlich und in dem Abbau der benachbarten Zeche Auguste Victoria sind vergleichbare Störungen angetroffen worden.

3. Inkohlungsuntersuchungen (A. VIETH-REDEMANN)

3.1. Vorbemerkungen

Die Beprobung eines mehr als 5 km langen querschlägigen Aufschlusses ergab eine gute Möglichkeit, die Aussagefähigkeit kohlenpetrologischer Methoden für kleinräumige Inkohlungsänderungen zu überprüfen. Hinzu kommt, daß diese Arbeit Daten aus einem Bereich vorlegt, aus dem bisher kaum Inkohlungsuntersuchungen bekannt sind.

Inkohlungsuntersuchungen in regional eng begrenzten Gebieten wurden unter anderen von BÖTTCHER & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1949) und PATTEISKY (1956) vorgenommen. Arbeiten dieser Art führten letztlich zur Kenntnis des Inkohlungsbildes des Ruhrgebietes, wie es PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1962) und M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1971) vorstellten.

Die Inkohlungsänderung wird angegeben als Änderung von Inkohlungsmaßstäben: Ausbeute an Flüchtigen Bestandteilen, Gehalt an Kohlenstoff und hygroskopischem Wasser sowie Brennwert und Mittelwert der mittleren Reflexion. Die kartenmäßige Darstellung erfolgt in der Regel als Änderung der Flüchtigen Bestandteile eines Flözes oder an der Karbon-Oberfläche und seit ca. 10 Jahren auch als Änderung der mittleren Reflexion (Rm) des Vitrinits.

3.2. Probenmaterial

Die Flöze des Ausrichtungsquerschlags nach Norden auf der 10. Sohle der Zeche General Blumenthal konnten im Bereich zwischen den Stationsmetern 170 und 8090 intensiv beprobt werden. Die Probennahme im Querschlag führten E. NENTWIG und H. G. WEFELS (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) durch. Die Probendichte ist aufgrund der Aufschlußverhältnisse sehr unterschiedlich. Nur 13 von insgesamt 142 Proben stammen aus dem Abschnitt zwischen dem Ausgangspunkt Schacht 8 und etwa Stationsmeter 3000 (s. Abb. 2, S. 56). Dort verläuft die Strecke diagonal durch die Faltenelemente. Dadurch ist stratigraphisch ein nur relativ geringmächtiges Schichtenpaket mit wenigen Flözen aufgeschlossen. Eine enge Probennahme geschah hingegen im Auguste-Victoria-Sattel.

Bedingt durch Faltung und Störungen waren die gleichen Flöze an mehreren Stellen der Strecke aufgeschlossen. Von diesen Flözen wurde entsprechend mehrfach Material entnommen und analysiert.

Um die Untersuchungen an aschearmen Proben vornehmen zu können, erfolgte die Aufbereitung im Strömungstrennrohr an der durch Zerkleinerung und Sieben gewonnenen Fraktion 0,5 - 1 mm der Probensubstanz.

Trotz ausreichender Probenmengen war das Ergebnis der Trennung recht unterschiedlich. Von den sehr dünnen, zumeist unreinen und mitunter gestörten Flözen konnten keine zufriedenstellend aschearmen Proben (> 5 % Asche

wf[1]; 47 Proben) hergestellt werden. Viele dieser aschereichen Präparate hatten einen hohen Schwefelgehalt (> 1,2 % S wf; 29 Proben), der in vielen Fällen nicht hauptsächlich syngenetischen (z. B. durch marine Überlagerung wie bei den Flözen Plaßhofsbank oder Katharina), sondern epigenetischen Ursprungs

[1] wf = wasserfrei

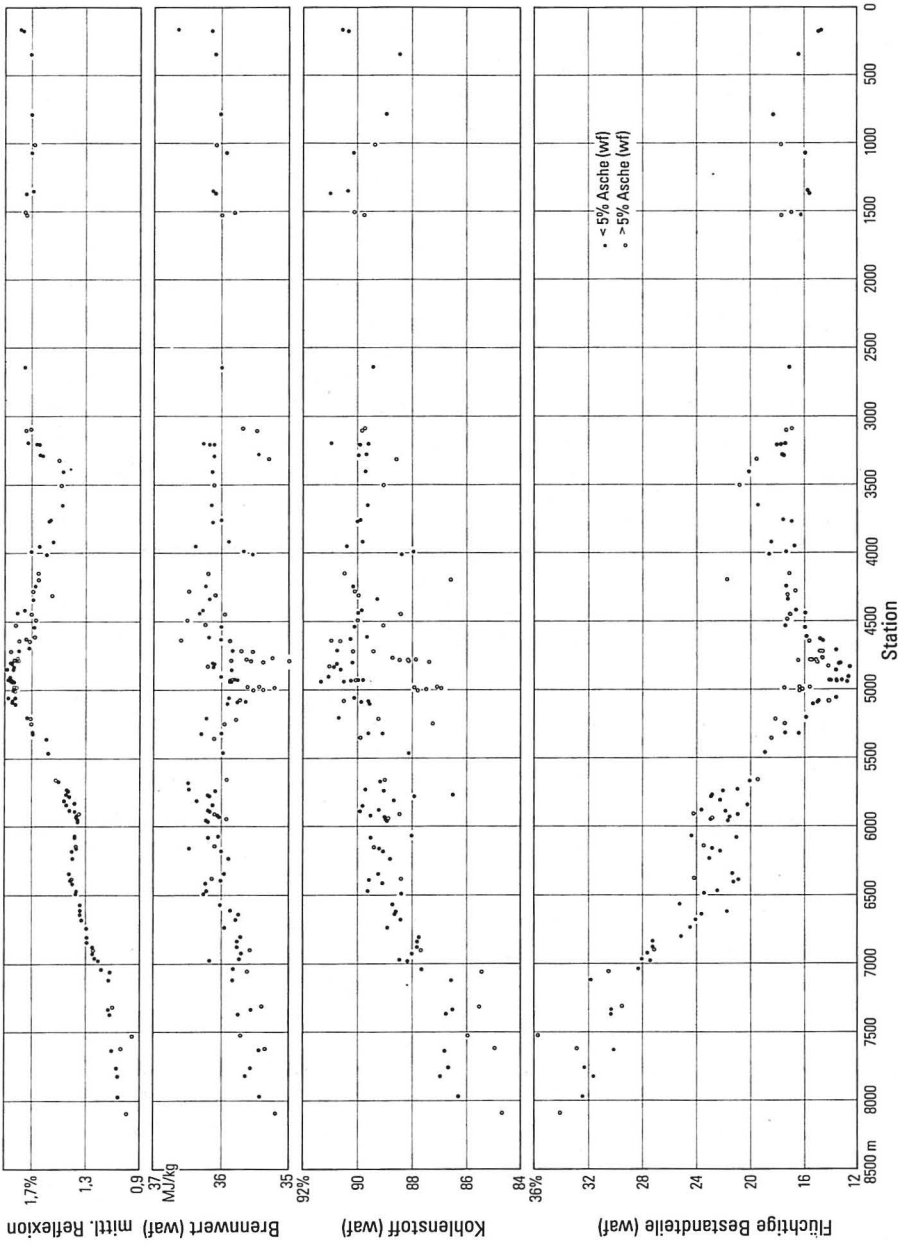


Abb. 11 Graphische Darstellung der Analysenwerte Fig. 11 Graphic representation of the analysis values

ist. Wegen hoher Asche- und/oder Schwefelgehalte haben die Werte der betreffenden Proben für den Inkohlungsverlauf einen geringeren Aussagewert. In der graphischen Darstellung der Analysenresultate (Abb. 11) sind solche Werte daher durch Hohlkreise gekennzeichnet.

Sieben weitere Proben konnten wegen eines zu hohen Anteils von Kohle-Mineral-Verwachsungen nicht chemisch, sondern nur optisch analysiert werden.

3.3. Analysenergebnisse

Tabelle 3 (S. 84 - 88) enthält die Resultate der chemischen und optischen Einzeluntersuchungen. Das Inkohlungsspektrum der erschlossenen Flöze umfaßt das Gaskohlen-, Fettkohlen- und Esskohlenstadium von der Grenze zu den Gasflammkohlen einerseits bis zum Übergang zu den Magerkohlen andererseits.

Die zunehmende Inkohlung läßt sich als Änderung der chemischen Zusammensetzung und der optischen Eigenschaften der Kohlen darstellen. Einige dieser Parameter zeigen in allen oder in einzelnen Reifestadien eine kontinuierliche Änderung und werden daher zur Beurteilung der Inkohlung - also als Inkohlungsmaßstab - oder der Kohlenqualität herangezogen (STACH et al. 1982: Tab. 4; PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER 1960). Bei den chemischen Inkohlungsparametern der Kohlen des Querschlags ergeben sich unter anderem folgende Änderungen mit steigender Inkohlung: Die Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen nehmen von 35 auf 13 % waf[2] ab. Dagegen erhöht sich der Anteil des Kohlenstoffs von 84,7 auf 91,3 % waf. Ein anderer Kennwert, der die Kohle charakterisiert, ist der Brennwert. Er steigt von 35 auf 36,63 MJ/kg waf. Als optischer Parameter wird der mittlere Reflexionsgrad des Vitrinits unter Standardimmersionsöl im Wellenlängenbereich um 546 nm angegeben. Innerhalb des Querschlags erhöht sich die mittlere Vitrinit-Reflexion der Flöze mit zunehmender Inkohlung von 0,96 auf 1,88 %.

Von den Flözen auf den Flanken des Auguste-Victoria-Sattels wurde zusätzlich der maximale Reflexionsgrad ermittelt. Dieser wird im polarisierten Licht (Polarisator-Stellung = 45°) durch das Drehen des Mikroskoptisches bis zur größten Helligkeit des Vitrinits bestimmt.

Die Messungen zählen nicht zu den üblichen Inkohlungsuntersuchungen an Steinkohlen, da sich die Reflexionsanisotropie erst im Laufe der höheren Inkohlung entwickelt und ab dem Anthrazit-Stadium signifikant wird. Die Untersuchungen wurden hier lediglich mit durchgeführt, um in einem strittigen Bereich zusätzliche Informationen zu erhalten.

Daß neben der Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad die Aussagequalität der Inkohlungsmaßstäbe auch von der Aschearmut der Präparate abhängt, geht aus der Abbildung 11 (S. 71) deutlich hervor. Der Brennwert sowie die Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen und an Kohlenstoff streuen durch zu hohe Aschegehalte beträchtlich. Die mittlere Reflexion bleibt durch diesen Faktor praktisch unbeeinflußt. Darüber hinaus ist der unterschiedliche Aussagewert der Inkohlungsmaßstäbe im dargestellten Inkohlungsbereich gut zu erkennen. Der mittlere Reflexionsgrad eignet sich hervorragend zur Wiedergabe der

[2] waf = wasser- und aschefrei

Inkohlungsverhältnisse innerhalb des Querschlags über sämtliche Inkohlungsstufen. Bei den Gehalten an Flüchtigen Bestandteilen ist der Inkohlungsverlauf, abgesehen von den Werten aus aschereichen Proben, ebenfalls gut zu verfolgen.

Bei den Parametern Brennwert und Kohlenstoffgehalt wurde eine hohe Streuung festgestellt. Beide eignen sich zur Kennzeichnung des hier erschlossenen Inkohlungsbereiches nur noch bedingt. Ihre Bedeutung für Inkohlungsaussagen haben sie in geringer inkohlten Stadien.

3.4. Geologische Auswertung

3.4.1. Allgemeines Inkohlungsbild

Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, daß im Ruhrgebiet die Inkohlung mit zunehmendem stratigraphischen Alter der Schichten steigt. Diese Tatsache ist von HILT (1873) bereits im Aachener Karbon erkannt und von vielen Autoren auch für das Ruhrkarbon als zutreffend übernommen worden. Die Gültigkeit dieser Hilt'schen Regel läßt sich auch in dem hier untersuchten Aufschluß nachweisen: Die ältesten Flöze, die zu den Unteren Wittener Schichten gehören, haben einen mittleren Reflexionsgrad von mehr als 1,8 % und einen Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen von unter 15 % waf. Sie liegen also als Esskohlen vor. Der mittlere Reflexionsgrad der Zollverein-Flöze der Mittleren Essener Schichten sinkt unter 1,1 %, der Anteil an Flüchtigen Bestandteilen übersteigt 30 % waf. Dem Inkohlungsgrad nach entspricht das den Gaskohlen.

Durch die Faltung treten die ältesten im Querschlag erschlossenen Flöze in den Sattelkernen auf, die jüngeren und geringer inkohlten befinden sich demnach an deren Flanken und in den Muldenkernen. Die graphische Darstellung der Analysenwerte (Abb. 11, S. 71) ergibt daher ein Abbild der Tektonik. Steigen mit zunehmender Inkohlung die Werte eines Inkohlungsparameters, zum Beispiel die der mittleren Reflexion, stellt sich ein Sattel als Maximum, eine Mulde als Minimum dar. Verringern sich mit steigendem Inkohlungsgrad die Werte, wie dies bei den Gehalten der Flüchtigen Bestandteile der Fall ist, so entsteht ein inverses Bild. Daß nicht alle Faltenelemente, etwa die Lenkerbecker Struktur, klar zu erkennen sind, liegt an einer geringen Faltenamplitude: Die erschlossene Schichtenfolge ist zu geringmächtig; die Flöze unterscheiden sich dem Inkohlungsgrad nach folglich nur wenig voneinander.

Die generelle Inkohlungsänderung gemäß der Hilt'schen Regel und die mit der Orogenese verbundene „Mitfaltung der Inkohlungsstufen" ist ein Beweis dafür, daß die Inkohlung, ganz oder teilweise, älter sein muß als die Faltung (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1971).

3.4.2. Zunahme der Inkohlung

Querschlägige Aufschlüsse mit mittlerem bis steilem Schichteneinfallen sind geeignet, den Einfluß der stratigraphischen Tiefe auf die Inkohlung zu ermitteln (PATTEISKY in PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER 1960). Der Abschnitt zwischen Auguste-Victoria-Sattel und Flaesheimer Mulde erfüllt die erforderlichen Bedingungen: Er schließt Schichten auf mit hinreichend steilem Einfallen (ca. 60°), und das Schichtenpaket besitzt eine ausreichende Mächtigkeit zur Ermittlung der Inkohlungszunahme.

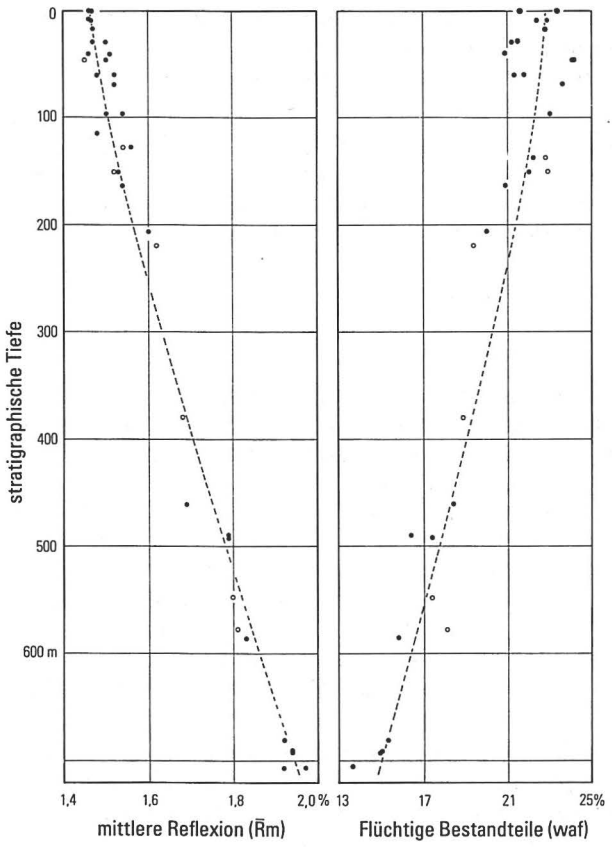


Abb. 12
Veränderung des mittleren Reflexionsgrades und der Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen von Flöz Ernestine, Mittlere Bochumer Schichten, bis Flöz Finefrau, Untere Wittener Schichten, zwischen Flaesheimer Mulde und Auguste-Victoria-Sattel

Fig. 12
Change of the random reflectance and the volatile matters from seam Ernestine, Middle Bochum beds, to seam Finefrau, Lower Witten beds, between Flaesheim syncline and Auguste Victoria anticline

Bei einer bankrechten Gesamtmächtigkeit von rund 700 m wird der Bereich von Flöz Finefrau der Unteren Wittener Schichten bis Flöz Ernestine in den Mittleren Bochumer Schichten erfaßt. Die graphische Darstellung des Inkohlungsverlaufs (Abb. 12) und die Ermittlung eines Gradienten (= Zu- bzw. Abnahme auf 100 m Tiefe) erfolgte für die Parameter mittlere Reflexion und Flüchtige Bestandteile. Pro 100 m stratigraphischer Tiefenzunahme erhöht sich die mittlere Reflexion um 0,07 %. Die Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen verringern sich auf derselben Distanz um 1,1 %. Der letzte Wert entspricht exakt den Angaben von PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER (1960) für die Abnahme dieses Parameters pro 100 m. Vergleichbare Daten aus der Literatur stehen für die mittlere Vitrinitreflexion nicht zur Verfügung.

Aus einigen benachbarten Bohrungen lagen bereits Ergebnisse von Analysen aus dem Laboratorium der Bergbau AG Lippe sowie einige im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen ermittelte Analysendaten vor.

Hinsichtlich der chemischen Parameter lassen sich zwischen den bei der Bergbau AG Lippe und den im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen ermittelten Werten wegen unterschiedlicher Probenaufbereitungsmethoden keine direkten Vergleiche anstellen. Reflexionsmessungen werden aber definitionsgemäß an derselben Maceralgruppe (Vitrinit) durchgeführt, so daß diese Daten vergleichbar sind.

Für diese Bohrungen wurden die Gradienten des Reflexionsgrades errechnet. Die Inkohlungszunahme liegt zwischen 0,1 und 0,13 % je 100 m Tiefe. In einem vertikalen Aufschluß addieren sich die Einflüsse der stratigraphischen Tiefe und die der bergmännischen Teufe (PATTEISKY in PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER 1960: 80). Dies erklärt auch die Diskrepanz zwischen dem anhand der Flöze im Querschlag ermittelten Gradienten (0,07 %), der sich ausschließlich auf die stratigraphische Tiefe bezieht und den in den Bohrungen gefundenen Werten. Es zeigt sich also, daß die bergmännische Teufe einen nicht unerheblichen Teil zum Gesamtergebnis beiträgt.

BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER (1982) geben für das Westfal A des Ruhrgebietes (Bochumer und Wittener Schichten, $\bar{R}m$ 1,0 – 2,3 %) für die Reflexion eine Inkohlungszunahme von 0,104 % pro 100 m Teufendifferenz (gemittelt aus zahlreichen Bohrungen) an. Dazu passen die aus den Bohrungen ermittelten Gradienten der Reflexion recht gut.

Mit den Gradienten aus den Bohrungen und den bekannten Inkohlungskurven für die Flüchtigen Bestandteile (PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1962: Abb. 1) sowie der Reflexion (STACH et al. 1982: Abb. 116) ist es möglich, im geologischen Schnitt des Querschlages Linien gleicher Inkohlung zu konstruieren. Diese Linien gleicher Inkohlung werden in Abbildung 13 als Linien gleicher Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen (oben) und Linien gleicher mittlerer Reflexion (unten) dargestellt. Da keine Analysen der im

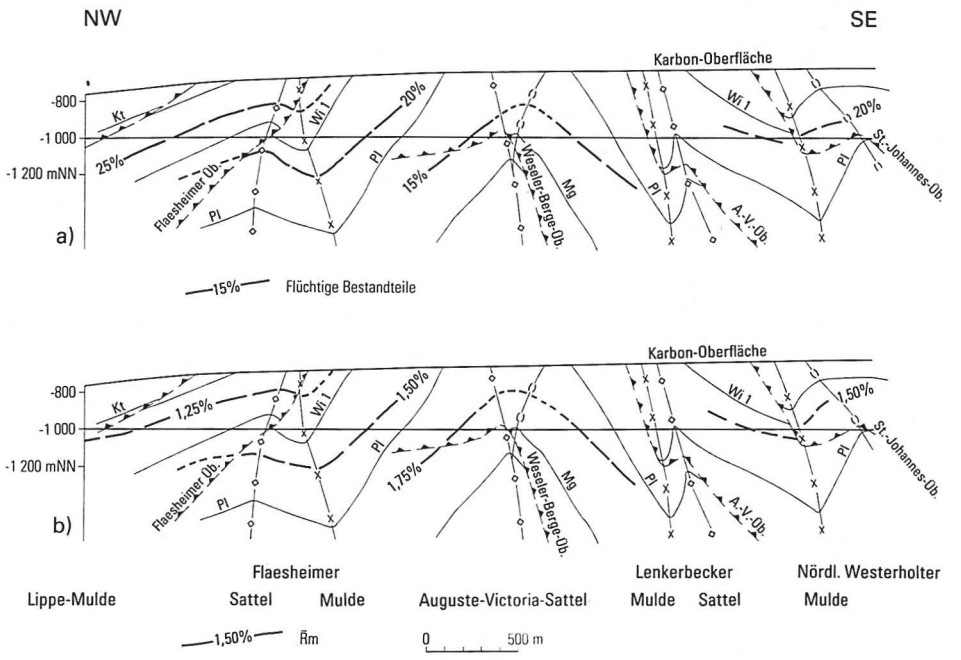


Abb. 13 Linien gleicher Inkohlung – dargestellt als Linien gleicher Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen und Linien gleicher Reflexion – im geologischen Schnitt des Querschlages

Fig. 13 Lines of equal coalification – shown as lines of equal volatile matters and lines of equal reflectance – in the geological section of the cross-cut

Querschlag erschlossenen Flöze aus dessen unmittelbarer Nähe in höheren oder tieferen Aufschlüssen vorliegen, kann diese Hilfskonstruktion ein Bild der Inkohlung vermitteln. Die Darstellung bleibt jedoch skizzenhaft; die Isolinien in der Abbildung 13 sind daher nur gestrichelt eingezeichnet. Die Abbildung zeigt, daß die Linien gleicher Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen wie die Linien gleicher Reflexion die Faltung nachzeichnen. Sie sind jedoch nicht so deutlich deformiert wie die Schichten. Die Linien gleicher Inkohlung schneiden also die Schichten. In den Sätteln sind daher identische Flöze geringer inkohlt als in den Mulden.

Als Besonderheit zeichnet sich das Schichtenpaket von Flöz Finefrau 1 bis Flöz Plaßhofsbank an den Flanken des Auguste-Victoria-Sattels durch einen unterschiedlichen Inkohlungsverlauf aus. Diese Unterschiede kommen auch bei einem Vergleich der Analysenwerte zum Ausdruck (Tab. 1). Um mehr Klarheit über diese Anomalie zu erhalten, wurden an den Schliffen dieser Flöze noch Messungen des maximalen Reflexionsgrades (R_{max}) durchgeführt, da in diesem Inkohlungsbereich schon eine deutliche Reflexionsanisotropie vorhanden ist.

Tabelle 1

Inkohlungsunterschiede der Flöze Finefrau 1 bis Plaßhofsbank an den Flanken des Auguste-Victoria-Sattels

Nordflanke					Südflanke			
Pr.-Nr.	Flüchtige Bestandteile waf* (%)	Reflexion $\bar{R}_{max}$ (%)	Reflexion $\bar{R}_m$ (%)	Flöz	Reflexion $\bar{R}_m$ (%)	Reflexion $\bar{R}_{max}$ (%)	Flüchtige Bestandteile waf* (%)	Pr.-Nr.
18607	18,9	1,61	1,58	Plaßhofsbank	1,69	1,72	17,2	18554
18606	18,4	1,68	1,59	Girondelle 6	1,75	1,82	16,6	18555
18605	16,4	1,78	1,69	Girondelle 5 Obk	1,80	1,86	15,9	18556
18604	17,4	1,74	1,69	Girondelle 5 Ubk	1,70	1,77	17,0	18557
18603	17,4	1,72	1,70	Girondelle 3	1,67	1,74	17,2	18558
18602	18,1	1,74	1,71	Girondelle 2	1,82	1,83	17,4	18559
18601	15,8	1,75	1,73	Girondelle 2(1/2)	1,68	1,80	15,9	18560
18599	15,3	1,86	1,82	Finefrau-Nebenb.	1,68	1,80	15,8	18561
18597	15,0	1,90	1,84	Finefrau 2	1,74	1,92	14,8	18562
18594	13,6	1,92	1,87	Finefrau 1	1,79	1,90	14,6	18564

* waf = wasser- und aschefrei

Zwei Punkte fallen auf:

- Bei allen drei Parametern ist die Differenz zwischen den Werten des Flözes Plaßhofsbank und denen von Flöz Finefrau 1 im Norden größer als im Süden.
- Für die Finefrau-Flöze ergibt sich in den drei Kennwerten kein eindeutiges Bild. Sie scheinen jedoch auf beiden Flanken des Sattels einen mehr oder weniger gleichen Inkohlungsgrad zu haben. Flöz Plaßhofsbank ist dagegen im Süden etwas höher inkohlt als im Norden.

Da die Entfernung dieser Abschnitte vom gestörten Sattelkern im Süden etwas größer ist als im Norden, das Schichteneinfallen gleichartig und bis auf den Bereich Finefrau 2/Finefrau 1 Obk keine Störungen auftreten (vgl. Abb. 2,

S. 56), kann eine befriedigende Erklärung für dieses Phänomen nicht gegeben werden. Nur in der Schichtenmächtigkeit zeigt sich trotz geringer räumlicher Entfernung eine Differenz von ca. 60 m (Südflanke 245 m, Nordflanke 300 m), so daß möglicherweise fazielle Änderungen einen Einfluß auf die Inkohlung ausübten. Aber für eine so deutliche Diskrepanz reichen diese geringen Mächtigkeitsunterschiede und die geringe laterale Entfernung (ca. 900 m über den Sattel gemessen) nicht aus.

3.4.3. Regionale Inkohlungsänderung

Die geringere Inkohlung vergleichbarer Flöze in den Sätteln gegenüber den Mulden wird auch in der flächenmäßigen Darstellung der Inkohlungsänderung eines Flözes deutlich. Etliche Flöze sind innerhalb des hier untersuchten Querschlags mehrfach aufgeschlossen und analysiert worden. Zum Beispiel die Flöze Präsident und Sonnenschein (Tab. 2).

Tabelle 2
Inkohlungsänderung der mehrfach aufgeschlossenen Flöze Präsident und Sonnenschein

Flöz Präsident (Präsident/Helene)			Flöz Sonnenschein		
Stationsmeter	$\bar{R}m$ (%)	Flüchtige Bestandteile waf* (%)	Stationsmeter	$\bar{R}m$ (%)	Flüchtige Bestandteile waf* (%)
3506	1,48	20,8	3199	1,73	17,4
5846	1,44	20,2	3770	1,57	16,9
6180	1,40	22,2	5660	1,52	19,4
6235	1,40	23,0			

* waf = wasser- und aschefrei

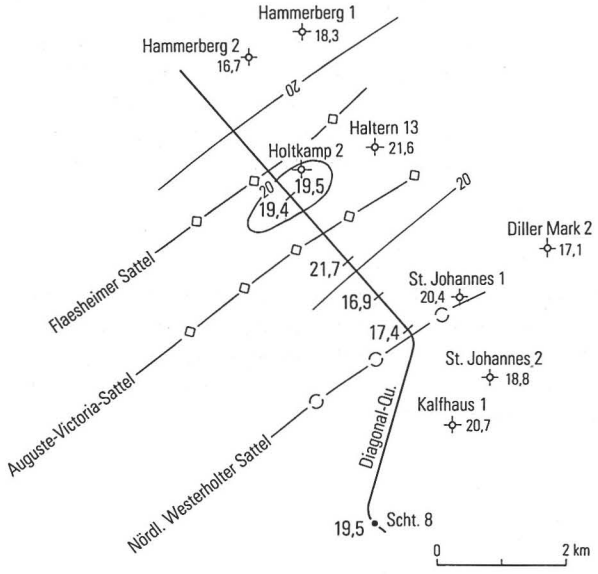
Bei einer Betrachtung nur dieser aus dem Aufschluß ermittelten Daten läßt sich innerhalb eines Flözes eine tendenzielle Inkohlungsabnahme nach Nordwesten vermuten. Unter Einbeziehung der in den Nachbarbohrungen gewonnenen Analysenwerte der Flöze muß diese Vermutung revidiert werden.

Zwei Skizzen wurden angefertigt:

- Die Inkohlung des Flözes Präsident aufgrund der mittleren Reflexionswerte. Dieses Flöz ist in fast allen Nachbaraufschlüssen analysiert worden. Extrapolationen mit Hilfe der Reflexionen jüngerer oder älterer Flöze erübrigten sich fast völlig (Abb. 14).
- Die Inkohlung des Flözes Sonnenschein anhand der Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen (Abb. 15).

Für einige Bohrungen wurden die dargestellten Werte durch Extrapolation ermittelt: Aus den Reflexionswerten jüngerer Flöze ergibt sich der Reflexionsgrad für Flöz Sonnenschein; aus der Reflexion der Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen (M. TEICHMÜLLER 1971: Abb. 2).

Beide Darstellungen lassen erkennen, daß die Inkohlung im Bereich des Auguste-Victoria-Sattels geringer ist und nach Norden wie nach Süden etwas ansteigt. Dies spricht für eine Nachinkohlung.



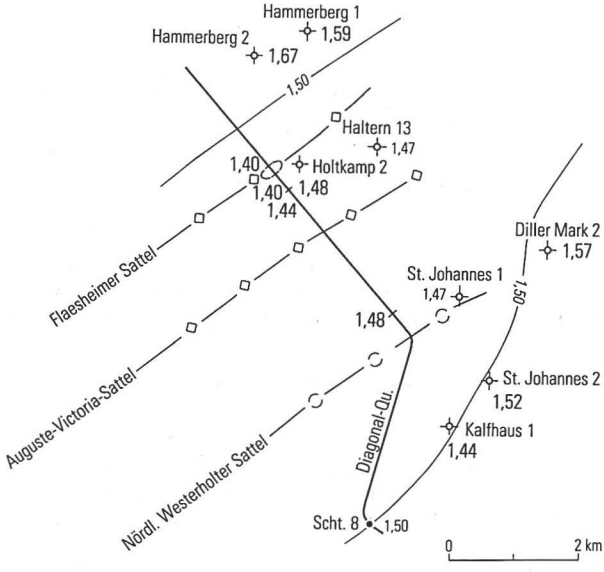
20 Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen (%; waf); Analysenwert
20 Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen (%; waf); extrapolierter Wert
20 Linien gleicher Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen(%; waf)

Abb. 14
Die Inkohlungsänderung im Flöz Präsident im Bereich des Auguste-Victoria-Sattels, dargestellt aufgrund Linien gleicher Reflexion

Fig. 14
Change of coalification of seam Präsident in the area of Auguste Victoria anticline shown as lines of equal reflectance

Der Eindruck einer Inkohlungsabnahme nach Nordwesten bleibt also bei regionaler Betrachtung nicht bestehen.

Der Vergleich der Abbildung 16 mit der Inkohlungskarte des Flözes Sonnenschein von PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1962: Abb. 17) führt zu folgendem Ergebnis: Eine prinzipielle Übereinstimmung ist



1,50 mittlere Reflexion (%); Analysenwert
1,50 mittlere Reflexion (%); extrapolierter Wert
1,50 Linien gleicher Reflexion (%)

Abb. 15
Die Inkohlungsänderung im Flöz Sonnenschein im Bereich des Auguste-Victoria-Sattels, dargestellt als Linien gleicher Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen (= Isovolen)

Fig. 15
Change of coalification of seam Sonnenschein in the area of Auguste Victoria anticline shown as lines of equal volatile matters

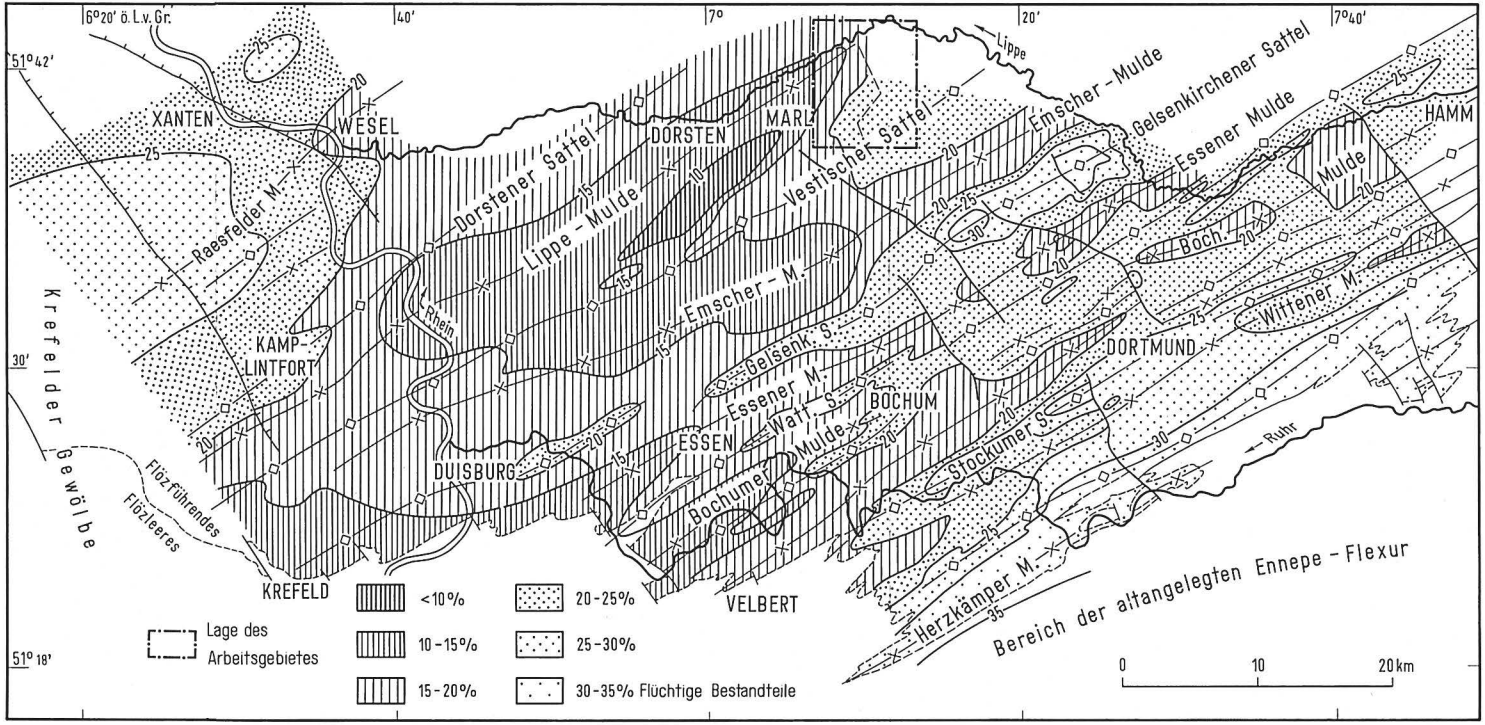


Abb. 16 Die Inkohlungskarte des Flözes Sonnenschein aus M. & R. TEICHMÜLLER (1971) mit der ungefähren Lage des Querschlages

Fig. 16 Coalification map of seam Sonnenschein after M. & R. TEICHMÜLLER (1971) with the approximate position of the cross-cut

vorhanden. Bedingt durch neue Aufschlüsse hat sich aber das tektonische Bild seit Erstellung der Karte von PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1962) speziell im Bereich des „Vestischen Sattels" gewandelt. Hinzu kommen neue Inkohlungsdaten. Dadurch wird das Inkohlungsbild in diesem Randbereich damaliger Aufschlüsse modifiziert.

3.4.4. Tektonische Einflüsse auf die Inkohlung

Die Beurteilung tektonischer Einflüsse auf die Inkohlung, wie BÖTTCHER & M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1949) oder PATTEISKY (1956) sie schildern, ist aus den Flözanalysen nur eines horizontalen Querschlages selten möglich. Dazu wären nahegelegene Aufschlüsse in denselben Flözen, etwa auf einem höheren oder tieferen Niveau zum direkten Nachweis der Nachinkohlung innerhalb eines Flözes oder des Einflusses der verschiedenen Einengung in den Faltenkernen auf unterschiedliche Flöze notwendig. Kein Ergebnis brachte die Untersuchung auf Inkohlungssteigerung an Störungen, da keine Proben identischer oder eng benachbarter Flöze von beiden Seiten eines Sprunges oder einer Überschiebung vorlagen und in allen Fällen die Verwurfsbeträge zu gering sind.

Wegen dieser zu geringen Verwurfsbeträge war es auch nicht möglich, zur Klärung der Flözfolgen in den stark gestörten Bereichen des Querschlags beizutragen. Die Inkohlungsunterschiede relativ eng benachbarter Flöze sind zu gering, und die ermittelten Werte liegen im natürlichen Streubereich der Analysenmethoden. Zur Flözidentifikation sind die hier angewandten Untersuchungen in ihrer derzeitigen Genauigkeit nicht sensitiv genug.

Eine signifikante Abnahme der Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen innerhalb eines Flözes in gestörten Sattel- oder Muldenkernen gegenüber ihren Flankenbereichen konnte nicht nachgewiesen werden. Flöz Ernestine ist zweimal im Kern der Flaesheimer Mulde angetroffen worden, einmal auf der Flanke der Lippe-Mulde:

	Flaesheimer Mulde		Südflanke der Lippe-Mulde
Flüchtige Bestandteile waf* (%)	21,6	24,3	23,4
mittlere Reflexion (%)	1,36	1,38	1,37

* waf = wasser- und aschefrei

Der Inkohlungsgrad aller drei Proben kann als gleichartig betrachtet werden.

4. Zusammenfassung

Während der Auffahrung der 10. Sohle zwischen Schacht General Blumenthal 8 und den Haltern-Schächten 1/2 wurden im Jahre 1982 geologische Aufnahmen durchgeführt. In der mit einer Vollschnittmaschine aufgefahrenen Strecke sind die Wittener Schichten im Hangenden des Mausegatt-Sandsteins sowie die gesamten Bochumer Schichten (Westfal A) und Teile der Essener Schichten (Westfal B) im Bereich des Auguste-Victoria-Antiklinoriums aufgeschlossen. Die zum Teil wiederholt auftretenden, mehr als 1 000 m mächtigen

Schichten zeigen starke fazielle Schwankungen und sind von einer Reihe von Störungen mit erheblichem Verwurf betroffen. Die geologisch-tektonische Bearbeitung erlaubte die Aufstellung von Schichtenschnitten und ihre Gleichstellung mit denen benachbarter Zechen und Tiefbohrungen. In einem Grundriß der 10. Sohle (-1 020 m NN) und mehreren Quer- und Längsschnitten wurde der Gebirgsbau anhand der Streckenaufschlüsse und der benachbarten Explorationsbohrungen dargestellt und analysiert.

Der Vergleich des Faltenbaus aus den neuen Streckenaufschlüssen mit dem der 7 km westlich gelegenen älteren bergmännischen Aufschlüsse der Zeche Auguste Victoria zeigt eine gute Übereinstimmung im Hinblick auf die Großstrukturen. Im einzelnen sind jedoch im Osten sowohl der Faltenbau als auch die Überschiebungstektonik stärker differenziert. Zwar ist in beiden Bereichen der symmetrische Auguste-Victoria-Sattel das dominierende Faltenelement, jedoch bewirkt der im Osten ausgeprägte Flaesheimer Sattel eine erhebliche Verbreiterung des Antiklinoriums. Während im Westen die Auguste-Victoria-Überschiebung mit 350 m bankrechtem Verwurf das alleinige beherrschende Element ist, sind in der Strecke der 10. Sohle drei nordvergente Überschiebungen aufgeschlossen. Hiervon ist die Auguste-Victoria-Überschiebung auf 100 m Verwurf zurückgegangen, wohingegen vergleichbar große Überschiebungen im Kern des Auguste-Victoria-Sattels (Weseler-Berge-Überschiebung) und in der Nördlichen Westerholter Mulde (St.-Johannes-Überschiebung) neu hinzutreten. Alle drei Überschiebungen sind als mitgefaltet anzunehmen.

Die im Norden und Süden auftretenden Spezialfalten mit den begleitenden Überschiebungen vergieren deutlich gegen den Auguste-Victoria-Sattel.

Im Hinblick auf die Bruchtektonik konnte der Verlauf einiger bedeutender Sprünge geklärt werden. Der Becklemer Sprung läuft nicht in der Lüdinghausener Mulde aus, sondern ist mit der Störungszone (Verwurfshöhe t = 80 m) in der Bohrung Sinser Mähre 1 identisch. Er hängt vermutlich mit dem Haard-Sprung in der Lippe-Mulde zusammen. Das Stimberg-Blatt wurde in der Strecke bei Station 2 650 m erkannt. Es hat 40 m Saigerverwurf und dürfte in westlicher Richtung mit Blattverschiebungen auf Auguste Victoria zusammenhängen. Die stratigraphische Einstufung der Flöze nördlich der Streckenkurve bei der Bohrung Sinser Mähre 1 führte zu dem Ergebnis, daß dort auch noch der Dattelner Sprung mit insgesamt ca. 100 m Verwurf vorhanden ist.

Die im Rahmen der geologischen Streckenaufnahme durchgeführten Inkohlungsuntersuchungen lieferten neue Daten aus diesem noch wenig bekannten Bereich des Ruhrkarbons und sichern ältere, in anderen Räumen gewonnene Ergebnisse ab. Darüber hinaus können durch neue Resultate alte Darstellungen in ihren Randbereichen modifiziert werden.

Die vorgenommenen Untersuchungen bestätigen folgende Tatsachen:

- In dem hier aufgeschlossenen Inkohlungsbereich - Gas- bis Esskohlenstadium - bewähren sich die Inkohlungsparameter Flüchtige Bestandteile und mittlere Reflexion. Einen geringeren Aussagewert haben Brennwert und Kohlenstoffgehalt.
- Die Hauptinkohlung ist vor der Faltung erfolgt. Gemäß der Hilt'schen Regel sind die ältesten im Querschlag erschlossenen Flöze, die in den Sattelkernen angetroffen wurden, höher inkohlt als die jüngeren.

- Diese Hauptinkohlungsphase wird von einer Nachinkohlung überprägt. Dies zeigt sich im Verlauf der Linien gleicher Inkohlung im geologischen Schnitt und im Flözriß. In beiden Fällen wird deutlich, daß die Inkohlung vergleichbarer Flöze in den Sätteln etwas geringer ist als in den Muldenkernen.
- Ein Vergleich der im Zusammenhang mit dieser Arbeit ermittelten Inkohlungsgradienten mit denen aus der Literatur ergab eine gute Übereinstimmung.
- Kleinere tektonische Strukturen, wie Falten geringer Amplitude und Störungen mit Verwurfsbeträgen unter ca. 50 - 100 m, lassen sich mit den hier angewandten kohlenpetrologischen Methoden nicht nachweisen.

Durch die Untersuchungen konnte ferner eine - vermutlich lokale - Anomalie, die in ihrer räumlichen Ausdehnung nicht zu erfassen war, festgestellt werden: Die Differenz zwischen den Inkohlungsdaten gleicher Flöze ist auf der Nordflanke des Auguste-Victoria-Sattels größer als auf der Südflanke.

5. Schriftenverzeichnis

BAUER, K. (1960, 1962, 1972, 1973): Schichtenschnitte der Bochumer und Wittener Schichten der Zechen Auguste Victoria und General Blumenthal. - Bochum (Westf. Berggewerkschaftsk.). - [Unveröff.]

BÖTTCHER, H., & TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1949): Zur Hilt'schen Regel in der Bochumer Mulde des Ruhrkarbons. - Glückauf, **85**: 81 - 92, 7 Abb., 2 Tab.; Essen.

BORNEMANN, O. (1980): Tiefentektonik der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 173 - 191, 2 Abb., 9 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

BORNEMANN, O., & JUCH, D. (1979): Tektonische Auswertung von seismischen Profilen und Bohrungen im Ruhrkarbon. - Z. dt. geol. Ges., **130**: 77 - 91, 17 Abb.; Hannover.

BUNTEBARTH, G., & KOPPE, I., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Palaeogeothermics in the Ruhr-Basin. - In: CERMAK, V., & HAENEL, R. (Hrsg.): Geothermics and geothermal energy: 44 - 55, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

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.

DROZDZEWSKI, G. (1975, 1976, 1978): Tektonische Bearbeitungen der Tiefbohrungen Sinser Mähre 1 (1975), St. Johannes 1 (1976), Holtkamp 2 (1976), Hammerberg 2 (1978). - Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

- (1980 a): 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.).
- (1980 b): Tiefentektonik der Emscher- und Essener Hauptmulde im mittleren Ruhrgebiet. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 45 - 83, 23 Abb., 1 Tab., 7 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

FLACHE, D. (1985): Die Weseler-Berge-Überschiebung im Kern des Auguste-Victoria-Sattels bei Haltern. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 89 - 104, 9 Abb.; Krefeld.

HEIDELBACH, G. (1982): Vollschnittauffahrung zum Anschluß des Halternfeldes an das Bergwerk General Blumenthal. - Glückauf, **118**: 5 - 11, 14 Abb.; Essen.

HILT, C. (1873): Über Eigenschaften und Zusammensetzung der Steinkohlen. - Glückauf, **9**; Essen.

JESSEN, W., & MICHELAU, P. (1963): Das flözführende Oberkarbon der Bohrung Münsterland 1 im Vergleich zum Ruhrkarbon. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **11**: 469 - 486, 2 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

JUCH, D. (1976): Tektonische Bearbeitungen der Tiefbohrungen St. Johannes 1 (1976), Weseler Berge 1/1a (1976). - Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

KLINGE, U. (1980): Aufschluß einer Steinkohlenlagerstätte. Techniken und Ergebnisse dargestellt am Beispiel des Planungsraumes „Haard/Haltern" - Markscheidewes., **87**: 168 - 177, 10 Abb.; Herne.

KUNZ, E. (1983): Methodische Möglichkeiten der Untersuchung der Tektonik im Oberkarbon des E' Ruhrgebietes (Westfalen) am Beispiel von Emscher- und Essener Hauptmulde. - Mitt. westf. Berggewerkschaftsk., **45**: 133 S., 39 Abb., 8 Taf.; Bochum.

LAUTSCH, H. (1977): Tektonische Grundbereiche als Grundlage für die lagerstättenkundliche Beurteilung und für die bergbauliche Planung im Ruhrkarbon. - Glückauf, **113**: 712 - 717, 11 Abb.; Essen.

PATTEISKY, K. (1956): Veränderungen des Inkohlungsgrades der Ruhrkohlen mit dem stratigraphischen Alter, der Teufe sowie der tektonischen Lage. - Z. dt. geol. Ges., **107**: 120 - 131, 8 Abb., 9 Taf.; Hannover.

PATTEISKY, K., & TEICHMÜLLER, M. (1960): Inkohlungs-Verlauf, Inkohlungs-Maßstäbe und Klassifikation der Kohlen auf Grund von Vitrit-Analysen. - Brennstoff-Chemie, **41**: 79 - 84, 97 - 104, 133 - 137, 12 Abb.; Essen.

PATTEISKY, K., & TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1962), unter Mitwirk. von LEISTIKOW, O.: 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.

RABITZ, A. (1970): Der marine Plaßhofsbank-Horizont (Westfal A) im Schacht General Blumenthal 8 bei Recklinghausen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **17**: 747 - 756, 3 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt, Nordrh.-Westf.).

SCHLÜTER, R. (1979): Tektonische Bearbeitung der Tiefbohrung St. Johannes 2 (1979). - Bochum (Westf. Berggewerkschaftsk.). - [Unveröff.]

STACH, E., & MACKOWSKY, M.-TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R. (1982): Textbook of coal petrology. - 3. Aufl.: 535 S., 204 Abb., 49 Tab., 6 Taf.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).

STEUERWALD, K., & WOLFF, M. (1985): Der tektonische Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen) - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 33 - 50, 2 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

TEICHMÜLLER, M. (1963): Die Kohlenflöze der Bohrung Münsterland 1 (Inkohlung, Petrographie, Verkokungsverhalten). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **11**: 129 - 178, 7 Abb., 12 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

- (1971): Anwendung kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion. - Erdöl u. Kohle, **24**: 69 - 76, 6 Abb.; Hamburg.

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Inkohlung. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 47 - 56, 7 Abb.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 9. 4. 1984

Tafel 1 in der Anlage
Schichtenschnitte Wittener Schichten

Plate 1 in the annex
Sections Witten beds

Tafel 2 in der Anlage
Schichtenschnitte Bochumer Schichten

Plate 2 in the annex
Sections Bochum beds

Tabelle 3

Ergebnisse der chemischen und optischen Untersuchungen

Proben-Nr.	Flöz	Stations-meter	Kurzanalyse				Elementaranalyse				Brennwert		Heizwert		$\bar{R}_m$
			Wasser	Asche	Fl. Best.	C-Fix	C	H	O + N	S					
				wf**	waf*	waf	waf	waf	waf	wf	waf		waf		
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(%)
18521	Girondelle 2	170	1,0	3,1	14,7	85,3	90,54	4,29	4,33	0,61	36,63	8750	35,69	8525	1,78
18522	Girondelle 2	180	0,5	3,6	14,9	85,1	90,33	4,23	4,66	0,53	36,13	8631	35,20	8410	1,76
18523	Girondelle 5	350	0,9	4,5	16,4	82,3	89,36	4,56	5,02	1,94	36,09	8622	34,84	8323	1,70
18524	Plaßhofsbank	790	0,9	3,9	18,3	81,7	88,93	4,62	4,34	1,77	36,01	8603	35,00	8361	1,70
18525	Girondelle 6	1010	1,0	10,4	17,7	82,3	89,36	4,56	4,86	0,95	36,08	8620	35,10	8382	1,68
18526	Girondelle 5	1070	1,1	2,4	15,9	84,1	90,15	4,33	4,75	0,62	33,79	8642	35,23	8415	1,70
18527	Girondelle 5	1350	1,0	2,3	15,7	84,3	90,34	4,46	4,38	0,66	36,13	8631	35,15	8398	1,69
18528	Girondelle 5	1370	1,0	2,8	15,6	84,4	90,98	4,42	3,77	0,60	36,09	8621	35,15	8396	1,74
18529	Girondelle 6	1505	0,9	12,7	16,9	83,1	90,10	4,65	4,15	0,82	35,80	8552	34,78	8309	1,75
18530	Girondelle 6	1525	0,9	7,2	17,7	82,3	89,75	4,60	4,58	0,82	35,98	8595	35,01	8364	1,74
18531	Plaßhofsbank	2640	1,1	4,1	17,1	82,9	89,42	4,47	3,78	2,01	35,98	8595	35,00	8362	1,75
18532	Schöttelchen 2	3090	1,2	14,9	16,9	83,1	89,72	4,36	4,96	0,66	35,68	8523	34,72	8295	
18533	Schöttelchen $1^1/_2$	3102	1,5	22,6	17,3	82,7	89,85	4,35	4,94	0,51	35,48	8475	34,66	8279	1,74
18534	Sonnenschein	3199	1,1	1,2	17,4	82,6	90,97	4,32	3,87	0,66	36,27	8664	35,32	8438	1,73
18535	Wasserfall 2	3204	1,1	4,2	17,7	82,3	89,59	4,59	4,80	0,84	36,17	8641	35,17	8401	1,66
18536		3207	1,1	0,8	18,0	82,0	89,89	4,47	4,74	0,65	36,11	8627	33,11	8388	1,64
18537		3282	1,2	1,1	17,6	82,4	89,68	4,39	5,21	0,61	35,45	8569	34,91	8339	1,64
18538		3287	1,1	1,2	17,5	82,5	89,97	4,46	4,82	0,61	36,11	8626	35,13	8392	1,62
18539		3316	1,0	9,8	19,5	80,5	88,60	4,57	5,87	0,67	35,30	8433	34,30	8194	1,50
18540	Johann 1	3405	1,0	2,0	20,1	79,9	89,69	4,69	4,78	0,69	36,13	8632	35,10	8386	1,47
18541	Präsident	3506	1,0	5,4	20,8	79,2	89,04	4,84	4,44	1,36	36,11	8627	35,05	8374	1,48
18542	Dickebank	3650	1,1	1,3	19,4	80,6	89,65	4,87	4,70	0,38	36,15	8633	35,07	8378	1,47
18543	Wasserfall 2/ Sonnenschein 1	3758	0,9	1,1	17,5	82,5	89,92	4,39	4,88	0,68	36,00	8601	35,05	8372	1,56
18544	Sonnenschein 2	3770	0,9	1,0	16,9	83,1	90,01	4,48	4,81	0,62	36,12	8629	35,13	8393	1,57

18545	Schöttelchen $1^1/_2$	3919	0,8	2,3	18,4	81,6	89,81	4,66	4,70	0,70	35,89	8574	34,87	8330	1,54
18546	Schöttelchen 2	3950	0,8	1,2	16,7	83,3	90,39	4,49	4,26	0,70	36,38	8691	35,40	8456	1,64
18547	Plaßhofsbank	3991	1,1	1,8	17,3	82,7	87,94	4,42	5,41	1,91	35,67	8522	34,71	8291	1,70
18548	Plaßhofsbank	4011	0,9	2,2	18,6	81,4	88,40	4,49	4,89	1,93	35,54	8491	34,56	8256	1,59
18549		4151	1,1	5,2	17,1	82,9	90,47	4,43	4,15	0,72	36,19	8646	35,23	8415	1,65
18550		4195	0,9	28,3	21,7	78,3	86,57	4,59	7,75	0,63	33,39	7976	32,38	7736	1,65
18551	Schöttelchen 1	4244	1,2	2,6	17,3	82,7	90,16	4,45	4,37	0,83	36,23	8654	35,25	8421	1,67
18552	Schöttelchen $1^1/_2$	4282	0,8	8,2	16,6	83,4	90,08	4,46	4,44	0,69	36,48	8715	35,51	8483	1,69
18553	Schöttelchen 2	4309	0,7	6,6	17,2	82,8	89,96	4,48	4,65	0,71	36,09	8621	34,69	8287	1,55
18554	Plaßhofsbank	4340	0,8	1,5	17,2	82,8	89,27	4,40	4,68	1,47	36,17	8640	35,20	8409	1,69
18555	Girondelle 6	4422	0,9	2,2	16,6	83,4	89,84	4,51	4,59	0,90	36,27	8665	35,28	8429	1,75
18556	Girondelle 5 Obk	4443	0,5	2,6	15,9	84,1	89,95	4,41	4,87	0,63	36,32	8676	35,36	8446	1,80
18557	Girondelle 5 Ubk	4450	0,5	6,3	17,0	83,0	88,40	4,53	5,64	1,14	35,95	8588	34,96	8352	1,70
18558	Girondelle 3	4494	1,0	11,5	17,2	82,8	89,98	4,42	4,43	0,84	36,50	8719	35,53	8488	1,67
18559	Girondelle 2	4530	0,9	10,0	17,4	82,6	89,06	4,44	4,65	1,45	36,23	8656	35,26	8424	1,82
18560	Girondelle 2/1	4542	1,1	1,1	15,9	84,1	90,10	4,36	4,57	0,48	36,00	8600	35,05	8372	1,68
18561	Finefrau-Nbk	4615	0,9	1,1	15,8	84,2	89,66	4,38	4,34	1,10	36,18	8644	35,23	8415	1,68
18562	Finefrau 2	4629	1,2	1,5	14,8	85,2	90,26	4,34	4,41	0,42	35,99	8598	35,04	8371	1,74
18564	Finefrau 1	4643	0,9	5,2	14,6	85,4	90,96	4,30	3,68	0,52	36,59	8941	35,65	8516	1,79
18565	Finefrau 1	4645	1,1	6,9	15,6	84,4	90,52	4,24	4,24	0,34	35,87	8570	34,90	8338	1,72
18566		4697													1,72
18567	Geitling 2	4713	1,1	1,7	13,6	86,4	90,75	4,06	4,25	0,44	35,83	8560	34,95	8348	1,79
18568	Geitling 1	4718	1,2	12,7	14,6	85,4	90,14	3,86	4,69	0,64	35,70	8528	34,85	8326	1,85
18569	Geitling 1	4722	1,2	16,6	14,8	85,2	89,39	4,31	4,84	0,52	35,54	8491	34,58	8260	1,85
18570	Kreftenscheer 3	4770	1,1	8,5	14,6	85,4	88,70	4,32	3,90	2,03	35,24	8418	34,29	8192	1,82
18571	Kreftenscheer 2	4780													1,83
18571A	Kreftenscheer 3	4785,5	0,9	10,9	15,4	84,6	88,16	4,33	5,03	2,01	35,62	8508	34,67	8283	1,80
18572	Kreftenscheer 3	4787	1,2	7,4	15,5	84,5	87,85	4,31	4,24	2,50	35,00	8380	34,14	8156	1,80
18572A	Kreftenscheer 3	4786,5	0,9	8,2	15,1	84,9	88,47	4,27	5,24	1,71	35,56	8496	34,63	8272	1,82
18573	Kreftenscheer 3	4788	1,1	10,1	16,4	83,6	88,14	4,23	4,22	2,29	35,85	8564	34,81	8315	1,81
18574		4800	1,1	16,2	15,0	85,0	87,38	4,28	5,77	1,39	35,38	8453	34,45	8230	1,85
18575	Kreftenscheer 2	4805	1,1	1,5	13,3	86,7	90,18	4,14	4,34	0,63	36,12	8629	35,22	8413	1,84
18576	Kreftenscheer 1	4811	1,0	1,0	13,4	86,6	90,73	4,19	4,00	0,37	36,10	8624	35,18	8405	1,84
18577	Mausegatt	4834	1,0	7,8	14,2	85,8	91,00	4,32	2,73	0,65	36,18	8643	35,23	8417	1,83

* waf = wasser- und aschefrei

** wf = wasserfrei

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Proben-Nr.	Flöz	Stations-meter	Kurzanalyse				Elementaranalyse				Brennwert		Heizwert		$\bar{R}_m$
			Wasser	Asche	Fl. Best.	C-Fix	C	H	O + N	S					
				wf**	waf*	waf	waf	waf	waf	wf	waf		waf		
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(%)
18578	Mausegatt	4835	1,0	1,0	12,6	87,4	90,84	4,09	3,91	0,42	36,11	8627	35,22	8413	1,83
18579	Fink	4852													1,83
18579A	Fink	4857	0,8	1,3	13,6	86,4	90,62	4,22	4,30	0,74	35,84	8562	34,92	8342	1,84
18580	Fink	4853													1,88
18581		4907	1,0	1,8	12,7	87,3	91,05	4,21	3,48	0,48	35,98	8595	35,06	8375	1,86
18582	Geitling 2	4929 ost	1,1	5,0	13,2	86,8	89,79	4,10	4,77	0,44	35,79	8549	34,89	8335	1,87
18583	Geitling 2	4930	1,0	9,3	14,1	85,9	90,05	4,31	4,32	0,45	35,84	8561	34,89	8335	1,86
18583A	Geitling 2	4932	0,8	3,1	13,6	86,4	89,95	4,17	4,64	1,03	35,74	8539	34,83	8321	1,84
18584		4935 ost	1,0	2,8	14,0	86,0	90,22	4,18	4,17	0,50	35,86	8566	34,94	8347	1,85
18585		4940 ost	1,1	3,0	12,8	87,2	90,49	4,09	3,95	0,59	35,87	8569	34,97	8355	1,84
18586		4940	0,9	1,8	13,6	86,8	91,32	4,26	3,10	0,60	35,86	8567	34,93	8345	1,83
18587	Mentor	4981 ost	1,1	12,4	16,3	83,7	87,06	4,27	4,39	2,98	35,61	8506	34,67	8283	1,83
18588	Mentor	4982													1,82
18589	Mentor	4984	1,1	7,7	15,6	84,4	87,90	4,22	4,17	2,55	35,44	8466	34,52	8246	1,81
18590	Mentor	4988	0,9	13,7	17,4	82,6	86,92	4,37	2,82	4,39	35,22	8414	34,27	8187	1,82
18591	Mentor	4997,5	1,0	7,4	16,1	83,9	87,49	4,34	4,31	2,79	35,38	8453	34,43	8226	1,82
18592	Mentor	5006,5	1,0	6,5	16,3	83,7	87,81	4,37	4,23	2,71	35,52	8486	34,57	8258	1,82
18593	Finefrau 1	5063													1,82
18594	Finefrau 1	5064	1,0	1,2	13,6	86,4	90,12	4,16	4,53	0,46	35,88	8571	34,97	8354	1,87
18595		5079	0,9	8,3	14,1	85,9	90,49	4,27	3,81	0,26	35,72	8534	34,79	8312	1,82
18596	Finefrau 2	5085	0,9	2,2	14,9	85,1	89,59	4,28	4,83	0,63	35,64	8514	34,70	8290	1,84
18597	Finefrau 2	5092,5	0,9	3,0	15,0	85,0	89,86	4,25	4,56	0,51	35,68	8523	34,39	8301	1,84
18599	Finefrau-Nbk	5104	0,8	0,9	15,3	84,7	89,54	4,45	4,08	1,30	35,90	8577	34,93	8344	1,82
18601	Girondelle 2	5204	1,0	1,7	15,8	85,0	90,67	4,29	3,51	0,26	36,22	8652	35,28	8428	1,73
18602	Girondelle 2	5214	1,0	12,5	18,1	81,9	89,22	4,91	3,67	0,87	35,78	8547	34,70	8290	1,71
18603	Girondelle 3	5248	1,0	7,3	17,4	82,6	87,22	4,33	4,91	1,87	35,95	8587	34,90	8338	1,70

18604	Girondelle 5	5317	0,9	3,7	17,4	82,6	89,07	4,56	4,44	1,08	36,00	8600	35,02	8367	1,69
18605	Girondelle 5	5321	0,5	2,6	16,4	83,4	89,61	4,36	5,18	0,55	36,29	8669	35,33	8441	1,69
18606	Girondelle 6	5356	0,9	5,6	18,4	81,6	89,88	4,54	4,27	0,76	36,10	8624	35,02	8366	1,59
18607	Plaßhofsbank	5462	1,0	3,0	18,9	81,1	88,10	4,50	4,55	2,01	35,97	8594	34,99	8358	1,58
18608	Sonnenschein	5660	1,0	6,7	19,4	80,6	89,00	4,60	5,07	0,53	35,92	8581	34,92	8341	1,52
18609	Wasserfall 2	5674	0,8	1,7	20,0	80,0	89,16	4,73	5,10	0,89	36,44	8706	35,41	8458	1,50
18610	Dickebank 2	5726	0,8	1,4	20,9	79,1	89,72	4,65	4,85	0,63	36,47	8712	35,44	8468	1,44
18611		5741	0,8	1,8	22,0	78,0	89,01	4,79	5,32	1,20	36,08	8620	35,03	8369	1,43
18612		5770	0,8	2,7	22,8	77,2	86,48	4,77	5,39	1,78	36,20	8648	35,16	8399	1,44
18613		5781	0,9	4,3	22,9	77,1	87,91	4,79	4,76	2,27	36,17	8640	35,12	8389	1,42
18614	Karoline	5811	0,8	1,6	22,2	77,8	88,67	4,87	4,82	1,45	36,36	8686	35,30	8432	1,46
18615	Luise	5827													1,38
18616	Präsident/Helene	5846	0,9	2,8	20,2	79,8	89,78	4,60	4,89	0,55	36,13	8632	35,13	8391	1,44
18617	Johann 2	5881	0,7	3,4	23,6	76,4	89,20	5,05	4,62	0,93	36,19	8646	35,09	8382	1,42
18618	Johann 1	5891	0,9	1,0	21,8	78,2	89,94	4,88	4,14	0,32	36,16	8637	35,08	8382	1,38
18619	Wilhelm 2	5909	0,7	9,3	24,2	75,8	88,45	4,94	4,94	0,95	36,10	8623	34,76	8365	1,35
18620	Wilhelm 1 Ubk	5916	0,8	1,9	20,9	79,1	89,50	4,43	5,67	0,27	36,05	8612	35,08	8381	1,36
18621	Wilhelm 1 Obk	5928	0,8	4,6	21,5	78,5	88,99	4,72	4,91	0,57	36,03	8608	35,00	8360	1,37
18622	Röttgersbank 2 Ubk	5944	0,7	5,3	22,8	77,2	88,87	5,01	5,16	0,77	35,92	8582	34,83	8320	1,37
18623	Röttgersbank 1/2 Obk	5951	0,7	1,2	22,9	77,1	88,94	4,94	5,26	0,69	36,23	8656	35,15	8397	1,36
18624	Ernestine	5961	0,8	1,2	21,6	78,4	88,89	4,77	4,99	0,57	36,19	8645	35,17	8403	1,36
18625	Ernestine	6074	0,8	1,6	24,3	75,7	87,99	4,91	5,48	0,70	36,04	8610	34,97	8354	1,38
18626	Röttgersbank 1/2 Obk	6082	0,8	1,3	21,0	77,9	89,52	4,77	4,70	0,60	36,19	8594	35,36	8344	1,38
18259	Wilhelm 1 Ubk	6145	0,7	6,8	23,4	76,6	89,38	5,02	4,83	0,71	36,10	8625	34,98	8357	1,37
18264		6159	0,8	1,1	22,8	77,2	89,21	5,00	4,92	0,65	36,47	8712	35,37	8450	1,37
18627	Präsident	6180	0,8	1,3	22,2	77,8	89,05	4,69	5,02	0,47	36,00	8601	34,98	8356	1,40
18628	Präsident	6235	0,8	1,6	23,0	77,0	88,79	4,86	5,26	0,36	35,90	8577	34,84	8323	1,40
18629	Johann 1	6345	0,8	0,8	21,3	78,7	89,23	4,82	4,90	0,34	35,95	8589	34,89	8336	1,42
18630	Wilhelm 2	6380	0,8	5,8	24,1	75,9	88,40	4,90	5,02	0,93	36,14	8634	35,07	8377	1,40
18631	Wilhelm 1 Ubk	6390	0,6	2,1	20,9	79,1	89,56	4,77	4,98	0,58	35,99	8598	34,95	8349	1,41
18632	Wilhelm 1 Obk	6415	0,7	4,8	21,2	78,8	89,07	4,72	5,26	0,76	36,23	8655	35,21	8411	1,40
18633	Röttgersbank 1	6472	0,7	1,6	22,4	77,6	89,62	4,86	4,56	0,78	36,21	8650	35,15	8396	1,37
18634	Ernestine	6492	0,7	1,3	23,4	76,6	88,36	4,96	5,60	0,92	36,26	8661	35,17	8402	1,37
18635	Ida	6570	0,7	1,6	25,2	74,8	88,70	5,13	5,01	0,99	36,02	8604	34,89	8336	1,34

* waf = wasser- und aschefrei ** wf = wasserfrei

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Proben-Nr.	Flöz	Stations-meter	Kurzanalyse				Elementaranalyse				Brennwert		Heizwert		$\bar{R}_m$
			Wasser	Asche	Fl. Best.	C-Fix	C	H	O + N	S					
				wf**	waf*	waf	waf	waf	waf	wf	waf		waf		
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(%)
18636	Blücher 2	6622	0,8	3,2	21,7	78,3	88,60	4,69	4,67	0,30	35,86	8566	34,98	8387	1,34
18637	Karl/Blücher 1	6643	0,9	0,6	23,6	76,4	88,66	4,87	5,08	0,72	35,75	8540	34,69	8286	1,34
18638	Albert 4/Well.	6680	0,9	1,1	24,0	76,0	88,39	4,86	5,04	1,05	35,88	8571	34,81	8317	1,33
18639	Albert 3	6738	0,9	2,3	24,4	75,6	88,90	4,77	4,87	0,72	35,95	8588	34,90	8338	1,29
18640	Robert/Albert 1/2	6805	0,9	2,0	25,1	75,9	87,73	5,08	6,04	0,89	35,71	8530	34,57	8258	1,29
18641	Hugo 1	6840	0,8	1,2	27,2	72,8	87,80	5,25	5,26	0,96	35,76	8543	34,61	8268	1,29
18642	Mathilde	6880	0,9	2,5	27,2	72,8	87,81	5,14	5,26	1,07	35,77	8544	34,64	8275	1,25
18643	Matthias 3	6900	0,7	6,3	27,1	72,9	87,68	5,13	6,26	0,74	35,57	8497	34,44	8228	1,24
18644	Matthias 1	6925	0,8	4,3	27,6	72,4	87,99	5,25	5,65	0,90	35,70	8528	34,55	8254	1,25
18645	Anna 2	6968	1,1	2,1	28,9	72,0	88,46	5,33	4,87	1,14	35,73	8536	34,58	8261	1,23
18646	Anna 1	6980	1,1	1,1	27,4	72,6	88,17	5,14	5,70	0,81	36,17	8640	35,04	8371	1,21
18647	Gustav 2	7040	0,8	1,9	28,3	71,7	87,65	5,24	5,96	0,93	35,82	8556	34,67	8282	1,18
18648	Hermann/Gustav 1	7060	0,8	5,4	30,5	69,5	85,44	5,19	6,38	2,67	35,61	8507	34,48	8236	1,12
18649	Katharina	7122	0,7	2,8	31,8	68,2	86,54	5,24	5,95	1,91	35,83	8560	34,69	8286	1,13
18650	Viktoria	7314	1,0	14,9	29,5	70,4	85,54	5,27	7,58	1,12	35,40	8456	34,25	8181	1,10
18651	Laura 3	7335	0,8	4,1	30,3	69,7	86,49	5,31	6,89	1,03	35,56	8496	34,40	8218	1,13
18652	Laura 1/2	7369	0,9	2,0	30,3	69,7	86,75	5,26	6,57	1,17	35,75	8541	34,61	8267	1,12
18653	Zollverein-8-Flözgruppe	7525	0,8	6,4	35,7	64,3	85,96	5,62	6,94	1,20	35,71	8530	34,48	8237	0,96
18654	Zollverein-8-Flözgruppe	7619	0,8	12,8	32,8	67,2	84,97	5,32	7,55	1,70	35,36	8447	34,20	8169	1,04
18655	Zollverein 7/8	7634	0,8	3,6	30,1	69,9	86,79	5,14	6,72	1,10	35,44	8467	34,31	8197	1,11
18656	Zollverein 6	7759	0,8	2,2	32,3	67,7	86,69	5,28	7,14	0,69	35,57	8498	34,42	8223	1,07
18657	Zollverein 5	7823	0,8	1,5	31,6	68,4	86,97	5,23	6,88	0,71	35,65	8517	34,51	8243	1,06
18658	Zollverein 2/3	7971	0,9	3,9	32,4	67,6	86,29	5,29	7,33	0,91	35,43	8464	34,28	8188	1,06
18659	Zollverein 1 Ubk	8090	0,9	7,0	34,1	65,9	84,72	5,38	7,18	2,35	35,20	8410	34,03	8129	1,00

* waf = wasser- und aschefrei ** wf = wasserfrei

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	89 - 104, 9 Abb.	Krefeld, März 1985

Die Weseler-Berge-Überschiebung im Kern des Auguste-Victoria-Sattels bei Haltern

Von DIETMAR FLACHE*

Structural analysis, Auguste Victoria anticline, coal mine (General Blumenthal), borehole (Weseler Berge 1/1a), overthrust (Weseler Berge overthrust), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Der stark gestörte Kernbereich des Auguste-Victoria-Sattels (Untere Wittener Schichten, Westfal C) wurde im vollschnittaufgefahrenen Querschlag auf der 10. Sohle (- 1 020 m NN), Schacht 8 der Zeche General Blumenthal (Ruhrkohle AG, Bergbau AG Lippe) bei Haltern kartiert und tektonisch analysiert. Dabei wurde das Störungsinventar sowie die lithologischen Verhältnisse als Abwicklung der Tunnelwandung dokumentiert.

Die Auswertung der Strukturaufnahme ermöglicht unter Berücksichtigung der Tiefbohrung Weseler Berge 1/1a die Zuordnung zweier bedeutsamer Störungsbahnen beiderseits des Sattelkerns als Äste der Weseler-Berge-Überschiebung. Beide aufschiebenden Äste (bankrechter Verwurf 35 und 70 m) auf der Südostflanke des Auguste-Victoria-Sattels biegen oberhalb der Strecke im Sattelscheitel um und laufen schließlich auf der Nordwestflanke zu einer flach nordfallenden Überschiebung mit abschiebendem Bewegungssinn zusammen (bankrechter Verwurf 55 m). Dabei verringert sich ständig die Schubweite des hangenden Astes, die gleichzeitig durch den liegenden Ast aufgenommen wird. Im Liegenden der abschiebenden Äste treten in den steilen bis überkippten Schichten Spezialfalten geringer Amplitude mit subhorizontalen Achsenflächen auf.

Genetisch wird die Weseler-Berge-Überschiebung als mitgefalteter Wechsel gedeutet, während steilstehende, zum Sattelkern gerichtete Überschiebungen, besonders auf der Nordwestflanke des Sattels, später unter Blockierung der früher angelegten Scherflächen bei fortschreitender horizontaler Einengung aufgerissen sein dürften.

[The Weseler Berge overthrust in the core of the Auguste Victoria anticline near Haltern (Northern Ruhr-Carboniferous)]

Abstract: The extremely faulted core of the Auguste Victoria anticline (Lower Witten beds, Westphalian A) has been investigated in the full-face driven cross-cut on the 10th level (- 1 020 m), shaft 8, of the General Blumenthal mine (Ruhrkohle AG, Bergbau AG Lippe) near Haltern. The entire tectonic structure and the lithological conditions were documented by detailed mapping of exposed rock surfaces (evolution of the tunnel wall onto plane of drawing) and subsequently tectonically analysed.

The interpretation of the structural documentation considerring the borehole Weseler Berge 1/1a allows the correlation of two important faults on both flanks of the anticlinal core as branches of the Weseler Berge overthrust. Both overthrust branches (perpendicular separation 35 and 70 m) at the SE-limb turn around above the cross-cut and converge at the NW-limb into a smoothly north dipping fault with downthrowing character (perpendicular separation 55 m). Therefore, the parallel displacement of the upper shear plane is reduced and transferred to the lower overthrust branch.

* Anschrift des Autors: D. FLACHE, Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-4630 Bochum 1

Special folds with small amplitudes and subhorizontal axial planes appear within the layers below the downthrowing branch, in the steep and overturned beds.

The Weseler Berge overthrust can be interpreted genetically as a folded overthrust. Overthrusts which dip steeply towards the anticline core especially on the NW-limb, can be regarded as having been generated later within the blocking of the earlier shear planes during the horizontal compression.

[Le chevauchement de Weseler Berge dans le cœur de l'anticlinal d'Auguste-Victoria près de Haltern]

Résumé: Un levé cartographique et une analyse du cœur de l'anticlinal d'Auguste-Victoria (couches de Witten inférieure, Westphalien A) ont été réalisés dans la galerie transversale ouverte par un tunnelier pleine section du 10^{e} sole (- 1 020 m) du puits 8 du charbonnage General Blumenthal près de Haltern. L'inventaire des failles et de la lithologie a été documenté par un développement de la paroi de la galerie.

En tenant compte du sondage Weseler Berge 1/1a, l'interprétation du levé des structures fait penser que deux failles importantes sur les deux flancs de l'anticlinal seront des rameaux du chevauchement de Weseler Berge. Les deux rameaux, qui sont des failles inverses à rejets stratigraphiques de 35 et de 70 m sur le flanc SE, sont courbés dans la charnière de l'anticlinal au-dessus de la galerie et se joignent enfin sur le flanc NO pour former une seule faille normale faiblement inclinée vers le Nord (rejet stratigraphique 55 m). Pendant ce changement de la configuration des failles, le rejet horizontal du rameau supérieur qui va en diminuant est compensé par le rameau inférieur. Au mur des rameaux à caractère normal, des plis subordonnés de faible amplitude et à plans axiaux subhorizontaux s'observent dans des couches redressées ou renversées.

Génétiquement, le chevauchement de Weseler Berge est interprété comme un chevauchement plissé. Des failles inverses qui sont fortement inclinées, surtout sur le flanc NO, au contraire, seront des phénomènes plus tardifs provoqués par le blocage des anciens plans de glissement durant un rétrécissement horizontal progressif.

1. Einleitung

Nach der Explorationsphase im Haltern-Feld (LAUTSCH 1977, 1979; BORNEMANN 1980, KLINGE 1980) erfolgten die bergmännische Erschließung und der Anschluß an das Bergwerk General Blumenthal (Bergbau AG Lippe) durch die Vollschnittauffahrung eines Querschlages von Schacht 8 auf der 10. Sohle (-1 020 m NN) (HEIDELBACH 1982: 118-119).

Eine geologische Bearbeitung des gesamten Querschlages wurde durch das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen durchgeführt (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985). Dabei stellte sich der Kern des Auguste-Victoria-Sattels als stark gestört heraus. Es wurde daher eine tektonische und lithologische Detailaufnahme angeregt, die von der Zeche General Blumenthal in Auftrag gegeben wurde.

Anhand der Kartierung des Sattelkerns zwischen den Aufschlüssen des Flözes Finefrau-Nebenbank (Untere Wittener Schichten, Westfal A) auf der Südost- und der Nordwestflanke des Auguste-Victoria-Sattels sollten der Verlauf von Großstörungsbahnen sowie die Zusammenhänge zwischen Störungstektonik und Faltenbau untersucht werden. Insbesondere sollte geklärt werden, ob Überschiebungsbahnen, die bereits 820 m nordöstlich in der Tiefbohrung Weseler Berge 1/1a auf der Nordostflanke des Sattels durchteuft wurden (JUCH 1976), auch in der Strecke nachzuweisen sind. Dazu sollten Begleitstrukturen sowie das gesamte Inventar in Beziehung gesetzt werden, worauf sich Aussagen über die Verformungen und den Charakter der Störungen als auch über Material- und Winkelbeziehungen ableiten lassen.

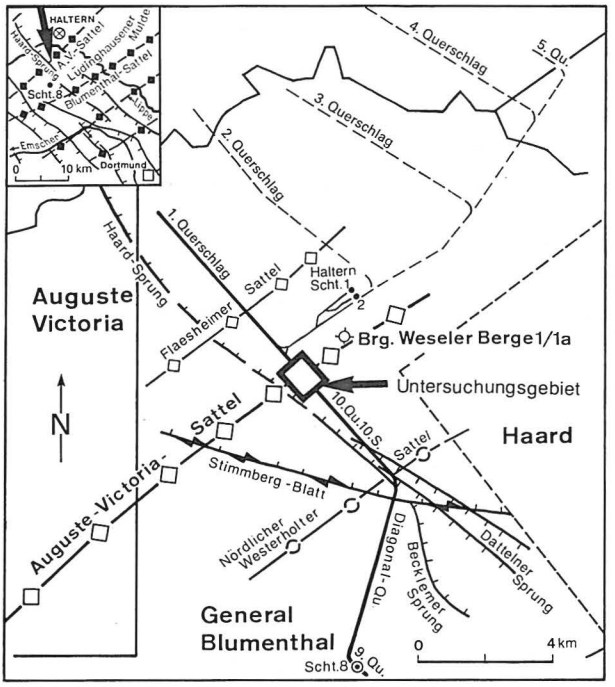


Abb. 1
Übersicht des Untersuchungsgebietes im Haltern-Feld (General Blumenthal)

Fig. 1
Regional map of Haltern coalfield (General Blumenthal mine)

Da DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN (1985) bereits eine umfassende Darstellung der Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Sattels anhand von Querschnitten im Raum Haltern wiedergeben, beschränkt sich dieser Beitrag auf den Kernbereich des Sattels (Abb. 1).

Prof. Dr. Ing. H. LAUTSCH und Dipl.-Ing. H. FRISCH, Markscheider der Zeche General Blumenthal (Bergbau AG Lippe) sowie deren Mitarbeitern danke ich für die Ermöglichung der Arbeit und für die mir gewährte Unterstützung. Besonderer Dank gilt Dr. G. DROZDZEWSKI und Dipl.-Geol. R. HEWIG (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) sowohl für wichtige Diskussionsbeiträge als auch für die Anregung zur Veröffentlichung erster Arbeitsergebnisse. Dr. K. MALMS-

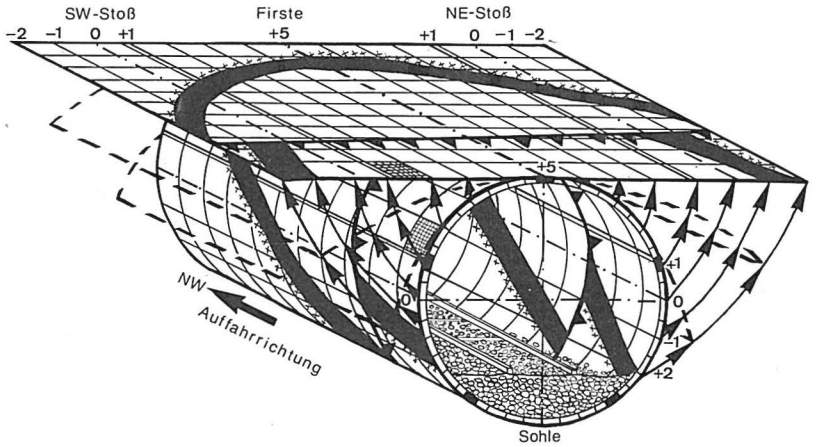
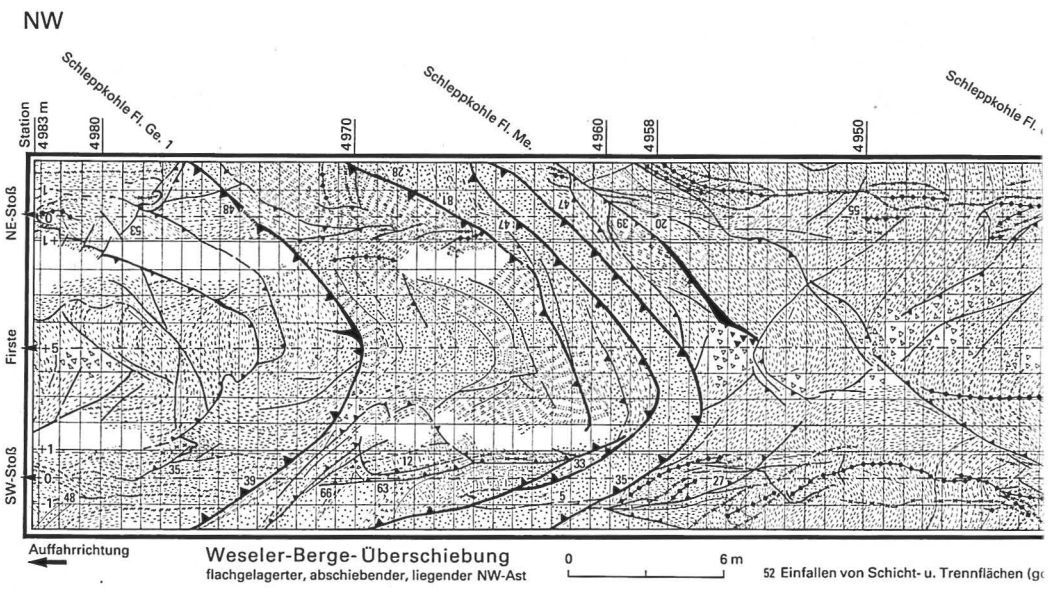
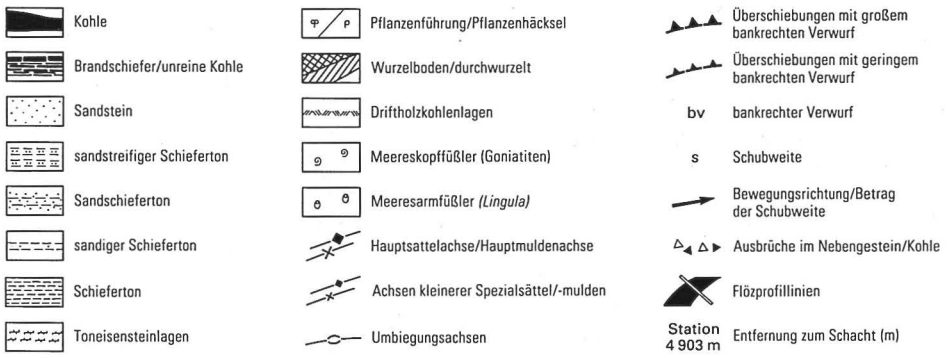


Abb. 2 Schema der Entwicklung einer Tunnelwandung bei Vollschnittauffahrung, dargestellt am Beispiel eines Überschiebungsbereiches

Fig. 2 Procedure for evolving the tunnel wall of a cross-cut, driven by a full face machine, applied to an overthrusted coal seam



Legende zu Abb. 3 – 9:



HEIMER und Prof. Dr. H. MENSINK (Ruhr-Universität Bochum) danke ich für die Betreuung der Diplomarbeit. Weiterhin danke ich Dr. W. KNAUFF, Dr. E. PAPROTH, Dr. G. STADLER und Dipl.-Geol.'in A. VIETH-REDEMANN (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) für wichtige Untersuchungsbeiträge.

2. Methodik

Zu Beginn der Arbeit lagen von der Streckenauffahrung Längsschnitte durch die Tunnelfirste und Grundrisse durch die Stoßmitte im Maßstab 1 : 200 der Zeche vor. Einen weiteren Einblick in die komplizierten tektonischen Verhältnisse konnte aber nur eine detaillierte Dokumentation des Querschlages im Arbeitsbereich verschaffen.

In tektonisch wenig beanspruchten Bereichen genügt untertage zur Darstellung der Lagerungsverhältnisse und zur Erfassung des geologischen Inventars die aufgeklappte Stoß-Sohle-Stoß-Projektion im Maßstab 1 : 200 kombiniert mit einer genauen Flöz- und Nebengesteinsansprache. Dabei wird die

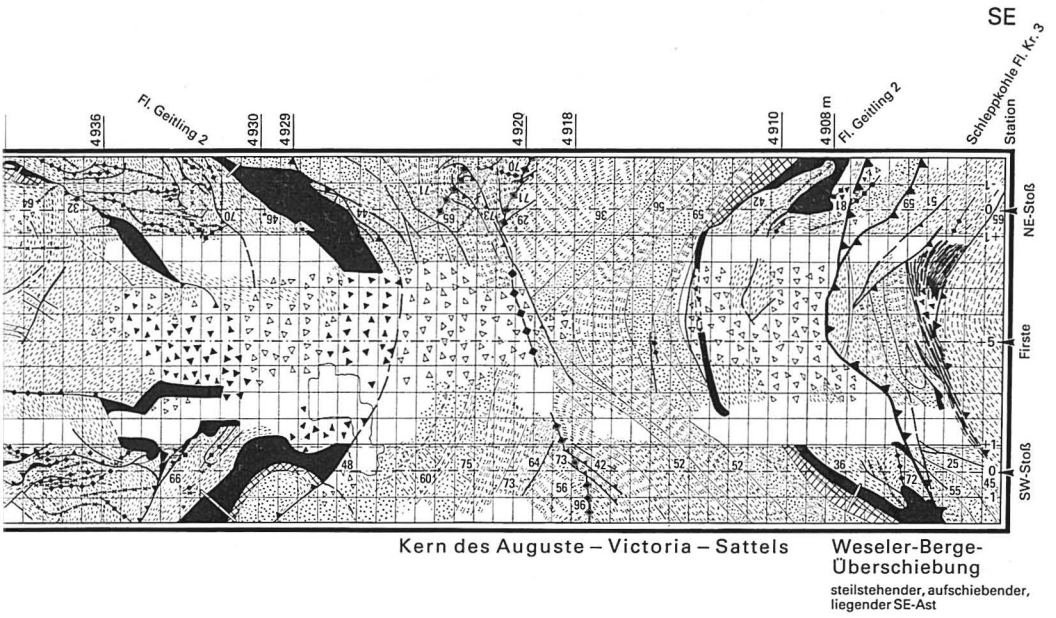


Abb. 3 Anwendung des Formblattes zur Abwicklung einer Tunnelwandung bei Vollschnittauffahrung am Beispiel des abgewickelten, stark gestörten Kernbereiches des Auguste-Victoria-Sattels

Fig. 3 Result of evolving the tunnel wall (extremely faulted core of Auguste Victoria anticline)

Rundung der Tunnelwandung im Stoßbereich vernachlässigt. Die Stöße werden auf eine senkrechte, tangentiale Bildebene projiziert (Seigerriß). Die entsprechenden Durchstoßpunkte der Projektionsstrahlen der Seigerrisse beider Stöße werden in der waagerechten (söhligen) Bildebene miteinander verbunden (Grundriß). In tektonisch stark beanspruchten Bereichen - wie im vorliegenden Fall - ist jedoch die geologische Darstellung der gesamten Tunnelwandung erforderlich.

In Anlehnung an bereits bestehende Formblätter für geologische Detailaufnahmen vollschnittaufgefahrener Strecken wurde deshalb die Abwicklung einer Tunnelwandung modifiziert und ein Formblatt im Maßstab 1 : 50 erstellt (Abb. 2 und 3). Wie in Abbildung 2 gezeigt wird, liegt der Ableitung des Formblattes eine flächen- und lagegetreue Abwicklung des kreisförmigen, lichten Tunnelumfangs auf die horizontale Blattebene zugrunde. Dabei kann das gesamte geologische Inventar im Stoßbereich oberhalb der Sohle bis zur Firste entlang der Tunnelwandung als Profil kartiert werden, da die Vortriebsmaschine den Gesteinsverband meist glatt, ohne größere Ausbrüche abschneidet (Abb. 4). Wenn man die Abwicklung von oben und nicht aus dem Tunnelinneren betrachtet, erhält man ein spiegelbildliches, aber lagerichtiges Abbild der geologischen Aufnahme, das sowohl das Streichen als auch das maximale Einfallen (Stoßmitte) der Schichten und Störungen wiedergibt.

Beim fünfteiligen Ringausbau besitzt die relativ konstante Höhe der oberen Segmentlasche mit etwa 90 cm oberhalb der Stoßmitte die exaktesten Bezugs-

punkte. Längs der Tunnelachse wird das Formblatt durch den Bauabstand der Ausbauringe von einem Meter in ungestörten und 0,75 Meter in gestörten Bereichen segmentiert. Zudem erfolgt eine Feineinteilung durch den 10 x 10 cm Knoten-Mattenverzug (s. Abb. 4).

Bei der Bearbeitung wurde zuerst der leichter zugängliche Bereich 2 m unterhalb und 1 m oberhalb der Stoßmitte bis an die Wetterlutten im Übersichtsmaßstab 1 : 1 000, schließlich in 1 : 50 im Kartiermaßstab dokumentiert (vgl. Abb. 3). Eine fortlaufende Korrelation über die Firste erfolgte anschließend nur in tektonisch stärker deformierten Bereichen im handlichen Kartiermaßstab 1 : 75 (DIN-A4-Format).

Bei der lithologischen Aufnahme wurde überwiegend die Nomenklatur der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum verwandt.

Eine Schichtenparallelisierung und Flözgleichstellung auf den Flanken des Auguste-Victoria-Sattels konnte trotz intensiver Störungstektonik in der Strecke nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Auffinden von marinen Horizonten und anderen Fossillagen
- Vergleich makroskopischer Flözaufnahmen und Zuordnung von Schleppkohlenlagen (meist allochthone, stark deformierte Kohlenpartien auf Scherflächen)

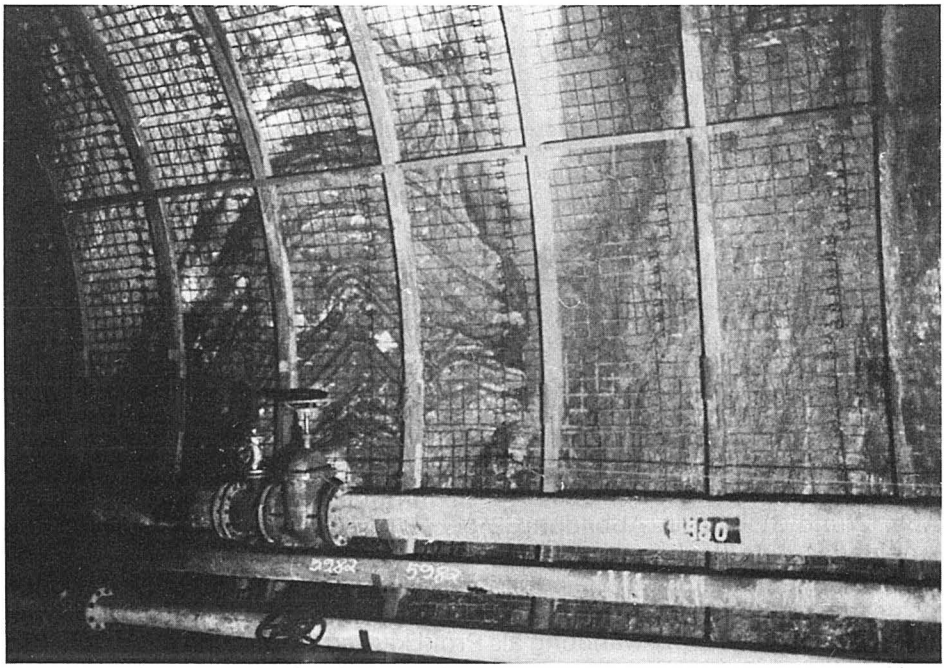


Abb. 4 Beispiel der Aufschlußverhältnisse bei Vollschnittauffahrung; sandstreifige Schiefertone lassen den Übergang eines kongruenten in einen konzentrischen Spezialsattel an einer steilstehenden Überschiebungsfläche im Stoßbereich erkennen (Abstand der Ausbauringe 0,75 m)

Fig. 4 Conditions of exposure in the cross-cut; laminated fine-grained sandstone and sandy mudstone within a special fold change upwards from a congruent into a concentric saddle; to the right the special saddle is cut off by a steep overthrust (distance of steel arches 0,75 m)

- Vergleich der Ergebnisse geochemischer Vollanalysen und Reflektionsmessungen des Vitrinits an Kohlenproben
- Vergleich markanter Sandsteinpartien sowie lithologischer Besonderheiten des Nebengesteins
- Vergleich mit der Auswertung der stratigraphischen und tektonischen Kernaufnahme der Tiefbohrung Weseler Berge 1a

Bei der Profilaufnahme unter Tage wurde versucht, anhand von Schleppungsmerkmalen und Harnischstriemung den Bewegungssinn an Störungsflächen zu ermitteln, den bankrechten Verwurf kleinerer Scherflächen zu bestimmen sowie Störungsbereiche mit größerem bankrechten Verwurf anhand von Kriterien, wie Breite der Störungszone und Verformung im Liegenden und Hangenden (Schleppungs- und Spezialfaltungserscheinungen), zu erkennen.

In kritischen Fällen werden zur Bestimmung der Schichtenlagerung Geopetalkriterien, wie sedimentäre Vorzeichnungen (Schrägschichtungssets), Lage des Wurzelbodens und mariner Horizonte, herangezogen. Vielfach jedoch ließen sich normale und überkippte Lagerungsverhältnisse erst nachträglich aus dem tektonischen Gesamtbild ermitteln.

3. Tektonische Verhältnisse und durchörterte Schichtenfolge

Anhand der Querschlagsaufnahme läßt sich der Auguste-Victoria-Sattel generell in eine fast ungestörte Südostflanke, einen tektonisch stark deformierten Kernbereich mit mehreren aufgeschlossenen Großstörungsbahnen und eine weniger gestörte Nordwestflanke untergliedern (Abb. 5 a - c).

Der Bau des Auguste-Victoria-Sattels wird entscheidend durch Überschiebungstektonik geprägt. Im wesentlichen lassen sich im Querschlag sowohl auf der Nordwest- als auch auf der Südostflanke jeweils ein liegender und hangender Störungsast unterscheiden. Diese in der Strecke erschlossenen Störungsbahnen werden als Äste der Weseler-Berge-Überschiebung (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985) gedeutet. In der Tiefbohrung Weseler-Berge 1/1a (1976), die als Schachtvorbohrung auf der Nordwestflanke des Sattels, 820 m nordöstlich der Strecke, angesetzt wurde, war nur ein Störungsast aufgeschlossen (JUCH 1976).

In der Strecke reicht die mit 68 gon SE fallende Schichtenfolge auf der Südostflanke des Sattels (Abb. 5 a) mit bankrechten 190 m von Flöz Finefrau-Nebenbank bei Station 4 615 m mit dem marinen Finefrau-Horizont im Hangenden (Basis der Oberen Wittener Schichten, Westfal A) bis hinab zu Flöz Fink, dem stratigraphisch tiefsten Flöz des Querschlages (tiefere Untere Wittener Schichten; vgl. DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985: Taf. 1).

Lediglich der Bereich im Liegenden von Flöz Kreftenscheer 3 (Station 4 776 - 4 789 m) bereitete untertage Korrelationsprobleme, da die Flözpartie an einer kleineren Überschiebung spezialgefaltet und verdoppelt wird.

Im Sattelkern reißt Flöz Fink bei Station 4 860 m nach einer kleineren Aufsattelung an einer steilstehenden, südostfallenden Störungsfläche, dem hangenden südöstlichen Störungsast, ab (Abb. 5 b, 6). Die Faltenfläche des kongruenten Spezialsattels weist eine Südostvergenz von 4 - 20 gon auf und ist durch Biegegleitung im Dezimeterbereich versetzt. Der Störungsast fällt

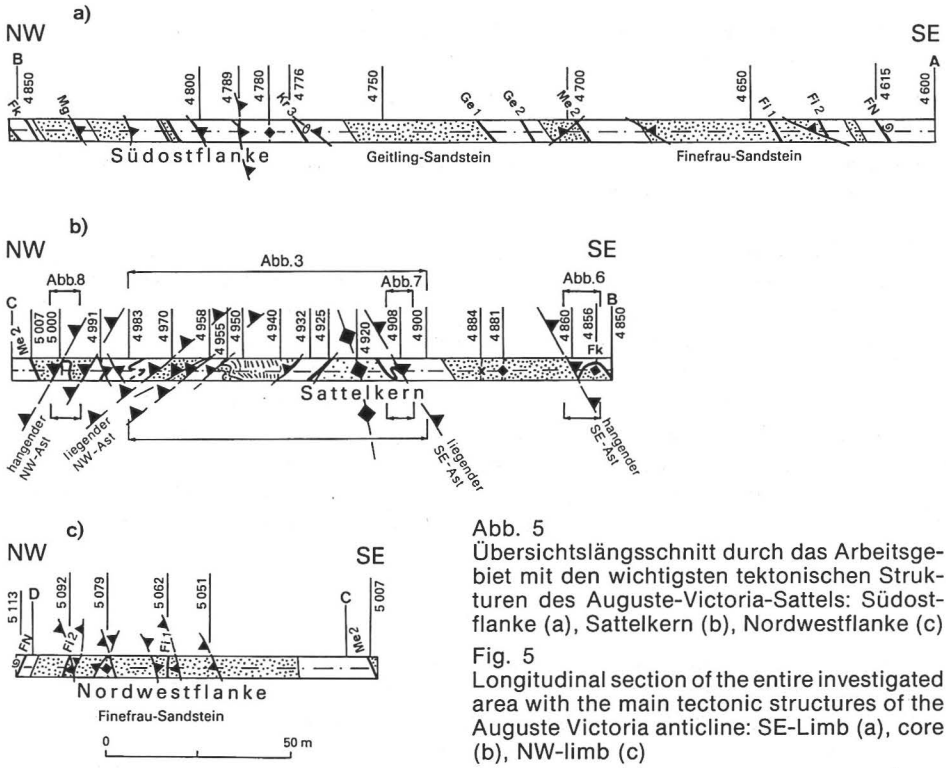


Abb. 5
Übersichtslängsschnitt durch das Arbeitsgebiet mit den wichtigsten tektonischen Strukturen des Auguste-Victoria-Sattels: Südostflanke (a), Sattelkern (b), Nordwestflanke (c)

Fig. 5
Longitudinal section of the entire investigated area with the main tectonic structures of the Auguste Victoria anticline: SE-Limb (a), core (b), NW-limb (c)

mit 75 gon synthetisch zur Schichtung ein und schneidet diese unter einem Winkel von 10 gon. Die Scherflächen sind stellenweise mit Schleppkohle (Flöz Fink) belegt.

Schon das abrupte Abreißen der hangenden Schichtenfolge mit intensiver Schleppung von Flöz Fink sowie der tektonisch kaum deformierte Sandstein im Liegenden ließ auf eine recht bedeutsame Scherfläche schließen. Die fehlende Brekziierung und die geringe Breite der Störungszone sowie deren Streichen wies bereits bei der Kartierung auf eine Überschiebungsbahn hin, an der das hangende Schichtenpaket mit Schleppung von Flöz Fink auf die Sandsteinpartie aufgeschoben worden ist.

Der markante, ca. 27 m mächtige Sandstein im Liegenden dieses Störungsastes wird bei Station 4 908 m durch eine weitere steilstehende, synthetische Störung (Abb. 7) begrenzt (liegender südöstlicher Störungsast) und als intakter Block vom Schichtenverband der Südostflanke isoliert (Abb. 5 b). Der Winkel zwischen Schichtung und Störungsfläche beträgt wie beim hangenden Störungsast etwa 12 – 17 gon. Das Fehlen größerer Schleppungserscheinungen im Hangenden ließ zudem eine geringere Bedeutung dieses liegenden Überschiebungsastes im Südosten des Sattelkerns vermuten. Eine eindeutige Zuordnung des Sandsteinpaketes und somit eine Wertung über die tektonische Bedeutsamkeit der beiden Störungsbahnen konnte nicht direkt im Untertageaufschluß erfolgen. Als Lösungsvarianten boten sich neben dem Geilting-Sandstein der Mausegatt-Sandstein an.

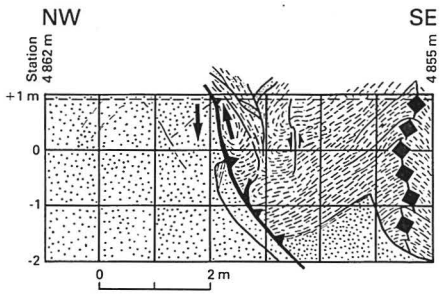


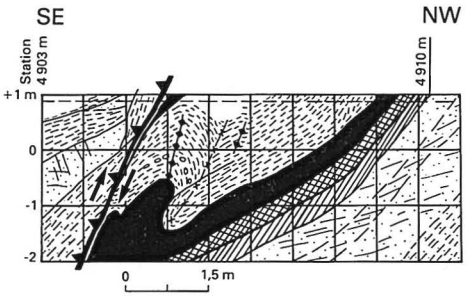
Abb. 6
Hangender Südostast der Weseler-Berge-Überschiebung auf der Südostflanke des Auguste-Victoria-Sattels mit einer kongruenten Spezialfalte als Schleppungserscheinung

Fig. 6
Upper branch of the Weseler Berge overthrust at the SE-limb of Auguste Victoria anticline with a congruent special fold (drag saddle)

Der Schwerpunkt der Dokumentation des Querschlages wurde auf den Bereich zwischen Station 4 900 und 5 007 m nahe der Sattelachsenfläche gelegt, da in der Bohrung Weseler Berge 1 a in einer Teufe von 1 086 m eine Überschiebungsbahn durchörtert wurde, die auch in der Strecke bereits bei ersten Übersichtsbegehungen aufgefallen waren. JUCH (1976) beschreibt auf der Nordwestflanke des Sattels eine flach nordwestfallende Überschiebung, die die Finefrau-Flözpartie sowie den Finefrau-Sandstein in der Bohrung verdoppelt.

Abbildung 3 (S. 92 - 93) zeigt den Kernbereich des Auguste-Victoria-Sattels in der Strecke von Station 4 900 - 4 983 m als Abwicklung der Tunnelwandung. Neben dem liegenden südöstlichen Ast sind flach bis halbsteil nordwestfallende Störungsbahnen nordwestlich der Sattelachsenfläche (liegender nordwestlicher Störungsast) dargestellt. Weiter nordwestlich endet an einer weiteren markanten nordwestfallenden Störungsfläche (hangender nordöstlicher Störungsast) bei Station 5 000 m der stark deformierte Kernbereich (vgl. Abb. 5 b).

Eine Klärung der Zusammenhänge zwischen den beiden südöstlichen und den beiden nordwestlichen Störungsästen nahe der Sattelachsenfläche konnte - wie auch die stratigraphische Einstufung von Kohlenflözen und Nebengesteinspartien - aufgrund der komplizierten tektonischen Verhältnisse und des Fehlens eindeutiger Bezugshorizonte nicht direkt untertage erfolgen, sondern blieb der Analyse der Kartierung vorbehalten.



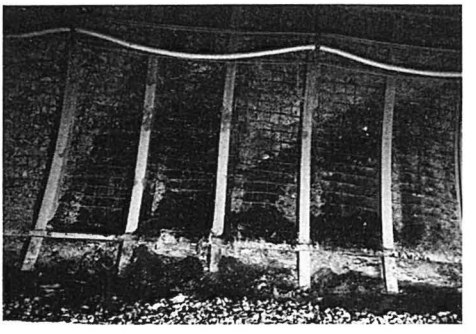


Abb. 7 Liegender Ast der Weseler-Berge-Überschiebung auf der Südostflanke des Auguste-Victoria-Sattels mit einer spezialgefalteten Flözpartie

Fig. 7 Lower branch of the Weseler Berge overthrust at the SE-limb of Auguste Victoria anticline with a special folded coal seam

Im folgenden wird der Bereich 4 900 – 4 983 m (Abb. 3, S. 92 – 93) näher beschrieben.

An dem liegenden südöstlichen Überschiebungsast (Station 4 908 m) wird ein extrem spezialgefaltetes Flöz völlig abgeschert. Das Flöz wird auf den Faltenschenkeln ausgewalzt und im Scheitelbereich gestaucht. Die Deformationserscheinungen dieser schmalen Störungszone sind engräumig auf wenige Meter begrenzt (Abb. 7).

Die Faltenachsenfläche des Auguste-Victoria-Sattelkerns bei Station 4 920 m ist durch schichtparalleles Gleiten (Biegegleitung) um bis zu 40 cm versetzt. Am Nordoststoß sind sogar zwei parallele Sattelachsenflächen mit zwischengelagerter Einmuldung aufgeschlossen. Die Sattelachsenflächen weisen eine Nordwestvergenz von 27 – 30 gon auf, stehen jedoch im Südoststoß bis 2 m über Sohlenniveau annähernd seiger.

Nordwestlich des Scheitelbereiches bei Station 4 925 m wird dasselbe Flöz wie südöstlich der Sattelumbiegung an einer kleinen, mit 55 – 70 gon nordwestfallenden Störung einerseits bis auf 1,70 m Mächtigkeit gestaucht, andererseits bis auf 0,30 m ausgewalzt und der Wurzelboden völlig abgeschert.

Der flach nordwestfallende, liegende nordwestliche Ast der Weseler-Berge-Überschiebung (Station 4 958 – 4 970 m) baut sich aus einer lateral etwa 15 m ausgedehnten Störungszone mit drei Hauptscherflächen auf, die ein bankrecht 8 – 9 m mächtiges Sandsteinpaket zerscheren. Während die beiden randlichen Scherflächen ein Einfallen von 30 – 50 gon NW aufweisen, fällt eine weitere synthetische Störungsfläche mit bis zu 18 gon wesentlich flacher ein. Die nordwestliche Scherfläche ist mit Schleppkohle belegt (Station 4 970 m). Das Schichteneinfallen wechselt zwischen 0 und 81 gon. Zudem lassen tonstreifige Sandsteine stellenweise annähernd horizontal liegende Faltenachsen erkennen.

Im Liegenden der Störungszone treten von Station 4 930 – 4 958 m in den steilen bis überkippten Schiefertonen und Bänderschiefertonen Spezialfalten geringer Amplitude mit ebenfalls subhorizontalen Achsenflächen auf, die in engspannigeren Bereichen in flache Überschiebungsbahnen auslaufen. Schleppkohlenlagen, die auf Scherflächen hindeuten, treten bei Station 4 932 – 4 941 m und 4 955 m auf. Reste eines Wurzelbodens bei Station 4 940 m auf dem Nordoststoß, knapp über Sohlenniveau, weisen auf überkippte Lagerung der Schichten hin.

Im Hangenden der Störungszone wird eine Schleppkohlenlage (Abb. 3, S. 92: Station 4 982 m) an einer steilstehenden antithetischen Scherfläche spezialgefaltet (Station 4 986 m). Die Schleppkohle wird an mehreren kleineren antithetischen Überschiebungen zudem im Dezimeterbereich staffelförmig aufgeschuppt, biegt an einer liegenden Faltenachsenfläche um und wird dann völlig abgeschert.

Petrographisch ähnlich ausgebildete Kohlenstreifen von mehreren Zentimetern Mächtigkeit (Flöz Mentor) wiederholen sich dreimal von Station 4 991 – 5 007 m in der Strecke. Der am nächsten zum Sattelscheitel gelegene Kohlenstreifen bei Station 4 991 m wird an einer kleineren Überschiebung abgeschert.

Die Störungszone des hangenden nordwestlichen Überschiebungsastes (Station 4 991 – 5 000 m) bildet die nordwestliche Begrenzung des stark zerscherten Kernbereichs des Auguste-Victoria-Sattels. Zwischen den beiden

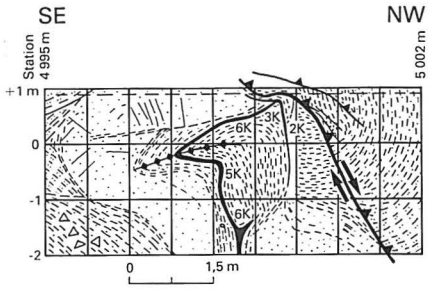


Abb. 8
Hangender Ast der Weseler-Berge-Überschiebung auf der Nordwestflanke des Auguste-Victoria-Sattels mit internrotierten Kohlenstreifen und Nebengesteinspartien zwischen den Störungsflächen

Fig. 8
Upper branch of the Weseler Berge overthrust at the NW-limb of Auguste Victoria anticline with rotated coal seam and adjacent rocks between the shear planes

randlichen Scherflächen wird ein Kohlenstreifen derart stark deformiert, daß eine Korrelierung beider Stöße über die Firste nicht mehr möglich ist. In Abbildung 8 steht der Kohlenstreifen seiger im Sohlenniveau an, biegt an einer liegenden bis flach südostfallenden Faltenachsenebene um und „peitscht" an der nordwestlichen Scherfläche in wiederum seigerer Lagerung aus.

Auf der Nordwestflanke des Sattels zeigt die Schichtenfolge ab Flöz Mentor 2 bei Station 5 007 m wieder weniger gestörte Lagerung. Wie im Hangenden der Weseler-Berge-Überschiebung in der Tiefbohrung Weseler Berge 1 a stehen die Schichten in der Strecke bis Station 5 051 annähernd seiger oder sind schwach überkippt. Die Mächtigkeit des Finefrau-Sandsteins wächst durch Schichtenverdoppelung an einer steil südostfallenden Überschiebung bei Station 5 051 m auf 35 m an. Auf der Südostflanke war er mit bankrechten 30 m aufgeschlossen.

Mehrere steile (70 - 80 gon), meist antithetisch zur Weseler-Berge-Überschiebung gerichtete Wechsel verdoppeln zwischen Station 5 062 und 5 092 m die Partien der Finefrau-Flözgruppe. Bei Station 5 079 m ist am Nordoststoß ein gestörter Spezialsattel mit seigerer Faltenachsenebene aufgeschlossen. Im Hangenden des noch gestörten Flözes Finefrau 2 (Station 5 092 m) liegt mit Flöz Finefrau-Nebenbank (Station 5 113 m) normale Lagerung des mit 73 - 79 gon einfallenden Nordwestflanke des Auguste-Victoria-Sattels vor.

4. Gesamtbild und Ergebnisse

Die stark gestörten Verhältnisse im Kern des Auguste-Victoria-Sattels können im wesentlichen als Folge einer verfalteten Überschiebungszone (liegender und hangender Störungsast) angesehen werden, die in der Strecke auf beiden Sattelflanken durchfahren wurde. Dabei werden die beiden Störungsbahnen beiderseits des Sattelkerns als Äste der Weseler-Berge-Überschiebung (DROZDZEWSKI & HEWIG & VIETH-REDEMANN 1985) zugeordnet. Die beiden Äste auf der Südostflanke des Sattels biegen oberhalb der Strecke im Sattelscheitel um und laufen schließlich auf der Nordwestflanke zu einer flach nordfallenden Überschiebung zusammen, die der Störung in der Bohrung Weseler Berge 1 a entspricht.

In Abbildung 9 wird die Auswertung der Strukturaufnahme unter Berücksichtigung der Tiefbohrung als Kulissenblock dargestellt. Die vordere Bildebene zeigt den untersuchten Querschlag in einer Teufe von - 1 020 m NN sowie die Konstruktion des Auguste-Victoria-Sattels im Hangenden und Liegenden des Streckenniveaus. In der hinteren Bildebene werden die Profile der Tiefbohrungen Weseler Berge 1 und 1 a unterhalb der Karbon-Oberfläche

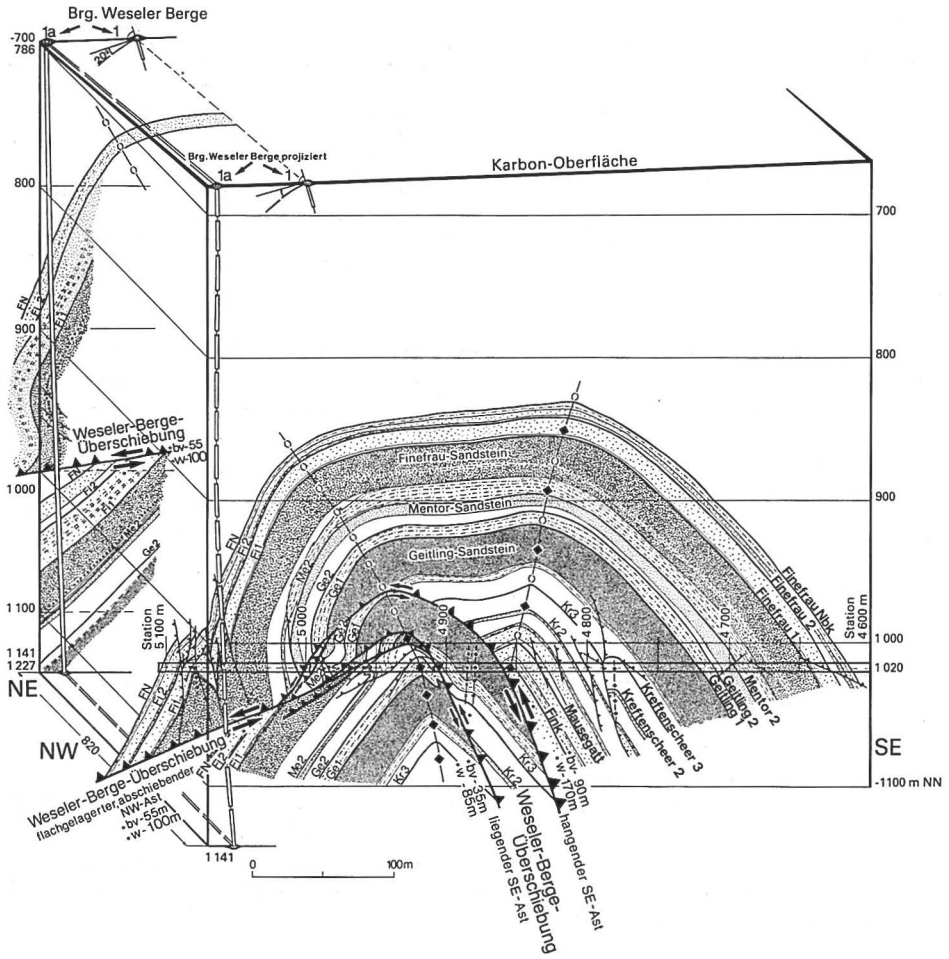


Abb. 9 Kulissenblock der Gesamtstruktur des Auguste-Victoria-Sattelkerns mit Verlauf der mitgefalteten Weseler-Berge-Überschiebung und Darstellung der Profile der Tiefbohrung Weseler Berge 1/1a

Fig. 9 Interlocking block diagram showing the structure of the Auguste Victoria anticline core with the folded Weseler Berge overthrust and the profils of the deep drilling Weseler Berge 1/1a

entsprechend ihrer Lotabweichung abgebildet und zum Vergleich mit der Strecke auf die vordere Bildebene projiziert.

Während die beiden südöstlichen Überschiebungsäste aufschiebenden Charakter zeigen, weisen die Äste auf der Nordostflanke des Sattels abschiebenden Bewegungssinn auf. Die Schubweite des hangenden Astes verringert sich von 170 m auf der Südostflanke über den Sattelscheitel auf weniger als 30 m auf der Nordwestflanke und wird teilweise durch den liegenden Ast aufgenommen. Dort steigt die Schubweite von 85 m auf 100 m an. Die Auswertung der Tiefbohrung ergab ebenfalls eine Schubweite von 100 m für diesen Ast der Weseler-Berge-Überschiebung auf der Nordwestflanke des Sattels.

Der bankrechte Verwurf der beiden südöstlichen Äste der Weseler-Berge-Überschiebung ergibt sich aus der Zuordnung eines unter Tage nicht eindeutig korrelierbaren Sandsteinpaketes. Obwohl die Sandsteinpartie einerseits durch den hangenden und andererseits durch den liegenden südöstlichen Überschiebungsast vom übrigen Schichtenverband isoliert wird, konnte im Gesamtbild eine Korrelation mit dem Geitling-Sandstein erfolgen, da die bankrechte Mächtigkeit von 27 m kaum von der Mächtigkeit des Geitling-Sandsteins auf der ungestörten Südflanke (30 m) abweicht und ebenfalls die lithologische Ausbildung der liegenden Schichtenfolge vergleichbar ist. Die Schleppkohle im Hangenden des liegenden Störungsastes (Station 4 903 m) ist dann dem Flöz Kreftenscheer 3 zuzuordnen. Somit ist an dem hangenden südöstlichen Überschiebungsast der Weseler-Berge-Überschiebung die Schichtenfolge der ungestörten Südostflanke mit einem bankrechten Verwurf von 90 m auf den Geitling-Sandstein aufgeschoben worden.

Aussagen über den bankrechten Verwurf des liegenden südöstlichen Störungsastes konnten erst nach der Korrelation eines Flözes nahe der Umbiegungsachse des Auguste-Victoria-Sattels erfolgen. Da sich das Flöz lithologisch und geochemisch dem Flöz Geitling 2 zuordnen läßt, ist der Geitling-Sandstein am liegenden Ast der Weseler-Berge-Überschiebung auf den Kernbereich des Auguste-Victoria-Sattels nahe der Faltenachsenfläche unter Schleppung von Flöz Geitling 2 aufgeschoben worden. Der bankrechte Verwurf beträgt demnach 35 m.

Im stark spezialgefalteten Bereich im Liegenden des abschiebenden nordwestlichen Störungsastes der Weseler-Berge-Überschiebungszone (Station 4 932 – 4 941 m), nahe der Sattelachsenfläche, können Schleppkohlenlagen dem Flöz Geitling 2 und bei Station 4 955 m, mit einer Sandsteinbank an der Basis, dem Flöz Mentor 2 zugeordnet werden. Aus dem Gesamtbild ergibt sich, daß das stark deformierte Sandsteinpaket zwischen den randlichen Scherfugen der Störungszone des liegenden südwestlichen Störungsastes der Weseler-Berge-Überschiebung am ehesten als Mentor-Sandstein eingestuft werden kann. Der bankrechte Verwurf an den Scherflächen würde dann jeweils 15 – 20 m betragen.

Das Flöz Mentor 2 mit dem liegenden Sandsteinpaket wiederholt sich dreimal bei Station 4 991, 4 998 und 5 007 m in der Strecke und wird in der Störungszone des hangenden nordwestlichen Störungsastes bei Blockierung der Scherflächen internrotiert. Der bankrechte Verwurf an der hangenden Störung beträgt oberhalb des Querschlages ca. 25 m und verringert sich im Gesamtbild nach der Abspaltung der liegenden Scherfläche auf weniger als 10 m.

Aufgrund der unterschiedlichen Einfallswerte laufen beide abschiebenden Störungsäste im Nordwesten des Sattelkerns unterhalb des Querschlages zu einem flachen nordwestfallenden Ast mit einem bankrechten Verwurf von 55 m zusammen. Insgesamt zeigen die synthetisch aufschiebenden Überschiebungen der Südostflanke des Sattels in der Strecke ein größeres Verwurfsmaß als die antithetisch aufschiebenden und synthetisch abschiebenden Überschiebungsbahnen auf der Nordwestflanke. Die aufschiebenden Störungsäste unterscheiden sich von denen mit abschiebenden Bewegungssinn durch die Ausbildung der Störungszone. Während sich die Breite der Störungszone der aufschiebenden Äste der Weseler-Berge-Überschiebung

auf weniger als 2 m erstreckt und schwache Verformungserscheinungen im Hangenden und Liegenden vorliegen, dehnen sich die Störungszonen der abschiebenden Äste auf der Nordwestflanke bis auf 8 m aus. Dabei verzweigen die Äste in mehrere Scherflächen. Deformationserscheinungen sind neben Schleppungserscheinungen, die auch Störungszonen der Überschiebungen mit aufschiebenden Charakter zeigen, und Internrotationen von Flöz- und Nebengesteinspartien zwischen den randlichen Scherflächen (Station 4 991 - 5 000 m hauptsächlich die intensive Zerscherung und Zerblockung des Schichtenverbandes.

Im Liegenden des nordwestlichen abschiebenden Astes der Weseler-Berge-Überschiebung nahe der Sattelachsenfläche treten in den 27 Streckenmetern der steilen bis überkippten Bänderschiefertone und Schiefertone Schleppfalten geringer Amplitude mit subhorizontalen Achsenflächen auf. Materialunterschiede scheinen dabei weniger eine Rolle zu spielen, da selbst Sandsteinpakete (Station 4 958 - 4 970 m) wie die Schiefertonpartien intensiv spezialgefaltet sind und subhorizontale Faltenachsenflächen aufweisen.

Insgesamt zeichnen sich Überschiebungsbahnen mit abschiebenden Bewegungssinn in der Strecke durch einen stärkeren Deformationsgrad des Gebirges aus, besonders im Liegenden. Dagegen sind in der Tiefbohrung Weseler Berge 1 a die Schichten im Liegenden der Störung kaum deformiert.

Der auffälligen, intensiven Zerblockung des Gebirges, wie sie DROZDZEWSKI (1980: 34) beim Auftreten von Sprüngen beschreibt, steht die eher unauffällige, kleinräumigere Ausbildung von Überschiebungszonen gegenüber. Jedoch spielt die Zerblockung und Zerscherung des Gebirges bei den synthetisch abschiebenden Überschiebungen offensichtlich eine stärkere Rolle, die Breite der Störungszone nimmt zu.

Materialabhängigkeiten scheinen insgesamt eine geringere Rolle als Winkelbeziehungen zwischen Schichten- und Störungsflächen zu spielen, da keine deutlichen Beziehungen zwischen tektonischem Inventar und Gesteinsaufbau festgestellt werden konnten. Das Einfallen der aufschiebenden Störungsäste bildet mit den Schichtenflächen einen spitzen Winkel von 10 - 15 gon, das der abschiebenden Äste einen weit größeren Winkel, der zwischen 30 und 90 gon streut (vgl. KUNZ 1980, WREDE 1980).

Genetisch wird die Weseler-Berge-Überschiebung als mitgefalteter Wechsel gedeutet, während steilstehende, zum Sattelkern gerichtete antithetische Überschiebungsbahnen, besonders auf der Nordwestflanke des Auguste-Victoria-Sattels, bei Blockierung der früher angelegten Scherflächen und bei fortschreitender horizontaler Einengung aufgerissen sowie mitrotiert sein dürften. In der Tiefbohrung Weseler Berge 1 a weisen die antithetischen Scherflächen im Hangenden der Weseler-Berge-Überschiebung auf der Nordwestflanke des Auguste-Victoria-Sattels ein flacheres Südosteinfallen als die vergleichbaren Scherflächen in der Strecke auf, da sie während des Faltungsprozesses zusammen mit den Schichten stärker rotiert wurden. HOEPPENER & BRIX & VOLLBRECHT (1983: 443, Abb. 9) beschreiben in einem Vergleich mit dem Schweizer Jura und dem Rheinischen Schiefergebirge für das Ruhrkarbon ebenfalls Überschiebungsbahnen, die bei fortschreitender horizontaler Einengung mitgefaltet wurden, sowie weitere Scharen kleinerer, später gebildeter und zum Sattelkern gerichteter Überschiebungsflächen auf den Flanken.

In der Strecke sind im Hangenden der steilstehenden Überschiebungsbahnen auf der Südostflanke des Auguste-Victoria-Sattels kleine Spezialsättel (Station 4 856 u. 4 780 m) zu beobachten, die durch Schleppung der Schichten entstanden sind.

Bei Station 4 780 m werden die Kreftenscheer-Flöze an einer kleineren Überschiebungsbahn (bankrechter Verwurf 10 m) geschleppt und verdoppelt. An dem hangenden südöstlichen Störungsast der Weseler-Berge-Überschiebungszone entwickelt sich aus der Faltenachsenfläche eines kleineren Spezialsattels die südöstliche Umbiegungsachse des oberhalb des Querschlages kofferförmigen Bau annehmenden Auguste-Victoria-Sattels. Die nordwestliche Umbiegungsachse wird durch die Bohrung Weseler Berge 1 belegt, die die flache Lagerung der Karbon-Schichten nahe der Achsenfläche durchteuft hat und wegen zu großer Lotabweichung wenige Meter unterhalb des Deckgebirges eingestellt wurde.

Wie schon JUCH (1976) nimmt daher auch BORNEMANN (1980) an, daß sich der südwestlich als Spitzsattel ausgebildete Auguste-Victoria-Sattel nach Nordosten verbreitert und über einen runden, buckelartigen Sattel im kofferförmigen Bau übergeht.

In wesentlichen Zügen stimmen die Analyse der Struktur des Auguste-Victoria-Sattelkernes und der Weseler-Berge-Überschiebung mit Ergebnissen des Forschungsprojektes „Tiefentektonik des Ruhrkarbons" (DROZDZEWSKI & KUNZ & WREDE & BORNEMANN 1980) überein. Die Ansicht, daß Überschiebungsbahnen sowie deren tektonisches Begleitgefüge als Längsstrukturen auf das Innigste mit dem Faltenbau verbunden sind, kann hiermit auch durch eine weitere Untersuchung, der Dokumentation und Analyse der mitgefalteten Weseler-Berge-Überschiebung im Kern des Auguste-Victoria-Sattels, belegt werden.

5. Schriftenverzeichnis

BORNEMANN, O. (1980): Tiefentektonik der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 173 - 191, 2 Abb., 9 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

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., & BORNEMANN, O., & KUNZ, E., & WREDE, V. (1980): Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons. - 192 S., 108 Abb., 7 Tab., 31 Taf.; 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**: 51 - 66, 16 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

HEIDELBACH, G. (1982): Vollschnittauffahrung zum Anschluß des Halternfeldes an das Bergwerk General Blumenthal. - Glückauf, **118**: 5 - 11, 14 Abb.; Essen.

HOEPPENER, R., & BRIX, M., & VOLLBRECHT, A. (1983): Some aspects on the origin of fold-type fabrics-theory, experiments and field applications. - Geol. Rdsch., **72** (2): 421 - 450, 10 Abb., 1 Taf.; Stuttgart.

JUCH, D. (1976): Tektonische Bearbeitung der Tiefbohrung Weseler Berge 1/1a. - 4 S., 5 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

KLINGE, U. (1980): Aufschluß einer Steinkohlenlagerstätte. Techniken und Ergebnisse dargestellt am Beispiel des Planungsraumes „Haard/Haltern". - Markscheidewesen, **87**: 168 - 177, 10 Abb.; Herne.

KUNZ, E. (1980): Tiefentektonik der Emscher- und Essener Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 85 - 134, 41 Abb., 3 Tab., 8 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

LAUTSCH, H. (1977): Tektonische Grundbereiche als Grundlage für die lagerstättengeometrische und für die bergbauliche Planung im Ruhrkarbon. - Glückauf, **113**: 712 - 717, 11 Abb.; Essen.

- (1979): Analyse zur quantitativen Prognose der Tektonik des Ruhrkarbons mit Hilfe lagerstättengeometrischer und tektomechanischer Vorstellungen. - Markscheidewesen, **86**: 68 - 72, 7 Abb.; Herne.

WREDE, V. (1980): Tiefentektonik der Bochumer Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet. - In: Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 135 - 171, 23 Abb., 3 Tab., 7 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

Eingang des Manuskriptes: 29. 5. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	105-118, 9 Abb., 1 Taf.	Krefeld, März 1985

Der Albert-4-Horizont, ein mikrofaunistischer Leithorizont in den Bochumer Schichten (Westfal A) des westlichen und mittleren Ruhrreviers

Von WOLFGANG KNAUFF und BERNHARD PIEPER*

Microfauna, marine influence, marker band, Westphalian A, Ruhr district, Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: Die zahlreichen Explorationsbohrungen in der Reservezone des Ruhrbergbaus haben in den letzten Jahren die Möglichkeit geschaffen, die in der Bergbauzone angewendeten feinstratigraphischen Untersuchungsmethoden weiterzuentwickeln und dadurch die Möglichkeiten der Schichtengliederung und Flözidentifizierung zu verbessern. Insbesondere Untersuchungen der Mikrofauna haben hier zu Erfolgen geführt.

Der bereits aus dem Bereich des Niederrheins bekannte Mikrofaunenhorizont über dem Flöz Albert 4 in den höheren Bochumer Schichten (Westfal A) wurde im gesamten innerhalb des Explorationsbereiches liegenden Teil seiner Verbreitungsfläche untersucht. Es zeigt sich, daß er im westlichen bis mittleren Revier neben einem hohen Anteil an agglutinierenden Foraminiferen und Ostracoden auch regelmäßig Kleinformen von Gastropoden, Lamellibranchiaten sowie gelegentlich Goniatiten und Conodontenbruchstücke enthält und sich dadurch als marin beeinflußt erweist. Nach Osten zu nimmt dann der marine Faunenanteil ab.

Dieser Horizont stellt eine Leitschicht dar, die von großer Bedeutung für die Gliederung des höheren Westfals A im westlichen und mittleren Revier ist.

[The Albert-4-horizon, a mircrofaunistic marker band in the Bochum beds (Westphalian A) of the western and central Ruhr area]

Abstract: Numerous new borings in the more northern region of the middle and western part of the Ruhr district („Reservezone") have shown that the layers above the so-called Albert 4 coal seam are filled with typical marine influenced microfaunas. In these faunas agglutinating foraminifers, ostracodes, small gastropodes, lamellibranchs and, less, goniatites and rests of conodonts can be found. So it may be said the Albert-4-horizon here is a well marked one by means of microfossils.

[L'horizon Albert 4, un niveau-repère microfaunistique dans les Bochum couches (Westphalién A) à la Ruhr centrale et occidentale]

Résumé: Des sondages d'exploration nouveaux dans la zone de reserve au nord de la Ruhr ont permis de prouver des microfaunes typiques dans les couches au-dessus de la veine Albert 4. On peut identifier des foraminifères, des ostracodes, des formes de petits gastropodes et lamellibranches et, plus rare, des goniatites et des restes de conodontes. Cette faune signifie un milieu plus ou moins marin. A cause de cela cette partie de l'„Albert 4" est bien marquée dans la succession des couches du Westphalien A.

1. Einleitung

Die besondere Stellung des Albert-4-Horizontes innerhalb der höheren Bochumer Schichten (oberes Westfal A) mit seiner speziellen Mikrofauna ist seit fast dreißig Jahren aus dem niederrheinischen Raum bekannt. Vorher hatte

* Anschrift der Autoren: Dr. W. KNAUFF und Dr. B. PIEPER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

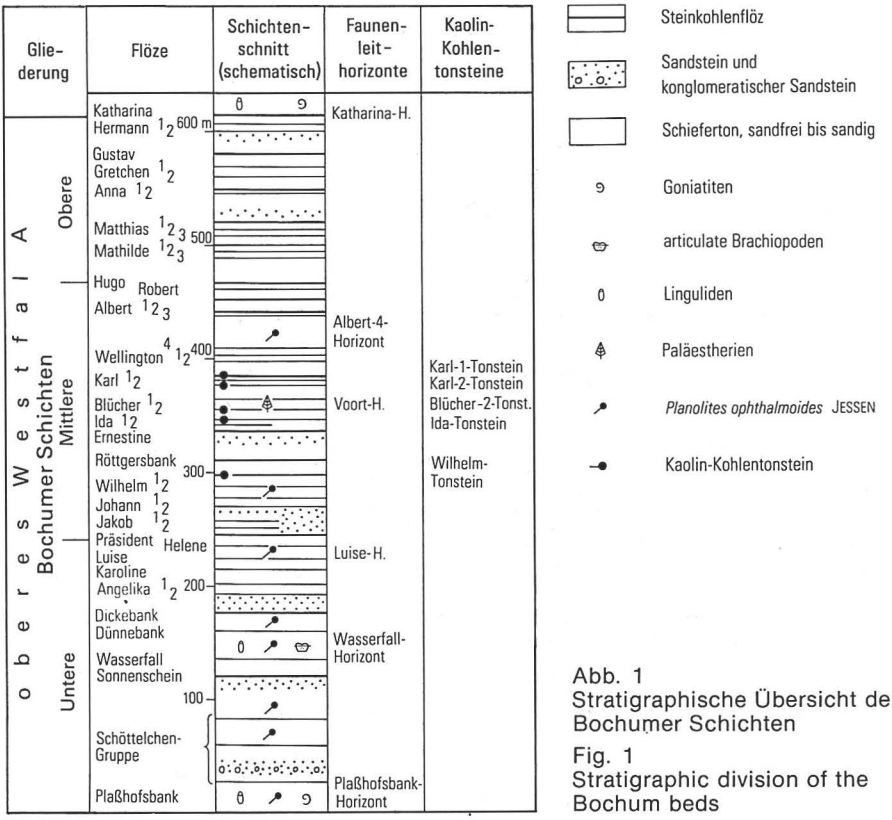


Abb. 1
Stratigraphische Übersicht der Bochumer Schichten

Fig. 1
Stratigraphic division of the Bochum beds

schon GOTHAN (1932) Wurm- und Grabröhren über dem Flöz Hugo (Zechenbezeichnung) = Flöz Albert 4/Wellington (Einheitsbezeichnung) der Zechen Friedrich Thyssen 3/7 und 4/8 (Duisburg-Hamborn) beschrieben, die später von JESSEN (1950) als Anzeichen einer marinen Beeinflussung erkannt und als *Planolites ophthalmoides* bezeichnet wurden. Dieser sogenannte „Augenschiefer" über Flöz Albert 4 ist allerdings weit weniger typisch ausgebildet als die zahlreichen weiteren in der liegenden Schichtenfolge (s. Abb. 1). FIEBIG (1955 a, 1955 b) und REICHELT (1956) fanden im Grubenbereich mehrerer Schachtanlagen am linken Niederrhein im Hangenden von Flöz Albert 4 neben *Planolites ophthalmoides* JESSEN und nichtmarinen Muscheln eine bemerkenswerte Foraminiferen-Ansammlung mit Kleinformen von Gastropoden. Allerdings glaubte REICHELT, daß diese Mikrofauna für den von ihm untersuchten Bereich nicht von hohem Rang für die Flözgleichstellung anzusehen sei, da Foraminiferen häufig auch über anderen Flözen gefunden würden. Im Gegensatz zu dieser, bei Betrachtung des eng begrenzten Untersuchungsgebietes verständlichen Ansicht war FIEBIG bereits der Meinung, daß der in allen von ihm untersuchten Aufschlüssen nachgewiesene „Augenschiefer-Horizont" über Flöz Albert 4 aufgrund seines ungewöhnlichen Fauneninhalts leitende Bedeutung haben dürfte. Zuletzt hat RABITZ (1962) durch eine detaillierte Untersuchung mehrerer rechtsrheinischer Aufschlüsse nachgewiesen, daß der Albert-4-Horizont auch im Raum Oberhausen –Bottrop eine Besonderheit darstellt.

Die zahlreichen neuen Bohrungen, die zumeist in der nördlichen Reservezone vor allem von der Ruhrkohle AG sowie von der Gewerkschaft Auguste Victoria und der Eschweiler Bergwerksverein AG niedergebracht worden sind, haben nun die Möglichkeit geschaffen, diesen Horizont im gesamten innerhalb der Explorationszone liegenden Teil seiner Verbreitungsfläche zu untersuchen. Seit 1970 ist er von ca. 200 Kernbohrungen durchteuft worden, wobei sich die Aufschlußdichte im mittleren und östlichen Revier auf die Lüdinghausener Mulde (Planungsraum Haard/Haltern - Olfen) und Essener Mulde (Planungsräume Haus Aden Nord und Donar) konzentriert. Im westlichen Teil des mittleren Reviers sowie im westlichen Revier liegt im Kern der Lippe-Hauptmulde Flöz Albert 4 so tief, daß es bei der durchschnittlichen Bohrteufe von 1 300 m nicht erreicht wurde. Die Aufschlüsse liegen dort in tektonisch höher gelegenen Bereichen, also im Bereich der westlichen Kulmination der Faltenachsen westlich Rheinberg und im Kernbereich des Dorstener Hauptsattels und auf seiner flachen Nordflanke (s. Abb. 2).

2. Fauna des Albert-4-Horizonts

Die Kerne aller Bohrungen wurden zunächst routinemäßig vom Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse makropetrographisch und makropaläontologisch aufgenommen. Zur Ermittlung des qualitativen und quantitativen Gehalts an Kleinfauna wurden anschließend bei einem großen Teil dieser Bohrungen Kernteile entnommen, die im mikropaläozoologischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen untersucht wurden. Die Probennahme geschah in Form einer Schlitzprobe, um die häufig auf sehr dünnen Lagen konzentrierte Mikrofauna möglichst vollständig zu erfassen. Das Ergebnis der mikrofaunistischen Untersuchung ist für den Albert-4-Horizont zusammengefaßt in Abbildung 2 sowie für einige repräsentative Aufschlüsse detailliert in den Abbildungen 3 - 9 dargestellt.

Folgende Bohraufschlüsse wurden für die Darstellung in den Abbildungen 3 - 9 ausgewählt (zur Lage vgl. Abb. 2):

Aufschluß 1a	Bohrung Mehrum 2 (1981), Werksdirektion Walsum R 25 43 464,31; H 57 16 882,38
Aufschluß 1b	Bohrung Schlüsselacker 1 (1982), Steinkohlenberechtsame Friedrichsfeld VI R 25 42 280,22; H 57 17 158,21
Aufschluß 1c	Bohrung Ork 1 (1982) Steinkohlenberechtsame Friedrichsfeld 16 R 25 42 726,31; H 57 18 302,99
Aufschluß 2	Bohrung Loisberg 1 (1977), Werksdirektion Rheinland R 25 39 022,60; H 57 12 803,22
Aufschluß 3	Bohrung Heilkamp 1 (1981), Werksdirektion Lohberg R 25 49 106,86; H 57 20 215,61
Aufschluß 4	Bohrung Hünxerwald 3 (1981), Werksdirektion Prosper/Haniel R 25 49 106,86; H 57 20 215,61
Aufschluß 5	Bohrung Sölten 1 (1977), Werksdirektion Fürst Leopold/Wulfen R 25 66 052,86; H 57 29 834,66

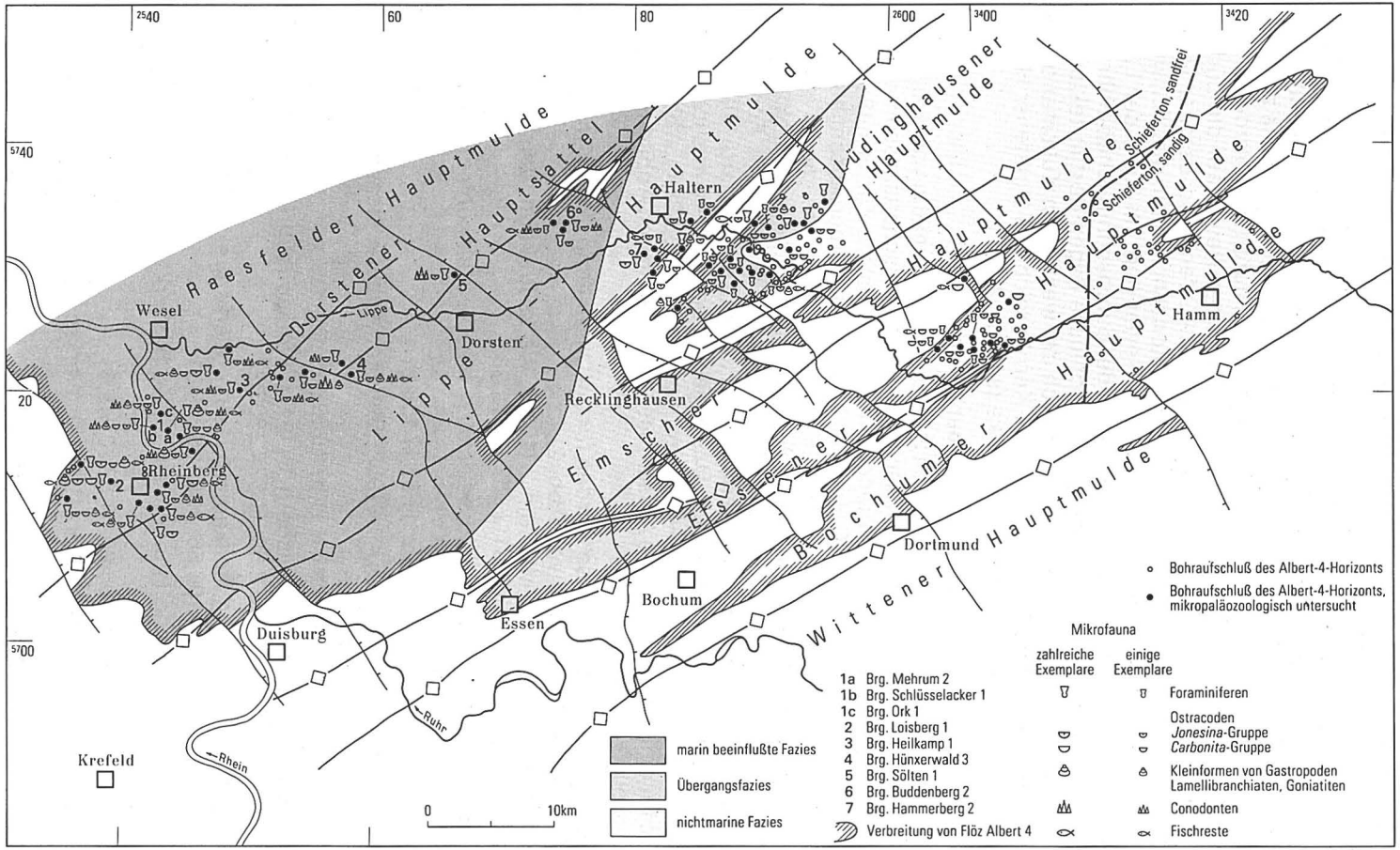


Abb. 2 Verbreitung und Mikrofauna des Albert-4-Horizonts

Fig. 2 Distribution and microfauna of the Albert-4-horizon

Aufschluß 6 Bohrung Buddenberg 2 (1977), Werksdirektion Fürst Leopold/Wulfen
R 25 74 815,27; H 57 34 210,40

Aufschluß 7 Bohrung Hammerberg 2 (1978), Werksdirektion General Blumenthal
R 25 81 064,47; H 57 31 839,30

(Die Koordinaten beziehen sich auf die Bohrlochmitte an der Erdoberfläche, sind also nicht bei Bohrlochabweichungen auf die Tiefenlage von Flöz Albert 4 korrigiert).

Die reichste Mikrofauna sowohl bezüglich der Fossilgruppen als auch der Individuenzahl mit der größten vertikalen Verbreitung wurde rechtsrheinisch im Gebiet des Voerder Rheinbogens gefunden. Aus diesem Raum wurden drei benachbarte Aufschlüsse zur Darstellung gebracht, um für einen Bereich das gesamte Faunenspektrum möglichst umfassend aufzuzeigen, aber auch, um exemplarisch die Abhängigkeit der Faunenführung von der Gesteinsfazies zu verdeutlichen. Alle drei Schichtenschnitte (Abb. 3 - 5) zeigen, daß der fossilreiche Abschnitt dort zweigeteilt ist durch das dazwischenliegende Flöz Albert 4 Obk, das oft nur aus Kennelkohle beziehungsweise aus Kennelschiefer oder aus bituminösem Schieferton besteht. Diese Erscheinung ist am Niederrhein weit verbreitet, so auch in den von RABITZ (1962) beschriebenen Aufschlüssen.

Die im Text und in den Abbildungen verwandten Flözbezeichnungen entsprechen den heute von den Schachtanlagen für die Bohrungsprofile als Einheitsbezeichnung benutzten Namen. Sie sind vorerst nur als vorläufig anzusehen und entsprechen möglicherweise insbesondere bei komplizierteren Scharungsverhältnissen nicht immer der von BACHMANN (1967) und JESSEN & MICHELAU & RABITZ (1962) im Bergbaubereich vorgenommenen Flözgleichstellung und einheitlichen Flözbenennung. Eine Anbindung der Bohrschnitte an diese Zechenprofile und die erst dann mögliche endgültige Einheitsbenennung muß eingehenden stratigraphischen Arbeiten vorbehalten bleiben, die zur Zeit noch nicht vorliegen.

In der Bohrung Mehrum 2 (Abb. 3) ist das Liegende von Flöz Albert 4 Obk - das Flöz Albert 4 Ubk/Wellington 1 müßte unmittelbar unterhalb der Endteufe anstehen - als Wechsellagerung von sandfreiem und mehr oder weniger stark sandführendem Schieferton[1)] ausgebildet. In der 1 200 m westlich gelegenen Bohrung Schlüsselacker 1 (Abb. 4) überwiegt vor allem im oberen Teil Sandschieferton, während in der 1 600 m nordnordwestlich angesetzten Bohrung Ork 1 (Abb. 5) der gesamte Gesteinsabschnitt als sandfreier Schieferton angesprochen worden ist.

Das Hangende von Flöz Albert 4 Obk ist einheitlicher ausgebildet. In allen drei Profilen beginnt es über dem Flöz als sandfreier Schieferton, der an der Basis oft schwach bituminös ist. Diese sandfreie Fazies setzt sich über fast den gesamten untersuchten Raum fort. Lediglich im östlichen Teil geht sie im Bereich der Donar-Felder in eine Sandschiefertonfazies über (Abb. 2).

Die Vorkommen von Makro- und Mikrofauna sind vorwiegend auf Teile der sandfreien Fazies beschränkt. An Makrofauna wurden bei der Routineaufnahme vor allem nichtmarine Muscheln beobachtet, die insbesondere am Niederrhein direkt unter oder über Flöz Albert 4 Obk in oft charakteristischer

[1)] Die petrographischen Angaben sind dem vom Institut für Angewandte Geologie der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum erstellten Protokoll der Schichtenaufnahme entnommen. Es werden hier ausschließlich die im Steinkohlenbergbau gebräuchlichen Gesteinsbezeichnungen verwandt.

Weise als Muschelbänke in kalkiger Schalenerhaltung auftreten. Sie gehören überwiegend den Gattungen *Carbonicola* und *Naiadites* an. Gelegentlich werden auch Exemplare von *Curvirimula* gefunden. Im einzelnen ließen sich folgende Arten unterscheiden (Bestimmung E. PAPROTH, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.): *Carbonicola cristagalli* WRIGHT als häufigste Spezies, daneben *C. pseudorobusta* TRUEMAN und *C. oslancis* WRIGHT. Von den Naiaditen wurde ausschließlich *Naiadites flexuosus* DIX & TRUEMAN bestimmt. Die Cur-

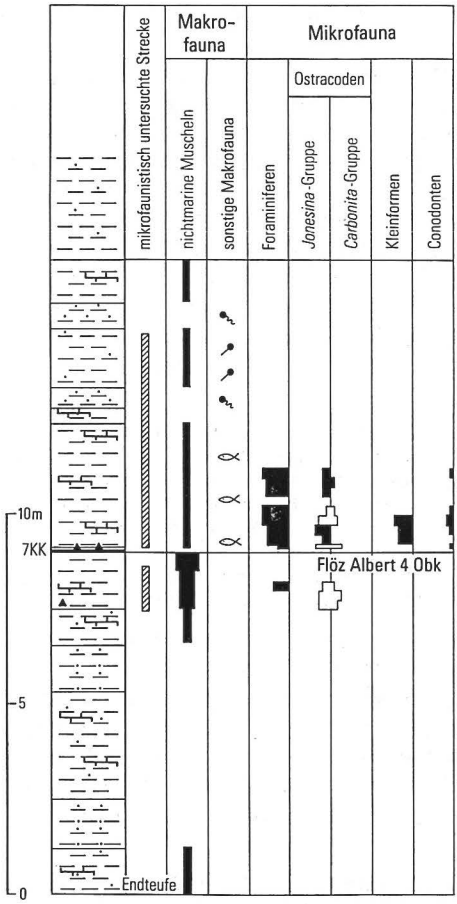


Abb. 3 (links)
Faunenprofil aus dem Hangenden und Liegenden von Flöz Albert 4 Obk in der Bohrung Mehrum 2 (Legende s. Abb. 6)

Fig. 3 (left)
Fauna distribution in the roof and underlying beds of seam Albert 4 Obk in borehole Mehrum 2 (legend s. fig. 6)

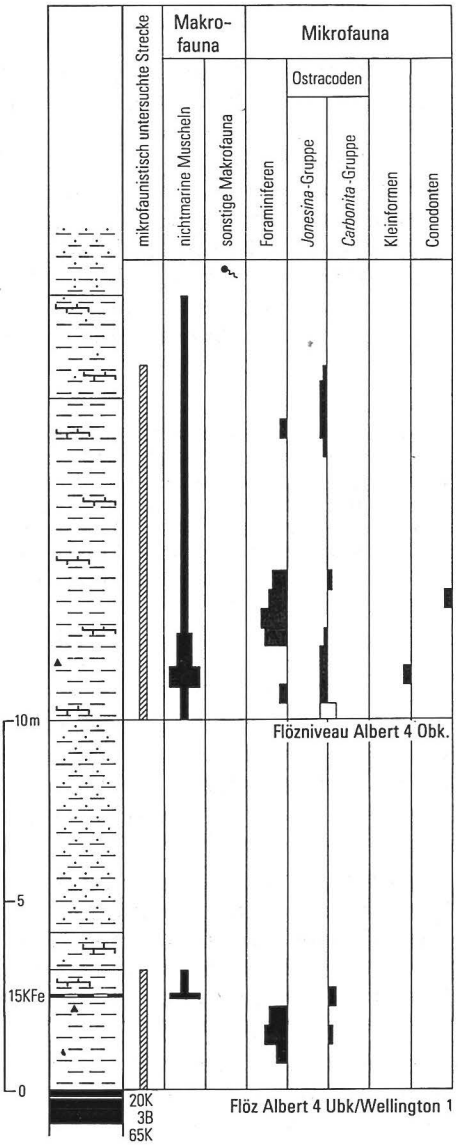


Abb. 4 (rechts) Faunenprofil aus dem Hangenden und Liegenden von Flöz Albert 4 Obk in der Bohrung Schlüsselacker 1 (Legende s. Abb. 6)

Fig. 4 (right) Fauna distribution in the roof and underlying beds of seam Albert 4 Obk in borehole Schlüsselacker 1 (legend s. fig. 6)

virimulen wurden als *Curvirimula belgica* (HIND) und *C. candela* (DEWAR) spezifiziert. Die nichtmarinen Muscheln gehören damit zur Fauna der unteren *modiolaris*-Zone, die über dem Flöz Wellington 1 beginnt und bis zum Flöz Katharina reicht.

Zumeist im höheren Teil des Albert-4-Horizonts fanden sich gelegentlich Grabspuren von *Planolites ophthalmoides* JESSEN sowie häufiger von *P. montanus* RICHTER.

Die von RABITZ (1962) auf der Zeche Concordia (Oberhausen) zwischen Flöz Wellington und Flöz Albert 4 – entspricht dem Abschnitt zwischen den hier als Albert 4 Obk und Albert 4 Ubk/Wellington 1 bezeichneten Flözen – gefundenen Leaien wurden darüber hinaus nirgends beobachtet, möglicherweise aber auch nicht immer erkannt.

Regelmäßig werden auch Fischreste beobachtet, die wegen ihrer geringen Größe zumeist erst bei der mikrofaunistischen Untersuchung gefunden wurden und hier deshalb zusammen mit der Mikrofauna in die Abbildung 2 (S. 108) aufgenommen worden sind. Neben Schuppen von *Rhizodopsis, Rhadinichthys* und *Mesolepis* sowie Knochenresten wurden vor allem Fischzähnchen, deren Zugehörigkeit im einzelnen noch nicht geklärt ist, festgestellt. Morphologisch konnten die am häufigsten anzutreffenden Kegelzahntypen (Taf. 1: Fig. 12, S. 117) von den selteneren Pflasterzahntypen und Formen mit Leisten (Taf. 1: Fig. 13) unterschieden werden.

Eine herausragende Stellung nimmt über dem Flöz Albert 4 die Mikrofauna ein, die sich durch ihren Anteil an marinen Elementen von allen anderen mikrofaunenführenden Horizonten der höheren Bochumer Schichten unterscheidet und sich durchgehend vom Niederrhein bis in den Raum Haltern verfolgen läßt.

Zahlenmäßig am häufigsten vertreten sind agglutinierende Foraminiferen, die zu den Ammodiscidae und Hyperamminidae gehören.

Es konnten die Gattungen *Ammodiscus* (Taf. 1, Fig. 1), *Glomospira* (Taf. 1, Fig. 2), *Glomospirella* (Taf. 1, Fig. 3) und *Agathamminoides* sowie *Hyperammina* (Taf. 1, Fig. 4) unterschieden werden. Artbestimmungen, die wegen des Erhaltungszustands der Fossilien sehr problematisch wären, wurden nicht durchgeführt.

In der Häufigkeit folgen Ostracoden, von denen die brackisches Milieu anzeigenden Jonesinen am zahlreichsten vertreten sind, gefolgt von den als nichtmarin anzusehenden Carboniten und Whipplellen. Die marinen Hollinellen sind nur ganz vereinzelt beobachtet worden.

Einige Formen sind zur Gattung *Bythocypris* gestellt worden, die als marines Fossil anzusehen ist, jedoch schwierig von der nichtmarinen *Carbonita* abzugrenzen ist (KNAUFF in JESSEN et al. 1967).

Im einzelnen konnten folgende Arten unterschieden werden: *Jonesina arcuata* (BEAN) (Taf. 1, Fig. 5), *J. robusta* (KUMMEROW), *Whipplella cenisa* KREMP & GREBE (Taf. 1, Fig. 6), *W. rhenana* (KUMMEROW), *Carbonita agnes* (JONES) (Taf. 1, Fig. 7), *C. humilis* (JONES & KIRKBY) und *C. inflata* (JONES & KIRKBY).

Unzweifelhaft marin sind die hier als Kleinformen zusammengefaßten und zumeist als Steinkern erhaltenen Exemplare von Gastropoden (Taf. 1, Fig. 8, 9), Lamellibranchiaten (Taf. 1, Fig. 10) und Goniatiten, von denen die Mollus-

ken im westlichen Revier regelmäßig anzutreffen sind, während die Goniatiten nur einige Einzelfunde darstellen. Detailuntersuchungen der Kleinformen fehlen bisher.

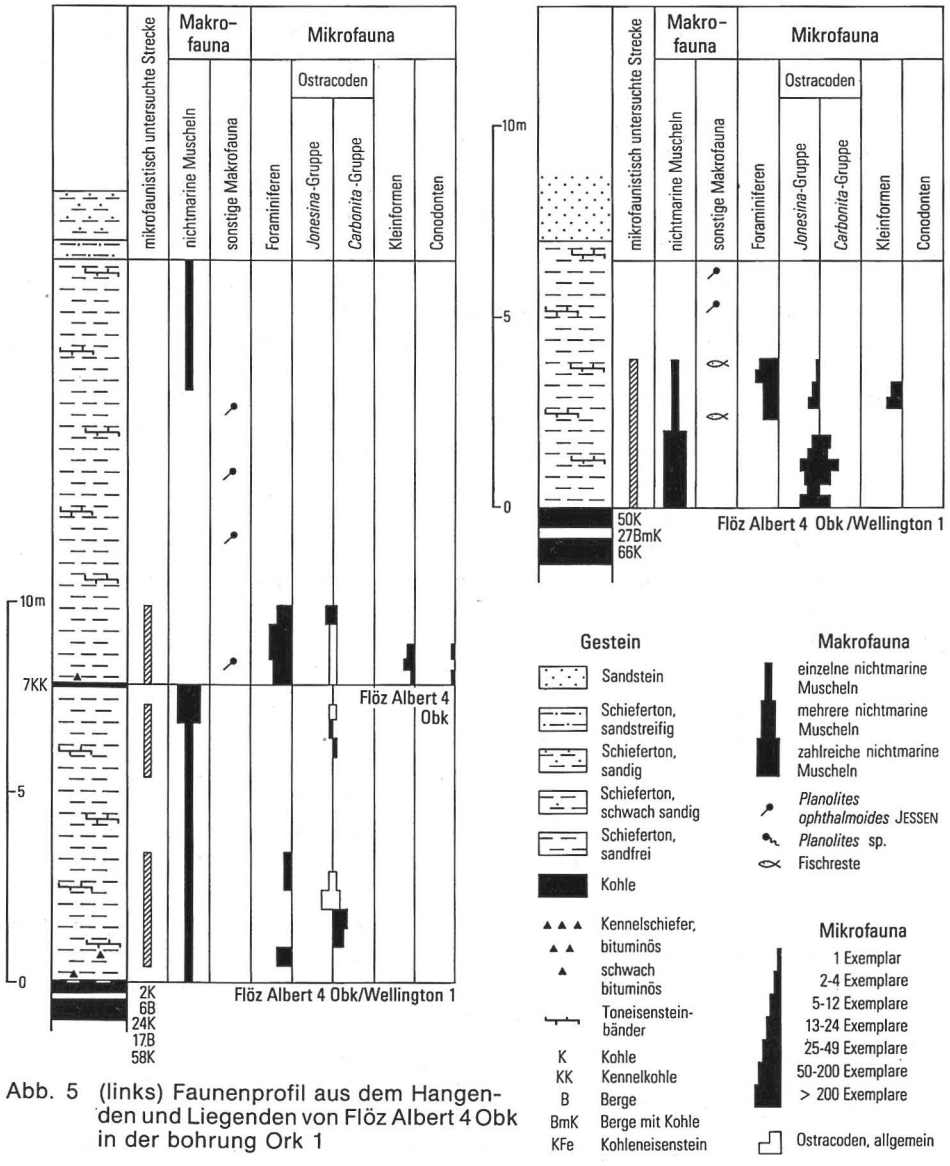


Abb. 5 (links) Faunenprofil aus dem Hangenden und Liegenden von Flöz Albert 4 Obk in der bohrung Ork 1

Fig. 5 (left) Fauna distribution in the roof and underlying beds of seam Albert 4 Obk in borehole Ork 1

Abb. 6 (rechts) Faunenprofil aus dem Hangenden von Flöz Albert 4/Wellington 1 in der Bohrung Loisberg 1

Fig. 6 (right) Fauna distribution in the roof beds of seam Albert 4/Wellington 1 in borehole Loisberg 1

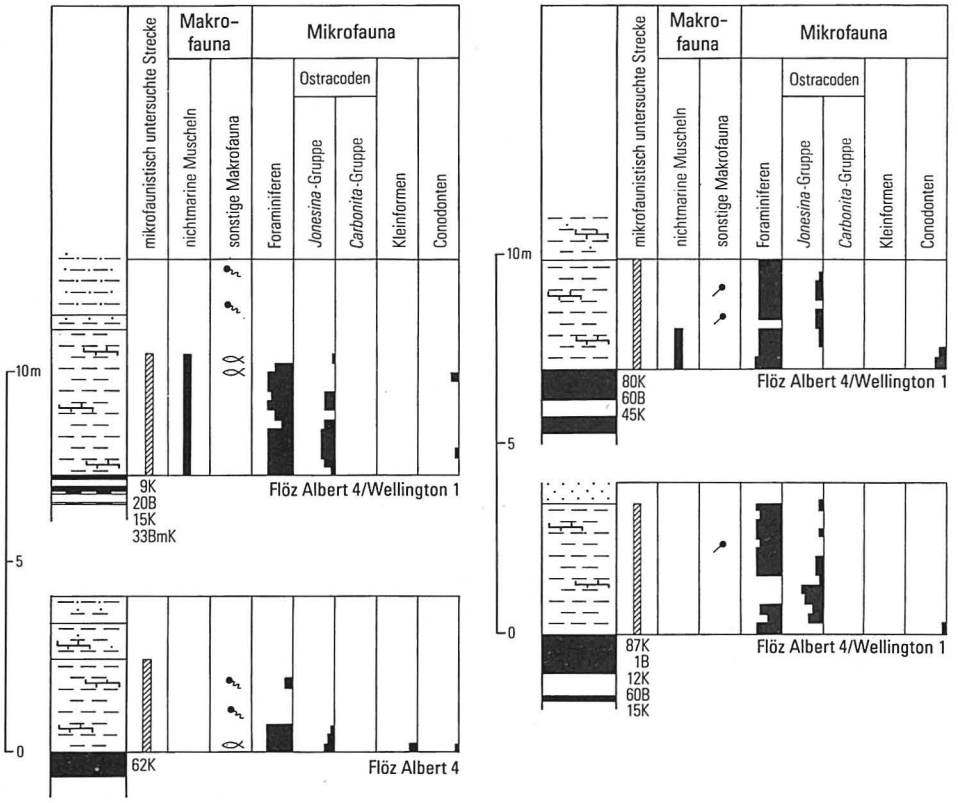


Abb. 7 (links) Faunenprofil aus dem Hangenden von Flöz Albert 4/Wellington 1 in der Bohrung Heilkamp 1 (oben) und aus dem Hangenden von Flöz Albert 4 in der Bohrung Hünxerwald 3 (unten) (Legende s. Abb. 6)

Fig. 7 (left) Fauna distribution in the roof beds of seam Albert 4/Wellington 1 in borehole Heilkamp 1 (top) and of seam Albert 4 in borehole Hünxerwald 3 (bottom) (legend s. fig. 6)

Abb. 8 (rechts) Faunenprofil aus dem Hangenden von Flöz Albert 4/Wellington 1 in der Bohrung Sölten 1 (oben) und Buddenberg 2 (unten) (Legende s. Abb. 6)

Fig. 8 (right) Fauna distribution in the roof beds of seam Albert 4/Wellington 1 in borehole Sölten 1 (top) and Buddenberg 2 (bottom) (legend s. fig. 6)

Bemerkenswert sind darüber hinaus die - wenn auch nur in kleiner Anzahl aber regelmäßig, anzutreffenden - Conodontenbruchstücke (Taf. 1, Fig. 11).

Eine ähnlich zusammengesetzte Mikrofauna ist im Ruhrgebiet zwischen den durch Makrofauna belegten hochmarinen Horizonten Katharina und Wasserfall bisher außer im Albert-4-Horizont lediglich im Hangenden von Flöz Luise gefunden worden.

Die Verteilungsdiagramme der ausgewählten Aufschlüsse 1 - 7 (Abb. 3 - 9) zeigen, daß dort, wo von Flöz Albert 4 eine Oberbank abgespalten ist, sowohl das Hangende als auch das Liegende von Flöz Albert 4 Obk eine Mikrofauna führt. In diesem Fall ist die stärkere marine Beeinflussung - dies zeigen auch die von RABITZ (1962) beschriebenen Aufschlüsse - immer über Flöz Albert 4 Obk zu finden. Bei Anlagerung von Flöz Albert 4 Obk an Flöz Albert 4 Ubk

werden die mikrofossilreichen Abschnitte auf meist nur wenige Meter reduziert. Zur sicheren Identifizierung der Horizonte ist deshalb dann nur die Untersuchung eines relativ geringmächtigen Gesteinsabschnitts nötig.

Dort, wo das Hangende frei oder arm an nichtmarinen Muscheln ist, beginnt der Mikrofaunenhorizont direkt über dem Flöz (z. B. Brg. Mehrum 2, Abb. 3; Brg. Sölten 1, Abb. 8). Gelegentlich treten direkt über dem Flöz in größerer Zahl nichtmarine Muscheln auf. Der Horizont ist dann im muschelfreien beziehungsweise muschelarmen Abschnitt unmittelbar darüber zu finden (z. B. Brg. Loisberg 1, Abb. 6).

3. Die Verbreitung des Albert-4-Horizonts

In Abbildung 2 (S. 108) ist die Zusammensetzung der Mikrofauna des Albert-4-Horizonts durch Symbole neben den Lagepunkten der untersuchten Bohrungen dargestellt, wobei die Größe der Symbole die Häufigkeit der Individuen einer Flözgruppe verdeutlichen soll.

Die Übersicht macht deutlich, daß innerhalb der durch die Lage der Bohrpunkte kenntlich gemachten Explorationszone des Steinkohlenbergbaus die stark marin beeinflußte Mikrofauna von der westlichen Verbreitungsgrenze des Flözes Albert 4 bis in den Raum Haltern durchgehend vorhanden ist. Die vorausgegangenen Untersuchungen aus dem Bergbaubereich zeigen, daß die marinen Faunenelemente dort bis an die südliche Verbreitungsgrenze reichen dürften. Aus diesem Grund ist der gesamte westliche Teil als Bereich mit mariner Fazies bezeichnet worden.

Östlich davon nimmt sowohl die Anzahl der Fossilgruppen als auch die Individuenzahl ab (vgl. Abb. 9).

Conodontenreste kommen nicht mehr vor, und nur gelegentlich zeigt das Auftreten von Molluskenkleinformen eine marine Beeinflussung an. Dieser Raum wurde deshalb als Bereich mit Übergangsfazies bezeichnet. Weiter östlich verringert sich der marine Einfluß immer mehr. Die Mikrofauna besteht

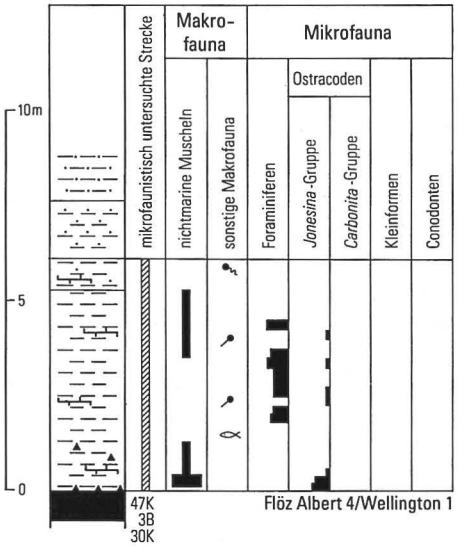


Abb. 9
Faunenprofil aus dem Hangenden von Flöz Albert 4/Wellington 1 in der Bohrung Hammerberg 1 (Legende s. Abb. 6)

Fig. 9
Fauna distribution in the roof beds of seam Albert 4/Wellington 1 in borehole Hammerberg 1 (legend s. fig. 6)

dann vorwiegend nur noch aus Ostracoden und gelegentlich wenigen Foraminiferen und unterscheidet sich damit dann nicht mehr von der Mikrofauna, die auch über vielen anderen Flözen der Bochumer Schichten gefunden werden kann. Ganz im Osten schließlich geht der sandfreie Flöz-Hangendschieferton in Sandschieferton über, der keine Mikrofauna mehr enthält.

Außerhalb des dargestellten Bereichs ist ein sicherer Nachweis des Albert-4-Horizonts durch marine Faunenelemente bisher nur in einem Fall gelungen. In der ca. 25 km nordwestlich der Bohrung Loisberg 1 angesetzten Explorationsbohrung Uedem 1 wurde in dem in Frage kommenden Profilabschnitt eine Mikrofauna mit Conodontenresten gefunden und dadurch die Identifizierung des darunter folgenden Flözes als Albert 4 ermöglicht. Somit deutet sich an, daß sich die marine Beeinflussung am Niederrhein bis weit nach Norden fortsetzt.

Keinerlei marine Beeinflussung scheint hingegen im Aachen-Erkelenzer Revier vorzuliegen (WREDE & ZELLER 1983, ZELLER 1985). Im Ibbenbürener Revier ist der in Frage kommende Schichtenabschnitt bisher nicht aufgeschlossen worden.

4. Stratigraphische Bedeutung

Die Gliederung des höheren Teils der Bochumer Schichten ist besonders schwierig, da zwischen dem Katharina-Horizont und dem Wasserfall-Horizont keine hochmarinen Horizonte vorhanden sind (vgl. Abb. 1, S. 106) und als weitere Leithorizonte erster Ordnung lediglich die Kaolin-Kohlentonsteine der Karl-, Blücher/Ida- und Wilhelm-Flözgruppe vorhanden sind, die allerdings oft großflächig ausfallen oder bisher nur im östlichen Revier nachgewiesen worden sind. Darüber hinaus komplizieren die vielfältigen Faziesänderungen und die generellen Mächtigkeitsverringerungen und Flözausdünnungen von Ost nach West, verbunden mit häufigen Flözabspaltungen und -scharungen die Möglichkeiten der sicheren Flözidentifizierung.

Von erheblicher Bedeutung ist deshalb das Vorhandensein eines durch seine stark marin beeinflußte Mikrofauna sicher erkennbaren Horizonts, dem dadurch für den Bereich des westlichen und mittleren Reviers eine hohe Bedeutung als Leithorizont zukommt. In vielen Bohrungen ist es bisher gelungen, durch den Nachweis des Albert-4-Horizonts einen entscheidenden Anhalt für die stratigraphische Einstufung zu bekommen. Beispielhaft sei hier die Bohrung Hünxerwald 3 (s. Abb. 8, S. 113) genannt, in der nach Durchteufen der Drevenacker Störung mit einem Schichtenausfall von 825 m, bis zur Endteufe als einziger Leithorizont der Albert-4-Horizont nachgewiesen werden konnte.

Nachtrag: Nach Abschluß des Manuskriptes war Gelegenheit, Material aus der Bohrung Oberemmelsum 1 (TK 25: 4305 Wesel) zu untersuchen. Die Bohrung lieferte aus dem Hangenden von Flöz Albert 4 Obk Mikrofaunen, in denen Ostracoden besonders reich vertreten sind. Auffällig ist der innerhalb von Dezimetern auftretende scharfe Wechsel der Ostracodenpopulationen: Entweder liegt eine reiche Vergesellschaftung großwüchsiger *Jonesina*-Arten vor, die ein brackisches Milieu bezeichnen, oder eine reiche Vergesellschaftung kleinwüchsiger *Carbonita* cf. *pungens* (JONES & KIRKBY). Sie zeigt nichtmarine Verhältnisse an. Hier nun finden sich in den *Carbonita*-Faunen immer auch Conodontenbruchstücke, die als marine Belege gelten. Da sie beansprucht scheinen, sind sie offenbar eingeschwemmt. Warum aber nur sie und nicht auch andere marine Elemente, wie zum Beispiel Foraminiferen? Hier sind interessante Fragen gestellt.

Tafel 1

Mikrofauna aus dem Albert-4-Horizont

Die Aufnahmen wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop angefertigt; die Belegexemplare werden in der Sammlung des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen aufbewahrt.

Microfauna from the Albert-4-horizon

Scanning electron micrographs; samples in the collection of the Geological Survey of Northrhine-Westphalia

Fig. 1 *Ammodiscus* cf. *incertus* D'ORBIGNY
Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 41 005

Fig. 2 *Glomospira* sp.
Bohrung Ork 1 (1982); Probe 45 723

Fig. 3 *Glomospirella* sp.
Bohrung Ork 1 (1982); Probe 45 723

Fig. 4 *Hyperammina* sp.
Bohrung Ork 1 (1982); Probe 45 723

Fig. 5 *Jonesina arcuata* (BEAN)
Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 41 005

Fig. 6 *Whipplella cenisa* KREMP & GREBE
Bohrung Ork 1 (1982); Probe 45 722

Fig. 7 *Carbonita* cf. *agnes* (JONES)
Bohrung Ork 1 (1982); Probe 45 721

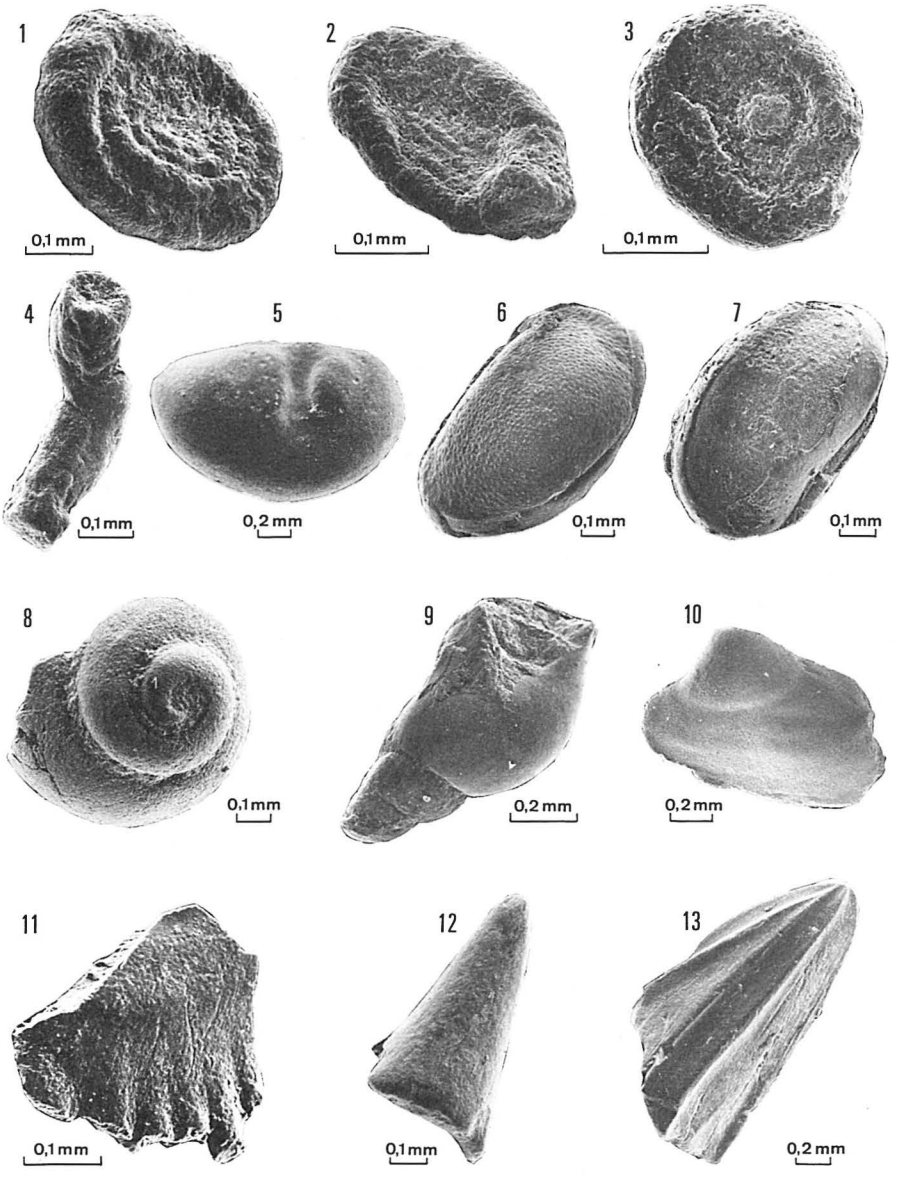
Fig. 8, 9 Gastropodensteinkerne
Fig. 8 Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 41 005
Fig. 9 Bohrung Ork (1982); Probe 45 711

Fig. 10 Muschelsteinkern
Bohrung Mehrum 2 (1981); Probe 44 971

Fig. 11 Conodontenbruchstück
Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 41 005

Fig. 12 Fischzahn, kegelförmig
Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 40 923

Fig. 13 Fischzahn mit Leisten
Bohrung Hasselsfeld 1 (1973); Probe 40 922


1
0,1 mm
2
0,1 mm
3
0,1 mm
4
0,1 mm
5
0,2 mm
6
0,1 mm
7
0,1 mm
8
0,1 mm
9
0,2 mm
10
0,2 mm
11
0,1 mm
12
0,1 mm
13
0,2 mm

Tafel 1

5. Schriftenverzeichnis

BACHMANN, M. (1967): Zur Flözgleichstellung in den Bochumer Schichten im Raum Oberhausen - Duisburg - Moers - Kamp-Lintfort. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (2): 1197 - 1216, 4 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

FIEBIG, H. (1955 a): Die Ergebnisse einer feinstratigraphisch-faziellen Untersuchung der oberen Bochumer Schichten (oberes Westfal A) am linken Niederrhein. - Geol. Jb., **71**: 171 - 174, 2 Abb.; Hannover.

- (1955 b): Feinstratigraphisch-fazielle Untersuchungen der oberen Bochumer Schichten (oberes Westfal A) am linken Niederrhein. - Geol. Jb., **70**: 611 - 656, 17 Abb., 1 Taf.; Hannover.

GOTHAN, W. (1932): Paläobotanisch-stratigraphische Arbeiten im Westen des Ruhrreviers (mit Ausblick auf die Nachbarreviere). - Arb. Inst. Paläobot. u. Petrogr. Brennst., **2**$_{1}$(2): 165 - 206; Berlin.

JESSEN, W. (1950): „Augenschiefer"-Grabgänge, ein Merkmal für Faunenschiefer-Nähe im westfälischen Oberkarbon. - Z. dt. geol. Ges., **101**: 73 - 82; Hannover.

JESSEN, W., & JOSTEN, K.-H., & KNAUFF, W., & PAPROTH, E., & STADLER, G., & WOLF, M. (1967): Die Bochumer Schichten (oberes Westfal A) im Ruhrgebiet. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **16**: 1 - 40, 8 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

JESSEN, W., & MICHELAU, P., & RABITZ, A. (1962): Zur Flözgleichstellung in den Bochumer und Essener Schichten im Raum Essen - Gladbeck - Bottrop - Oberhausen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 873 - 906, 2 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

RABITZ, A. (1962): Faunenreiche Schichten über den Flözen Wellington und Albert 4 (Oberes Westfal A) im Gebiet von Oberhausen (Rheinland). - Paläont. Z., H. SCHMIDT-Festbd.: 194 - 202, 4 Abb.; Stuttgart.

REICHELT, H. (1956): Das Ergebnis neuer stratigraphischer Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Mikrofauna im oberen Westfal A der Zeche Friedrich Heinrich am linken Niederrhein. - Z. dt. geol. Ges., **107**: 92 - 102, 1 Taf.; Hannover.

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.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

ZELLER, M. (1985): Vorschlag eines Richtschichtenschnittes für das flözführende Oberkarbon (Westfal A und B) des Aachen - Erkelenzer Steinkohlenreviers. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 265-287, 4 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 20. 6. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	119 - 127, 1 Abb., 2 Tab., 1 Taf.	Krefeld, März 1985

Schwefelkiesgerölle in Konglomeratlagen des Ruhrkarbons

Von GERHARD STADLER *

Conglomerate, pyrite pebble, Westphalian A, Westphalian B (Lower Witten beds, Upper Horst beds), borehole (Holtwick 1, Köhl 2), Rhenish-Westphalian basin, Ruhr district, Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: Im konglomeratischen Finefrau-Sandstein (Untere Wittener Schichten, Westfal A), der durch die Bohrung Holtwick 1 nordwestlich Haltern erschlossen wurde, sind Pyritgeröll-Anreicherungen in einer 3 m mächtigen Quarzkonglomeratlage enthalten. Die Pyrite sind gleichmäßig verteilt, meist völlig rein und sehr gut abgerundet. Sie gelangten eindeutig als Gerölle in das Konglomerat und sind daher trotz völlig fehlender Verwitterung allothigene Konzentrationen.

Die zwischen Wulfen und Dorsten gelegene Bohrung Köhl 2 durchteufte in den Oberen Horster Schichten (Westfal B) eine Sandsteinfolge mit einer geringmächtigen Konglomerateinlagerung, die gleichfalls Schwefelkiesgerölle enthält. Die Schwefelkiese liegen dort jedoch nur zum Teil in selbständiger Form vor, meist sind sie an Toneisensteingerölle gebunden.

Es ist wahrscheinlich, daß sich auch die Pyritgerölle im Finefrau-Konglomerat der Bohrung Holtwick 1 durch Aufbereitung in der Umgebung anstehender, zuvor sedimentierter, pyritreicher Eisen- oder Tonsteine bildeten. Eine solche Entstehung setzt jedoch eine sehr reine und verwitterungsfreie Materialselektierung während der Umlagerungsphase voraus.

[Iron sulfide pebbles in conglomeratic beds of the Ruhr Carboniferous]

Abstract: The conglomeratic Finefrau-Sandstein - a well known index bed of the Lower Witten beds (Westphalian B) - includes a 3 m layer of quartzconglomerate with evenly concentrated pyrite pepples. This was proven by the borehole Holtwick 1, drilled northwest of Haltern (northern part of the Ruhr district). The pyrite pebbles are mostly very pure and well rounded. There is no doubt that they are a detrital component in the conglomerate-layer and therefore, despite of the lack of weathering represent allogenic concentrations.

The borehole Köhl 2, drilled between Wulfen and Dorsten, exposed a sequence of sandstone within the Upper Horst beds (Westphalian B), including a thin intercalation of conglomerates with iron sulfide pebbles. The sulfide pebbles, however, only partly pure, are mainly connected to coarse clay-ironstone pebbles.

It is most likely, that also the pyrites of the Finefrau conglomeratic bed of the borehole Holtwick 1 have been developed by processing and rearranging within the surrounding of the solid, previously sedimentary pyritenriched iron-or claystones. Such a developement, however, presumes a very pure selection of the materials during the phase of rearrangement.

[Cailloux de pyrite dans les conglomérats du Carbonifère de la Ruhr]

Résumé: Le Finefrau-Sandstein conglomératique des couches de Witten (Westphalien B) - une couche bien connue dans le bassin houiller du Carbonifère de la Ruhr - rencontrés par le sondage Holtwick 1, au nord - ouest de Haltern, renferment des amas de cailloux de pyrite régulièrement répartis dans une couche de conglomérats de quartz de 3 m d'épais-

* Anschrift des Autors: Dr. G. STADLER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

seur. Les pyrites sont pour la plupart absolument pures et bien émoussées. Il est manifeste qu'elles sont apparues dans le conglomérat sous forme de cailloux. Il s'agit donc de concentrations allogènes malgré l'absence d'altération.

Le sondage Köhl 2, situé entre Wulfen et Dorsten, traverse une succession de grès dans les couches de Horst (Westphalien B). Dans ces grès s'observe une inclusion, peu épaisse, de conglomérat qui renferme également des cailloux de pyrite. Mais de ces pyrites, seulement quelques-unes se trouvent sous forme d'individus, tandis que la majeure partie en est liée à de gros galets d'argile à passées ferrugineuses.

Il est probable que les pyrites contenues dans le conglomérat Finefrau et qui ont été mises évidence par le sondage Holtwick 1, se sont égalment formées par remaniement et transport de sédiments ferrugineux et argilaux consolidés, qui se trouvent in situ dans les environs. Cependant, une telle génèse suppose ici une sélection très sévère des matières pendant le transport.

1. Einleitung

Das Flöz Finefrau der Wittener Schichten des Westfals A ist in seinem Liegenden durch das bekannte und stratigraphisch wichtige Finefrau-Konglomerat gekennzeichnet. Die ca. 5 km nordwestlich Haltern, im Jahre 1977 von der Bergbau AG Lippe niedergebrachte und öffentlich geförderte Bohrung Holtwick 1 (TK 25: 4208 Wulfen, R 76 649,7; H 37 072,5) erreichte kurz vor ihrer Endteufe (bei 1 569,8 m) das Finefrau-Konglomerat. Die geologische Bearbeitung der Bohrung erfolgte durch H. FIEBIG (Westf. Berggewerkschaftsk.) und durch G. DROZDZEWSKI (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

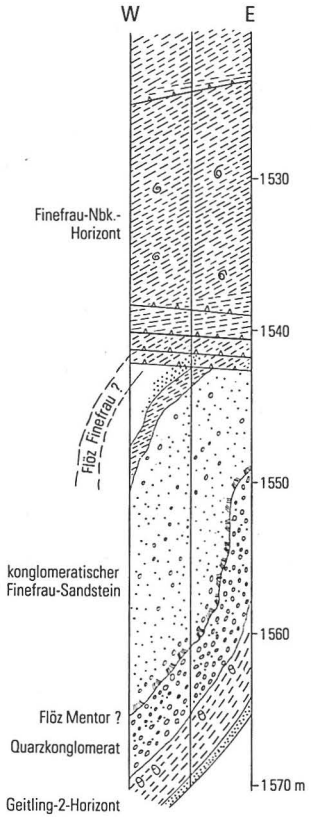


Abb. 1
Der konglomeratische Finefrau-Sandstein in der Bohrung Holtwick 1 (nach G. DROZDZEWSKI)

Fig. 1
Drill section of the conglomeratic Finefrau-Sandstein in the borehole Holtwick 1 (after G. DROZDZEWSKI)

Zwischen den stratigraphischen Niveaus der Flöze Finefrau und Geitling 2 wurde, direkt im Liegenden einer tektonischen Störung, der konglomeratische Finefrau-Sandstein zwischen 1 542 - 1 565 m durchteuft, dem bei 1 560 m ein dünnes Flöz (= Flöz Mentor?) eingeschaltet ist. Die Sandsteinfolge ist mehr oder weniger steil gelagert und wird von Schichtharnischen durchzogen. Ihre wahre Mächtigkeit beträgt ca. 10 m. Der liegende Teil, unterhalb Flöz Mentor?, besteht aus einer 2,5 - 3 m mächtigen, kompakten Quarzgeröllschicht, unter der ein *Lingula*-Horizont folgt, der als Geitling-2-Horizont eingestuft wird. Die Lagerungsverhältnisse sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Vom Quarzkonglomerat stellte G. DROZDZEWSKI einen repräsentativen Bohrkern zur petrographischen Analyse zur Verfügung. Die Untersuchung ergab den überraschenden und genetisch zunächst nicht deutbaren Befund, daß dem grobklastischen Sediment in relativ starker Beteiligung völlig frische, gut gerundete, meist reine Pyritaggregate in gleichmäßiger Verteilung beigemengt sind, die eindeutig als Gerölle in das Konglomerat gelangten.

Im Jahre 1983 teufte die Bergbau AG Lippe im Gebiet zwischen Wulfen und Dorsten die Bohrung Köhl 2 (TK 25: 4208 Wulfen, R 69 671,3; H 30 326,22) ab, die H. FIEBIG geologisch bearbeitete. Zwischen dem Flöz W1 und dem Flözniveau W2 (Obere Horster Schichten) erschloß die Bohrung eine 22 m mächtige Sandsteinfolge mit einer nur 10 cm dicken konglomeratischen Einlagerung.

Diese enthält neben groben Toneisenstein- und Quarzeinlagerungen gleichfalls allothigene Schwefelkiesgerölle. Die Gerölle liegen jedoch nur zum Teil in monomineralischer Form vor, meist sind sie mit dem Toneisenstein grob verwachsen. Es lag daher nahe, auch die im Finefrau-Konglomerat der Bohrung Holtwick 1 festgestellten reinen Pyritgerölle als Aufarbeitungsprodukt schwefelkiesreicher Toneisensteinablagerungen zu deuten.

2. Petrographische Beschreibung der Konglomerate

2.1. Finefrau-Konglomerat in der Bohrung Holtwick 1

Die eigentliche Konglomeratlage im unteren Teil des Finefrau-Sandsteins der Bohrung Holtwick 1 besteht vorwiegend aus dichtgelagerten Quarzgeröllen, wobei die Zwickelräume von feldspatfreiem, schwach sericitführendem Quarzsand (< 0,1 - 0,3 mm; Anteil nur 5 - 10 %) ausgefüllt werden. Die Durchmesser der Gerölle variieren zwischen 1 - 15 mm und liegen im Mittel bei 7 mm. Unregelmäßig zwischengelagert sind ganz vereinzelt bis 4 cm lange, schwarzbraune, flache Tonschlick-, sowie bis 5 cm lange Kohlengerölle. Ein Schichtungsgefüge, eine Orientierung der Gerölle oder Korngrößengradierung, ist nicht erkennbar. Die Quarzgerölle sind kantengerundet bis gut gerundet.

Gleichmäßig im Gestein verteilt sind 1 - 12 mm große Pyritgerölle. Diese sind vorwiegend sehr gut gerundet, meist völlig rein (s. Taf. 1: Fig. 1, S. 127), manchmal auch im Randbereich schwach mit Quarzpartikeln verwachsen (s. Taf. 1: Fig. 2) oder - dies ist die Ausnahme - sporadisch von Sideritflecken und von dünnen Berstungsrissen, die mit Quarzneubildungen ausgefüllt sind, durchsetzt (s. Taf. 1: Fig. 3). Die Struktur der Pyritgerölle ist dicht, die für sedimentär gebildeten Schwefelkies häufig typischen Framboidstrukturen fehlen. Lediglich im Randbereich mancher Gerölle sind idiomorphe Kristallbildungen (Pentagondodekaeder bis 0,12 mm Durchmesser) gelegentlich enthalten. Die Schwefelgehaltsbestimmung einer repräsentativen Teilprobe

ergab 5,04 % S – entsprechend ca. 9,4 Gew.-% Pyrit. Keines der Pyritgerölle zeigt auch nur in Spuren Oxidationserscheinungen. Nach Art und Form handelt es sich unzweifelhaft um klastische Beimengungen und nicht etwa um autochthone Verdrängungen bestimmter Geröllarten, zum Beispiel von Carbonatgesteinen.

Von dem Bohrkernstück wurden sieben gleichmäßig über die Probe verteilte Dünnschliffpräparate (sowie sechs Erzanschliffe) hergestellt und hiervon die Art der Geröllkomponenten quantitativ ausgewertet (Tab. 1):

Tabelle 1
Geröllzusammensetzung des Finefrau-Konglomerats in der Bohrung Holtwick 1

Geröllkomponenten	Anteile der Geröllkomponenten (Vol.-%)
Gangquarze	17
quarzitische Sandsteine	22
Quarzite mit Mörtelstruktur	13
sericitführende Quarzite	13
Sericitschiefer	5
Kieselschiefer	16
Tonsteine (nicht metamorph)	6
verkieselter Granit	1
Pyrite	7
	100

Die metamorphen Gesteine machen den überwiegenden Teil der Probe aus. Auffällig ist der sehr geringe Gehalt an Magmatiten. Bei dem in Tabelle 1 angeführten Granitgeröll handelt es sich um einen stark verkieselten, kataklastischen Granit. Im Gegensatz zu den meist gut gerundeten Quarzgeröllen weisen die Lydite oft plattig-ellipsoidische Formen auf. Sie werden häufig von feinen Quarzäderchen durchzogen und enthalten vereinzelt mehr oder weniger gut erhaltene kreisförmige Radiolarieneinschlüsse. In einem Fall wurden in einem stark verkieselten Lyditgeröll auch Anhäufungen feiner, konisch zulaufender, aus Quarz bestehender Stacheln (Nadeln von Sphaerellarien?) beobachtet. Mit der Röntgenbeugungsanalyse sind außer Quarz (91 Gew.-%) und Pyrit nur noch geringe Anteile an Glimmer im Gestein nachweisbar.

2.2. Konglomeratlage im Sandstein der W-Flözgruppe der Bohrung Köhl 2

In der nur 10 cm mächtigen Konglomeratlage innerhalb der 22 m mächtigen Sandsteinfolge sind 2 bis max. 25 mm große Gerölle in lockerer Verteilung der Sandsteinmatrix eingestreut. Das Mengenverhältnis Gerölle : Sandsteinmatrix beträgt ca. 2 : 1. Eine Schichtung oder Gradierung ist innerhalb der Konglomeratlage nicht erkennbar, doch nimmt der Geröllanteil zum Hangenden zu leicht ab.

Das Konglomerat ist zwar polymikt, vorherrschende Komponente sind jedoch Toneisensteine, untergeordnet kommen Quarz-, Quarzit- und quarzitische Sandsteingerölle sowie Lydite, ganz vereinzelt reine Schwefelkiesgerölle vor. Während die Toneisensteine, zum Teil auch die Lydite, bevorzugt schei-

benartige oder ellipsoidische Formen aufweisen, sind die Gangquarze sowie Quarzite vorwiegend gut gerundet. Die quantitative Auszählung der Geröllty-pen gibt Tabelle 2 wieder.

Tabelle 2

Geröllzusammensetzung des Konglomerats im Sandstein der W-Flözgruppe in der Bohrung Köhl 2

Geröllkomponenten	Anteile der Geröllkomponenten (Vol.-%)
Toneisensteine ohne Schwefelkies	63
Toneisensteine mit Schwefelkies	4
reine Schwefelkiesgerölle	2
Gangquarze und Quarzite	12
quarzitische Sandsteine	6
Lydite	13
	100

Der Toneisenstein besitzt eine dichte Struktur und führt vereinzelt hohe Schwefelkiesanteile in schlieriger oder auch feinstfleckiger Verteilung (s. Taf. 1: Fig. 4, S. 127). Manche Toneisensteingerölle enthalten reine, bis 5 mm große Markasitaggregate mit radialstrahlig-spießiger Textur, die den Toneisenstein verdrängen. Die reinen Schwefelkieskörner (bis max. 6 mm Durchmesser) sind stets gut gerundet und bestehen aus feinkörnigem Pyrit und/oder strahligem Markasit. Die Schwefelgehaltsanalyse einer repräsentativen Teilprobe der Konglomeratschicht ergab 3,36 % S (entsprechend 6,9 % Schwefelkies).

Die Lyditgerölle liegen in der für sie typischen Form vor und werden häufig von feinen Kluftquarzbildungen durchädert. Nur vereinzelte Lydite enthalten Calciteinschlüsse oder sind auch mehr oder weniger reich an Radiolarien. Die Quarzgerölle zeigen mannigfaltige Strukturen. Die meisten dieser Quarzkiese sind höherer metamorpher Provenienz, wie Mörtelstrukturen, stark undulöse Auslöschung und Deformationslamellen zeigen. Die Sandsteingerölle sind gleichfalls in ihren Quarzkorngrößen und Tonsubstanzteilen verschiedenartig. Häufig sind sie mehr oder weniger stark quarzitisch, auch tonige Siltsteinvarietäten kommen vor.

Der die Matrix des Konglomerates bildende Sandstein besitzt in etwa folgenden Mineralbestand (Gew.-%): Quarz 78 %, Feldspat 5 %, Glimmer ca. 3 %, Kaolinit ca. 8 %, Dolomit (ankeritisch) ca. 6 %. Der Sandstein ist mäßig bis schlecht sortiert (Korngröße 0,02 bis max. 1 mm; im Mittel ca. 0,3 mm). Die meist nur kantengerundeten Quarze besitzen eine mono-, teils polykristalline Innenstruktur (Gangquarze; metamorphe Quarzite, z. T. sericitführend; Lydite; auch feldspathaltige Quarzkörner mit intergranularem Implikationsgefüge). An ihren Berührungsstellen sind die Körner buchtig, das heißt quarzitisch verzahnt; Quarze mit homoaxialen Anwachszonen sind gleichfalls zu beobachten.

Den Quarzkörnern gleichmäßig zwischengestreut sind kantengerundete, bis max. 0,5 mm große Feldspäte (Orthoklase, z. T. als Mikroklin, sowie saure bis intermediäre Plagioklase) und aus feinstkristallinem Illit-Sericit bestehende Teilchen, die vermutlich aus Feldspat hervorgegangen sind. An gröberen

detritischen Komponenten kommen weiterhin - in nur spurenhafter Beteiligung - Hellglimmerschuppen (bis 0,5 mm) und vereinzelte Kohlenpartikel vor. Chlorit oder chloritisierte Biotite wurden nicht beobachtet. Kaolinit sowie ankeritischer Dolomit sind als zwickelfüllende Bestandteile häufig und gleichmäßig verteilt. Der Kaolinit bildet bis 0,25 mm große, reine Aggregierungen, die aus feinen, aber gut ausgebildeten, zum Teil wurmförmig gekrümmten Kristalliten bestehen. Der Dolomit liegt vorwiegend in Form reiner, fleckenförmiger Anreicherungen (0,5 - 0,3 mm) vor und verdrängt teilweise randlich sowohl die Quarz-, als auch die Feldspatkörner. An intergranularer Tonsubstanz ist etwas feinflaseriger Sericit vorhanden. Der geröllfreie Sandstein im Hangenden der Konglomeratlage unterscheidet sich petrographisch nicht vom Sandsteinbindemittel der Geröllschicht.

3. Zusammenfassung und genetische Folgerungen

Der durch die ca. 5 km nordwestlich von Haltern gelegene Tiefbohrung Holtwick 1 erschlossene, ca. 10 m mächtige, geröllführende Finefrau-Sandstein enthält in seinem Liegenden eine ca. 3 m dicke, dicht gepackte Quarzkonglomeratschicht. Die Größe der Gerölle liegt meist unter 1,5 cm. Im Konglomerat sind 2 - 12 mm große, sehr gut gerundete, kompakte Pyritgerölle in gleichmäßiger Verteilung und relativ starker Beteiligung (ca. 10 Vol.-%) enthalten. Die Schwefelkieseinlagerungen sind völlig frisch, auch die im Konglomerat enthaltenen Tonstein-Schlickgerölle zeigen keine Anzeichen einer Verwitterung (z. B. Rotfärbung). Es ist eindeutig, daß der Schwefelkies eine allothigene, durch Transportabnutzung gut gerundete Geröllkomponente des Konglomerates ist. In Anbetracht der Tatsache, daß Schwefelkies im allgemeinen schnell verwittert, ist es zunächst schwer verständlich, daß solche Pyritmengen in so gut abgerolltem und chemisch intakten Zustand in das Konglomerat kamen, zumal Transport und Aufschüttung eines derart grobklastischen Sediments sicherlich nicht im reduzierenden Medium erfolgte. Wenn auch verschiedentlich nachgewiesen wurde, daß Pyrite in Flußseifen unter Umständen noch lange haltbar sind (vgl. z. B. RAMDOHR 1975: 862 oder STUMPFL 1958), so sind solche sulfidischen, grobklastischen Konzentrationen doch die Ausnahme. Die geringe Verwitterungs- sowie Umlagerungsresistenz des Schwefelkieses schließt eine wiederholte Aufarbeitung oder einen langwährenden Ferntransport aus. Die Pyritkomponente dürfte daher nicht weit von ihrem Entstehungsort abgelagert worden sein und somit aus durch Erosion aufgearbeiteten, schwefelkiesreichen Sedimenten der Umgebung stammen. Immerhin reichte der Transportweg aus, das gegen Verwitterung empfindliche Erz in meist reiner Form vom Nebengestein zu selektieren und durch mechanische Reibung die Gerölle fast ideal abzurunden. Daß im Fundpunkt die Pyrite praktisch in den gleichen Durchmessern wie die transportresistenten Quarzkiese vorliegen ist Zufall. Es ist wahrscheinlich, daß sowohl die Geröllgrößen als auch der Mengenanteil der Pyrite in Richtung der Schüttung stetig und rasch abnehmen.

Die Bildungsweise eines solchen Schwefelkiesgerölle führenden Konglomerates zeigt die beschriebene Toneisensteinkonglomeratlage im Sandstein der Oberen Horster Schichten der Bohrung Köhl 2. Dort ist der Schwefelkies zum Teil noch mit relativ groben Aufarbeitungsresten seines „Wirtsediments" (Toneisenstein) verwachsen, zum Teil jedoch von diesem bereits in mineralisch reiner Geröllform getrennt. Die Schwefelkiesaggregierungen sind somit,

wie zu erwarten, aufgrund ihrer größeren Härte transportresistenter als der Toneisenstein. Wie die in den Pyritgeröllen des Finefrau-Konglomerates der Bohrung Holtwick 1 sporadisch zu beobachtenden kleinen Sideritrelikte andeuten, ist diese Geröllkomponente wahrscheinlich gleichfalls durch Aufarbeitung und Umlagerung „kurz" zuvor sedimentierter Toneisensteinlagen entstanden. Hierfür spricht auch das häufige Vorkommen von Eisensteinlagen im Oberkarbon, die zum Teil sogar bauwürdig waren (vgl. STADLER 1979: Abb. 2), insbesondere in den Flözbereichen der Wittener und Unteren Bochumer Schichten. Aufgrund ihrer Entstehung im reduzierenden Milieu sind die Eisensteine, ebenso wie die bituminösen Tonsteine, der Erfahrung nach besonders häufig mit syngenetischen Schwefelkiesbildungen verbunden.

Die Anreicherung allothigener, reiner, chemisch intakter, gut gerundeter Pyritgerölle in Konglomeratlagen des Oberkarbons ist sicher nicht die Regel. Die hier gezeigten Beispiele beweisen jedoch entgegen der Lehrmeinung, daß authigene Schwefelkieskonzentrationen trotz ihrer leichten Verwitterbarkeit unter günstigen Umständen auch im oxidierenden Milieu ohne chemische Zersetzung aufgearbeitet und bei nicht zu langen Transportwegen als grobklastische Komponente umgelagert werden können.

4. Schriftenverzeichnis

KELLER, G. (1938): Auswertung grobklastischer Sedimente des Ruhroberkarbons für seine Paläogeographie. - Glückauf, **1938**: 479 - 482, 1 Tab.; Essen.

RABITZ, A. (1966): Das Fehlen des konglomeratischen Finefrau-Sandsteins (Westfal A) im nordöstlichen Ruhrrevier. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (2): 1085 - 1094, 4 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

RAMDOHR, P. (1975): Die Erzmineralien und ihre Verwachsungen. - 4. Aufl.: 1277 S., 637 Abb.; Berlin (Akademie-Verl.).

SCHERP, A. (1956): Zur Petrographie des Finefrau-Konglomerates bei Essen und einiger anderer geröllführender Sandsteine des Ruhrkarbons. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1956**: 240 - 244, 1 Abb.; Stuttgart.

STADLER, G. (1979): Die Eisenerzvorkommen im flözführenden Karbon des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirges. - Geol. Jb., **D 31**: 157 - 183, 6 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Hannover.

STUMPFL, E. (1958): Erzmikroskopische Untersuchungen an Schwermineralien in Sanden. - Geol. Jb., **73**: 685 - 724, 1 Tab., 6 Taf.; Hannover.

Eingang des Manuskriptes: 23. 5. 1984

Tafel 1

Fig. 1 Finefrau-Konglomerat; Bohrung Holtwick 1
Dünnschliff, Nicols +

Einlagerung eines sehr gut gerundeten Pyritgerölls (Bildmitte, rein schwarz) zwischen metamorphen, z. T. sericitführenden Quarzitgeröllen. Rechts neben dem Pyrit liegt ein von Quarzklüften durchsetztes Lyditfragment (im Foto fast schwarz).

Fig. 2 Finefrau-Konglomerat; Bohrung Holtwick 1
Dünnschliff, Nicols +

Gut gerundetes, im Randbereich von feinsten Quarzpartikeln (weiß) schwarz durchstäubtes Pyritgeröll (Bildmitte, schwarz) in einer Grundmasse aus metamorphen Quarzkörnern und -geröllen

Fig. 3 Finefrau-Konglomerat; Bohrung Holtwick 1
Dünnschliff, Nicols +

Gerundetes Pyritgeröll (oben im Bild, reinschwarz) mit Quarzneubildungen in einem Berstungsriß und einem kleinen, fleckenförmigen Sideriteinschluß (schwarzgrau) in einer Matrix aus schlecht sortierten Quarzkörnern und -kiesen; links im Bild ein plattig geformtes Lyditgeröll

Fig. 4 Geröllage im Sandstein zwischen den Flözen W1 und W2; Bohrung Köhl 2
Dünnschliff, Nicols //

Zwei Toneisensteingerölle bestehend aus dichter Sideritmatrix (mittelgrau) und Schwefelkiesanreicherungen (schwarz) in einer Sandsteinmatrix (grauweiß)

Plate 1

Fig. 1 Finefrau-conglomerate; borehole Holtwick 1
Thin section, crossed nicols

Intercalation of a very well rounded pyrite pebble (centre of the picture: deep black) between metamorphic, partly sericite containing quartz pebbles. At the right side of the pyrite a fragment of lydite intersected by quartz veins (Foto shows nearly black)

Fig. 2 Finefrau-conglomerate; borehole Holtwick 1
Thin section, crossed nicols

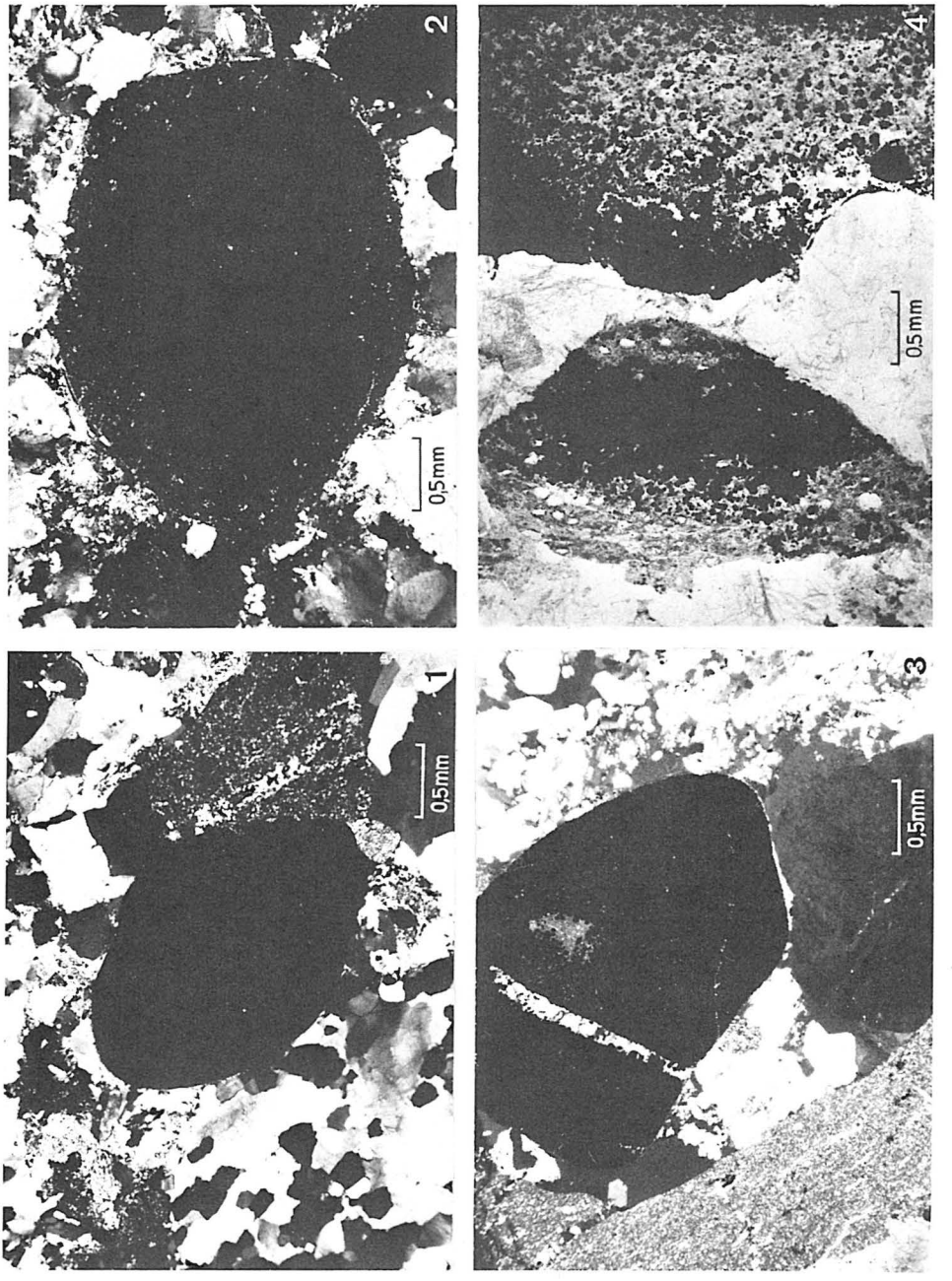
Well rounded pyrite pebbles with peripheralcaly finest quartz-particles (white) in a matrix of metamorphic quartz grains and quartz pebbles

Fig. 3 Finefrau-conglomerate; borehole Holtwick 1
Thin section, crossed nicols

Rounded pyrite pebble (deep black, upper part of the picture) with growth of quartz in a crack and a small patch-like inclusion of siderite (black-grey) in a matrix of poorly sorted quartz-grains and -pebbles (left: slablike pebble of lydite)

Fig. 4 Conglomeratic layer in sandstone, interbedded between coal seams W1 and W2; borehole Köhl 2
Thin section, ordinary light

Two pebbles of clay ironstone, consisting of a dense matrix of siderite (semi-grey) and concretions of pyrite (black) in a sandstone-matrix (grey-white)



Tafel 1

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	129 - 159, 14 Abb., 3 Tab.	Krefeld, März 1985

Flözaufbau in den Dorstener, Horster und Essener Schichten der Bohrung Wulfener Heide 1 (nördliches Ruhrgebiet)

Von RALF LITTKE*

Coal seam, petrology, maceral, genesis, environment, Westphalian B, Westphalian C, borehole (Wulfener Heide 1), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district), TK 25: 4208

Kurzfassung: 14 Flözprofile aus der Bohrung Wulfener Heide 1 wurden kohlenpetrologisch bearbeitet. Sie gehören zu den Dorstener, Horster und Essener Schichten des Ruhrkarbons (Westfal C und B) und besitzen mittlere Vitrinitreflexionen zwischen 0,65 und 1,0 %. Die Flözprofile sind zwischen 0,4 und 1,7 m mächtig. Trotz der individuellen Besonderheiten aller Profile lassen sie sich in drei Gruppen ordnen:

- Typ I besteht überwiegend aus vitrinitbetonten Zonen. Makrinit, Fusinit, Mega-, Denso- und Crassisporen sind in diesen Flözen normalerweise selten, Tonlagen und syngenetische Eisensulfide dagegen häufig.
- Typ II ist im unteren Teil anders als im oberen Teil aufgebaut. Der untere Abschnitt ist relativ einheitlich und vitrinitreich, während oben inertinitreiche mit vitrinitreichen Zonen abwechseln. Die charakteristischen inertinitreichen Zonen enthalten neben viel Fusinit oft viel Makrinit, Gesamtliptinit, Mega-, Denso- und Crassisporen. In diesen Flözoberteilen ist im allgemeinen der Tongehalt und der Gehalt an syngenetisch entstandenen Eisensulfiden gering.
- Typ III ist durchgehend inertinitreich mit denselben Maceralassoziationen wie die inertinitreichen Abschnitte der Flöze des Typs II. Dem Typ III gehört nur eines der 14 untersuchten Profile an. Er scheint im Ruhrkarbon allgemein selten zu sein.

Die Flöze des Typs II werden als Abbilder einer Entwicklung von Nieder- zu Hochmooren angesehen, wie sie an rezenten Torfprofilen der Tropen beobachtet werden kann. Der geringe Eisensulfidgehalt dieser Flöze wird auf das geringere Schwefelangebot in Hochmooren zurückgeführt, der geringe Tongehalt auf ein Wachstum oberhalb des Überflutungsbereichs der Flüsse. Dagegen wuchsen die Flöze des Typs I im Überflutungsbereich als Niedermoore oder Außenzonen von Hochmooren. Deshalb enthalten sie häufig Tonlagen und viel Eisensulfid.

[Petrology of 14 seam profiles of the Dorsten, Horst, and Essen beds (Westphalian C and B, Northern Ruhr area)]

Abstract: 14 seam profiles from the Wulfener Heide 1 borehole were studied by coal petrological methods. They belong to the Dorsten, Horst, and Essen beds (Westphalian C and B) of the Ruhr-Carboniferous. They are 0,4 - 1,7 m thick and their mean vitrinite reflexion is between 0,65 and 1,0 %.

Although there are individual characteristics in each seam, three types of seams can be gathered:

- Type-I-seams consist mainly of vitrinite with cutinite. Clay-bands and syngenetic iron sulfides are abundant, but macrinite-, fusinite-, megaspore-, densospore- and crassispore-contents are usually low.

---

* Anschrift des Autors: R. LITTKE, Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-4630 Bochum 1

- Type-II-profiles are divided into two parts. The lower one is some decimeters thick, relatively homogenous, and vitrinite-rich. The upper part consists of alternating vitrinite- or inertinite-rich zones. The inertinite-rich zones contain much fusinite and abundant macrinite, liptinite, megaspores, densospores, and crassispores. These upper parts of the type-II-seams are lacking clay minerals and are very low in syngenetic iron sulfides.
- Type-III-seams show the same maceral association as the inertinite-rich zones of the type-II-profiles. Only one of the 14 studied seams belongs to this type, which seems to be rare in the Ruhr Carboniferous.

The type-II-seams are interpreted to be representative for an evolution from peat swamps to raised bogs, as is commonly seen in recent peat profiles of the tropics. The low content of iron sulphides can easily be explained by the low sulphur contents of raised bogs compared with swamps. The lack of clay bands is characteristic of peats growing above the flood plain. The type-I-seams are interpreted to be products of peat swamps growing in a flood plain. Therefore they are influenced by groundwater and show more iron sulphides and clay bands.

[Structures des veines de houille dans les couches de Dorsten, Horst et Essen du sondage Wulfener Heide 1 (Région de la Ruhr septentrionale)]

Résumé: 14 coupes de veines de houille prélevées du sondage Wulfener Heide 1 ont été analysées suivant les méthodes de la pétrologie des charbons. Elles appartiennent aux couches de Dorsten, Horst et Essen de la région de la Ruhr (Westphalien C et B) et possèdent des pouvoirs moyens de réflexion de vitrinite entre 0,65 - 1,0 %. Leurs épaisseurs varient entre 0,4 et 1,7 m.

Malgré leurs spécialités individuelles, les differentes coupes peuvent être attribuées à trois groupes:

- Type I est composé surtout de parties riches en vitrinite. De la macrinite, de la fusinite, des méga-, denso- et crassispores normalement sont rares dans ces veines. Des lits argileux et des sulfures de fer syngénétiques au contraire s'observent souvent.
- Type II est caracterisé par une partie basale qui diffère de la partie supérieure. La partie basale est relativement uniforme et riche en vitrinite, pendant que vers le toit des zones riches en inertinite alternent avec des zones riches en vitrinite. Les zones caractéristiques riches en inertinite contiennent souvent beaucoup de macrinite, liptinite totale, méga-, denso- et crassispores en plus de quantités considérables de fusinite. Dans ces parties supérieurs des veines, les teneurs en argile et en sulfures de fer syngénétiques sont généralement faibles.
- Type III est partout riche en inertinite, les associations des macéraux étant les mêmes que dans les zones riches en inertinite des veines de type II. Une seule des 14 coupes analysées appartient à ce type, qui semble donc être généralement rare dans le Carbonifère de la région de la Ruhr.

Les veines du type II refléteront un développement de marécages à des fagnes, comme il peut être observé dans des coupes de tourbes récentes dans les régions tropicales. La teneur faible en sulfure de fer de ces veines sera le résultat de l'offre moins important de soufre dans les fagnes. La teneur faible en argile indique une formation au-dessus des régions inondées temporairement par les fleuves. Les veines de type I au contraire se sont formées de marécages ou des parties marginales de fagnes dans les régions inondables. Pour cette raison, ils contiennent souvent des lits argileux et beaucoup de sulfure de fer.

1. Einleitung

Um petrographische Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Flözaufbau festzustellen, wurde eine Folge von Flözen der Bohrung Wulfener Heide 1 untersucht. Die Folge reicht von Flöz Midgard 2 in den Dorstener Schichten bis zu Flöz Zollverein 3 in den Essener Schichten (Tab. 1, S. 148) und umspannt den Inkohlungsbereich $\bar{R}m$ 0,65 - 1,0 %. Letztlich soll aus dem Flözaufbau, ausgehend von den Erkenntnissen der heutigen Moor- und Torfkunde, das jeweilige Bildungsmilieu der Flöze abgeleitet werden.

Die Bohrung Wulfener Heide 1 liegt nordöstlich von Dorsten auf der Nordflanke der Lippe-Mulde (TK 25: 4208 Wulfen, R 70 731,69; H 30 427,52). Dort ist die diagenetische Veränderung der organischen Substanz so schwach (vgl. M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1971: Abb. 4), daß auch in den Kohlen der Essener Schichten ($\bar{R}m$ 0,9 – 1,0 %) die Liptinite noch deutlich fluoreszieren.

Die Untersuchungen basieren auf Maceralanalysen an polierten Stückschliffen der vollständigen Flözprofile. Die Daten eines 2 cm mächtigen Abschnitts bilden dabei jeweils eine Untersuchungseinheit, in der auf 4 Profillinien 240 Punkte ausgezählt wurden. Ähnliche kohlenpetrologische Profilaufnahmen gibt es für die Ruhrkarbon-Flöze von DIESSEL (1962), BECKER (1965), KUTZNER (1965), ELSING (1983), KLARE (1983) und STREHLAU (1984). Zusätzliche Informationen lieferte die Maceralauszählung bei Fluoreszenzanregung. Dabei wurden in den 2-cm-Einheiten auf jeweils einer Profillinie 1 260 Punkte ausgezählt, von denen durchschnittlich 10 – 20 % auf Liptinite entfielen. Diese zeitaufwendige Fluoreszenzauszählung erfolgte an sieben der hier vorgestellten vierzehn Flöze. Eine Mikrolithotypenanalyse ist nur an Flöz A durchgeführt worden, da sie gegenüber den beiden anderen Methoden nicht zu wesentlich anderen Ergebnissen führte. Die Untersuchungen sind durch Dünnschliff- und Röntgenanalysen sowie einzelne Sporenbestimmungen von R. A. PEPPERS (Illinois) ergänzt worden.

Die wichtigsten Ergebnisse der Profilaufnahmen sind in den Abbildungen 1 – 14 sowie in den Tabellen 2 und 3 (S. 149 – 159) dargestellt. Zusätzliche Einzelinformationen werden von LITTKE (in Vorbereit.) mitgeteilt.

Die verschiedenen Einzelmacerale der Vitrinitgruppe wurden zusammengefaßt, ebenso Fusinit und Semifusinit. Von den Maceralen der Liptinitgruppe, die sich in mehr als 20 Einzelmacerale und Sporentypen (bei Fluoreszenzauszählung) aufteilen läßt, sind nur die wichtigsten und gut ansprechbaren aufgeführt. Sie sind im Gegensatz zu allen anderen Bestandteilen, wenn sie unter Fluoreszenzanregung ausgezählt wurden, in Volumenprozent des Gesamtliptinits angegeben und nicht in Volumenprozent des gesamten Materials. Von den Mineralen sind hier nur Gesamtcarbonat, syngenetische Eisensulfide, epigenetische Eisensulfide und Ton genannt. In den Tabellen sind nicht die Prozentsätze für jeden untersuchten 2-cm-Abschnitt, sondern für mikroskopisch einheitliche Zonen aufgeführt. Die Zonen, in die die Flöze eingeteilt sind, wurden nach einheitlicher oder sich gleichförmig verändernder Ausbildung, wie zum Beispiel stetige Zunahme an Inertinit und Makrinit, ausgeschieden. Die Verhältnisse Inertinit/Inertinit + Vitrinit und Makrinit/Makrinit + Desmocollinit (Inert./Inert. + Vitr. und Makr./Makr. + Desmocoll.) sind in den Tabellen 2 und 3 (S. 149 – 159) jeweils mit 100 multipliziert als ganze Zahlen dargestellt.

2. Aufbauschema der Flözprofile

2.1. Allgemeine Flöztypen

Trotz der Unterschiede im Detail lassen sich nach dem Flözaufbau drei Typen unterscheiden.

Typ I: Das gesamte Flöz ist vitrinit- und abschnittsweise auch tonreich. Es enthält viele Kutikeln und viel syngenetisches Eisensulfid. Starke Inertinitanreicherungen sind selten oder fehlen. Die Flöze besitzen meist über 70 Vol.-% Vitrinit (bezogen auf mineralfreie Kohle; Zollverein 3: ohne Sapropelkohle),

sowie weniger Inertinit (außer Flöz C2) und besonders weniger Makrinit (< 2,0 %) als die Typ-II-Flöze. Die Gesamtliptinitgehalte sind tendenziell niedriger. Alle Flöze dieses Typs enthalten über 10 % Ton, hauptsächlich in Form von Bergelagen, und mehr als 0,7 % Eisensulfid, wobei syngenetisch entstandene Sulfide besonders häufig auftreten. 7 der 14 Flöze gehören zum Typ I.

Typ II: Die Flöze des Typs II weisen an der Basis eine oft sehr schmale und unterschiedlich deutlich ausgebildete inertodetrinit- und tonreiche Basiszone auf. Diese wird auch bei einigen Typ-I-Flözen beobachtet. Darüber folgt eine meist mehrere Dezimeter mächtige, vitrinitreiche Zone, die oft homogen aufgebaut ist. Sie bildet den Großteil des unteren Teils der Typ-II-Flöze. Tonlagen kommen darin nicht so oft wie in den Typ-I-Flözen vor. Ein charakteristisches Begleitmaceral des Vitrinits ist hier Kutinit. Dagegen fehlt meistens Makrinit, und auch Densosporen (vgl. SMITH 1962, STACH 1964) sind selten. Diese kommen bevorzugt in Mattkohlen vor (GREBE & JOSTEN 1964, vgl. HABIB & GROTH 1967). Der Gesamtsporen- und meist auch der Megasporengehalt sind klein. Die Flöztypen I und II unterscheiden sich vor allem in der Art der Ausbildung der oberen Flözpartien. Die Flöze des Typs II sind dort abschnittsweise reich an Inertinit (oft über 30 %), wobei das sonst seltene Maceral Makrinit relativ am stärksten angereichert ist: oft bis zu 10 Vol.-%, was einem Anreicherungsfaktor von über 50 gegenüber den unteren Teilen der Flöze entsprechen kann. Aber auch Fusinit, Inertodetrinit und Mikrinit können stark angereichert sein.

Diese oberen Flözteile enthalten oft auch sehr viel Gesamtliptinit, wovon besonders Mega-, Denso- und Crassisporen häufig auftreten. Dagegen ist Vitrinit seltener als im unteren Flözteil und in den Flözen des Typs I, kann aber in einzelnen, oft schmalen Zonen auch stark vertreten sein. Ton fehlt (außer Kaolin-Kohlentonsteinen) und syngenetische Eisensulfide sind, wie auch Carbonate, viel seltener als in den Flözen mit vitrinit- und tonreichen Oberteilen (Typ I), wobei es erklärbare Ausnahmen gibt (Hagen 1 Ubk-3).

Die makrinitreichen Flözzonen zeigen typischerweise von unten nach oben treppenförmig ansteigende Makrinit- und auch Liptinit-, Densosporen- und Megasporengehalte. Das Maximum der Densosporenhäufigkeit liegt zum Teil knapp über den makrinitreichen Partien, während der Makrinit-Prozentsatz dort meist bereits viel niedriger ist. Der Grund dafür ist die unterschiedliche Entstehung von Makrinit und Sporen: Makrinit bildet sich als Grundmasse erst im Torf, während die Fortpflanzungsorgane auf die Mooroberfläche fallen. Sechs von vierzehn Flözen gehören dem Typ II an.

Typ III: Das gesamte Flöz enthält sehr viel Inertinit, besonders Makrinit, aber wenig Vitrinit. Der vorkommende Vitrinit bildet fast immer Lagen (Telocollinite), die zum Teil als Wurzeln angesehen werden. Dieser Flöztyp ist arm an Ton und syngenetischen Eisensulfiden. Unter den Liptiniten herrschen dieselben Sporen vor wie in den inertinitreichen Zonen der Typ-II-Flöze. Der Flöztyp III tritt nur einmal unter den vierzehn untersuchten Flözen auf (Flöz A).

Diese Typisierung gilt für die gesamten Dorstener, Horster und Essener Schichten, obwohl die Sporentypen, die in den inertinitreichen Zonen angereichert sind (Denso-, Crassi- oder Megasporen), variieren. Auch scheint die Häufigkeit der verschiedenen Flöztypen in den stratigraphischen Einheiten verschieden zu sein (vgl. GRADY 1979). So sind die jüngsten drei Flöze der Dorstener Schichten alle Typ-I-Flöze.

2.2. Beschreibung der untersuchten Flöze

Ein Flöz, das den Typ I gut repräsentiert, ist Midgard 2 (vgl. Tab. 1 – 3, S. 148 – 159 sowie Abb. 1). Es besitzt fast durchgängig niedrige Inertinit- und hohe Vitrinitgehalte. Ton ist fast über das gesamte Profil verbreitet und bildet einen Hauptbestandteil in den Bergelagen (Zonen 4 und 5). Die tonärmsten Zonen 2b und 3 zeigen zugleich die höchsten Prozentsätze an Gesamtinertinit, Makrinit, Fusinit, Inertodetrinit, Mikrinit, Gesamtliptinit und Megasporen sowie mit Einschränkungen auch an Denso- und Crassisporen. Besonders stark ist Makrinit gegenüber den anderen Flözzonen angereichert. Dagegen sind in

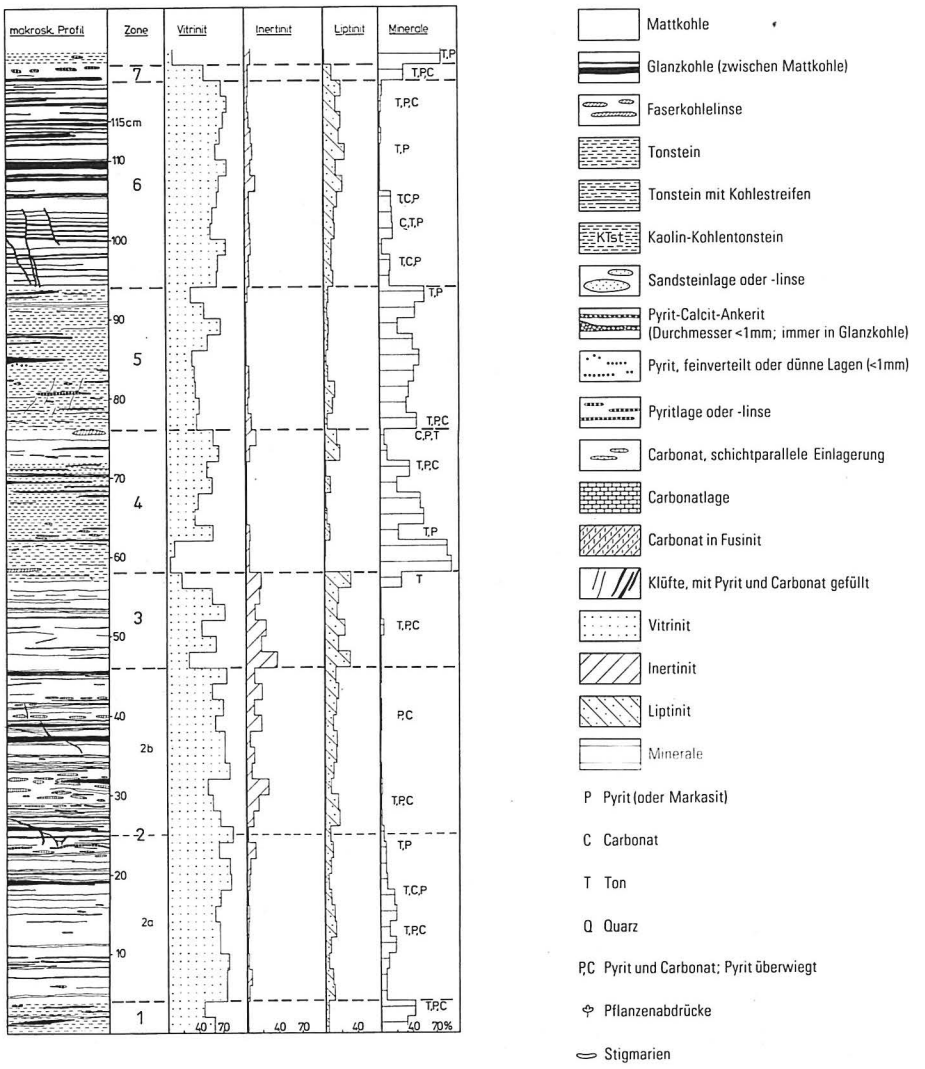


Abb. 1 Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Midgard 2

Fig. 1 Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Midgard 2 seam

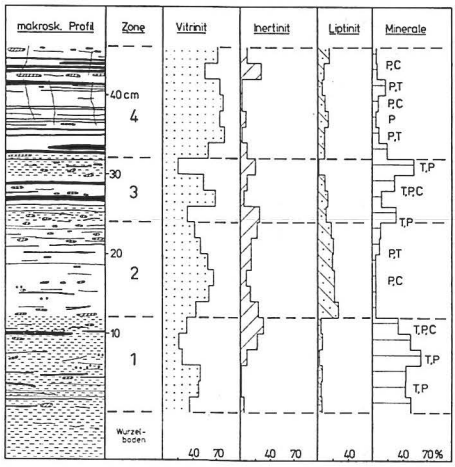


Abb. 2
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Loki Obk (Legende s. Abb. 1)

Fig. 2
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Loki Obk seam (legend see fig. 1)

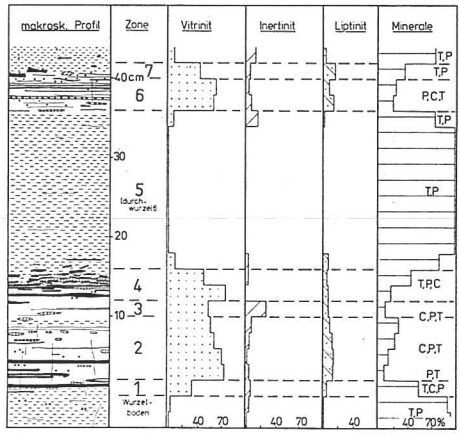


Abb. 3
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Loki Mbk (Legende s. Abb. 1)

Fig. 3
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Loki Mbk seam (legend s. fig. 1)

den tonarmen Zonen 3 und 2b syngenetische Eisensulfide, Kutikeln und Fluorinit selten. Die relativ große Mächtigkeit unterscheidet Flöz Midgard 2 von den anderen Flözen des Typs I.

Zum Typ I gehören auch die Flöze Loki Obk, Loki Mbk, X2, K2/JI, C2 und Zollverein 3. Im Flöz K2/J1 fällt als Besonderheit eine Sideritkonkretion in einer Tonlage (Zone 4) auf. Die Knolle ist intern aus Sideritsphäroiden aufgebaut, die zwischen 20 und 50 µm groß sind. Diese liegen im zentralen Teil der Konkretion dicht an dicht und außen in einer tonigen Grundmasse. Die Konkretion ist von einem Kranz aus großen Pyrit- und Markasitkristallen umgeben. Am Hangendkontakt des Flözes C2 sind isolierte Sandsteinlinsen in die Kohle eingequetscht. Flöz C2 ist das einzige Flöz, das direkt von einem Sandstein überlagert wird. Dieser ist geringmächtig und geht schon 5 cm über dem Flöz in einen Grobsiltstein über. Für den vergleichsweise hohen Inertinitgehalt dieses Flözes ist vor allem der hohe Fusinitgehalt im unteren Profilteil verantwortlich.

Flöz Zollverein 3 enthält im oberen Flözteil 16 cm Sapropelkohle. In der Sapropelkohle (Zone 9) kommen nur sehr feinkörnige Macerale vor, zum Beispiel Inertodetrinit. Entsprechend sind die großen Fusinite mit nur 0,7 % vertreten. Telocollinite finden sich überhaupt nicht. Fetzen davon kommen vereinzelt – wie Fusinit – besonders im untersten Zentimeter vor. Liptinit und besonders Liptodetrinit sind angereichert. Auch Bituminit, Exsudatinit und Mikrosporen sind angereichert, während große Kutikeln und Megasporen selten sind. Die Grundmasse der Sapropelkohle besteht aus Mikrinit (vgl. M. TEICHMÜLLER 1974, 1982). In die Sapropelkohle sind zwei Graupen-Kaolin-

Kohlentonsteine eingeschaltet, die beide eine Slump-Schichtung aufweisen. Die größten Graupen liegen isoliert unter den kleineren, die eine durchgehende Lage bilden. Direkt über der Sapropelkohle folgt eine Pyrit-Sideritlage von über 1,5 cm Dicke, die nach oben allmählich in einen schwarzen, siltigen Tonstein mit Sideritlagen übergeht.

Flöz 0 (Tab. 1 - 3, S. 148 - 159) repräsentiert am besten die Typ-II-Flöze. Es besitzt eine homogen ausgebildete, breite, vitrinitreiche Zone im unteren Flözteil. Darüber ist Inertinit abschnittsweise angereichert. Damit gemeinsam treten viele Sporen und viel Gesamtliptinit auf. Im gesamten Profil kommen sehr wenig syngenetische Eisensulfide, fast kein Ton und kein Carbonat vor.

Diesem Typ II sind die Flöze Hagen 1 Ubk - 3 und P4 Ubk ebenfalls zuzurechnen. Die Flöze Hagen 1 Obk und N gehören nach ihrem Aufbau ebenfalls zu dieser Gruppe. Sie zeigen aber zwischen dem vitrinitreichen Unterteil und dem inertinitreichen Oberteil der Profile jeweils eine Bergelage. Dadurch besitzen sie eine Gesamtzusammensetzung zwischen der des Typs I und der des Typs II. Deshalb sind sie als „Typ II-I" eingestuft worden. Diese Einteilung wurde auch für Flöz X1 getroffen. Es enthält sehr wenig Minerale und viel Inertinit wie die Typ-II-Flöze. Der Makrinitgehalt ist aber nicht hoch, und es kommt relativ viel Vitrinit vor. Eine Besonderheit in Flöz Hagen 1 Ubk - 3 ist der ca. 13 cm mächtige Kaolin-Kohlentonstein vom Typ „Dichter Tonstein" (BURGER & ECKHARDT & STADLER 1962). Typisch für diesen Tonstein ist ein Illit-Montmorillonit-Mixed-layer-Mineral vom „Kalkberg-Typ" (= IIMI-Typ nach REYNOLDS & HOWER 1970). In keiner anderen der über 60 röntgenographisch untersuchten Silt- und Tonsteinlagen aus dieser Bohrung wurden Mixed-layer-Minerale gefunden. In den Fraktionen 2 - 6 µm und unter 2 µm ist dieses Mineral häufiger als der Kaolinit (bestimmt nach BISCAYE 1965). Ein ähnliches Mineral wurde aus diesem Tonstein von DAMON & R. TEICHMÜLLER (1971) beschrieben. Zwischen dem Kaolin-Kohlentonstein und dem Flözhangenden kommt als Zone 8 liptinitreiche Kohle mit sehr viel syn- und epigenetisch entstandenem Eisensulfid vor.

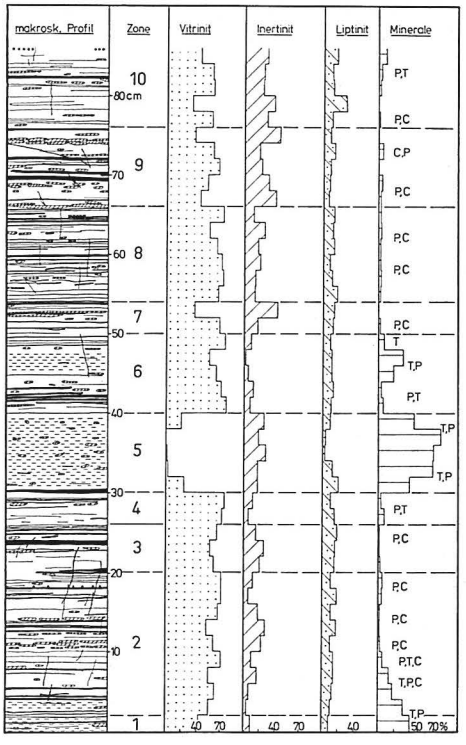


Abb. 4
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Hagen 1 Obk (Legende s. Abb. 1)

Fig. 4
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Hagen 1 Obk seam (legend s. fig. 1)

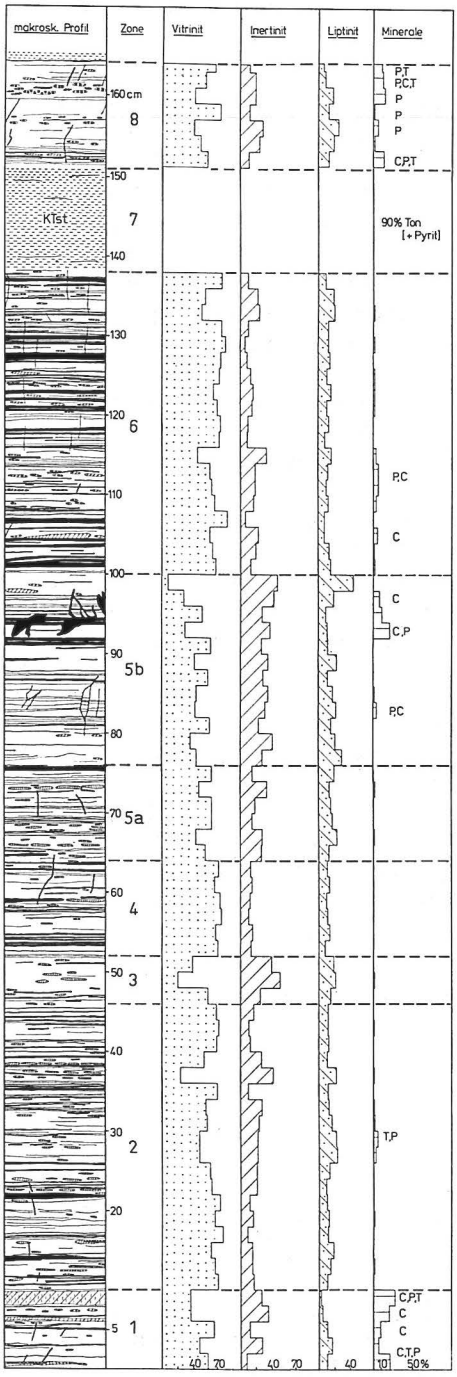
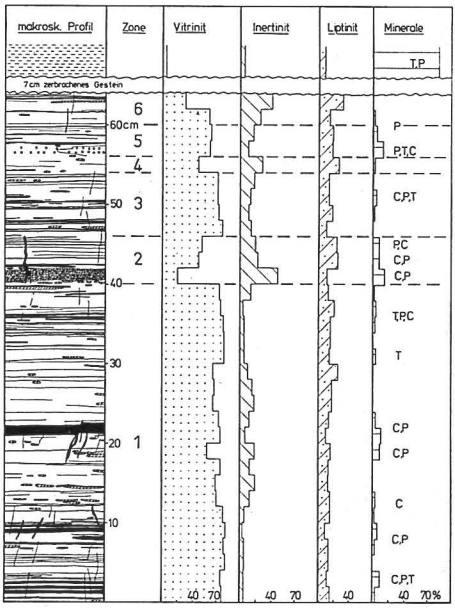


Abb. 5
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Hagen 1 Ubk-3 (Legende s. Abb. 1)

Fig. 5
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Hagen 1 Ubk-3 seam (legend s. fig. 1)

Abb. 6
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes X1 (Legende s. Abb. 1)

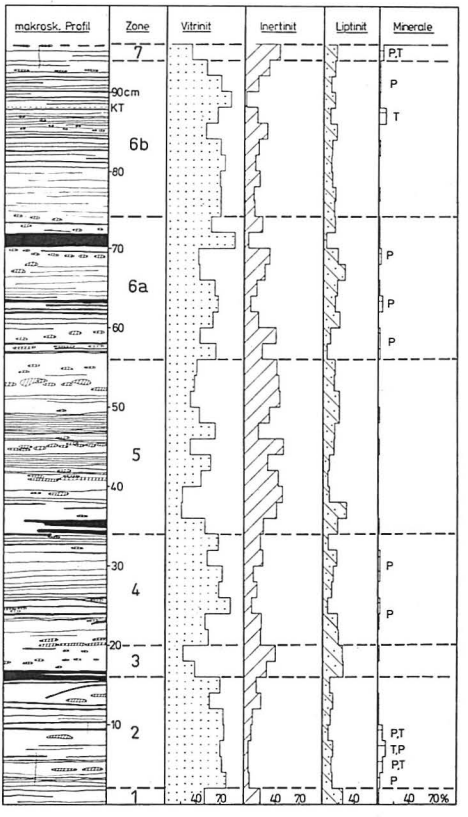
Fig. 6
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of X1 seam (legend s. fig. 1)



Das einzige Flöz vom Typ III ist Flöz A. Es enthält in der Zone 1, die noch zum Wurzelboden gerechnet wird, 75 % Tonminerale und Quarz. Vitrinit, Fusinit, Inertodetrinit und verschiedene Liptinite bilden die organische Substanz. Die untersten 2 cm der Zone 2 enthalten 26,5 % Inertodetrinit, aber nur wenig Makrinit. Dort ist auch der Tongehalt noch relativ hoch (25 %). Darüber sind extrem hohe Makrinitgehalte (bis zu 40 %!) und auch viel Fusinit, Inertodetrinit, Mikrinit, Denso- und Megasporen typisch. Tonlagen gibt es bis zur Flözoberkante nicht.

Flöz A enthält zwischen dem 35. und 55. Zentimeter des Profils auffällige „Kügelchen" aus Pyrit, Calcit und zum Teil Eisendolomit in Glanzkohlenlagen. Sie sehen Wurzelquerschnitten sehr ähnlich, wie sie COHEN & SPACKMAN (1977: Taf. 3) aus Torfen beschrieben haben.

Eine Sporenanalyse von PEPPERS (1983) ergab, daß die Sporen aus dem unteren Flözteil schlecht erhalten und oxidiert sind. *Densosporites* ist unter den noch erkennbaren Sporen am häufigsten. Die im mittleren Flözabschnitt häufig vorkommenden *Densosporites*- und *Crastatisporites*-Arten werden krautigen Lycopoden zugeordnet. Die anderen erkennbaren Sporen stammen von kleinen Farnen. Sporen baumartiger Lycopoden fehlen, solche von Baumfarnen sind selten. Im oberen Profilteil, in dem mehr Vitrinit vorkommt, wurden auch Sporen baumartiger Lycopoden gefunden. Es gibt auch Calamitensporen und mehr Farnsporen als im mittleren Flözteil.



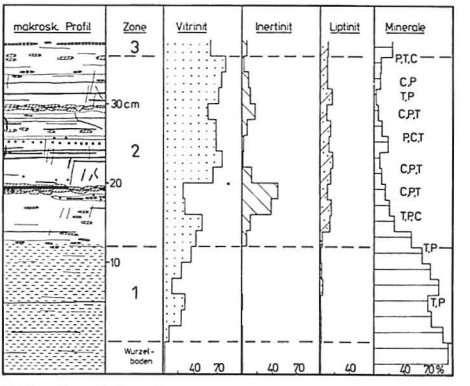


Abb. 7 (oben)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes X2 (Legende s. Abb. 1)

Fig. 7 (above)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of X2 seam (legend s. fig. 1)

Abb. 8 (links)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes P4 Ubk (Legende s. Abb. 1)

Fig. 8 (left)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of P4 Ubk seam (legend s. fig. 1)

Insgesamt ist Flöz A das einzige Flöz, in dem mehr Inertinit als Vitrinit vorkommt. Besonders das Maceral Makrinit ist im Vergleich zu anderen Flözen stark angereichert. Densosporen sind viel häufiger, Tenuisporen seltener als in den anderen Profilen. Bei den Vitrinitlagen in den Zonen 2 und 3 kann es sich zumindest teilweise um Wurzeln handeln (vgl. COHEN & SPACKMAN 1977: Taf. 3), die später als das umgebende Material in den Torf eindrangen.

Die nach der Gesamtzusammensetzung mineralarmen Flöze (Hagen 1 Ubk – 3, P4 Ubk, O, A) sind alle den Typen II und III zuzurechnen, besitzen also die charakteristischen inertinitreichen Zonen. Sie enthalten weniger als 65 Vol.-% Vitrinit (bezogen auf die reine organische Substanz), über 20 Vol.-% Inertinit, mindestens 4,5 Vol.-% Makrinit und Makrinit/Makrinit + Desmocollinit (Makr./Makr. + Desmocoll.)-Verhältnisse von über 10. Die Gesamtliptinitanteile sind höher als in den vitrinitreichen Typ-I-Flözen, wobei (außer im Flöz

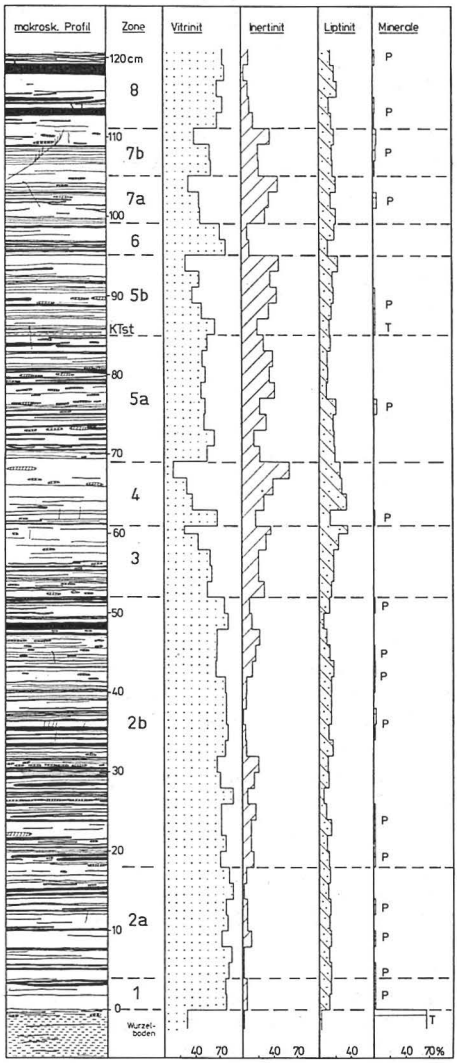
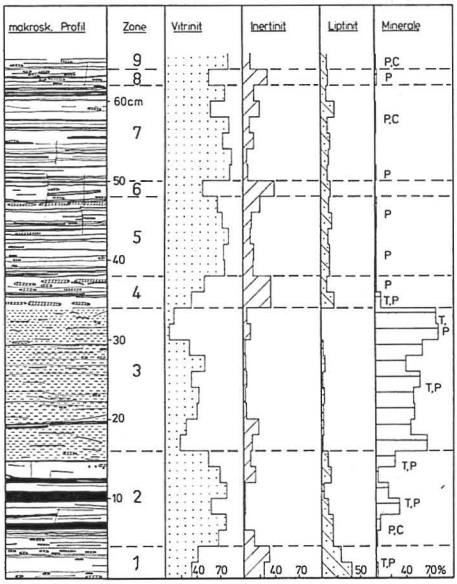


Abb. 9 (links)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes O (Legende s. Abb. 1)

Fig. 9 (left)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of O seam (legend s. fig. 1)

Abb. 10 (unten)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes N (Legende s. Abb. 1)

Fig. 10 (below)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of N seam (legend s. fig. 1)



P4 Ubk) Densosporen neben Megasporen typisch sind. Die Gehalte an Tonmineralen liegen unter 2 Vol.-% (außer Kaolin-Kohlentonsteinen). Syngenetisches Eisensulfid ist selten (< 0,3 %), wie auch die Gesamt-Eisensulfidprozentsätze (< 0,7 %, außer in Flöz Hagen 1 Ubk-3 durch spezielle Fazies am Top). Der Anteil des Markasits am gesamten Eisensulfid ist in dieser Gruppe von Flözen höher als in den Typ-I-Flözen.

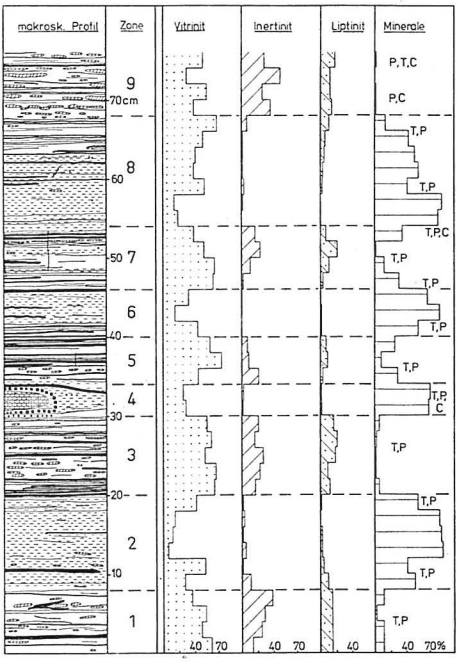


Abb. 11 (rechts oben)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes K2/J1 (Legende s. Abb. 1)

Fig. 11 (right above)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of K2/J1 seam (legend s. fig. 1)

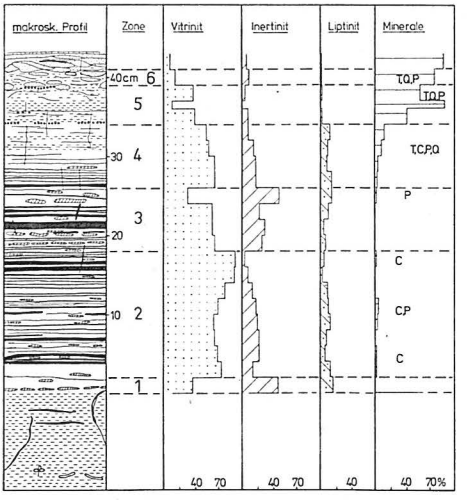


Abb. 12 (rechts unten)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes C2 (Legende s. Abb. 1)

Fig. 12 (right below)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of C2 seam (legend s. fig. 1)

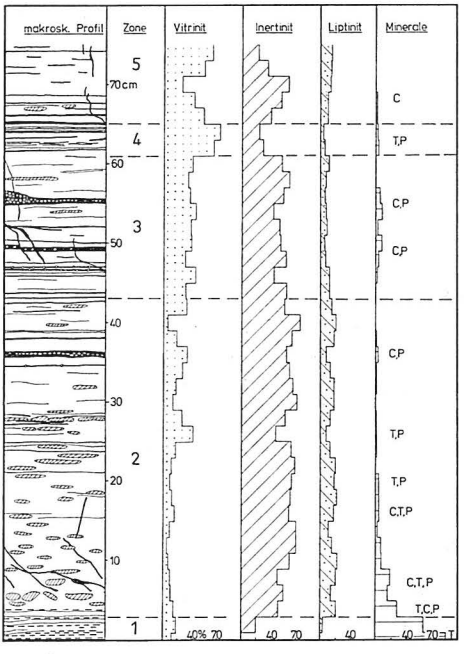


Abb. 13 (links)
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes A (Legende s. Abb. 1)

Fig. 13 (left)
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of A seam (legend s. fig. 1)

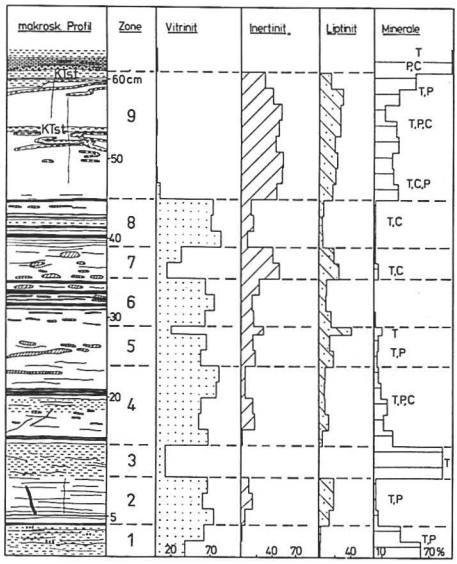


Abb. 14
Makroskopisches Profil und Prozentsätze an Vitrinit, Inertinit, Liptinit und Mineralen des Flözes Zollverein 3 (Legende s. Abb. 1)

Fig. 14
Percentages of vitrinite, inertinite, liptinite and minerals and macroscopic profile of Zollverein 3 seam (legend s. fig. 1)

2.3. Generelle Veränderungen des Flözaufbaus

Auffällig ist die deutliche Inertinitabnahme durch alle von der Bergbau AG Lippe untersuchten 70 Flöze der Bohrung Wulfener Heide 1 zu den jüngeren Flözen hin (mündl. Mitt. W. PFISTERER, BAG Lippe). GRADY (1979) fand an ostamerikanischen Kohlen gleichen Alters ebenfalls eine Abnahme des Inertinitgehaltes zu den jüngeren Schichten und eine parallel dazu verlaufende Zunahme des Tongehaltes. PEPPERS & PHILLIPS (1984) benutzen unter anderem auch diese Erscheinung, um klimatische Veränderungen während des Oberkarbons in Euramerika zu belegen.

Der Exsudatinitgehalt nimmt zu den jüngeren Flözen hin ebenfalls eindeutig ab (vgl. M. TEICHMÜLLER 1974). Die Gesamtliptinitgehalte schwanken insgesamt in den Flözzonen und zwischen den verschiedenen Flözen nicht so stark wie die Inertinit- und Mineralgehalte. Insgesamt spielen Abhängigkeiten des Flözaufbaus von der Stratigraphie und/oder Inkohlung nur für einzelne Macerale eine Rolle.

Die Abhängigkeit der Mineralführung eines Flözes von der kohlenpetrologischen Zusammensetzung wurde bereits geschildert: Vitrinitreiche Flöze sind meist tonreicher und eisensulfidreicher als vitrinitarme.

Der Flözaufbau scheint auch mit der Mächtigkeit der Flöze zusammenzuhängen. So gehören die dünnsten Horizonte Loki Obk, Loki Mbk, X2, C2 und Zollverein 3 zum Typ I der vitrinitreichen Flöze mit viel Ton. Dagegen zeigen die mächtigen Flöze in ihrem Oberteil fast immer die beschriebenen Inertinit-Makrinit-Zonen des Typs II.

Eine Abhängigkeit der Flözpetrographie von der Art der liegenden Nebengesteine kann vermutet werden (vgl. Tab. 1, S. 148). Mehrere Typ-II-Flöze liegen über Sandsteinhorizonten. Die Signifikanz dieser Beobachtung ist aber nicht sehr hoch, da die Petrographie der Nebengesteine nicht genau bearbeitet wurde. Zwischen dem Wurzelboden und dem eigentlichen Flöz befindet

sich oft ein schmaler Bereich, in dem die für Nebengesteine wohl typischen Macerale (Vitrinitbruchstücke, Inertodetrinit, Fusinit, Liptodetrinit) besonders angereichert sind. Unter dem Flözhangenden ist das Flöz oft besonders reich an syn- und epigenetischem Eisensulfid (besonders zwischen dem Kaolin-Kohlentonstein im Flöz Hagen 1 Ubk-3 und dem Flözhangenden).

3. Genetische Deutung der Flözprofile

Eine Flözbildung ist von verschiedenen Faktoren abhängig: Klima, Beckenmorphologie, Lithologie des Umlandes, Subsidenz, Eustatik, Evolutionsstand der Pflanzenwelt usw. Diese Grundfaktoren bestimmen abhängige Parameter (Eh- und pH-Werte), die direkten Einfluß auf die Flora und den Grad der Zersetzung sowie den Mineral- und Spurenelementgehalt des Torfes haben, aus dem ein Flöz hervorgeht.

In Abhängigkeit von diesen Faktoren können sich grundsätzlich Hoch- und Niedermoore bilden. Zwischen ihnen gibt es Übergangsstadien, die einzelne Merkmale von Hoch- und Niedermooren aufweisen.

Da Hochmoore oberhalb des Grundwasserspiegels wachsen, werden sie nur von den Niederschlägen mit Wasser versorgt. Entsprechend sind sie immer nährstoffarm. Mineralischer Detritus tritt in ihnen wegen ihrer Hochlage und fehlender Zuflüsse kaum auf. Aufgrund des geringen Wasseraustausches werden die entstandenen Huminsäuren nicht abgeführt oder verdünnt, so daß die offenen Wässer und Porenlösungen niedrige pH-Werte besitzen. Niedermoore wachsen dagegen im Bereich des Grundwassers und sind entsprechend reich an Nährstoffen und detritischen wie authigenen Mineralen. Nach FIEDLER & REISSIG (1964) besitzen die deutschen Hoch- und Niedermoore folgende charakteristische Zusammensetzung:

	Minerale	org. Substanz	CaO	N	pH
Hochmoor	1 - 3 %	96 - 99 %	0,1 - 0,4 %	0,7 - 1,0 %	3,0 - 4,5 %
Niedermoor	5 - 40 %	60 - 95 %	1,0 - 4,0 %	2,0 - 3,0 %	ca. 6 %

Beide Moortypen findet man rezent in gemäßigten Klimazonen ebenso wie in den Tropen (R. TEICHMÜLLER 1955), oft auch neben- und übereinander. Im Schichtenaufbau folgt im allgemeinen ein Hochmoortorf über einem Niedermoortorf (PFAFFENBERG 1954, WHITMORE 1975).

Die rezenten Hochmoore in gemäßigtem humiden Klima besitzen oft eine kleinwüchsige Vegetation (GÖTTLICH 1980). Ganz charakteristisch ist eine interne Zonierung. So kann im zentralen Teil der Grundwasserspiegel an die Oberfläche treten, so daß dort Moorseen (Kolke) zu finden sind.

Rezente Hochmoore weisen auch eine typische Kleingliederung in trockenere - weil höher gelegene - Bulten und feuchtere Schlenken (CASPARIE 1969) auf. Hochmoore können in den Tropen auch als Baummoore ausgebildet sein. Die Torfmoorwälder in den Tropen Südostasiens sind nach WHITMORE (1975) wie die Hochmoore Mitteleuropas uhrglasförmig aufgewölbt. Sie zeigen von innen nach außen eine Veränderung der Vegetation: Im inneren Teil kommen nur kleinwüchsige Exemplare weniger Pflanzenarten vor, während sich nach

außen fünf Vegetationsringe anschließen, die zunehmend größerwüchsige Pflanzen und größere Artenvielfalt aufweisen. Flüsse durchziehen dabei in der Regel nur die äußerste Waldmoorzone (WHITMORE 1975: Abb. 11.3). In Torfprofilen wurden die Torfe der inneren Zone über denen der äußeren Vegetationsringe gefunden. Grundwassergespeiste Sumpfwälder (= Niedermoore) wachsen dagegen nur auf einige Zentimeter dicken Torfunterlagern, wie WHITMORE (1975: 156) in Südostasien gezeigt hat.

Niedermoore können vielgestaltig sein. In Abhängigkeit von den oben angesprochenen Einflußfaktoren zeigen sie unterschiedliche Florenassoziationen, wie zum Beispiel Riedmoortorfe und Mangroventorfe in den Everglades (COHEN & SPACKMAN 1977) oder Sumpfzypressenwälder und offene Wasserflächen mit Algenmatten in den Okefenokees (COHEN 1974).

SPACKMAN & RIEGEL & DOLSEN (1969) fanden an rezenten Torfen, daß das Pollenspektrum für ein bestimmtes Environment charakteristisch ist und daß schon geringe Höhenunterschiede gegenüber dem allgemeinen Wasserspiegel eine andere Vegetation und einen anderen Torf zur Folge haben.

VON DER BRELIE & WOLF (1981) stellen aufgrund von Untersuchungen der niederrheinischen Braunkohle fest, daß Sporen im allgemeinen nicht weit verdriftet werden, so daß bestimmte Sporenassoziationen charakteristisch sind für den jeweiligen Moorstandort. Nach diesen Autoren ist das Vorkommen von viel Sporinit kennzeichnend für einen hohen Destruktionsgrad zur Zeit der Torfentstehung. Entsprechend deuten sie sporenreiche Detrituskohlen als trockenere Bildungen als gewebereiche Kohlen. Inertinit kommt in diesen Kohlen allerdings fast nicht vor.

Für die Bildung der karbonischen Flöze Euramerikas kann man nach PEPPERS & PHILLIPS (1984) insgesamt tropische Bildungsbedingungen annehmen. Diese interpretieren die unterschiedlichen Ausbildungen verschiedener Flöze als Folge von (über lange Zeiträume) wechselnden Klimaverhältnissen. Unter diesem klimatischen Wechsel verstehen sie weniger eine Temperaturänderung, sondern einen Wechsel von feuchten zu trockeneren Bedingungen. Neben bestimmten Pflanzen- und Sporenarten weisen Fusinite und viele Wurzeln auf trockenere Flözbildungsphasen hin. So sind die Floren der Torfmoore aus anderen, kleinerwüchsigen Pflanzen zusammengesetzt als die der Nebengesteine. In den Mooren dominiert innerhalb einer Flözzone oft nur eine bestimmte Pflanze, was rezenten Beobachtungen an tropischen Hochmooren entspricht (WHITMORE 1975). DIESSEL (1983) deutet die Anreicherung von Liptiniten und Inertiniten ohne Gewebestruktur (Inertodetrinit und Makrinit) als Indikator für eine trockene Moorfazies. Er führte als Faziesanzeiger den „tissue gelification index" und den „tissue preservation index" ein.

M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1982: 20) beschreiben den Aufbau von Flözen der Nordhalbkugel ähnlich den hier vorgestellten Beobachtungen. Auch sie fanden im unteren Teil der Flöze oft glanzkohlenreiche Abschnitte, im oberen aber mattkohlenreiche. Sie deuten diese Abfolge mit den Mikrolithotypen Vitrit und Clarit unten und viel Durit und Clarodurit oben (hier Flöztyp II) als Baummoorfazies, der eine Riedmoorfazies folgte (ertrunkenes Baummoor). Hier wird dagegen angenommen, daß diese Abfolge durch eine Änderung des Ablagerungsmilieus vom nassen zum „trockeneren" Moortyp erfolgte. Dies entspricht auch SMITH (1962), der viel Crassidurit (= dickwandi-

ge Sporen, besonders Densosporen, in Inertinitgrundmasse) im oberen Flözteil als eine Folge zunehmend aerober Verhältnisse beim Torfwachstum deutet.

Die hier vorgenommene Deutung der Typ-I-Flöze als Kohlenhorizonte, die aus „Niedermoortorfen" entstanden und der Typ-II-Flöze als Abbilder einer Entwicklung von „Niedermooren" zu „Hochmooren" wird folgendermaßen begründet:

- Hohe Tongehalte, wie sie für rezente Niedermoore typisch sind (s. S. 141), wurden nur in den Typ-I-Flözen gefunden, aber nie in den inertinitreichen Zonen der Typ-II-Flöze. Dies spricht dafür, daß die inertinitreichen Flözoberteile oberhalb des allgemeinen Wasserspiegels abgelagert wurden und von Überflutungen nicht betroffen waren. Die Typ-I-Flöze und ein Teil der vitrinitreichen unteren Teile der Typ-II-Flöze wurden dagegen in einem Environment abgelagert, das gelegentlich überflutet werden konnte, so daß Ton sedimentiert wurde.
- Inertinitmacerale benötigen im allgemeinen oxidierende Bedingungen für ihre Bildung (PEPPERS & PHILLIPS 1984, DIESSEL 1983), wie sie vor allem in Hochmooren auftreten. STYAN & BUSTIN (1983) deuten starke Inertinitanreicherungen als Ergebnis eines Trockenfallens der Torfmoore. Danach geben starke Inertinitanreicherungen einen Hinweis auf eine mögliche Hochmoorbildung.
- Vitrinitmacerale werden bevorzugt in stärker reduzierendem Milieu gebildet. Darauf weisen unter anderem die Übergänge von manchen Telocolliniten nach außen in Fusinite hin. Deshalb werden mächtige Flözzonen, in denen Vitrinit dominiert, als Indikatoren für Niedermoore angesehen. Nach COHEN & SPACKMAN (1980: 134) können sich Vitrinitvorläufer nur in Torfen bilden, die nie trockengefallen sind, also keiner aeroben Zersetzung ausgesetzt waren. Dies bestätigen STYAN & BUSTIN (1983) für Grundmassevitrinite (Desmocollinite).
- Eisensulfide der syngenetischen Formtypen (euhedrale Einzelkristalle und Framboide) benötigen zur Bildung reduzierende Bedingungen und Schwefelzufuhr (BERNER 1970). Diese Bedingungen sind eher in Niedermooren gegeben, so daß das Vorkommen von viel syngenetischem Eisensulfid als Anzeiger für grundwasserbeeinflußtes Torfwachstum gedeutet wird.
- Palynologische Untersuchungen haben Densosporen als Produkte von Pflanzen relativ trockener Moorstandorte ausgewiesen (SMITH 1964, PEPPERS 1983). Sie kommen besonders oft zusammen mit dem Maceral Makrinit vor, wie auch STACH (1964) feststellte. Im inertinitreichen Flöz A dominieren neben Densosporen die Sporen kleinwüchsiger Farne. In keinem Flöz wurden Densosporen in den unteren Zentimetern des Profils angereichert gefunden. Sie gelten deshalb als Hochmoorindikatoren.
- Die Anzeiger für Niedermoore „viel Ton in Lagen, sehr hoher Vitrinitanteil, viel syngenetisches Eisensulfid" treten ebenso assoziiert auf wie die Hochmoor-Indikatoren „viel Inertinit, viel Makrinit, viele Densosporen".
- Die Entwicklung verläuft nach den genannten Kriterien in den Flözen stets vom Niedermoor in Richtung Hochmoor, wie es auch an rezenten Torfprofilen zu beobachten ist, und nicht umgekehrt.

- Geringmächtige Flöze gehören zum Typ I. Die Torfe, aus denen sie hervorgingen, wuchsen nicht lange genug, um die inertinitreiche Hochmoorfazies der Typ-II-Flöze zu entwickeln.

Als besonders guter Indikator für das Torfbildungsenvironment wird das Maceral Makrinit angesehen. Es bildet eine helle Grundmasse - oft um Sporen - oder helle, dichte Lagen meist unregelmäßiger Form. Während Fusinite und Inertodetrinite durch Einwehung oder Einspülung auch in vitrinitreichen Flözteilen vorkommen, nimmt mit zunehmendem Makrinitgehalt der Vitrinit-Prozentsatz immer ab. Besonders die Grundmassevitrinite (Desmocollinite) treten bei hohen Makrinitgehalten zurück. Deshalb wird ein Makrinit/Makrinit + Desmocollinit (·100)-Verhältnis von über 10 als neben dem Tongehalt bester Indikator für eine „Hochmoorentstehung" eines Flözes angesehen. Aus den Tabellen 2 und 3 (S. 149 - 159) ist abzulesen, daß das Verhältnis von Inertinit zu Inertinit + Vitrinit (·100) weniger Aussagekraft besitzt. Sehr niedrige Verhältnisse kennzeichnen zwar immer Typ-I-Flöze, hohe Verhältnisse können aber nicht nur in Typ-II-Flözen, sondern auch in Typ-I-Flözen (Flöz C2) auftreten.

Die beschriebene deutliche Abnahme des Gesamt-Inertinitgehaltes zu den jüngeren Flözen hin kann als eine Folge einer Klimaänderung gedeutet werden. Da gleichzeitig der Tongehalt der Flöze zunimmt (vgl. GRADY 1979), wird angenommen, daß sich - bei trockenerem Klima - nur noch selten Hochmoore entwickeln konnten. So entstanden weniger (inertinitreiche und tonarme) Hochmoortorfe und mehr (tonreiche) Niedermoortorfe.

Allgemein läßt sich feststellen, daß der genetische Flöztyp nur durch das gleichzeitige Auftreten bestimmter Merkmale erkennbar ist (Merkmal-Assoziationen). Eine eindeutige Grenze zwischen Nieder- und Hochmoorflözen kann hier nicht angegeben werden.

D a n k : Die wissenschaftliche und organisatorische Betreuung dieser Arbeit lag bei Prof. H. FÜCHTBAUER und Dr. B. JANKOWSKI. Ihnen danke ich für zahlreiche wertvolle Diskussionen. Wichtige Hinweise zur Kohlengeologie und Kohlenpetrographie verdanke ich auch Prof. M. WOLF (Aachen), Dr. H. H. DAMBERGER (Bochum/Illinois) und Dr. W. PFISTERER (Bochum) sowie meinen Mitstudenten R. CONZE und G. SCHEIDT.

Viele Mitarbeiter des Geologischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum und der Bergbau AG Lippe leisteten vor allem technische Hilfe. Dr. U. KLINGE von der BAG Lippe stellte die Proben zur Verfügung.

Die Arbeit wird finanziell von der Volkswagenstiftung unterstützt.

Bei allen möchte ich mich herzlich bedanken.

4. Schriftenverzeichnis

BECKER, K. (1965): Sedimentationsrhythmus und marine Beeinflußung im Flöz Katharina des Ruhrkarbons. - Diss. Univ. Münster: 141 S., 38 Abb., 23 Tab.; Münster.

BERNER, R. A. (1970): Sedimentary pyrite formation. - Amer. J. Sci., **268**: 1 - 23, 9 Abb.; New Haven/Connect.

BISCAYE, P. E. (1965): Mineralogy and sedimentation of recent Deep-Sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. - Geol. Soc. amer. Bull., **76**: 803 - 832, 16 Abb.; New York.

BRELIE, G. VON DER, & WOLF, M. (1981): Zur Petrographie und Palynologie heller und dunkler Schichten im rheinischen Hauptbraunkohlenflöz. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **29**: 95 - 163, 13 Abb., 9 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

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.

CASPARIE, W. A. (1969): Zur Bult- und Schlenkenbildung im Hochmoortorf. - Vegetatio, **19**: 146 - 180, 11 Abb.; Den Haag.

COHEN, A. D. (1974): Petrography and paleoecology of Holocene Peats from the Okefenokeel swamp-marsh complex in Georgia. - J. Sediment. Petr., **44**: 716 - 729; Tulsa/Okl.

COHEN, A. D., & SPACKMAN, W. (1977): Phytogenic organic sediments and sedimentary environments in the Everglades-mangrove complex. II. The origin, description and classification of the peats of southern Florida. - Palaeontographica, (B) **162**: 71 - 114, 2 Abb., 2 Tab., 19 Taf.; Stuttgart.

-, & - (1980): Phytogenic organic sediments and sedimentary environments in the Everglades-mangrove complex of Florida. III. The alteration of plant material in peats and the origin of coal macerals. - Palaeontographica, (B) **172**: 125 - 149, 3 Abb., 1 Tab., 15 Taf.; Stuttgart.

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.

DIESSEL, C. (1962): Zur Kenntnis der Bildungsweise des Flözes Katharina im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken. - Diss. Univ. Berlin: 121 S., 62 Abb., 6 Tab.; Berlin.

- (1983): Macerale als Faziesindikatoren. - Vortr. 10. internat. Congr. Strat. Geol. Carbonif.; Madrid.

ELSING, J. (1983): Unregelmäßigkeiten in Flöz Karoline auf der Zeche Haus Aden im östlichen Ruhrgebiet. - Dipl.-Arb. Univ. Bochum: 104 S., 45 Abb., 1 Tab.; Bochum. - [Unveröff.]

FIEDLER, H. J., & REISSIG, H. (1964): Lehrbuch der Bodenkunde. - 544 S., 106 Abb., 130 Tab., 15 Übers.; Jena (Fischer).

GÖTTLICH, K. [Hrsg.] (1980): Moor- und Torfkunde. - 338 S., 155 Abb., 30 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).

GRADY, W. C. (1979): Petrography of West Virginia coals. - In: DONALDSON, A. C., & PRESLEY, M. W., & RENTON, J. J. [Hrsg.]: Carboniferous coal short course and guidebook. - West Virg. Geol. Econ. Surv. Bull., **B37 - 1**: 240 - 277; Morgantown.

GREBE, H., & JOSTEN, K.-H. (1964): Die Sporenführung der Flöze Baldur und Iduna 1 (Westfal C) auf der 2. und 3. Sohle der Schachtanlage Franz Haniel 1/2 bei Bottrop. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **12**: 239 - 246, 3 Abb.; Krefeld.

HABIB, D., & GROTH, P. K. H. (1967): Paleoecology of migrating carboniferous peat environments. - Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., **3**: 185 - 195, 5 Abb.; Amsterdam.

KLARE, B. (1983): Kohlenpetrologische Eigenschaften marin beeinflußter Flöze am Beispiel des Flözes Katharina im mittleren und östlichen Ruhrkarbon. - Dipl.-Arb. Univ. Bochum: 63 S., 42 Abb., 1 Tab.; Bochum. - [Unveröff.]

KUTZNER, R. (1965): Veränderungen in der petrographischen Zusammensetzung von Flözen auf weite horizontale Erstreckung; eine kritische Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen der Kohlenpetrographie als Hilfsmittel zur weiträumigen Flözgleichstellung. - Diss. Univ. Clausthal: 127 S., 42 Abb., 12 Tab.; Clausthal.

LITTKE, R.: Reflexions- und fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen an Flözen der Dorstener, Horster und Essener Schichten des Ruhrkarbons. - Diss. Univ. Bochum; Bochum. - [In Vorbereit.]

PEPPERS, R. A. (1983): The spores of the lower, middle, and upper part of the Flöz A-seam from the Wulfener Heide 1 well-core. - 3 S., 1 Tab.; Champaign/Ill. - [Unveröff.]

PEPPERS, R. A., & PHILIPPS, T. L. (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.

PFAFFENBERG, K. (1954): Das Wurzacher Ried. Eine stratigraphische und paläobotanische Untersuchung. - Geol. Jb., **68**: 479 - 500, 2 Abb.; Hannover.

REYNOLDS, R. C., & HOWER, J. (1970): The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites. - Clays and clay minerals, **18**: 25-36, 8 Abb.; New York.

SMITH, A. H. V. (1962): The paleoecology of Carboniferous peats based on the miospores and petrography of bituminous coals. - Proc. Yorkshire Geol. Soc., **33**: 423-478, 2 Abb., 9 Tab., 1 Taf.; Leeds.

- (1964): Zur Petrologie und Palynologie der Kohlenflöze des Karbons und ihrer Begleitschichten. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **12**: 403-420, 15 Taf.; Krefeld.

SPACKMAN, W., & RIEGEL, W. L., & DOLSEN, C. P. (1969): Geological and biological interactions in the Swamp-Marsh complex of Southern Florida. - Geol. Soc. amer. Spec. Pap., **114**: 1-36; Boulder/Col.

STACH, E. (1964): Zur Untersuchung des Sporinits in Kohlen-Anschliffen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **12**: 403-420, 15 Taf.; Krefeld.

STREHLAU, K. (1984): Sedimentologische und kohlenpetrographische Untersuchung einer sedimentären Unregelmäßigkeit im Flöz Girondelle 5 (Obere Wittener Schichten, Zeche Friedr. Heinrich, Kamp-Lintfort). - Dipl.-Arb. Univ. Bochum: 168 S., 53 Abb., 27 Tab.; Bochum. - [Unveröff.]

STYAN, W., & BUSTIN, R. M. (1983): Petrography of some Fraser River Delta peat deposits: coal maceral and microlithotype precursors in temperate-climate peats. - Internat. J. Coal. Geol., **2**: 321-370; Amsterdam.

TEICHMÜLLER, M. (1974): Über neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 37-69, 2 Abb., 2 Tab., 11 Taf.; Krefeld.

- (1982): Origin of the petrographic constituents of coal. - In: STACH, E., & MACKOWSKY, M.-TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R.: STACHs Textbook of Coal Petrology: 219-294; Stuttgart (Borntraeger). - [3. Aufl.]

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Inkohlung. - In: Die Karbon-Ablagerungen in der Bundesrepublik Deutschland. III. A.1. Das Rhein-Ruhr-Revier. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **19**: 47-56, 7 Abb.; Krefeld.

-, & - (1982): Fundamentals of coal petrology. - In: STACH, E., & MACKOWSKY, M.-TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R.: STACHs Textbook of Coal Petrology: 5-85; Stuttgart (Borntraeger). - [3. Aufl.]

TEICHMÜLLER, R. (1955): Über Küstenmoore der Gegenwart und die Moore des Ruhrkarbons, eine vergleichende sedimentologische Untersuchung. - Geol. Jb., **71**: 197-220; Krefeld.

WHITMORE, T. C. (1975): Tropical rainforests of the Far East. - 282 S., 171 Abb.; Oxford.

Eingang des Manuskriptes: 10. 4. 1984

Tabellen 1–3

Tabelle 1
Untersuchte Flöze

Flöz	Teufe Flözbasis (m)	Mächtigkeit (cm)	aufgen. Profil (cm)	Kohle (%)	Berge (%)	Liegendes	Hangendes
Midgard 2	790	144	122	81	19	3 m Sandstein	feinschluffiger Tonstein
Loki Obk	793	58	46	77	23	Feinsand – Grobsiltstein	Feinsand – Grobsiltstein
Loki Mbk	795	45	42	42	58	feinsiltige Tonsteine	Siltsteine
Hagen 1 Obk	872	96	86	87	13	Siltsteine	Siltsteine
Hagen 1 Ubk-3	890	172	165	96	4[1]	20 m Sandstein, oben feiner	8,5 m Sandstein, unten Siltstein
X1	1 065	72	64	96	4	90 cm Berge bis Flöz X2	Grob- u. Feinsiltsteine
X2	1 067	42	38	65	35	Feinsiltstein	90 cm Berge bis Flöz X1
P4 Ubk	1 241	99	96	98	2	oben feinkörn. Sandstein, 20 m	Tonsteine mit *Planolites montanus*
O	1 264	140	121	100	0	toniger Siltstein	unten grober Sandstein, 20 m
N	1 268	98	66	80	20	Siltsteine und dünne Flöze	Tonsteine und tonige Siltsteine
K2/J1	1 305	128	76	65	35	Tonsteine	Feinsiltsteine
C2	1 402	50	41	88	12	4 cm Feinsandstein darüber Siltsteine	siltige Tonsteine
A	1 425	103	74	96	4	Feinsandsteine	4 m Feinsandsteine
Zollverein 3	1 470	64	58	80	20	Tonstein und siltige Tonsteine	Pyrit-Sideritlage und schwarzer silt.Tonstein

[1] ohne Kaolin-Kohlentonstein (sonst 8%)

Tabelle 2

Gehalte verschiedener Macerale und Minerale in den Flözen[1]

Flöz		Midgard	Loki Obk	Loki Mbk	Hagen 1 Obk	Hagen 1 Ubk-3	X1	X2	P4 Ubk	O	N	K2/J1	C2	A	Zollverein 3
Flöztyp		I	I	I	II-I	II	II-I	I	II	II	II-I	I	I	III	I
Vitrinit	(Vol.-%)	75,2	68,3	75,4	64,1	61,7	69,4	72,2	60,1	64,1	70,1	68,0	70,1	29,6	54,3
Inertinit	(Vol.-%)	9,7	16,2	10,8	21,6	22,7	14,5	13,7	24,6	19,8	16,8	19,5	21,2	51,5	28,3
Fusinit	(Vol.-%)	5,3	11,5	5,7	14,0	12,6	8,4	8,8	14,0	8,6	9,6	13,8	14,5	25,8	7,5
Makrinit	(Vol.-%)	1,2	0,3	0,3	2,0	4,6	1,1	0,5	4,5	7,4	1,9	1,5	1,9	17,9	1,0
Inertodetr.	(Vol.-%)	1,6	4,1	4,6	4,7	3,3	2,9	3,7	3,7	2,0	3,0	3,7	3,0	10,0	7,7
Mikrinit	(Vol.-%)	1,6	0,3	0,2	0,9	2,2	2,2	0,8	2,5	1,8	2,3	0,5	1,9	3,3	12,1
Liptinit	(Vol.-%)	15,1	15,4	13,7	14,4	15,6	16,1	14,0	15,3	16,0	12,3	12,5	8,6	12,9	17,4
Liptodetr.	(Vol.-%)	32,9				35,5			51,6		33,3		53,7	55,5	57,5
Megasporen	(Vol.-%)	4,3	[27,4[2]	[24,5[2]	[32,6[2]	6,9	[38,0[2]	[30,7[2]	5,1	[35,6[2]	5,5	[24,7[2]	4,2	6,3	4,1
Mikrosporen	(Vol.-%)	24,6				22,1			8,5		26,6		11,6	15,9	5,7
Tenuisporen	(Vol.-%)	15,2				12,4			5,1		20,4		5,1	3,9	3,4
Densosporen	(Vol.-%)	0,2				2,9			0,3		1,0		0,6	8,0	2,0
Cutinit		12,6	18,0[2]	14,0[2]	9,0[2]	7,4	18,1[2]	15,4[2]	7,3	9,4[2]	3,7	8,6[2]	3,7	2,9	3,1
resin.Zellf.		4,6	7,7[2]	10,5[2]	9,0[2]	10,1	10,3[2]	7,7[2]	3,7	17,5[2]	8,3	12,3[2]	3,0	0,1	0,1
Minerale	(Vol.-%)	18,3	22,4	57,9	12,7	3,3[3]	3,3	34,2	1,2	0,4	19,3	34,5	11,5	3,7	20,1
Ton + Quarz	(Vol.-%)	15,3	17,6	49,8	10,0	0,3	0,5	26,1	0,5	0	18,0	31,3	10,3	2,2	19,0[3]
syng. FeS_2	(Vol.-%)	1,0	1,7	2,9	1,4	0,3	0,5	5,2	0,3	0,1	0,8	1,5	0,6	0,1	0,5
epig. FeS_2	(Vol.-%)	0,6	1,3	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,4	0,3	0,4	1,0	0,2	0,4	0,3
Carbonat	(Vol.-%)	1,4	0,8	4,4	0,6	1,9	1,8	2,0	0	0	0,1	0,7	0,5	1,0	0,3
Inert./Inert.+ Vitr.		11	19	13	25	27	17	16	29	24	19	22	23	66	34
Makr./Makr. + Desmocoll.		2	1	2	6	11	2	1	14	17	5	4	6	50	—
Mächtigkeit (cm)		122	46	42	86	165	64	38	96	121	66	76	41	74	58

[1] Vitrinit, alle Inertinitmacerale und Liptinit in Vol.-% der organischen Substanz; alle Liptinitmacerale in Vol.-% des Gesamtliptinits, alle Minerale in Vol.-% der Gesamtsubstanz

[2] Liptinitgehalte in reflektiertem Licht bestimmt

[3] ohne Kaolin-Kohlentonstein (sonst ca. 8 %)

Tabelle 3
Bestandteile in den untersuchten Flözen[1]

Flöz		Midgard 2									
		Zone 1	Zone 2a	Zone 2b	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Hangendes	Flöz
Vitrinit	(Vol.-%)	52,0	71,7	67,7	47,5	42,3	43,0	67,8	48,4	9,6	58,2
Inertinit	(Vol.-%)	0,9	3,8	13,3	21,9	4,2	2,9	6,2	4,1	7,0	7,5
Fusinit	(Vol.-%)	0	2,2	8,6	8,9	3,0	1,8	3,3	3,3	7,0	4,1
Makrinit	(Vol.-%)	0	0,1	1,5	5,5	0,2	0,2	0,1	0	0	0,9
Inertodetr.	(Vol.-%)	0,9	0,7	1,9	2,2	0,5	0,9	1,6	0,8	0	1,2
Mikrinit	(Vol.-%)	0	0,7	1,4	5,1	0,5	0,1	1,2	0	0	1,2
Liptinit	(Vol.-%)	8,9	12,8	15,1	25,1	7,3	12,7	14,1	4,8	4,2	13,5
Liptodetr.	(Vol.-%)	25,6	21,9	37,1	32,2	39,4	35,4	32,4	59,0	64,3	32,9
Sporinit	(Vol.-%)										
Megasporen	(Vol.-%)	0	5,5	5,6	9,4	1,2	2,8	3,9	1,6	0	2,9
Mikrosporen	(Vol.-%)	30,5	19,7	29,1	36,6	22,2	19,1	31,4	14,8	17,9	25,9
Tenuisporen	(Vol.-%)	22,1	17,0	26,1	24,5	20,5	16,6	27,7	14,8	17,9	22,0
Densosporen	(Vol.-%)	0	0,1	0,4	0,5	0	0	0,5	0	0	0,2
Crassisporen	(Vol.-%)	2,9	0,9	1,7	9,0	0,6	1,0	1,7	0	0	0,2
Cutinit	(Vol.-%)	15,8	15,3	8,3	6,5	15,8	17,1	10,3	6,5	3,6	12,6
Fluorinit	(Vol.-%)	6,3	10,5	5,0	3,2	12,4	14,7	8,0	0	0	8,9
Exsudatinit	(Vol.-%)										
resin. Zellf.	(Vol.-%)	1,2	5,1	7,7	5,9	1,0	1,2	6,7	4,9	7,1	4,6
Minerale	(Vol.-%)	38,4	11,1	1,6	5,7	42,1	41,4	6,9	26,4	79,2	18,3
Ton	(Vol.-%)	35,0	8,3	0,8	5,2[2]	39,8	36,8	3,0	4,5	74,0	15,3
Quarz	(Vol.-%)										
Carbonate	(Vol.-%)	0,8	1,4	0,2	0,2	1,0	0,7	2,8	17,8	0	1,4
FeS_2	(Vol.-%)										
syng. FeS_2	(Vol.-%)	2,6	1,0	0	0,3	1,0	3,5	0,2	0,8	5,2	1,0
epirog. FeS_2	(Vol.-%)	0	0,4	0,6	0,1	0,3	0,4	0,9	7,8	0	0,6
Inert./Inert. + Vitr.		0	5	16	32	9	6	8	8	42	11
Makr./Makr. + Desmocoll.		0	0	3	16	1	1	0	0		
Mächtigkeit (cm)		4	21	21	12	18	20	24	2	2	122

[1] Vitrinit, alle Inertinitmacerale, alle Minerale und (Gesamt-) Liptinit in Vol.-% der Gesamtsubstanz; da Hohlräume mit ausgezählt wurden, ergibt die Sumr Vitrinit + Inertinit + Liptinit + Minerale meist etwas weniger als 100 Vol.-%; nach Fluoreszenzauszählung bestimmte Liptinitanteile sind auf Gesamtlipti bezogen

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Loki Obk					Loki Mbk									
Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Flöz	Liegendes	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Hangendes	Flöz
34,8	52,9	46,6	72,0	51,8	3,6	31,9	64,6	53,2	61,0	2,7	60,7	42,2	9,4	31,3
11,5	15,9	13,6	8,3	12,3	3,6	6,5	4,8	26,5	2,1	2,0	5,5	5,9	13,0	4,5
7,5	12,0	8,0	7,4	8,7	1,9	1,9	2,1	13,1	0,8	1,3	3,2	3,7	7,2	2,3
0	0,6	0,2	0,1	0,2	0	0	0,2	2,0	0	0	0,2	0,7	0	0,1
4,1	3,1	5,0	0,5	3,1	1,7	4,6	2,5	10,1	1,3	0,7	1,6	1,5	5,8	2,0
0	0,2	0,4	0,4	0,2	0	0	0	1,3	0	0	0,4	0	0	0,1
5,6	21,5	9,1	10,2	11,7	0,8	5,6	11,8	7,7	6,2	0,9	10,9	15,6	3,6	5,7
1,8	4,4	2,8	3,7	3,2	0	1,4	3,3	2,6	1,7	0,1	2,7	3,0	0,7	1,4
1,5	4,3	1,1	1,4	2,1	0	0,5	3,0	0,4	0,6	0	1,7	0	0	0,8
0,2	0,6	0,6	2,3	0,9	0	0,5	0,3	0	0,9	0,1	2,0	3,0	0	0,6
46,9	6,6	28,8	8,5	22,4	92,0	53,2	18,2	10,2	25,0	94,9	21,7	34,8	73,9	58,0
44,0	1,6	24,9	1,3	17,6	88,8	30,1	2,3	4,7	21,9	92,0	5,0	28,9	67,4	49,8
0,5	0,5	1,5	0,9	0,8	0	15,7	11,6	3,3	3,8	0,5	7,4	0	0	4,4
1,8	2,8	1,6	4,3	2,7	2,0	5,1	3,4	0,8	2,8	1,7	6,5	4,5	3,7	2,9
0,7	1,8	0,8	1,9	1,3	1,2	0,9	0,9	1,3	1,5	0,1	2,8	1,4	2,8	0,8
25	23	23	11	19	50	17	7	33	3	43	8	12	58	13
0	2	1	0	1	0	0	1	7	0	0	1	4	0	1
12	12	10	12	46	4	2	8	2	4	20	4	2	2	42

Tongehalt des obersten 2-cm-Abschnitts, am Übergang zu Zone 4

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Flöz		Hagen 1 Obk										
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Flöz
Vitrinit	(Vol.-%)	42,8	63,4	61,4	73,5	9,6	68,8	52,4	67,1	52,2	51,2	54,9
Inertinit	(Vol.-%)	9,3	13,5	20,0	8,8	20,9	6,6	28,8	16,6	30,2	28,4	18,5
Fusinit	(Vol.-%)	6,4	9,8	9,2	6,2	10,3	3,8	19,4	11,1	25,6	15,9	12,0
Makrinit	(Vol.-%)	0	0,3	4,7	0,4	0,1	0	3,0	0,6	0,7	7,8	1,7
Inertodetr.	(Vol.-%)	2,9	3,0	5,4	1,7	10,3	2,4	3,1	3,7	2,9	3,3	4,0
Mikrinit	(Vol.-%)	0	0,4	0,7	0,4	0,1	0,4	3,3	1,1	1,0	1,3	0,8
Liptinit	(Vol.-%)	7,8	12,6	16,3	12,0	9,4	11,0	13,4	12,7	9,3	16,8	12,3
Liptodetr.	(Vol.-%)											
Sporinit	(Vol.-%)	0,7	4,4	6,0	3,4	2,3	1,9	4,8	3,6	3,9	7,1	4,0
Megasporen	(Vol.-%)											
Mikrosporen	(Vol.-%)											
Tenuisporen	(Vol.-%)											
Densosporen	(Vol.-%)											
Crassisporen	(Vol.-%)											
Cutinit	(Vol.-%)	1,4	1,2	1,5	0,6	0,5	2,0	2,3	0,7	0,4	1,2	1,1
Fluorinit	(Vol.-%)											
Exsudatinit	(Vol.-%)											
resin. Zellf.	(Vol.-%)	2,1	1,9	0,1	1,2	0,1	1,7	0,4	1,4	0,4	0,7	1,1
Minerale	(Vol.-%)	40,0	9,2	1,8	5,5	60,0	13,2	1,0	2,2	2,4	3,1	12,7
Ton	(Vol.-%)	34,3	6,2	0	1,9	55,8	10,8	0	0	0	0,9	10,0
Quarz	(Vol.-%)											
Carbonate	(Vol.-%)	0	1,0	0,8	0	0	0	0	0,9	1,7	0,1	0,8
FeS_2	(Vol.-%)											
syng. FeS_2	(Vol.-%)	5,7	1,0	1,0	3,4	4,1	1,6	0	0,3	0	0,8	1,4
epirog. FeS_2	(Vol.-%)	0	1,0	0	0,2	0	0,7	1,0	1,0	0,7	1,3	0,7
Inert./Inert. + Vitr.		18	18	25	11	68	10	35	20	37	36	25
Makr./Makr. + Desmocoll.		0	1	16	1	2	0	10	2	3	22	8
Mächtigkeit (cm)		2	18	6	4	10	10	4	12	10	10	86

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Hagen 1 Ubk-3[3]									X1							
one 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5a	Zone 5b	Zone 6	Zone 8	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Hangendes	Flöz
48,0	61,7	39,1	71,3	55,6	41,5	67,5	54,5	57,8	73,8	39,3	72,4	46,3	62,1	45,2	5,2	66,9
21,6	18,6	38,0	13,5	22,8	33,8	15,7	18,8	21,3	9,1	29,5	13,8	27,4	13,3	32,6	5,1	14,0
15,5	11,3	25,8	8,9	15,6	11,8	9,0	10,4	11,8	5,3	22,2	7,1	14,1	6,0	14,8	0,6	8,1
1,9	2,7	7,6	1,6	1,4	12,2	2,5	4,6	4,3	0,2	2,0	1,1	1,6	0,8	8,0	0	1,0
2,4	2,7	3,5	1,9	3,9	7,0	1,5	2,7	3,1	1,7	3,7	2,4	9,2	5,6	6,0	4,5	2,8
1,9	2,0	1,1	1,1	1,9	2,8	2,6	1,0	2,1	1,9	1,5	3,1	2,4	0,8	3,8	0	2,1
8,2	16,2	22,3	13,2	17,5	23,6	17,0	25,9	18,1	14,2	18,9	12,5	24,6	17,3	21,6	6,5	15,5
47,6	46,9	47,4	34,0	35,7	37,3	19,9	29,9	35,5								
									4,1	10,6	6,1	11,7	6,3	13,1	0	5,9
5,7	7,9	15,6	8,4	5,2	11,7	2,1	5,8	6,7								
7,7	13,0	19,8	20,8	23,6	36,5	25,8	21,9	22,1								
5,7	9,2	16,3	18,1	19,3	15,3	21,7	12,1	15,1								
0	0,3	0,9	0,4	0,1	13,1	1,0	4,3	2,9								
2,0	3,5	2,7	2,1	4,1	8,2	3,1	5,2	4,2								
8,7	8,1	5,1	11,0	11,4	3,6	7,2	6,2	7,4	3,7	1,3	1,7	3,6	1,4	0,2	0	2,8
8,4	3,4	1,4	1,1	1,0	0,5	4,3	1,4	3,0								
2,2	10,6	7,1	13,8	11,3	5,6	13,0	11,1	10,1	2,2	0,4	0,3	0	1,7	0	0	1,6
16,9	1,0	0,3	0,2	0,4	4,0	1,8	9,0	3,3	2,7	9,2	1,1	1,2	6,9	0,6	82,4	3,2
1,5	0,6	0	0	0	0	0	0,8	0,3	0,3	0	0,2	0,8	0,6	0	76,7	0,3
14,1	0,1	0	0	0	3,2	0,9	1,8	1,9	1,7	6,7	0,6	0,4	0,4	0	0	1,8
0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	3,1	0,3	0,2	0	0	0	5,2	0,4	5,7	0,5
1,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,7	0,8	3,1	0,8	0,5	2,5	0,3	0	0,7	0,2	0	0,6
31	24	50	16	29	46	19	26	28	11	43	16	37	18	42	50	17
5	8	23	3	4	28	6	9	11	0	7	3	5	2	26	0	2
10	36	6	12	12	24	38	13	164	40	6	8	2	4	4	2	64

one 7 (Kaolin-Kohlentonstein) wurde nicht ausgezählt

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Flöz		X2					P4 Ubk					
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Flöz	Liegendes	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6a
Vitrinit	(Vol.-%)	22,0	58,2	59,6	46,8	3,5	51,1	71,1	30,6	64,5	40,4	59,2
Inertinit	(Vol.-%)	0,5	13,5	5,8	8,9	0,9	20,9	11,3	34,9	18,1	38,1	21,2
Fusinit	(Vol.-%)	0	8,7	5,0	5,7	0	8,8	5,1	14,9	8,5	25,0	13,5
Makrinit	(Vol.-%)	0	0,5	0	0,3	0	3,3	0,8	16,6	2,1	7,8	2,9
Inertodetr.	(Vol.-%)	0,5	3,5	0,4	2,4	0,9	7,1	2,7	3,3	3,8	3,9	3,3
Mikrinit	(Vol.-%)	0	0,8	0,4	0,5	0	1,7	2,7	0,2	3,7	1,4	1,4
Liptinit	(Vol.-%)	2,8	12,1	10,8	9,1	0,9	33,3	12,4	26,5	12,3	17,8	14,5
Liptodetr.	(Vol.-%)											
Sporinit	(Vol.-%)	0	3,8	7,5	2,8	0						
Megasporen	(Vol.-%)						4,5	2,7	9,4	5,3	7,4	4,1
Mikrosporen	(Vol.-%)						3,6	5,7	4,7	8,6	8,6	5,2
Tenuisporen	(Vol.-%)						3,2	4,0	3,8	6,2	6,8	3,9
Densosporen	(Vol.-%)						0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2
Crassisporen	(Vol.-%)						0,4	1,4	0,8	1,3	1,4	1,1
Cutinit	(Vol.-%)	0,4	2,0	0,4	1,4	0	12,8	9,4	7,3	4,9	7,8	7,3
Fluorinit	(Vol.-%)						0	1,0	0	1,1	0,3	3,5
Exsudatinit	(Vol.-%)											
resin. Zellf.	(Vol.-%)	0	1,0	0,4	0,7	0	0	3,1	0,1	1,8	1,7	3,6
Minerale	(Vol.-%)	74,6	14,8	23,4	34,2	94,7	0,4	3,5	0,4	0,4	0,1	1,1
Ton	(Vol.-%)	66,6	7,5	6,7	26,1	88,5	0	1,6	0	0	0	0
Quarz	(Vol.-%)											
Carbonate	(Vol.-%)	0	2,7	5,4	2,0	0	0	0	0	0	0	0,1
FeS_2	(Vol.-%)											
syng. FeS_2	(Vol.-%)	8,0	3,7	5,8	5,2	6,2	0	1,8	0	0,1	0	0
epirog. FeS_2	(Vol.-%)	0	0,9	5,4	0,9	0	0,4	0,1	0,4	0,3	0,1	1,0
Inert./Inert. + Vitr.		2	19	9	16	20	29	14	54	22	49	27
Makr./Makr. + Desmocoll.		0	1	0	1	0	10	2	59	5	28	9
Mächtigkeit (cm)		12	24	2	38	2	2	14	4	14	22	18

Tabelle 3 (Fortsetzung)

P4 Ubk			O										N			
Zone 6b	Zone 7	Flöz	Zone 1	Zone 2a	Zone 2b	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
67,7	33,4	57,3	78,8	81,7	75,4	51,8	36,8	50,1	75,9	47,5	73,6	63,6	37,3	67,9	29,4	42,3
17,4	43,9	23,5	5,0	4,7	11,2	26,6	36,6	32,9	8,9	32,2	9,3	19,6	29,1	7,0	6,3	34,8
8,3	25,3	13,3	0,7	1,2	6,4	13,6	9,2	15,2	2,9	12,1	3,7	8,5	16,2	4,6	5,0	28,8
2,3	12,7	4,3	0,2	0,1	2,0	8,9	23,8	13,1	2,7	13,8	2,4	7,3	8,5	1,0	0	0,2
3,0	3,6	3,5	1,6	0,3	1,4	3,8	2,0	3,0	1,7	2,2	2,3	2,0	3,2	1,3	1,3	5,4
3,9	2,3	2,4	2,5	3,1	1,4	0,3	1,6	1,6	1,6	4,1	0,9	1,8	1,2	0,1	0	0,4
11,4	17,5	14,6	13,0	13,0	12,2	21,4	26,4	16,5	15,0	18,2	16,7	15,9	35,1	12,5	7,1	18,0
			2,4	1,9	3,4	8,3	10,5	7,3	6,5	10,8	3,2	5,7				
4,0	5,8	5,2											13,0	3,4	7,9	7,7
13,3	20,1	8,5											25,3	20,4	21,2	26,3
10,7	16,9	6,7											23,4	18,9	18,9	21,2
0,5	0	0,3											0,1	0,2	0	2,6
2,3	3,2	1,5											2,0	1,2	2,0	2,6
6,4	4,5	7,3	3,5	3,0	1,3	1,0	1,4	0,7	1,5	0,6	2,3	1,5	1,4	2,4	2,4	1,2
4,6	1,3	2,1											2,6	9,2	5,5	1,0
9,1	2,6	3,7	2,6	4,4	3,3	1,4	0,3	3,4	1,1	0,3	4,7	2,8	3,0	14,8	0,5	8,0
1,5	5,0	1,2	0,7	0,2	0,4	0	0,1	0,4	0	1,4	0,3	0,4	2,4	14,9	60,7	3,8
1,2	2,3	0,5	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	1,2	12,3	56,4	3,3
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0,2
0	0	0,3	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,4	1,1	2,1	0
0,2	2,7	0,4	0,5	0,1	0,3	0	0,1	0,3	0	1,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3
21	57	30	6	5	13	35	51	40	8	40	11	24	44	9	22	46
5	33	12	0	0	6	22	48	32	7	32	7	17	27	3	0	1
20	2	96	4	14	34	9	8	26	4	12	10	121	4	12	18	4

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Flöz		N						K2/J1				
		Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Vitrinit	(Vol.-%)	74,4	48,3	76,6	56,2	80,6	56,0	49,9	25,9	60,5	27,3	59,4
Inertinit	(Vol.-%)	13,2	39,2	11,0	31,3	9,2	13,3	26,4	3,8	20,5	1,4	12,1
Fusinit	(Vol.-%)	5,9	16,3	3,7	15,4	4,8	7,6	18,6	2,7	14,8	1,0	9,2
Makrinit	(Vol.-%)	1,0	10,0	1,0	4,2	0	1,5	1,4	0,1	1,3	0	0,1
Inertodetr.	(Vol.-%)	2,4	6,2	2,6	7,1	2,2	2,4	6,1	1,0	3,5	0,4	2,8
Mikrinit	(Vol.-%)	3,9	6,7	3,7	4,6	2,2	1,8	0,3	0	0,9	0	0
Liptinit	(Vol.-%)	11,2	21,0	12,2	17,7	14,0	12,9	14,4	3,3	15,5	0,8	6,2
Liptodetr.	(Vol.-%)											
Sporinit	(Vol.-%)							3,4	0,6	3,4	0,2	0,6
Megasporen	(Vol.-%)	2,7	12,1	1,6	5,4	1,2	5,5					
Mikrosporen	(Vol.-%)	25,6	32,3	38,1	44,2	30,0	26,6					
Tenuisporen	(Vol.-%)	21,8	27,4	32,2	38,9	24,6	23,4					
Densosporen	(Vol.-%)	0,8	1,5	2,8	2,2	2,4	1,0					
Crassisporen	(Vol.-%)	3,0	3,4	3,2	3,1	3,0	2,3					
Cutinit	(Vol.-%)	6,4	1,5	6,3	1,3	10,2	3,7	1,4	0,1	0,7	0	0,8
Fluorinit	(Vol.-%)	5,7	3,8	12,6	7,2	11,4	7,2					
Exsudatinit	(Vol.-%)											
resin. Zellf.	(Vol.-%)	12,2	6,8	9,3	5,4	29,9	8,3	1,0	0,2	2,7	0,4	0,6
Minerale	(Vol.-%)	1,3	0,4	1,1	2,1	0,8	20,1	8,3	66,8	3,0	70,0	20,8
Ton	(Vol.-%)	0	0	0	0	0	18,0	6,9	64,1	2,5	46,1	18,6
Quarz	(Vol.-%)											
Carbonate	(Vol.-%)	0,1	0	0,1	0	0,4	0,1	0,2	0	0	10,2	0,4
FeS_2	(Vol.-%)											
syng. FeS_2	(Vol.-%)	0,1	0	0,3	0	0	0,8	0,6	2,6	0,3	1,3	0,2
epirog. FeS_2	(Vol.-%)	1,2	0,4	0,3	2,1	0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	12,4	1,6
Inert./Inert. + Vitr.		15	45	13	35	10	20	35	13	25	5	17
Makr./Makr. + Desmocoll.		2	26	2	13	0	5	5	1	4	0	0
Mächtigkeit (cm)		10	2	12	2	2	66	8	12	10	4	6

Tabelle 3 (Fortsetzung)

K2/J1					C2								A			
Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Hangendes	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
30,5	55,3	40,8	45,2	43,9	36,5	74,7	54,9	60,9	33,6	15,0	7,9	58,4	14,0	15,4	35,4	68,6
0	13,4	1,7	35,6	12,6	46,0	14,7	30,7	14,3	4,9	8,9	5,2	17,8	9,2	60,3	50,7	24,7
0	6,9	1,0	27,6	8,9	32,0	9,4	23,6	7,5	3,2	7,5	4,2	12,1	5,2	22,7	30,7	11,4
0	2,3	0	4,2	1,0	10,0	1,4	1,8	0,8	0,6	0	0	1,6	0	24,0	9,8	1,7
0	3,4	0,6	3,6	2,4	2,5	2,9	3,9	2,0	0,4	1,4	1,0	2,5	4,0	9,5	7,9	8,3
0	0,8	0,1	0,1	0,3	1,5	0,9	1,4	4,0	0,7	0	0	1,6	0	4,1	2,3	3,3
0,5	10,8	4,0	15,1	8,1	18,7	7,7	10,4	11,7	7,2	4,9	1,0	9,9	1,7	15,0	7,7	3,7
													39,0	52,5	57,3	62,4
0	2,1	0,8	6,8	2,0												
					19,1	2,7	7,8	0,9	2,6	0		3,2	3,1	5,3	10,7	2,9
					6,9	13,3	18,0	7,0	7,2	11,4		11,7	8,8	13,0	20,0	25,3
					5,3	10,9	13,6	5,5	6,7	8,2		9,4	8,2	4,1	4,3	3,3
					1,1	0,9	0,1	0,4	0	1,6		0,6	0,6	6,4	10,7	12,3
													0	2,5	5,0	9,7
0	1,1	0,9	1,1	0,7	2,2	5,2	4,8	2,3	1,7	0		3,7	10,1	3,2	2,9	0
					0	0,7	0	1,6	0,5	0		0,6				
					2,6	4,1	2,7	20,2	45,0	52,5		12,7	0,6	5,3	1,5	2,5
0,3	1,1	0,9	1,5	1,0	4,8	1,7	0	8,2	3,9	0		3,0	0	0,1	0	0
68,7	19,6	52,9	0,7	34,5	0	0,9	0,1	5,2	53,6	71,4		11,5	74,8	5,0	3,1	0,4
64,8	18,2	49,8	0,2	31,3	0	0,1	0	3,6	51,5	67,6		10,3	74,8	3,6	0,5	0,2
0	0,5	0,2	0,3	0,7	0	0,7	0	0,9	0,1	0		0,5	0	0,9	1,6	0
					0	0,1	0,1	0,7	2,0	3,8		0,7	0	0,5	1,0	0,2
3,6	0,6	2,4	0	1,4												
0,2	0,2	0,5	0,3	1,1												
0	20	4	44	22	56	16	36	19	13	37	40	23	40	80	59	26
0	7	0	13	4	43	4	6	2	5	0		6				
6	8	14	8	76	2	16	8	8	5	2	2	41	4	40	18	4

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Flöz		A		Zollverein 3 [4]								
		Zone 5	Flöz	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9
Vitrinit	(Vol.-%)	46,7	27,0	50,3	67,5	12,0	67,8	52,7	67,3	23,6	76,2	1,1
Inertinit	(Vol.-%)	40,3	51,1	0,2	9,9	0	8,7	19,4	17,5	44,9	12,3	46,3
Fusinit	(Vol.-%)	21,2	23,5	0,2	6,1	0	6,0	6,9	8,0	32,1	5,8	0,7
Makrinit	(Vol.-%)	6,1	16,3	0	0,4	0	0,2	2,4	0,4	1,9	0,4	0,1
Inertodetr.	(Vol.-%)	10,8	9,1	0	3,4	0	2,5	7,8	5,2	8,9	1,6	14,0
Mikrinit	(Vol.-%)	2,2	3,0	0	0	0	0	2,3	4,9	2,0	4,5	31,5
Liptinit	(Vol.-%)	11,3	12,0	2,3	17,0	0	7,4	20,7	10,5	21,0	4,4	22,5
Liptodetr.	(Vol.-%)	65,2	55,5	63,3	69,1	—	40,6	40,6	67,8	51,8	63,8	62,7
Sporinit	(Vol.-%)											
Megasporen	(Vol.-%)	4,2	6,3	5,5	5,9	—	8,5	6,4	3,0	4,0	2,9	0,1
Mikrosporen	(Vol.-%)	17,9	15,9	11,0	4,1	—	1,1	1,0	3,7	2,5	8,8	10,0
Tenuisporen	(Vol.-%)	1,8	3,9	11,0	3,5	—	1,1	1,0	3,5	1,6	6,9	2,9
Densosporen	(Vol.-%)	9,5	8,0	0	0	—	0	0	0,2	0,9	1,0	6,5
Crassisporen	(Vol.-%)	6,6	4,0									
Cutinit	(Vol.-%)	1,1	2,9	4,3	4,8	—	2,8	1,0	0,8	1,7	12,9	0,3
Fluorinit	(Vol.-%)											
Exsudatinit	(Vol.-%)	9,9	3,8	0	2,3	—	8,1	4,7	7,8	3,3	8,0	9,2
resin. Zellf.	(Vol.-%)	0	0,1									
Minerale	(Vol.-%)	0,5	3,6	41,9	3,3	88,0	13,7	5,7	0,8	3,2	1,6	29,2
Ton	(Vol.-%)	0,2	2,1	39,8	2,2	85,6	11,7	5,1	0,8	2,8	0,9	28,9
Quarz	(Vol.-%)											
Carbonate	(Vol.-%)	0,3	1,0	0	0	0	0,6	0	0	0,4	0,7	0,3
FeS_2	(Vol.-%)	0	0,5	2,1	1,1	2,4	1,4	0,6	0	0	0	0,6
syng. FeS_2	(Vol.-%)											
epirog. FeS_2	(Vol.-%)											
Inert./Inert. + Vitr.		46	65	1	13	0	11	27	21	66	14	98
Makr./Makr. + Desmocoll.												
Mächtigkeit (cm)		10	72	4	6	4	10	5	6	4	6	16

[4] Hang. 1: Siderit-Pyritlage direkt über der Sapropelkohle;
Hang. 2: bituminöser Tonstein über der Siderit-Pyritlage

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Zollverein 3			
Hangendes 1	Hangendes 2	Flöz	"ohne 9"
0	0,9	42,1	56,6
0	0,9	22,0	13,4
0	0	5,8	7,6
0	0	0,5	0,6
0	0,9	6,0	3,6
0	0	9,4	1,5
0	1,0	13,5	10,3
—	100,0	57,5	55,5
—	0	4,1	5,7
—	0	5,7	4,0
—	0	3,4	3,6
—	0	2,0	0,2
—	0	3,1	4,2
—	0	6,6	5,6
98,8	96,2	20,1	16,1
22,5	82,4	19,0	15,1
63,4	0	0,3	0,2
12,9	13,8	0,8	0,8
—	50	34	19
2	2	61	45

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	161 - 168, 2 Abb., 1 Tab.	Krefeld, März 1985

Die Variation der C- und H-Isotopenverhältnisse in Kohlen und deren Abhängigkeit von Maceralzusammensetzung und Inkohlungsgrad

Von THOMAS SCHWARZKOPF und MARTIN SCHOELL *

C-Isotope, H-Isotope, hard coal, maceral, coalification, Rhenish-Westphalian basin, North-rhine-Westphalia (Ruhr district)

K u r z f a s s u n g : An 44 Kohlen des Ruhrkarbons (0,6 - 1,3 % $\bar{R}m$) wurden C- und H-Isotopenanalysen an Maceralgruppen durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen der kohlenpetrologischen Zusammensetzung und den Isotopenverhältnissen zu untersuchen. Die D/H-Isotopenvariationen der Steinkohle sind deutlich von der Maceralzusammensetzung der Probe abhängig. Im Mittel sind exinitreiche Proben (- 109 ‰) gegenüber Vitrinit (- 99 ‰) und Inertinit (- 87 ‰) an Deuterium verarmt. Bei den Kohlenstoffisotopen ergaben sich dagegen wenig signifikante Unterschiede. Die verschiedenen Isotopenverhältnisse in den Maceralgruppen können in erster Linie auf primäre Isotopenunterschiede in den pflanzlichen Ausgangsstoffen zurückgeführt werden. Dabei sind lipidreiche Pflanzenteile wie in heutigen Pflanzen auch an dem schweren Isotop verarmt. Die unterschiedlichen Isotopenverhältnisse von Vitrinit und Inertinit können dagegen durch die frühe Oxidation der Inertinite erklärt werden, bei der isotopisch leichte Bestandteile abgespalten werden. Die Inkohlung hat kaum einen Einfluß auf die Isotopenverhältnisse in den Maceralgruppen.

[Carbon and hydrogen isotope variation in coals in relation to maceral compositon and rank]

A b s t r a c t : Carbon and hydrogen isotope composition of 44 high volatile bituminous coals of the Ruhr basin were determined to study the relationship between the maceral composition and the isotope ratios. It is not possible to measure the isotopic composition of each distinct maceral, therefore hand-picked samples of lithotypes were isolated. After the microscopic examination only the samples with an average content of more than 95 % vitrinite and inertinite were measured. The average content of exinite (= liptinite) was only 48 %.

The D/H ratios of high volatile bituminous coals have a strong relationship to the maceral composition. Exinite-rich samples (- 109 ‰) are depleted in deuterium in respect to vitrinite (- 99 ‰) an inertinite (- 87 ‰). Compared to these results the variation in $\delta^{13}C$ values is small: inertinite (- 23 ‰), vitrinite (- 23,7 ‰), exinite (- 23,9 ‰). The D and $\delta^{13}C$ values of coals appear to be largely determined by the isotopic composition of their organic precursors. Like in todays plants the lipid-rich parts of the plants are depleted in the heavy isotopes (YEH & EPSTEIN 1981, ESTEP & HOERING 1980). The difference between the isotopic composition of vitrinite and inertinite can be interpreted by a loss of ^{12}C- and H-rich constituents during the early oxidation process of inertinite. During the coalification process hydrogen and carbon bearing constituents depleted in ^{13}C and D are released. Our investigations confirm the results of REDDING et al. (1979) that the amount of these substances expelled during the maturation of organic matter is too low to change the isotopic composition of the parent material. The differences in the isotopic ratios of maceral groups are preserved.

---

* Anschriften der Autoren: Dipl.-Geol. TH. SCHWARZKOPF, Institut für Geologie der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-4630 Bochum; Dr. MARTIN SCHOELL, Chevron Oil Field Research Co., 3282 Beach Boulevard, LA Habra, CA 90631 USA

[Variation des isotopes de carbone et d'hydrogène dans des charbons en correlation avec l'association des macéraux et le degré de carbonisation]

Résumé: La composition en isotopes de carbone et d'hydrogène de charbons a été déterminée afin d'étudier la correlation entre la composition des macéraux et les relations des isotopes. Il est impossible de mesurer la composition en isotopes de chaque macéral distinct. Pour cette raison, des échantillons de lithotypes ont été sélectionnés à la main. Après une étude au microscope, seulement les échantillons contenant plus que 95 % de vitrinite et d'inertinite on été mesurés. La teneur moyenne en exinite (= liptinite) n'était que 48 ‰.

Les relations D/H de charbons dépendent nettement de l'association des macéraux. Des échantillons riches en exinite sont appauvris (−109‰) en deuterium, quand ils sont comparés avec ceux riches en vitrinite (−99 ‰) et en inertinite (−87,5 ‰). A côté de ces résultats, la variation des valeurs $\delta\,^{13}C$ est petite: Inertinite (−23,9 ‰), vitrinite (−23,7 ‰), exinite (−23,9 ‰). Les valeurs $\delta\,^{13}C$ et δ D de charbons semblent être largement déterminées par la composition en isotopes de leurs precurseurs organiques. Comme dans plantes récentes, les parties des plantes, qui sont riches en lipides sont appauvries en isotopes lourdes (YEH & EPSTEIN 1981, ESTEP & HOERING 1980). La différence entre les compositions en isotopes de vitrinite et d'inertinite peut être interprétée comme une perte de composants riches en ^{12}C et en H pendant un procès oxidant l'inertinite. Les composants contenant de l'hydrogène et du carbone, qui sont libérés pendant la carbonisation, sont appauvries en ^{13}C et D. Nos investigations confirment les résultats de REDDING et al. (1979) que les quantités expulsées de ces substances pendant la maturation de matière organique sont trop petites pour changer la composition en isotopes des matériaux primaires. Les différences dans les relations des isotopes entre les groupes macérales sont conservées.

1. Einleitung

In einer der ersten grundlegenden isotopisch-geochemischen Arbeiten an organischen Substanzen untersuchte WICKMAN (1953) an Ruhrkohlen die Abhängigkeit der Kohlenstoffisotopenverhältnisse von der Inkohlung. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Kohlenstoffisotopenvariationen in Ruhrkohlen nur geringfügig schwanken und keine systematische Abhängigkeit von der Inkohlung zeigen. Spätere Arbeiten von SCHIEGEL & VOGEL (1969) und REDDING et al. (1979) ergaben jedoch, daß das Wasserstoffisotopenverhältnis von Kohlen sehr unterschiedlich sein kann. Bei diesen und ähnlichen Untersuchungen (MAASS & WAND & KEAMMEL 1978) stand der Aspekt der Inkohlung im Vordergrund, dabei wurde die Kohle als isotopisch relativ homogen betrachtet. Erst SMITH & GOULD & RIGBY (1982) untersuchten den Einfluß der Maceralzusammensetzung auf das Isotopenverhältnis in Kohlen und wiesen unterschiedliche Deuteriumgehalte in verschiedenen Lithotypen nach. Es schien daher notwendig, eine Isotopenanalyse an Ruhrkohlen mit einer kohlenpetrologischen Analyse zu verbinden, um zu untersuchen, inwieweit sich die einzelnen Maceralgruppen isotopisch unterscheiden.

2. Material und Methodik

Untersucht wurden 44 Steinkohlen aus Explorationsbohrungen im nördlichen Ruhrgebiet. Die Inkohlung beträgt zwischen 0,6 und 1,3 % $\bar{R}_m$. Die Herkunft und stratigraphische Einordnung der Proben ist in Tabelle 1 angegeben.

Für die Untersuchungen war es notwendig, einzelne Maceralgruppen möglichst rein zu isolieren. Zunächst wurden aus Bohrkernen besonders mächtige (0,5 cm) Vitrain-, Fusain- und Durainlagen ausgelesen. Den einzelnen Lithotypen wurde anschließend wenige Gramm Material entnommen. An einem Teil davon wurde eine Maceralgruppenanalyse und eine Inkohlungsbestimmung durchgeführt. Die Ergebnisse finden sich in der Tabelle 1. Für die

Isotopenuntersuchungen wurden nur die Proben verwendet, die bei der mikroskopischen Untersuchung zu über 95 % aus einer einzigen Maceralgruppe bestanden. Eine Ausnahme bilden dabei nur die Proben der Exinitgruppe, da es durch das Ausleseverfahren nicht möglich war, reines Exinitmaterial zu erhalten. Der Exinitanteil liegt im Durchschnitt bei 48 %. Alle Proben für die C-Isotopenanalysen wurden mit HCl entkarbonatisiert.

Die Aufbereitung der Proben zum Meßgas geschieht in einer Vakuumoxidationsanlage (REDDING et al. 1979). Die Standardabweichung für Wiederholungsmessungen beträgt beim Kohlenstoff $\pm$ 0,1 ‰ und beim Wasserstoff $\pm$ 1 ‰. Die Messungen wurden mit den Massenspektrometern VG 903, 902 (Vacuum Generators) und MAT 250 (Finnigan MAT) im Referat für Isotopengeochemie an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover durchgeführt.

Die Isotopenzusammensetzung wird als δ-Wert angegeben. Dieser bezeichnet das Isotopenverhältnis (R) einer Probe relativ zu dem eines Standards:

$$\delta = \frac{R_{Probe} - R_{Standard}}{R_{Standard}} \times 1\,000\ (‰)$$

Als Standard für die C- und H-Isotopenanalysen wird der PDB Standard und der SMOW Standard (Standard Mean Ocean Water) verwendet.

3. Abhängigkeit von der Inkohlung

Im Verlauf der Inkohlung werden bei der Umstrukturierung der organischen Verbindungen CO_2, H_2O und CH_4 freigesetzt. Diese Veränderungen werden in den optischen Eigenschaften der Macerale sichtbar. Ein „Isotopieeffekt" durch die Inkohlung könnte darin bestehen, daß isotopisch leichte Bestandteile abgeführt werden und die Restsubstanz dadurch relativ isotopisch schwerer wird. In der Tat sind die Kohlengase (CH_4) an ^{13}C und D verarmt. REDDING et al. (1979) stellten aber an Gesamtkohlenproben fest, daß die Menge der entweichenden, isotopisch leichten Gase nicht ausreicht, das Isotopenverhältnis der Restsubstanz signifikant zu verändern. Allerdings könnten Isotopenvariationen bei einzelnen Maceralgruppen auftreten, da sie in ihrem Gehalt an und in der Abgabefähigkeit von Kohlenwasserstoffen unterschiedlich sind.

Die hier gewonnenen Ergebnisse zeigen jedoch (Abb. 1), daß bei der Inkohlung weder beim Kohlenstoff noch beim Wasserstoff signifikante Isotopenvariationen auftreten. Auch das D/H-Verhältnis der exinitreichen Proben und der Inertinite verändert sich kaum. Für den Inertinit ist das zu erwarten, denn er besitzt nicht wie der Vitrinit und Exinit die chemische Struktur und den nötigen Wasserstoffanteil, um während der Inkohlung Wasserstoff abzuspalten. Beim Exinit scheint sich die Kohlenwasserstoffbildung nicht auf das Isotopenverhältnis auszuwirken. Allein der Vitrinit zeigt eine schwache Tendenz zur Deuteriumverarmung mit zunehmender Inkohlung. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu dem Gasabspaltungsmodell, bei dem es durch einen Verlust isotopisch leichter Bestandteile zu einer Deuteriumanreicherung kommen soll. RUNGE (1980) deutet, nach ähnlichen Ergebnissen, den Effekt der Deuteriumverarmung mit einer Abspaltung deuteriumreichen Wassers bei früher Inkohlung. Trifft dies zu, so müßte der Anteil des abgespaltenen Wassers für den Exinit niedriger sein als für den Vitrinit, da sich das D/H-Verhältnis des Exinits kaum verändert.

Tabelle 1

Reflexionsmessung, Maceralgruppenanalyse und Isotopenmessung der Proben aus dem Ruhrgebiet

Proben-Nr.	Schichtenfolge	Flöz	Bohrung	Vitrinit-Reflexion R_m (%)	Maceralgruppe				Isotop	
					Vitrinit (%)	Inertinit (%)	Exinit (%)	Minerale (%)	$\delta^{13}C$	δD
inertinitreich										
642	Westfal C Dorstener Sch.	Tristan	Lembeck 2	0,63	0,2	99,5	0,4	0,3	-23,5	-92
670	Westfal C Dorstener Sch.	Kobold	Reckelsumer Heide 2	0,77	6,5	91,0	0,3	2,1	-22,7	-73
640	Westfal C Dorstener Sch.	Baldur	Lembeck 2	0,84	1,5	91,5	0,0	7,0	-23,8	-80
690	Westfal B Essener Sch.	Zollverein 2+3	Reckelsumer Heide 2	0,90	2,8	97,0	0,0	0,2	-23,3	-95
643	Westfal C Dorstener Sch.	Tristan	Lembeck 2	0,67	2,1	95,8	0,5	1,6	-23,9	-95
656	Westfal B Horster Sch.	Z	Lembeck 2	0,89	4,1	95,4	0,4	0,5	-23,8	-83
654	Westfal B Horster Sch.	S	Lembeck 2	0,96	1,4	97,8	0,8	0,0	-23,5	-87
649	Westfal C Dorstener Sch.	Siegfried	Lembeck 2	0,65	0,8	87,6	0,0	11,6	-23,1	-81
655	Westfal C Dorstener Sch.	Donar	Lembeck 2	0,82	11,2	88,4	0,2	0,2	-23,4	-91
669	Westfal C Dorstener Sch.	Baldur	Lembeck 2	0,84	1,1	96,7	0,0	2,0	-24,1	-89
657	Westfal B Horster Sch.	Z	Lembeck 2	0,96	2,8	97,0	0,0	0,2	-22,7	-96
exinitreich										
637	Westfal C Dorstener Sch.	Freya	Lembeck 2	0,72	13,2	37,6	48,2	1,0	-23,8	-109
647	Westfal C Dorstener Sch.	Odin	Lembeck 2	0,76	1,8	18,4	79,8	0,2	-23,9	-108
682	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Reckelsumer Heide 2	0,90	2,8	31,2	64,8	1,2	-23,7	-117
659	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Lembeck 2	0,59	15,4	30,7	41,2	13,0	-24,6	-108
674			Hagen 1	1,05	11,5	36,2	51,0	1,2	-23,9	-111
676			Antrup 2	1,24	5,8	38,8	40,4	15,0	-23,6	-107
660	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Lembeck 2	0,62	30,2	23,7	35,2	10,5	-24,3	-111
638	Westfal C Dorstener Sch.	Loki	Lembeck 2	0,69	6,4	40,2	46,2	7,2	-23,5	-106
653	Westfal B Horster Sch.	S	Lembeck 2	0,94	16,8	44,6	38,6	0,0	-23,3	-109
676			Antrup 2	1,24	3,4	42,6	39,8	14,2	-23,4	-107
659	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Lembeck 2	0,59	5,8	36,5	49,0	8,0	-24,6	-110

Tabelle 1
(Fortsetzung)

Proben-Nr.	Schichtenfolge	Flöz	Bohrung	Vitrinit-Reflexion $\bar{R}_m$ (%)	Maceralgruppe				Isotop	
					Vitrinit (%)	Inertinit (%)	Exinit (%)	Minerale (%)	$\delta^{13}C$	δD
exinitreich										
646	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Lembeck 2	0,63	10,9	39,0	48,9	1,9	-24,7	-106
673			Venn 1	0,73	9,2	50,0	40,2	0,6	-23,5	-105
vitrinitreich										
667	Westfal C Dorstener Sch.	Tristan	Lembeck 2	0,58	98,4	0,4	0,4	0,8	-23,9	-94
663	Westfal C Dorstener Sch.	Tristan	Lembeck 2	0,65	99,0	0,2	0,4	0,8	-24,5	-96
684	Westfal B Essener Sch.	Zollverein 2+3	Reckelsumer Heide 2	0,94	99,6	0,4	0,4	0,0	-23,9	-106
730	Westfal B Essener Sch.	Zollverein 7	Gerneberg 2	—	—	—	—	—	-22,7	-103
677	Westfal A Bochumer Sch.	Albert 3	Reckelsumer Heide 2	1,19	96,0	0,5	0,2	3,3	-23,8	-106
732	Westfal A Bochumer Sch.	Mathilde/ Hugo	Gerneberg 2	1,28	—	—	—	—	-23,3	-105
648	Westfal C Dorstener Sch.	Parsifal	Lembeck 2	0,61	97,2	1,1	0,4	1,3	-23,8	-87
666	Westfal C Dorstener Sch.	Rübezahl	Lembeck 2	0,61	91,2	6,0	1,6	1,2	-23,9	-88
658	Westfal C Dorstener Sch.	Tristan	Lembeck 2	0,67	99,2	0,5	0,4	0,3	-23,9	-90
603	Westfal A Essener Sch.	C	Wulfener Heide 1	1,02	93,0	4,3	2,2	0,9	-23,2	-101
635	Westfal C Dorstener Sch.	Hagen 1	Lembeck 2	0,73	98,5	0,5	0,0	1,0	-24,2	-90
644	Westfal B Horster Sch.	P4	Lembeck 2	0,91	85,0	4,8	2,8	—	-23,9	-99
684	Westfal B Essener Sch.	Zollverein 2+3	Reckelsumer Heide 2	0,94	95,0	1,5	1,0	2,5	-23,6	-100
661	Westfal B Horster Sch.	P4	Lembeck 2	0,96	99,0	0,1	0,2	0,7	-24,2	-101
681	Westfal A Bochumer Sch.		Reckelsumer Heide 2	1,17	96,1	1,5	0,4	2,0	-23,5	-105
685	Westfal A Bochumer Sch.	Mathilde/ Hugo	Reckelsumer Heide 2	1,13	98,8	0,3	0,3	0,6	-23,2	-106
Sapropelkohle										
699	Steinkohle		Max Planck	0,55	3,2	61,4	22,0	3,4	-24,7	-126
610	Westfal C Dorstener Sch.	Freya	N. N.	0,61	4,6	63,0	29,8	2,6	-24,3	-125
698	Steinkohle		Max Planck	0,82	2,8	64,8	31,4	1,0	-23,9	-115

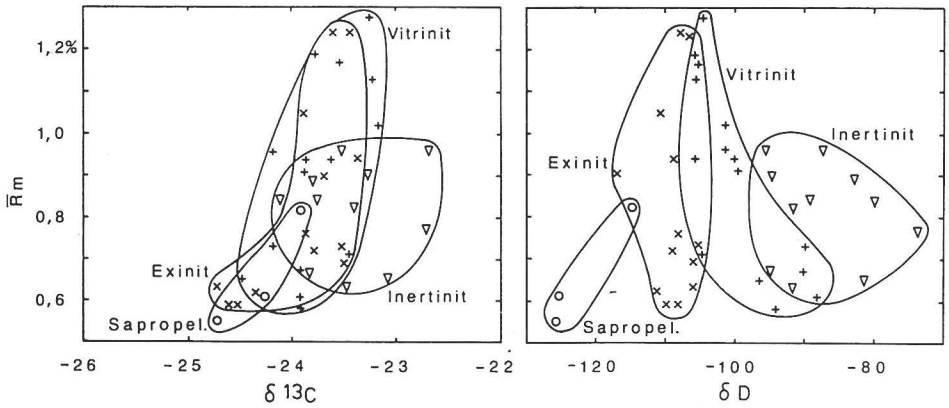


Abb. 1 Das Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopenverhältnis der Maceralgruppen in Beziehung zur Inkohlung

Fig. 1 The variation of the isotopic composition of maceral groups during the coalification process

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, daß die Isotopenverhältnisse während der Inkohlung erhalten bleiben. Das Isotopenverhältnis von Kohlen wird daher in erster Linie von der primären Maceralzusammensetzung bestimmt. Die Änderungen mit der Inkohlung sind gering und auf unterschiedliche Fraktionierungsprozesse zurückzuführen.

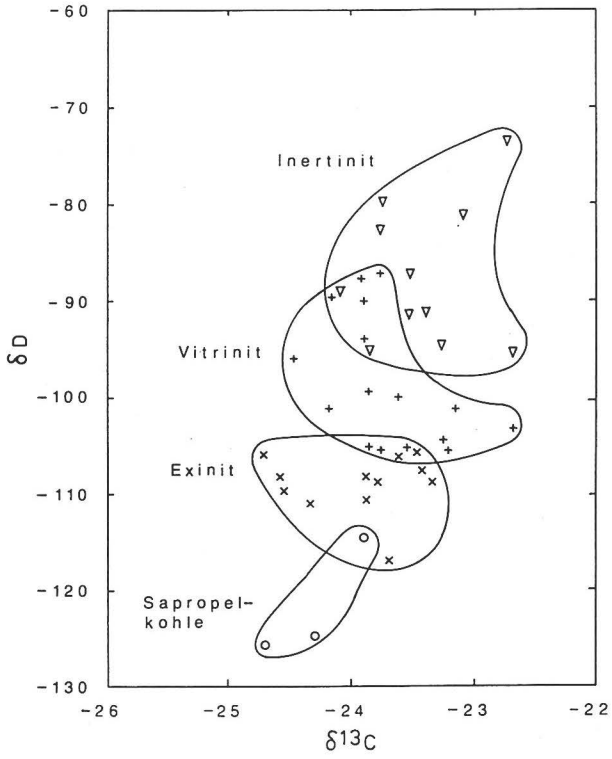


Abb. 2
Das Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopenverhältnis von Steinkohlen, getrennt nach Maceralgruppen

Fig. 2
The isotopic composition of maceral groups (high volatile bituminous coal)

4. Abhängigkeit von der Maceralzusammensetzung

Insgesamt betragen die Variationen im $^{13}C/^{12}C$-Verhältnis von Steinkohlen nur ca. 2,3 ‰ und schwanken zwischen −22,4 ‰ und −24,7 ‰. Aufgeschlüsselt nach Maceralgruppen (Abb. 2) zeigt sich jedoch die Tendenz, daß Inertinit (−23,4 ‰) und Vitrinit (−23,7 ‰) im Mittel gegenüber Exinit (−23,9 ‰) und Sapropelkohlen (−24,3 ‰) an ^{13}C angereichert sind. Eine wesentlich deutlichere Differenzierung der Maceralgruppen ist dagegen durch das D/H-Verhältnis möglich. Hier zeigt sich, daß ebenfalls Inertinit (−87 ‰) und Vitrinit (−99,2 ‰) relativ mit dem schweren Isotop angereichert sind, während die exinitreichen Proben (−109 ‰) und Sapropelkohlen (−122 ‰) an Deuterium verarmt sind. Zu beachten ist hierbei, daß die exinitreichen Proben und Sapropelkohlen noch isotopisch schwere Inertinit- und Vitrinitbestandteile enthalten und daher bei reinem Exinit eine noch größere Deuteriumverarmung zu erwarten wäre.

Die Inkohlung verändert die Isotopenzusammensetzung nicht systematisch. Isotopenvariationen in den Kohlen und deren Bestandteilen müßten daher auf primäre Unterschiede in den Ausgangssubstanzen der Macerale zurückzuführen sein. Die Gruppe der Exinite ist besonders deutlich verarmt im Deuterium gegenüber allen anderen Maceralgruppen.

Aus den Arbeiten von YEH & EPSTEIN (1981) und ESTEP & HOERING (1980) ist bekannt, daß lipidreiche Verbindungen rezenter Pflanzen sowohl an ^{13}C als auch an D verarmt sind. Daher ist es denkbar, daß der Unterschied zwischen Inertinit/Vitrinit und exinitreichen Proben auf den Lipidanteil von Sporen, Kutikeln etc. zurückzuführen ist.

Sapropelkohlen zeichnen sich durch einen geringen Algengehalt (10 %) und einen hohen Mikrinitanteil (50 - 60 %) aus. Dieser hohe Anteil an Mikrinit, der zu der sonst deuteriumreichen Maceralgruppe Inertinit zählt, spiegelt sich allerdings nicht im Deuteriumgehalt wider; die Sapropelkohlen weisen im Gegenteil den geringsten D-Gehalt aller Proben auf (Abb. 2). Die Ursache hierfür dürfte aus Bilanzgründen kaum in besonders deuteriumarmen Algen zu finden sein. Die unterschiedliche Entstehung des Mikrinits gegenüber den übrigen Maceralen der Inertinitgruppe läßt noch eine andere Erklärung zu. Nach M. TEICHMÜLLER (1974) hat der Mikrinit sich erst während der Inkohlung aus lipidreichen, exinitischen Ausgangsstoffen gebildet. Die Deuteriumarmut der Sapropelkohlen könnte also durch eine Beibehaltung der niedrigen D-Gehalte der Ausgangsstoffe des Mikrinits erklärt werden. Die unterschiedlichen Isotopenverhältnisse von Inertinit und Vitrinit können nicht auf verschiedene Ausgangsstoffe zurückgeführt werden. Ein wesentlicher Unterschied liegt aber in der frühen Oxidation der Macerale der Inertinitgruppe. Durch diesen Oxidationsprozeß können isotopisch leichte Bestandteile abgebaut werden, so daß der Rückstand mit ^{13}C und D angereichert ist.

D a n k : Für die Anregung und Diskussion der Arbeit danken wir Prof. Dr. H. FÜCHTBAUER und Dr. B. JANKOWSKI (Inst. f. Geologie, Ruhr-Univ. Bochum). Bei Dr. W. STAHL und allen Mitarbeitern des Referats für Isotopengeochemie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe möchten wir uns für die Unterstützung bei den Isotopenmessungen bedanken. Die Proben wurden von Dr. U. KLINGE (Bergbau AG Lippe) zur Verfügung gestellt.

5. Schriftenverzeichnis

ESTEP, M. E., & HOERING, T. C. (1980): Biochemistry of the stable hydrogen isotopes. - Geochim. Cosmochim. Acta, **44**: 1197 - 1206, 2 Abb., 13 Tab.; Oxford.

MAASS, I., & WAND, V., & KEAMMEL, T. (1978): Die Kohlenstoffisotopenzusammensetzung hochinkohlter, organischer Substanzen. - Z. angew. Geol., **24**: 109 - 120, 6 Tab.; Berlin.

REDDING, C., & SCHOELL, M., & MONIN, J. C., & DURAND, B. (1979): Hydrogen and carbon isotopic composition of coals and kerogen. - In: DOUGLAS, A. G., & MAXWELL, J. R. [Hrsg.]: Adv. org. Geochim.: 711 - 725, 12 Abb., 4 Tab.; London.

RUNGE, A. (1980): Kohlenstoff- und Wasserstoffisotopenvariationen in organischen Sedimenten und Gasen. - Chemie der Erde, **39**: 52 - 62, 4 Abb., 4 Tab.; Berlin.

SCHIEGEL, W. E., & VOGEL, J. C. (1969): Deuterium content of organic matter. - Earth and Plant. Sci. Lett., **7**: 307 - 313, 3 Abb., 4 Tab.; New York.

SMITH, J. W., & GOULD, K. W., & RIGBY, D. (1982): The stable isotope geochemistry of Australian coals. - Adv. org. Geochem.: 111 - 131, 12 Abb., 6 Tab.; London.

TEICHMÜLLER, M. (1974): Über neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 37 - 64, 2 Abb., 2 Tab., 11 Taf.; Krefeld.

WICKMAN, F. E. (1953): Wird das Häufigkeitsverhältnis der Kohlenstoffisotope bei der Inkohlung verändert? - Geochim. Cosmochim. Acta, **3**: 244 - 252, 3 Abb., 3 Tab.; Oxford.

YEH, H. W., & EPSTEIN, S. (1981): Hydrogen and carbon isotopes of petroleum and related organic matter. - Geochim. Cosmochim. Acta, **45**: 753 - 762, 3 Abb., 2 Tab.; Oxford.

Eingang des Manuskriptes: 24. 4. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	169 - 195, 7 Abb., 10 Tab., 2 Taf.	Krefeld, März 1985

Fluoreszenzeigenschaften von Flözproben aus stratigraphisch jungen Schichten des Oberkarbons

Von KARL OTTENJANN *

Hard coal, Westphalian C, borehole (Specking 1), coalification, microscopy, fluorescence - photometry, maceral, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district), TK 25: 4208

K u r z f a s s u n g : Die Bohrung Specking 1 durchteufte ungestörte Schichten des höheren Westfals C. 13 Kohlenproben aus der Bohrung wurden untersucht. Da die klassischen Inkohlungsparameter (Flüchtige Bestandteile und Reflexionsgrad von Vitriniten) in den sehr gering inkohlten Schichten der Flöze Volker bis Chriemhilt keine teufenabhängige Inkohlungszunahme erkennen lassen, wurden die Möglichkeiten der verschiedenen Methoden der Fluoreszenzphotometrie an diesem praktischen Beispiel überprüft. Dabei war ein sehr zögernder Inkohlungsanstieg auch im Bereich der Flöze Volker bis Nibelung nachweisbar, die Inkohlungsunterschiede in der Abfolge der Flöze Parsifal bis Chriemhilt jedoch waren deutlicher zu erkennen.

Die gesamte Probenreihe ist von einer zunehmenden Produktion sekundärer bituminöser Exsudate gekennzeichnet. Die Messung von Alterationsverläufen der Fluoreszenz erwies sich als geeignet, diese für die Ausbildung des Kokungsvermögens wichtige Exsudatbildung detailliert darzustellen. Die angewandte Interpretation von Alterationskurven wird begründet.

Differenzierte Maceralanalysen, auch unter Zuhilfenahme der Fluoreszenzmikroskopie, erwiesen sich bei der Bearbeitung der vorliegenden Probenreihe nicht als hilfreich.

[Fluorescence properties of hard coal samples from late Upper Carboniferous strata]

A b s t r a c t : The Specking 1 borehole encountered unfaulted formations of the Upper Westphalian C. Thirteen hard coal samples from this borehole have been analysed. The rank of the coal from the Volker seam down to the Chriemhilt seam (Dorsten beds) is very low, and the commonly applied coalification parameters (reflectance of vitrinite and volatile matter) did not allow to recognize an increasing coalification rank with increasing depth. Therefore the potential of various methods of fluorescence photometry has been tested on the same samples. In that way an increase in rank, although slight but still recognizable, was observed between the Volker and Nibelung coal seams, but a more distinct increase was proved between the Parsifal and Chriemhilt coal seams.

The entire sample set is characterized by an increasing content of secondary, bituminous exsudates. The varying intensity of fluorescence measured (alteration curves) is an applicable parameter to demonstrate in detail the formation of exsudates, which are important in respect to coking properties of a coal. The interpretation of the fluorescence alteration curves is discussed and reasoned.

Detailed maceral analyses - including fluorescence microscopy - proved not to be helpful.

[Caractéristiques de fluorescence des échantillons de charbon du Westphalien C supérieur]

R é s u m é : Le sondage Specking 1 a pénétré une séquence non-disloqué du Westphalien C supérieur; 13 échantillons de charbon ont été étudiés. Contrairement au modèle classi-

* Anschrift des Autors: K. OTTENJANN, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

que, la carbonification, mésurée par la matière volatile et la méthode de réflectance du vitrinite, n'augmente pas avec la profondeur de la veine Volker à la veine Chriemhilt dont le taux de carbonification est très bas. C'est la raison pour laquelle on a essayé la méthode de fluorescence. Avec cette méthode on a pu observer une augmentation, bien que très faible, de la carbonification entre les veines Volker et Nibelung, et un accroissement plus marqué entre les veines Parsifal et Chriemhilt.

La séquence d'échantillons est caractérisée par une augmentation graduelle des exudats bitumineux secondaires. La formation d'exudats qui a tant d'importance pour la cokéfaction peut être mésurée en détail par la mésure du procédé d'altération de la fluorescence. L'interprétation des courbes d'altération est expliquée.

Des analyses de macéral différenciés ne se sont pas montrés utiles dans l'examen des échantillons étudiés, même à l'aide de la microscopie fluorescence.

1. Einleitung

An Kohlenproben aus der Bohrung Specking 1 wird ein Beispiel für die Anwendung der relativ neuen Methoden der Fluoreszenzmikroskopie bei der Untersuchung eines Bohrprofils gegeben. Die Darstellung der Inkohlung in Abhängigkeit von der stratigraphischen Tiefe steht dabei im Vordergrund.

Die Inkohlung und andere Eigenschaften von Kohlen werden durch chemische und kohlenpetrologische Untersuchungen ermittelt, wie zum Beispiel Kurz- und Elementaranalyse, Bestimmung des Heizwertes, Maceralanalyse und die Bestimmung des spektralen Reflexionsgrades der Vitrinite. Kenntnisse über Kokungseigenschaften erlangt man aus dem Blähgradtest (Swelling-Index) und der Bestimmung des Dilatationsverlaufes.

Bei der Festlegung des Inkohlungsgrades und der Darstellung des Inkohlungsfortschrittes mit der Tiefe durch den Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen in der wasser- und aschefreien Substanz (waf) und den Reflexionsgrad stößt man um so mehr auf Schwierigkeiten, je geringer die Inkohlung ist. Dies trifft besonders auf die Kohlen der jetzt häufig im nördlichen Ruhrgebiet erbohrten jüngeren Schichten des Westfals zu.

An einer Reihe von Proben aus der Bohrung Specking 1 wird erprobt, welche ergänzenden Informationen durch die Anwendung mikroskopphotometrischer Messungen der Fluoreszenzeigenschaften erhalten werden können. Fragen nach der dispersen Verteilung bituminöser Substanzen (Grad der Bituminisierung) finden dabei besondere Beachtung, weil hierin vermutlich die Ursache der wenig ausgeprägten Beziehung zwischen Teufe und Inkohlung liegt.

Zusammenhänge zwischen den Fluoreszenzkennwerten und der Reflexion beziehungsweise Teufe als Inkohlungsparameter wurden von M. TEICHMÜLLER (1982: 19–39) als Resümee älterer Untersuchungen von Proben aus den Bohrungen Kohlhaus 1 und Uedem 1 dargestellt. Die von der Autorin erzielten Ergebnisse stehen in vielen Fällen mit den hier beschriebenen in guter Übereinstimmung.

Tabelle

Teufe (m)	mittl. Teufe (m)	Flöz
972,78 - 975,90	974,34	Volker
985,12 - 986,15	985,64	Volker
993,70 - 994,30	994,00	Volker
1 092,50 - 1 093,10	1 092,80	Tristan
1 094,75 - 1 095,73	1 095,24	Tristan
1 194,80 - 1 195,59	1 195,20	Parsifal
1 374,15 - 1 375,22	1 374,69	Nibelung
1 376,37 - 1 377,35	1 386,86	Nibelung
1 428,10 - 1 429,30	1 428,70	Midgard
1 514,03 - 1 515,70	1 514,87	Hagen 2/3
1 580,60 - 1 582,70	1 581,65	Erda
1 593,40 - 1 594,09	1 593,75	Donar
1 631,20 - 1 632,90	1 632,05	Chriemhilt

Die Bohrung Specking 1 wurde im Auftrag der Ruhrkohle AG (Bergbau AG Lippe) 1982 niedergebracht. Die Koordinaten des Ansatzpunktes sind R 25 72 170 und H 57 38 386 (TK 25: 4208 Wulfen), seine Höhe betrug + 84,46 m NN. Die Endteufe der Bohrung lag bei - 1 636,64 m NN. Die auf der Südflanke der Raesfelder Mulde stehende Bohrung durchteufte unter den Deckschichten die dort ungestörten Dorstener Schichten (Westfal C) und erschloß die Flöze Xanten (Bohrteufe 907,25 - 907,45 m) bis Aegir (Bohrteufe 1 713,60 - 1 713,85 m). Die Bohrung diente der Exploration der Lagerstätte im Norden des derzeitigen Abbaugebietes der Ruhrkohle AG. Nähere Angaben zur erbohrten Schichtenfolge geben FIEBIG & GROSCURTH (1984: Taf. 2).

2. Untersuchte Proben

Von den insgesamt 38 untersuchten Flözproben wurden für die vorliegende Arbeit 13 Proben nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Aschegehalte in der wasserfreien Substanz (wf) max. etwa 10 % (um keine größeren Fehler durch die Umrechnung von Analysenwerten auf waf in Betracht ziehen zu müssen)
- keine extreme Maceralzusammensetzung (um dominierende Einflüsse von Liptinit und Inertinit ausschließen zu können)
- Vorliegen technologischer Kennwerte (damit die Ergebnisse von Fluoreszenzmessungen auch im Hinblick auf die Kokungseigenschaften der Kohlen zu bewerten sind)

Die Tabelle 1 enthält die Bezeichnungen der ausgewählten Proben und die für diese Arbeit relevanten Analysenergebnisse.

Für die mikroskopischen Untersuchungen lagen Anschliffpräparate in unterschiedlicher Aufbereitungsweise vor:

zeichnung der Proben und ausgewählte Analysenergebnisse

Asche (wf)[1] (%)	S (wf) (%)	Flüchtige Bestandteile (waf)[2] (%)	Vitrinit-Reflexion $\bar{R}r$ (%)	Dilatometertest Kontraktion (%)	Dilatometertest Dilatation (%)	Blähgrad (Swelling-Index)	C (waf)[2] (%)	H (waf) (%)
6,18	1,48	41,4	0,66	25	keine	1	78,99	5,20
1,69	0,77	39,7	0,70	23	keine	1	80,50	5,27
2,29	1,41	39,3	0,73	24	keine	1	80,07	5,16
3,40	1,84	42,5	0,70	38	keine	1	80,21	5,39
6,57	2,90	39,4	0,71	22	keine	1	79,70	5,14
6,50	3,49	41,0	0,70	37	keine	1	79,52	5,36
9,25	2,89	41,5	0,80	38	-34	$4^1/_2$	80,99	5,41
10,37	4,53	46,5	0,72	34	-20	$4^1/_2$	79,67	5,65
5,06	1,37	41,8	0,80	37	-23	$4^1/_2$	82,52	5,51
5,08	1,28	40,6	0,83	34	3	$4^1/_2$	83,61	5,45
4,18	1,36	38,8	0,86	30	11	$5^1/_2$	83,68	5,64
4,02	1,08	37,2	0,90	35	10	5	84,05	5,44
4,38	0,98	40,1	0,90	36	15	$5^1/_2$	83,72	5,60

[1] in wasserfreier Substanz

[2] in wasser- u. aschefreier Substanz

- Präparate der Bergbau AG Lippe aus dem Probenmaterial 10 - 0,5 mm, Dichte < 1,5, das identisch ist mit den dort untersuchten Analysenproben (Kurzanalyse, Schwefelgehalt, Blähgrad, Dilatometertest)
- Präparate des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen (Probenvorbereitung im Strömungstrennrohr), deren Substanz auch hier den anderweitig untersuchten Proben entspricht (Elementaranalyse)

Die in der Tabelle 1 mitgeteilten Reflexionswerte $\bar{R}r$[1)] sind Mittelwerte der von beiden Laboratorien an den jeweiligen Schliffserien bestimmten Reflexionsgrade. Sie haben damit eine breitere statistische Basis als die Einzelergebnisse.

Die Maceralanalysen erfolgten an den Schliffen der Bergbau AG Lippe, um eventuelle Zusammenhänge zwischen den Maceralgehalten und den Kokungseigenschaften prüfen zu können. Die Fluoreszenzmessungen stammen aus der Anschliffserie des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen.

3. Methodik der Fluoreszenzmessungen

Die Ausführung der mikroskopphotometrischen Fluoreszenzmessungen entsprach im Prinzip den apparativen und methodischen Beschreibungen, die in zahlreichen Veröffentlichungen vorliegen. Die Verfahren werden aber fortlaufend verbessert. Es ist darum erforderlich, die für diese Untersuchungsreihe vorgenommenen Modifikationen der einzelnen Verfahren zu beschreiben.

Abweichend von der Messung der Fluoreszenzintensität nach JACOB (1972) wurden die Objekte mit langwelligem UV-Licht (λ um 365 nm) angeregt. Den Bezugswert lieferte ein bis auf 0,15 mm heruntergeschliffenes Uranylglas. Im Vergleich mit einem Standard hängen Intensitätswerte außer von den stofflichen Eigenschaften der Objekte auch von der Maßstabszahl des verwendeten Objektivs, dessen Apertur und von der Größe der benutzten Photometer- und Leuchtfeldblenden ab. Das kann nur in etwa durch konstante Untersuchungsbedingungen ausgeglichen werden. Die Meßbedingungen waren wie folgt:

Trockenobjektiv 25/0,50; offene Aperturblende; Durchmesser der Photometerblende (kreisrund) 1,25 mm = 0,032 mm am Objekt; Durchmesser der ebenfalls kreisrunden Feldblende 1,0 mm = ca. 0,08 mm an der Schliffoberfläche. Die Fluoreszenzintensität des Referenzobjektes wurde im Wellenlängenbereich 546 nm $\pm$ 12 nm mit dem Wert 100 festgelegt.

Über die Ermittlung und diagnostische Bedeutung des Alterationsverlaufs liegen bisher nur sporadische Hinweise vor (VAN GIJZEL 1975: Abb. 2; OTTENJANN 1980: 270, 271; OTTENJANN & WOLF & WOLFF-FISCHER 1982; M. TEICHMÜLLER & OTTENJANN 1977). Unter dem Einfluß andauernder Anregungsbestrahlung verändert sich die Fluoreszenzstärke (Alteration). Der zeitliche Ablauf und der Betrag solcher Änderungen ist außer von den Fluoreszenzeigenschaften selbst, auch von der Stärke der Anregungsbestrahlung abhängig, für deren an sich notwendige Kalibrierung bisher noch kein praktikables Verfahren bekannt ist. Vorerst ist eine ausreichende Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur durch konstante Meßbedingungen erreichbar. Dabei müssen die Intensität und Dauer der Anregungsbestrahlung auf jeden Fall so bemessen sein, daß der Verlauf der Alteration (positiv,

[1)] dem internationalen Sprachgebrauch folgend Rr = random reflectance

ambivalent oder negativ) und auch der relative (d. h. im Verhältnis zur Anfangsintensität) Endbetrag der Änderungen erkennbar werden. Es reicht dabei aus, wenn die Kurve schließlich zu einem Verlauf etwa parallel zur X-Achse umbiegt (vgl. Abb. 3, S. 181).

Die Messung der spektralen Verteilung der Fluoreszenz entsprach weitgehend der von OTTENJANN (1982) beschriebenen Arbeitsweise. Allerdings wurden die Ergebnisse jetzt methodisch und statistisch besser gesichert. Dies geschah unter anderem durch drei aufeinanderfolgende Messungen eines jeden eingestellten Objektes oder Objektbereichs.

Bei Spektralmessungen an gering fluoreszierenden Objekten können Korrekturen zusätzliche Fehler verursachen. Bei den Desmocollinitspektren wurden daher eventuelle Einflüsse der Alteration nicht korrigiert. Außerdem war es erforderlich, die „verrauschten" Kurven rechnerisch zu glätten. Schwach fluoreszierende Substanzen sind derzeit nicht anders meßbar.

4. Inkohlung der Proben, dargestellt an ausgewählten Kennwerten

Die Bohrung Specking 1 erschloß eine ungestörte Folge von sehr gering inkohlten Flözen, die entsprechend den Gehalten an Flüchtigen Bestandteilen (waf) teils den Flammkohlen und teils den Gasflammkohlen zuzurechnen sind. Die Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen (waf) liegen in allen Proben über 37 %, die Mittelwerte der Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}r$) zwischen etwa 0,7 und 0,9 %. Die Einzelergebnisse in teufenabhängiger Darstellung zeigt die Abbildung 1. Entsprechend den Reflexionswerten von etwa 0,7 – 0,9 % tendieren die Flüchtigen Bestandteile im unteren Teil des Westfals C der Bohrung zu relativ hohen Werten (STACH et al. 1982: 45 und Kleines Ruhrkohle-Handbuch: 37). Mit etwa

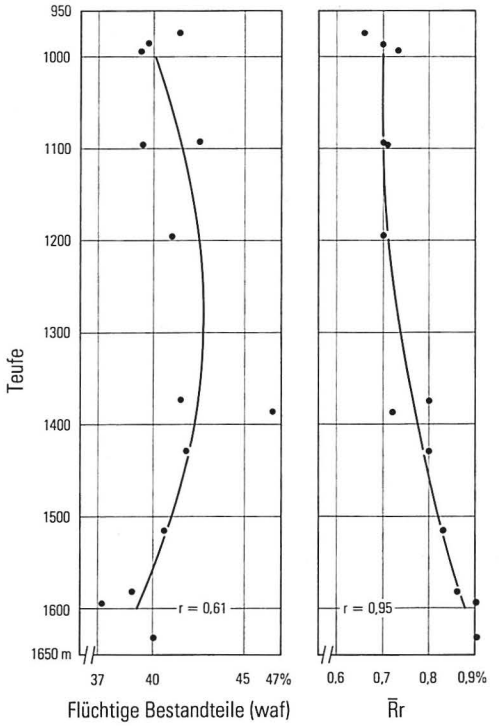


Abb. 1
Flüchtige Bestandteile (waf) und Reflexionsgrad des Vitrinits ($\bar{R}r$) in ihrer Beziehung zur Teufe, mit den errechneten Regressionskurven und Korrelationskoeffizienten (r)

Fig. 1
Volatile matter (dry, ash-free) and reflectance of vitrinite ($\bar{R}r$) in relationship to depth, with evaluated curves of regression and correlation coefficients (r)

79 - 84 % (waf) sind die Kohlenstoffgehalte, gemessen an den Flüchtigen Bestandteilen (waf) etwas niedrig (Ruhrkohlen-Handbuch 1969: 60). Bemerkenswert ist es, daß trotz des insgesamt kleinen Inkohlungsintervalls von ca. 0,2-%-Punkten Rabsolut ein Anstieg der Wasserstoffgehalte (waf) erkennbar ist; im übrigen entsprechen sie mit rund 5,5 % generell dem Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen.

Im Dilatometertest erweichen auch die Kohlen aus den oberen Schichten. Es wurden „Kokse" des Blähgradtyps 1 (= Swelling-Index) bei den Proben aus den Flözen Volker, Tristan und Parsifal erhalten. Der Dilatometertest wies dementsprechend für alle Proben eine Kontraktion (k) aus, eine Dilatation (d) zeigte sich dagegen nur in den Proben aus den Flözen Nibelung bis Chriemhilt. Die an diesen Proben beobachteten Blähgradtypen von $4^1/_2$, 5 und $5^1/_2$ treten im allgemeinen erst im Übergangsbereich zwischen Gasflamm- und Gaskohlen auf.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Analysenwerte der hier untersuchten Kohlen keine eindeutigen Hinweise zur inkohlungsmäßigen Einstufung der Proben liefern und keine detaillierte Beschreibung der Inkohlungsänderungen in dem fast 700 m mächtigen Schichtenpaket erlauben.

Tabelle 2

Maceralzusammensetzung der Proben

Maceral \ Flöz	Volker 974,34 m p.[6]	Volker 985,64 m p.	Volker 994,00 m p.	Tristan 1092,80 m p.	Tristan 1095,24 m p.
Vitrinitgruppe					
Telinit u. Telocollinit	103	135	187	132	173
Desmocollinit u. Phlobaphinit[1]	172	226	149	230	241
Pseudovitrinit[2]	63	27	38	9	6
Vitrinit im Übergang zum Semifusinit[3]	27	25	19	5	4
Inertinitgruppe					
Semifusinit u. Makrinit[1]	35	38	29	39	20
Fusinit u. Sklerotinit	22	9	33	10	8
Mikrinit	10	10	5	4	11
Liptinitgruppe					
Mikrosporinit	13	8	19	5	10
Megasporinit	1	0	0	0	2
Liptodetrinit[4]	10	3	4	7	4
Cutinit	8	7	4	8	4
Resinit	8	2	3	9	5
Fluorinit	2	0	1	6	1
X[5]	26	18	9	32	9
Bituminit	0	0	0	4	2
Summe Liptinit	68	38	40	71	37
Summe	500	500	500	500	500

[1] selten

[2] primär oxidierter Vitrinit (trockener Vitrinit)

[3] wenig höher reflektierend als die Vitrinite, z. T. Zellstrukturen zeigend

5. Maceralzusammensetzung der Proben

Die Tabelle 2 zeigt die Maceralzusammensetzung der Proben. Sie ist in Punkt-Anteilen der mineralfreien Substanz (points, p.) von insgesamt 500 Punkten angegeben, um auch gering beteiligte Macerale (Submacerale, Varietäten) aufführen zu können. Bei der Ansprache der Vitrinit- und Liptinitmacerale kam die Fluoreszenzmikroskopie zur Anwendung. Die Zusammenfassung einiger Macerale (Submacerale, Varietäten) erfolgte nach dem vermutlichen Grad ihrer Reaktivität in Bezug auf ihr Koksbildungsvermögen: Punkte in Telinit und Telocollinit, in Desmocollinit und Corpovitrinit, in Semifusinit und Macrinit und in Fusinit und Sklerotinit wurden jeweils addiert.

Die Figuren 1 – 6 der Tafel 1 (S. 193) sind Fluoreszenz-Mikrofotos verschiedener Macerale der Liptinitgruppe, die zugleich auch Beispiele für die photometrierten Objekte darstellen (teilweise mit Markierung der Größe und Lage der Meßblende). Die Figuren 1 und 2 enthalten Beispiele für Mikrosporen mit relativ starker Fluoreszenz, aber unterschiedlicher Gestalt und mit verschieden dicken Exinen. Objekte dieser Art dienten den Fluoreszenzmessungen. Zum Sporinit sind bei den Maceralanalysen auch die schwächer fluoreszierenden Exemplare zu zählen, sowie Megasporinit, für den Figur 4 ein Beispiel

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Parsifal 1195,20 m p.	Nibelung 1374,69 m p.	Nibelung 1386,86 m p.	Midgard 1428,70 m p.	Hagen 2/3 1514,87 m p.	Erda 1581,65 m p.	Donar 1593,75 m p.	Chriemhilt 1632,05 m p.
150	112	106	133	138	148	130	139
195	264	237	201	196	179	234	227
20	14	3	49	13	11	21	25
4	7	5	9	4	3	3	2
38	23	34	26	47	53	31	21
22	17	9	6	23	18	15	15
6	7	6	11	9	8	16	11
11	7	7	9	10	14	7	11
3	1	0	3	10	8	5	5
12	5	25	17	22	16	16	24
7	2	14	6	4	7	2	4
8	15	15	5	4	5	8	4
1	3	6	3	1	2	2	0
21	22	30	22	19	26	10	12
2	1	3	0	0	2	0	0
65	56	100	65	70	80	50	60
500	500	500	500	500	500	500	500

[4] meist wohl Sporodetrinit

[5] vgl. Beschreibung S. 176

[6] Punktanteile (p.) der mineralfreien Substanz von insgesamt 500 Punkten

zeigt. Cutinit tritt in der in Figur 3 abgebildeten derben Art, aber auch dünner auf. Letzterer fluoresziert häufig stärker. Das Mikrofoto zeigt den zur Photometrie herangezogenen Typ mit den dickeren Blattquerschnitten.

Unter den abgebildeten Liptiniten befinden sich auch die als X bezeichneten Substanzen, die beschreibbar sind als matt fluoreszierende, deutlich oder undeutlich figurierte, fadenförmige sowie dünnwandige, dann wohl ehemals kugelförmige Körper und deren Detritus, oft ähnelnd dem von HUTTON et al. (1980) beschriebenen Alginit B.

Diese liptinitischen Objekte treten verschiedentlich sehr dicht geschichtet auf (Taf. 1: Fig. 5 u. 6) und bilden eine Grundmasse, wenn die Schichtdicke 50 µm überschreitet (Mindeststreifenbreite für Mikrolithotypen). Diese ist, wenn sie von weniger figurierten Objekten gebildet wird und schwächer als hier fluoresziert, dem von M. TEICHMÜLLER (1974) beschriebenen Bituminit ähnlich. Obwohl Einzelexemplare dieser mit X bezeichneten Art verhältnismäßig häufig auftreten, ist ihre volumenmäßige Beteiligung an der Gesamtkohle wegen der geringen Größe der Einschlüsse klein. Beispiele für isolierte Objekte zeigen die Figuren 1-3 der Tafel 1 (S. 193) und Figur 2 der Tafel 2 (mit X gekennzeichnet, S. 195).

Der gesonderten Zählung des Liptinits X liegt die Überlegung zugrunde, daß diese (im allgemeinen dem Sporinit zuzurechnenden) Objekte vielleicht Reste von Algen und Plankton sind oder dem von M. TEICHMÜLLER (1974) beschriebenen Bituminit zugehören könnten, in jedem Fall aber sehr produktive Lieferanten bituminöser Substanzen in ihnen vermutet werden.

Die eindeutige Trennung von Telinit (Taf. 1: Fig. 7 u. 8) und Telocollinit (Taf. 2: Fig. 1) bei der Maceralanalyse gelang nicht. Obwohl im Auflicht-Hellfeld und unter Ölimmersion unterscheidbar, zeigte sich bei Fluoreszenzanregung, daß zum Telocollinit gezählte Lagen teils fluoreszierende Zellfüllungen (oder Reste davon) enthalten, aber auch fast strukturlos sein können mit unterschiedlich starker Fluoreszenz (Taf. 1: Fig. 7 u. Taf. 2: Fig. 1). Figur 2 der Tafel 2 enthält größere Anteile von Desmocollinit.

Figur 1 der Tafel 2 stammt aus der Probe von Flöz Midgard (1 428,70 m). Hier ist ein Riß mit einer stark fluoreszierenden Flüssigkeit gefüllt, die teilweise auch ausgesickert ist. Die dem „ölgefüllten" Riß benachbarten Schlieren sind durch die sehr lange Belichtungszeit des Fotos und der in dieser Zeit erfolgten teilweisen Verdampfung entstanden (vgl. auch M. TEICHMÜLLER 1974: 76 - 80).

Die Figuren 1 und 2 der Tafel 2 sind, wie die Bilder der Tafel 1, gleichfalls Beispiele für die photometrierten Maceralbereiche. Die Figuren 1 und 2 der Tafel 2 vermitteln außerdem einen Eindruck von der Menge der lipoiden Stoffe in einem Teil der telocollinitischen Vitrinite und im Desmocollinit.

Inertinitmacerale sind weitgehend fluoreszenzfrei und bisher noch nicht Gegenstand fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen gewesen.

Die Volumenanteile der drei Maceralgruppen (errechnet aus den in der Tab. 2 enthaltenen Beteiligungen) weisen die untersuchten Kohlenproben als normal zusammengesetzt aus: Vitrinitgehalten von 68 - 84 Vol.-% stehen Liptinitanteile von 7 - 20 Vol.-% und 10 - 19 Vol.-% Inertinit gegenüber. Beziehungen zwischen der Mengenbeteiligung bestimmter Macerale einerseits und Flüchtigen Bestandteilen und Kokungsvermögen andererseits waren nicht feststellbar.

6. Zusammenhänge zwischen Liptinitgehalt, Menge des Desmocollinits und Bituminisierungsgrad

Die Erfassung des besonders reaktiven Materials bituminöser Steinkohlen ist mit der Ermittlung des Liptinitgehaltes bei der Maceralanalyse sicher nicht erschöpft. Umwandlungsreste von Liptiniten, feinster Liptodetrinit und dispers verteilte lipoide und bitumenartige Substanzen sind besonders im Desmocollinit enthalten. Auch Telocollinite können mit bituminösen Komponenten durchsetzt sein.

Aufgrund des hohen Anteils an lipoiden Substanzen fluoreszieren Desmocollinite recht deutlich. Umgekehrt kann man aus der Fluoreszenzstärke der Desmocollinite auf die Menge bituminöser Komponenten schließen. Neben der Auswirkung des Bitumengehaltes auf die Ausbeute an Flüchtigen Bestandteilen verringern dispers verteilte Lipoide auch den Reflexionsgrad. In ein und derselben Kohle reflektieren Desmocollinite meist schwächer, als es bei anderen, weniger bituminösen Vitrinitmaceralen der Fall ist. Daher können sich Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen und Reflexionsgrade von Vitriniten durchaus im bekannten Sinne entsprechen und dennoch den Inkohlungsgrad falsch anzeigen. Das ist - stark vereinfacht - das Ergebnis der Untersuchungen von OTTENJANN & WOLF & WOLFF-FISCHER (1982) und WOLF et al. (1983), die Kohlen verschiedener Art und Herkunft analysierten. Die Werte der Tabelle 1 (S. 171) zeigen, daß auch bei den Proben aus der Bohrung Specking 1 mit diesem Phänomen zu rechnen ist.

Mit den detaillierten Maceralanalysen aus der Bohrung Specking 1 bietet sich die Möglichkeit, eventuelle Zusammenhänge bei der Beteiligung verschiedener Macerale statistisch zu testen. So wurden mit Hilfe der Regressionsrechnung die Beziehungen zwischen der Häufigkeit der Liptinitmacerale (als Einflußgröße) und dem Gehalt an Desmocollinit (als Zielgröße) untersucht und der jeweilige Korrelationskoeffizient (r) ermittelt (linearer Trend[2]). Damit sollte geprüft werden, ob der Gehalt an Desmocollinit mit der Menge des Liptinits korrespondiert, oder ob er mit der Beteiligung spezieller Liptinitmacerale einhergeht. Das Ergebnis ist in Tabelle 3 enthalten. Korrelationskoeffizienten $< 0{,}5$ zeigen an, daß praktisch überhaupt keine Beziehungen bestehen.

Tabelle 3

Korrelationskoeffizienten (linear) für die Beziehungen zwischen den Gehalten an Gesamtliptinit und verschiedenen Liptinitmaceralen und dem Desmocollinitanteil

Einfluß-größe / Ziel-größe	Liptinit	X	X + Resinit	X + Bituminit + Fluorinit	X + Bituminit + Fluorinit + Resinit
Gehalt an Desmocollinit und Corpovitrinit	r = 0,03	r = 0,16	r = 0,24	r = 0,12	r = 0,27

[2] Die Korrelationsrechnungen erfolgten mit zwei verschiedenen Trendvorgaben: einem linearen und einem nichtlinearen Trend. Der den größeren Korrelationskoeffizienten liefernde Trend wurde als der jeweils besser geeignete betrachtet.

Die Häufigkeit des Auftretens von syngenetischem Schwefelkies wird als Indikator für eine sauerstoffarme oder -freie Bildungsfazies angesehen, in der eine Produktion und Ablagerung von Plankton, Algen und anderer lipoider Substanzen vermehrt erfolgte. Dabei wurden wahrscheinlich relativ hohe Gehalte an Desmocollinit gebildet, und die Kohlen aus einem solchen Bildungsmilieu sind verhältnismäßig reich an Flüchtigen Bestandteilen. Größere Anteile an figurierten Liptiniten wären ebenfalls erklärbar, weil Liptinite im Faulschlamm gut konserviert werden. Da die unterschiedlichen Schwefelgehalte hauptsächlich aus unterschiedlichen Gehalten an (syngenetischem) Schwefelkies resultieren dürften, wurden auch für die Beziehung zwischen dem Schwefelgehalt und verschiedenen Liptinitanteilen Korrelationskoeffizienten berechnet (Tab. 4).

Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Tabellen 3 und 4 indiziert trotz der ungesicherten Zusammenhänge, daß die Menge des gebildeten Desmocollinits eher faziesbedingt ist und nicht mit höheren Liptinitgehalten einhergeht.

Bei der Bestimmung der Flüchtigen Bestandteile liefern die Zersetzungsprodukte der Liptinite und bituminösen Substanzen den relativ größeren Anteil der Ausbeute. Der aus den vorliegenden Proben errechnete Korrelationskoeffizient (nichtlinear) von 0,65 bestätigt grob die Zusammenhänge zwischen dem Bildungsmilieu und der Ausbeute an Flüchtigen Bestandteilen.

Tabelle 4

Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen dem Gesamtschwefelgehalt (wf) und den Gehalten an verschiedenen Maceralen (linear) und zu den Flüchtigen Bestandteilen (waf) (nichtlinear)

Zielgröße \ Einflußgröße	S (wf) (%)
Desmocollinit	r = 0,34
Liptinit gesamt	r = 0,43
X + Bituminit	r = 0,40
Flüchtige Bestandteile (waf)	r = 0,65

Tabelle 5

Fluoreszenzintensitäten

Teufe (m)	Flöz	Vitrinit-Reflexion $\bar{R}r$ (%)	Flüchtige Bestandt. (waf) (%)	S (wf) (%)	Blähgrad (Swelling-Index)	Dilatation (%)
974,34	Volker	0,66	41,4	1,48	1	keine
985,64	Volker	0,70	39,7	0,77	1	keine
994,00	Volker	0,73	39,3	1,41	1	keine
1092,80	Tristan	0,70	42,5	1,84	1	keine
1095,24	Tristan	0,71	39,4	2,90	1	keine
1195,20	Parsifal	0,70	41,0	3,49	1	keine
1374,69	Nibelung	0,80	41,5	2,89	$4^1/_2$	-34
1386,86	Nibelung	0,72	46,5	4,53	$4^1/_2$	-20
1428,70	Midgard	0,80	41,8	1,37	$4^1/_2$	-23
1514,87	Hagen 2/3	0,83	40,6	1,28	$4^1/_2$	3
1581,65	Erda	0,86	38,8	1,36	$5^1/_2$	11
1593,75	Donar	0,90	37,2	1,08	5	10
1632,05	Chriemhilt	0,90	40,1	0,98	$5^1/_2$	15

Wegen der kleinen Korrelationskoeffizienten für die in der Tabelle 3 geprüften Zusammenhänge ist für die hier untersuchte Probenreihe der Schluß möglich, daß Maceralanalysen für die Erforschung des Bituminisierungsgrades kaum hilfreich sind.

7. Messung der Fluoreszenzintensität

Die Tabelle 5 enthält die an einigen Submaceralen und Maceralvarietäten gemessenen mittleren Fluoreszenzintensitäten ($I_{546\,nm}$), die in der Abbildung 2 graphisch dargestellt sind. Die Werte zeigen folgendes:

- Telocollinite fluoreszieren vorwiegend nicht oder nur sehr schwach. Die Intensitätszunahme innerhalb der Probenreihe erfolgt ziemlich regelmäßig und erreicht schließlich Werte um 0,08 - 0,13 bei den Kohlen mit einsetzendem Kokungsvermögen (d. h. Blähgradtypen von $4^1/_2$ und größer, Auftreten von Dilatation).
- Die Fluoreszenzintensität des Desmocollinits folgt der des Telecollinits selbst in Einzelheiten, jedoch (bekanntermaßen) auf einem höheren Level. Die Einzelwerte für Telocollinit und Desmocollinit lassen ein sprunghaftes Ansteigen der Intensität im Bereich beginnenden Kokungsvermögens erkennen.
- Megasporinit und Cutinit fluoreszieren (wie Liptinite überhaupt) stärker als die Vitrinite. Die Intensität der Megasporinitfluoreszenz wird generell, nicht aber in Einzelheiten mit der zunehmenden Teufe (zunehmenden Inkohlung) höher. Beim Cutinit ist eine rückläufige Entwicklung der Fluoreszenzintensität ab dem Beginn des Kokungsvermögens eingetreten.

Während bei den Vitriniten die Fluoreszenzintensität eine Funktion aus Inkohlungsgrad und der Menge des dispers verteilten bituminösen Materials ist, dürfte die Fluoreszenzintensität der Liptinite mehr der unterschiedlichen Natur und dem individuellen Schicksal der Objekte entsprechen. Die Fluores-

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Telocollinit $I_{546\,nm}$			Desmocollinit $I_{546\,nm}$			Megasporinit $I_{546\,nm}$			Cutinit $I_{546\,nm}$		
$\bar{T}$	s	n	$\bar{T}$	s	n	$\bar{T}$	s	n	$\bar{T}$	s	n
0,004	0,012	20	0,032	0,040	40	6,3	2,50	9	6,9	3,90	13
0,003	0,012	20	0,028	0,038	25	3,3	1,83	4	5,5	1,73	32
0,000	0,000	10	0,042	0,072	50	4,5	2,49	7	9,0	7,10	24
0,011	0,026	40	0,071	0,072	50	7,9	2,40	28	6,4	4,50	24
0,008	0,020	25	0,039	0,039	50	5,0	1,67	9	5,1	2,10	15
0,058	0,076	50	0,175	0,124	50	6,1	1,43	28	8,9	3,70	21
0,098	0,039	50	0,221	0,073	50	9,4	2,50	19	13,2	5,80	26
0,166	0,080	50	0,330	0,180	50	7,1	2,20	5	15,7	1,80	41
0,088	0,038	50	0,200	0,100	50	6,5	1,93	13	13,9	8,70	19
0,131	0,070	50	0,228	0,088	50	9,4	2,00	32	7,5	4,70	14
0,098	0,032	50	0,213	0,093	50	6,5	1,57	33	7,5	6,80	22
0,093	0,032	50	0,178	0,077	50	5,9	2,02	12	7,0	3,00	7
0,127	0,061	100	0,322	0,121	100	9,4	2,00	41	4,8	2,18	13

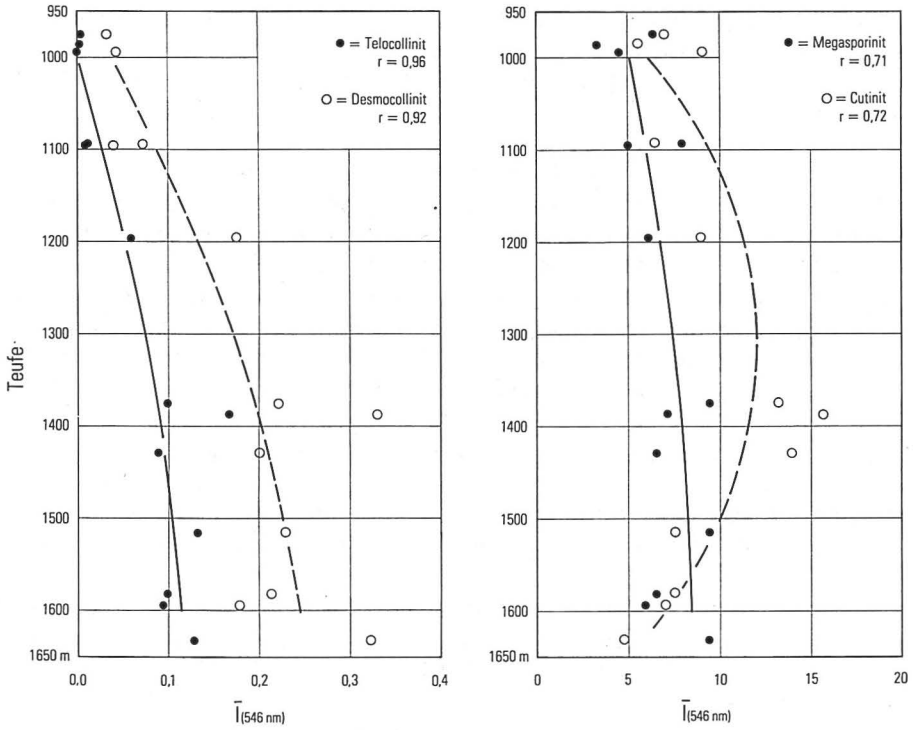


Abb. 2 Die Fluoreszenzintensität ($\bar{I}_{546\,nm}$) von Telocollinit und Desmocollinit, Megasporinit und Cutinit in ihrer Beziehung zur Teufe, mit den errechneten Regressionskurven und Korrelationskoeffizienten (r). Bei den Berechnungen der Kurven von Telocollinit und Desmocollinit blieb der Ausreißer (Flöz Nibelung, Teufe 1 386,86 m) unberücksichtigt.

Fig. 2 Intensity of fluorescence ($\bar{I}_{546\,nm}$) of telocollinite and desmocollinite, megasporinite and cutinite and their relationship to depth, the evaluated curves of regression and correlation coefficients (r). The curves of telocollinite and desmocollinite do not include the runaway (Nibelung coal seam, depth 1 386,86 m)

zenzstärke dieser Macerale neigt dazu, im Bereich des einsetzenden Kokungsvermögens zu kulminieren. In Anbetracht der hohen Schwefelgehalte im Kulminationsbereich könnte es sich hierbei aber ebensogut um eine fazielle Überprägung handeln. Der Ausreißer (Flöz Nibelung, Teufe 1 386,86 m) bestätigt den Zusammenhang zwischen der Fluoreszenzintensität des Vitrinits (als Funktion der Menge des bituminösen Anteils) und der hohen Ausbeute an Flüchtigen Bestandteilen, kombiniert mit einem verminderten Reflexionsgrad (vgl. Tab. 1, S. 171). Die in der Tabelle 6 wiedergegebenen Korrelationskoeffizienten sind nach dem nichtlinearen Trend berechnet. Sie geben in erster Linie eine eindeutige Steigerung der Intensität mit der Teufe (Inkohlung) bei den Vitriniten wieder. Die Liptinite folgen der Inkohlung nicht so gut. Zwischen der Fluoreszenzintensität der Vitrinite und der Liptinite existiert zwar ein Zusammenhang, er zeigt sich aber beim Vergleich mit dem Cutinit weniger deutlich als in der Beziehung zum Megasporinit. Ursachen hierfür können nicht genannt werden.

Tabelle 6

Korrelationskoeffizienten (nichtlinear) für die Beziehungen zwischen Teufe und Fluoreszenzintensität und die Relationen zwischen der Fluoreszenzintensität von Vitriniten und Liptiniten

Zielgröße \ Einflußgröße	Teufe (m)	$I_{546\,nm}$ Telocollinit	$I_{546\,nm}$ Desmocollinit
$I_{546\,nm}$ gemessen an:			
Telocollinit [1)]	r = 0,96		
Desmocollinit [1)]	r = 0,92		
Megasporinit	r = 0,71	r = 0,66	r = 0,69
Cutinit	r = 0,72	r = 0,50	r = 0,48

[1)] Berechnung ohne den Ausreißer Flöz Nibelung, Teufe 1386,86 m

8. Alteration der Fluoreszenzintensität

Während die Fluoreszenzintensität der Vitrinitmacerale vom Grad der Inkohlung und der Menge des dispers verteilten Bitumens abhängt, spiegelt sich im Alterationsverlauf der Fluoreszenzintensität der Inkohlungsgrad und die Beteiligung sekundärer bituminöser Produkte.

Diese Prämisse soll die Deutung von Alterationsverläufen ermöglichen. Sie beruht auf vielfältigen Beobachtungen an unterschiedlichen Proben, wonach die im Verlauf der Bestrahlung eintretenden Intensitätsänderungen einerseits von der Reife der Kohle und deren primären bituminösen Komponenten und andererseits von der Menge neugebildeter (sekundärer) Bitumen abhängt. Hinweise auf Fluoreszenz- und Alterationseigenschaften dispers verteilter löslicher Bitumen („Extraktionsbitumen") finden sich bereits bei JACOB (1964: 581 - 587).

Alteration, das kann eine Zunahme (positive Alteration) oder eine Abnahme (negative Alteration) der Fluoreszenzintensität im Laufe der Bestrahlung sein, aber auch zunächst eine Intensitätsminderung mit anschließendem Anstieg (ambivalente Alteration). Die Abbildung 3 zeigt typische Verläufe der Alteration und erläutert die später benutzten Parameter.

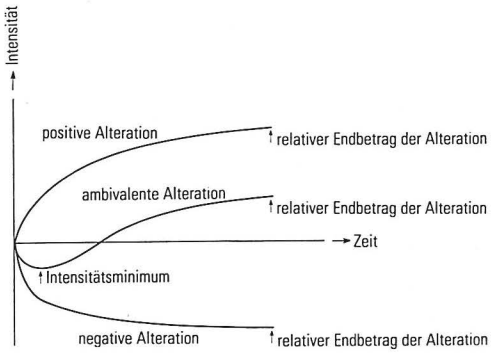


Abb. 3
Beispiele für Alterationskurven und für numerische Parameter der Alteration

Fig. 3
Exemples for alteration curves and for numerical parameters of alteration

Die positive Alteration kann man zwanglos als Folge photochemischer Strukturänderungen deuten. Unter dem Einfluß der andauernden Bestrahlung bilden sich neue anregbare Bindungen in den Molekülen. Die Fluoreszenzstärke nimmt mit der Häufigkeit solcher Bindungen zu. Die Stabilität der Bindungen in den Molekülen der Kohlen ist um so größer, je weiter die Inkohlung fortgeschritten ist. Dies bedingt nicht nur eine immer geringer werdende Fluoreszenzausbeute, sondern auch eine abgeschwächte Alteration.

Die negative Alteration von Steinkohlenmaceralen ist mit photochemischen Reaktionen kaum zu erklären, ebensowenig ein ambivalenter Verlauf, der als eine Resultierende aus beiden Alterationsformen betrachtet werden kann. Eine negative Intensitätsentwicklung wird deshalb als Pseudoalteration gedeutet, deren Ursache nicht photochemische Veränderungen sind, sondern das teilweise Verdampfen fluoreszierender flüchtiger Komponenten (Exsudate). Umgekehrt kann man demnach aus einem negativen Alterationsverlauf auf die Existenz flüchtiger Exsudate schließen. Viele Messungen der Alteration lieferten Indikationen für die Existenz solcher bituminöser Neubildungen, so zum Beispiel die von OTTENJANN & WOLF & WOLFF-FISCHER (1982) veröf-

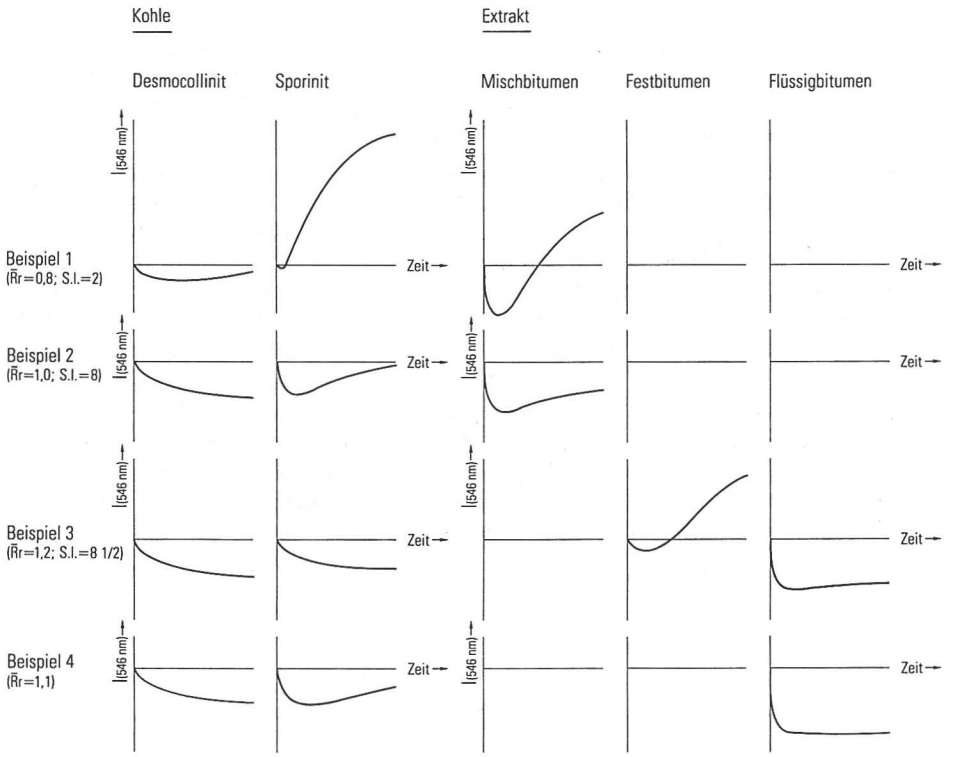


Abb. 4 Vergleich der Alterationskurven von Kohlen (Desmocollinit und Sporinit) und der Extrakte derselben Kohlen (aufgeteilt in Mischbitumen, Festbitumen und Flüssigbitumen)

Fig. 4 Comparison of alteration curves obtained from coals (desmocollinite and sporinite) and the extracts of the same coals (subdivided in mixed bituminous matter, solid and fluid bituminous matter)

fentlichten Daten und zahlreiche Hinweise von M. TEICHMÜLLER, besonders in der 1974 erschienenen Arbeit über die Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in der Kohle.

Nach dem Abklingen negativer Alterationen, das heißt nach dem teilweisen Verdampfen der flüchtigen Stoffe, kann sich gegebenenfalls das positive Verhalten der primären Substanzen wieder durchsetzen. Die Figuren 3 - 8 der Tafel 2 (S. 195) sind Fluoreszenz-Mikrophotographien von Extrakten aus verschiedenen Steinkohlen. Extraktionsmittel war Benzol/Ethanol 1 : 1. Die extrahierten Bitumen wurden nach dem Verdampfen des Extraktionsmittels auf Objektträgern ausgestrichen. Man erkennt unter den abgebildeten Objekten deutlich homogene und heterogene Extrakte. Jeder Extrakt enthält aber zwei Komponenten:

- eine schwach bräunlich fluoreszierende feste Komponente
- eine stark und relativ kurzwellig strahlende flüssige Komponente (die in Extrakten aus höher inkohlten Kohlen zur Bildung mehr oder weniger fester Reste zu neigen scheint)

Die flüssigen und festen Substanzen der Extrakte liegen somit entweder in inniger Vermischung vor, wobei das feste Bitumen den Gesamteindruck bestimmt (Taf. 2: Fig. 3, 4 und Teile von Fig. 5), oder beide Komponenten sind voneinander abgeschieden, wodurch die feste und die flüssige Phase deutlich erkennbar werden (Taf. 2: Fig. 5 u. 6). Die Alterationskurven der auf den Mikrofotos gezeigten Extrakte sind in der Abbildung 4 dargestellt. Ein Vergleich der Alterationskurven der jeweiligen Vitrinite (Desmocollinite) und Sporinite der untersuchten Kohlen mit den an den Extrakten gemessenen Alterationsverläufen macht die Zusammenhänge zwischen diesen deutlich: Die Alteration der Extrakte zeigt sich im Prinzip auch bei den Maceralen der entsprechenden Kohle.

Beschreibung der in der Abbildung 4 und Tafel 2 (Fig. 3 - 8) gezeigten Beispiele:

Beispiel 1 ($\bar{R}_r = 0{,}8$; Swelling-Index, S. I. = 2)
Die Alteration des Desmocollinits wird von flüssigen Komponenten bestimmt, die sich in den Sporiniten noch nicht in einem entsprechenden Maße gebildet haben. Der Extrakt ist ein homogenes Gemisch aus Fest- und Flüssigbitumen, was aus dem Foto (Taf. 2: Fig. 3) und aus dem ambivalenten Verlauf der Alteration zu erkennen ist.

Beispiel 2 ($\bar{R}_r = 1{,}0$; S. I. = 8)
Negative Alteration beim Desmocollinit; das Flüssigbitumen entscheidet den Kurvenverlauf, Produktion von Flüssigbitumen aber auch beim Sporinit (die ambivalente Kurve weist noch einen Anstieg auf, verursacht durch das primäre Bitumen). Der Extrakt scheint noch homogen, wenngleich das Foto bereits Hinweise auf eine Separation von Fest- und Flüssigbitumen enthält (Taf. 2: Fig. 4).

Beispiel 3 ($\bar{R}_r = 1{,}2$; S. I. = $8^1/_2$)
Beide Macerale produzieren soviel Flüssigbitumen, daß die Fluoreszenz des primären Bitumens davon völlig überlagert wird. Der Extrakt enthält feste und flüssige Komponenten, was Figur 5 und 6 der Tafel 2 zeigen. Es war in diesem Fall möglich, die Alteration beider Extraktkomponenten zu messen. Das Er-

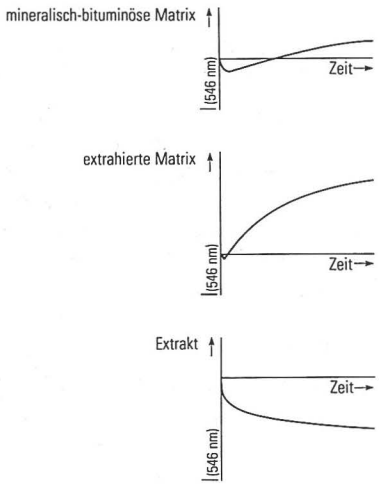


Abb. 5
Das Alterationsverhalten der mineralisch-bituminösen Matrix eines Ölschiefers, der extrahierten mineralisch-bituminösen Matrix desselben Ölschiefers und des Extraktes

Fig. 5
The alteration behaviour of the mineral-bituminous matrix of an oil shale, the extracted mineral-bituminous matrix of the same oil shale and the extract

gebnis zeigt, daß das Festbitumen des Extraktes hauptsächlich positiv alteriert (mit geringen flüssigen „Verunreinigungen") und die flüssigen Exsudate weitgehend verdampfen.

Beispiel 4 ($\bar{R}_r = 1{,}1$)

Mit dem Beispiel 4 wird an Figur 7 und 8 der Tafel 2 das Verdampfen der Flüssigkomponente direkt belegt. Der Effekt wird von der Alterationskurve, aufgenommen an der Flüssigphase dieses Extraktes, bestätigt. Der Verlauf der Alteration des Desmocollinits und Sporinits spricht, wie der Reflexionsgrad des Vitrinits der Kohle, für einen Diagenesegrad zwischen den Beispielen 2 und 3. Mit rund 50 % Inertinit hat diese Kohle einen Swelling-Index von nur $2^1/_2$. Die Alterationskurven zeigen, vom Inertinitgehalt unbeeinflußt, das gute Kokungsvermögen der reaktiven Macerale an.

Tabelle 7
Alterationsverhalten von Desmocollinit und Megasporinit

Teufe (m)	Flöz	Vitrinit-Reflexion $\bar{R}_r$ (%)	Flüchtige Bestandteile (waf) (%)	Blähgrad (Swelling-Index)	Dilatometertest Kontraktion + Dilatation (%)	Verlaufstyp
974,34	Volker	0,66	41,4	1	nur Kontraktion	ambivalent
985,64	Volker	0,70	39,7	1	nur Kontraktion	ambivalent
994,00	Volker	0,73	39,3	1	nur Kontraktion	ambivalent
1092,80	Tristan	0,70	42,5	1	nur Kontraktion	ambivalent
1095,24	Tristan	0,71	39,4	1	nur Kontraktion	negativ
1195,20	Parsifal	0,70	41,0	1	nur Kontraktion	ambivalent
1374,69	Nibelung	0,80	41,5	$4^1/_2$	4	negativ
1386,86	Nibelung	0,72	46,5	$4^1/_2$	14	negativ
1428,70	Midgard	0,80	41,8	$4^1/_2$	14	negativ
1514,87	Hagen 2/3	0,83	40,6	$4^1/_2$	37	negativ
1581,65	Erda	0,86	38,8	$5^1/_2$	41	negativ
1593,75	Donar	0,90	37,2	5	45	negativ
1632,05	Chriemhilt	0,90	40,1	$5^1/_2$	51	negativ

Es ist bemerkenswert, daß die Beobachtung der Alterationseigenschaften von Maceralen und Extrakten mehrerer Kohlen, wovon Beispiele vorgeführt wurden, einigen Schlußfolgerungen der bereits im Jahre 1925 von FISCHER & BROCHE & STRAUCH publizierten Arbeit „Über die Bestandteile des Steinkohlenbitumens und die Rolle der einzelnen für das Backen und Blähen der Steinkohlen" entsprechen. Diese stellten fest, daß extrahierte Steinkohlenbitumen eine feste und eine flüssige Komponente enthalten. Auch M. TEICHMÜLLER (1974, 1982) beobachtete in Kohlen und reifen Ölschiefern beim Mikroskopieren das Austreten von Flüssigkeit aus der Anschliffoberfläche und studierte deren Reaktionen mit dem Einbettmittel und dem Immersionsöl.

Die Untersuchung einer völlig anderen Probensubstanz bestätigte die Richtigkeit der beschriebenen Interpretation der Alterationsverläufe. Die Abbildung 5 enthält das Ergebnis von Alterationsmessungen an der mineralisch-bituminösen Matrix eines Ölschiefers, dessen Dichlormethan-Extrakt und am Extraktionsrückstand (Rundle-Oilshale, lacustrin, unteres Tertiär, Nordost-Australien, beginnendes Ölreifestadium).

Die Fluoreszenz der Mineralmatrix eines solchen Ölschiefers ist in der dispersen Verteilung liptinitischer und bituminöser Substanzen begründet (M. TEICHMÜLLER & OTTENJANN 1977). Primäres und sekundäres Bitumen sind nebeneinander vorhanden, wie der ambivalente Verlauf der Alteration der Ölschiefermatrix zeigt. Nach der Extraktion alteriert die Matrix entsprechend dem geringen Reifegrad des organischen Detritus und primären Bitumens positiv, der Extrakt dagegen negativ. Er ist flüssig und verdampft teilweise unter dem Einfluß der Bestrahlungswärme.

Mit diesen Untersuchungsergebnissen dürfte die eingangs formulierte Deutung von Alterationsverläufen hinsichtlich der Ursachen gesichert sein. Es wird nun im folgenden am Beispiel der Proben der Bohrung Specking 1 über die praktische Anwendung der Methodik berichtet.

Tabelle 7 (Fortsetzung)

Desmocollinit				Megasporinit		
Minimum d. Intensität	Endbetrag d. Alteration	n	Verlaufstyp	Minimum d. Intensität	Endbetrag d. Alteration	n
- 8	+16	7	positiv		+271	3
- 7	+15	10	positiv		+260	3
- 3	+15	7	positiv		+211	3
-15	+ 4	10	positiv	(- 2)	+161	3
	- 23	9	positiv	(- 5)	+137	4
-17	- 7	8	positiv		+177	4
(-35)	-31	8	ambivalent	-10	+ 97	3
(-36)	- 31	8	ambivalent	- 7	+ 95	3
(-35)	- 31	10	ambivalent	-16	+ 86	3
	- 44	7	ambivalent	-24	+ 53	3
	- 44	8	ambivalent	-25	+ 47	4
	- 38	10	ambivalent	-18	+ 71	4
	- 44	10	ambivalent	-28	+ 34	3

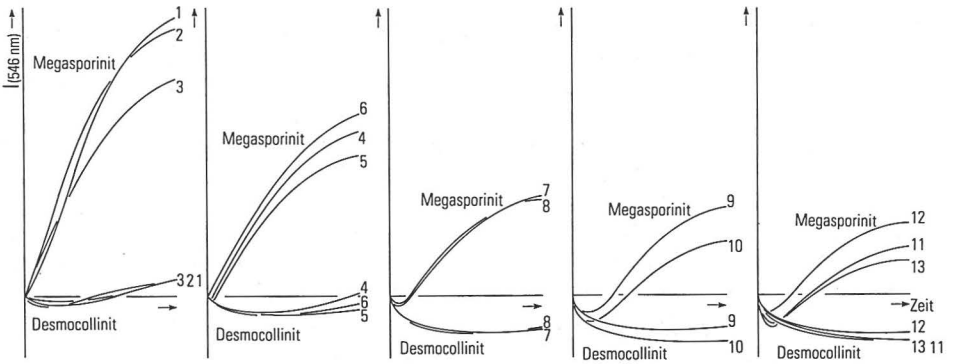


Abb. 6 Die Alterationskurven von Desmocolliniten und Megasporiniten der Proben aus der Bohrung Specking 1

Fig. 6 Alteration curves of desmocollinites and megasporinites of the samples from the borehole Specking 1

Von den Proben der Bohrung Specking 1 wurden die Alterationsverläufe von Desmocolliniten und Megasporiniten aufgenommen. Die ermittelten Kurven sind in der Abbildung 6 graphisch dargestellt, die zahlenmäßigen Ergebnisse enthält die Tabelle 7.

Hervorzuheben ist die Feststellung, daß sich flüssige Exsudate im Desmocollinit schon bei geringerer Inkohlung als im Megasporinit bilden. (Dies beobachtete der Autor bereits bei der Untersuchung einer anderen Probenreihe beim Mikrosporinit.) Desweiteren zeigt sich eine tiefenabhängige Entwicklung: Verringerung der positiven Effekte, deutliches Hervortreten der negativen Alteration. Die Kurvenverläufe und Alterationsbeträge verändern sich in diesem Sinne fast kontinuierlich.

Die berechneten Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen der Teufe und den numerischen Parametern für die Alteration sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Mit dem Auftreten von Flüssigexsudaten im Megasporinit setzt das Kokungsvermögen ein. Einige der für die Kokungsfähigkeit relevanten Eigenschaften könnten demnach von der Bildung von Umwandlungsprodukten im Liptinit oder von der Summierung flüssiger Exsudate aus Vitrinit und Liptinit abhängig sein. In einer weiteren Ausgleichsrechnung wurden deshalb der totalen Dilatation (k + d) die Summe der negativen Alteration von Desmocollinit und Sporinit (als Versuch, die Exsudate beider Macerale zu erfassen) gegenübergestellt

Tabelle 8

Korrelationskoeffizienten (nichtlinear) für die Beziehungen zwischen Teufe und Alteration

Zielgröße \ Einflußgröße	Teufe (m)
Desmocollinit	
Endbetrag der Alteration	r = 0,96
Minimum der Alteration	r = 0,97
Megasporinit	
Endbetrag der Alteration	r = 0,96
Minimum der Alteration	r = 0,95

(vgl. Tab. 7, S. 184 - 185). Für die nichtlineare Beziehung ergab sich ein Korrelationskoeffizient von 0,94, was zeigt, daß ein solcher Zusammenhang tatsächlich bestehen kann.

9. Spektrale Verteilung der Fluoreszenz

OTTENJANN & M. TEICHMÜLLER & WOLF (1974) beschrieben die Abhängigkeit der spektralen Verteilung der Fluoreszenz von der Inkohlung, dargestellt an den numerischen Spektrumkennwerten λ_{max} (Wellenlänge des Emissionsmaximums) und Q (Rot/Grün-Quotient = Verhältniszahl der Intensitäten bei 650 und 500 nm) einerseits und allgemein bekannten Inkohlungsparametern andererseits. Danach erhöhen sich die Zahlenwerte für die Parameter mit zunehmender Inkohlung.

Die Ergebnisse der Messungen an den Proben aus der Bohrung Specking 1 werden in Tabelle 9 mitgeteilt. Die graphische Darstellung dieser Wertepaare in der Abbildung 7 zeigt, daß sich λ_{max} und Q der Sporinite trotz der insgesamt geringen Inkohlungsunterschiede im tieferen Teil der Bohrung kontinuierlich

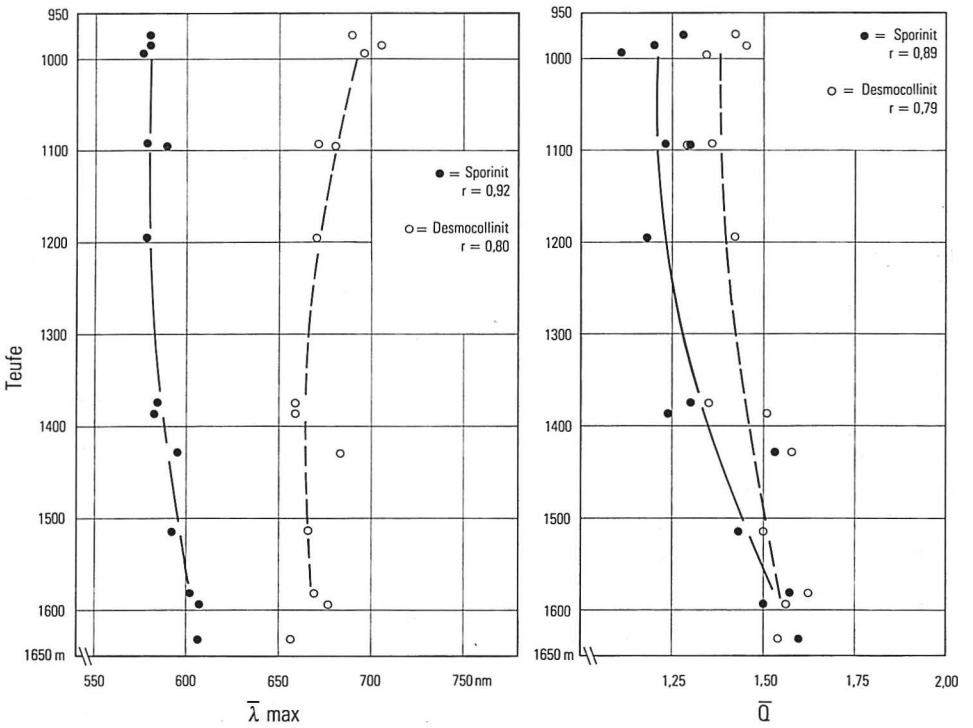


Abb. 7 Wellenlänge des Emissionsmaximums ($\bar{\lambda}$max) und Rot/Grün-Quotient ($\bar{Q}$) der Fluoreszenzspektren in ihrer Beziehung zur Teufe, mit den errechneten Regressionskurven und Korrelationskoeffizienten (r)

Fig. 7 Spectral maximum ($\bar{\lambda}$max) and red/green ratio ($\bar{Q}$) of the fluorescence spectra and their relationship to depth, the evaluated regression curves and correlation coefficient (r)

Tabelle 9

Ergebnisse der Messungen der spektralen Verteilung der Fluoreszenz von Desmocolliniten und Microsporiniten

Teufe (m)	Flöz	Vitrinit-Reflexion $\bar{R}_r$ (%)	Flüchtige Bestandteile (waf) (%)	Blähgrad (Swelling-Index)	Dilatation (%)
974,34	Volker	0,66	41,4	1	keine
985,64	Volker	0,70	39,7	1	keine
994,00	Volker	0,73	39,3	1	keine
1092,80	Tristan	0,70	42,5	1	keine
1095,24	Tristan	0,71	39,4	1	keine
1195,20	Parsifal	0,70	41,0	1	keine
1374,69	Nibelung	0,80	41,5	$4^1/_2$	-34
1386,86	Nibelung	0,72	46,5	$4^1/_2$	-20
1428,70	Midgard	0,80	41,8	$4^1/_2$	-23
1514,87	Hagen 2/3	0,83	40,6	$4^1/_2$	3
1581,65	Erda	0,86	38,8	$5^1/_2$	11
1593,75	Donar	0,90	37,2	5	10
1632,05	Chriemhilt	0,90	40,1	$5^1/_2$	15

zu höheren Werten hin entwickeln. Dabei steht die Wellenlänge des Emissionsmaximums in strengerer Beziehung zur Teufe als der Rot/Grün-Quotient.

Die Eigenschaften des Desmocollinits dagegen folgen in diesem eng begrenzten Inkohlungsbereich der Teufe und damit der Inkohlungszunahme weniger eindeutig. λ_{max} durchläuft sogar ein Minimum, das mit dem Einsetzen des Kokungsvermögens zusammentrifft. Vielleicht ist die vermehrte Bildung der stark und relativ kurzwellig fluoreszierenden Exsudate die Ursache für niedrigere λ_{max}-Werte. Aber auch die Werte für Q zeigen keine sehr gute Abhängigkeit von der zunehmenden Inkohlung aus vielleicht demselben Grunde. Die Quotienten von Desmocolliniten und Sporiniten gleichen sich im unteren Teufenabschnitt (um 0,9 % Vitrinit-Reflexion) einander an. Dies steht mit vielen Beobachtungen im Einklang, wonach sich die Fluoreszenzeigenschaften verschiedener Macerale in diesem Inkohlungsbereich zu vereinheitlichen beginnen und die Vitrinite durchgreifend fluoreszierend werden (vgl. auch M. TEICHMÜLLER 1982).

In bezug auf die Teufe gelten die in Tabelle 10 angegebenen Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 10

Korrelationskoeffizienten (nichtlinear) für die Zusammenhänge zwischen der Teufe und λ_{max} und Q

Zielgröße \ Einflußgröße	Teufe (m)
Desmocollinit:	
λ_{max}	r = 0,80
Q	r = 0,79
Sporinit:	
λ_{max}	r = 0,92
Q	r = 0,89

Tabelle 9 (Fortsetzung)

Desmocollinit					Mikrosporinit				
$\bar{\lambda}_{max}$ (nm)	s	$\bar{Q}$	s	n	$\bar{\lambda}_{max}$ (nm)	s	$\bar{Q}$	s	n
689	59	1,42	0,41	85	580	10	1,28	0,15	45
705	43	1,45	0,44	61	580	13	1,20	0,13	45
696	63	1,34	0,35	59	576	11	1,11	0,12	45
671	67	1,36	0,38	61	578	13	1,23	0,18	45
680	62	1,29	0,30	60	589	32	1,30	0,18	47
670	59	1,42	0,37	62	578	15	1,18	0,19	53
659	62	1,35	0,30	60	584	20	1,30	0,18	57
659	47	1,51	0,30	60	582	12	1,24	0,16	51
683	54	1,58	0,34	59	595	23	1,53	0,28	58
666	52	1,50	0,32	60	592	28	1,43	0,19	56
669	52	1,62	0,35	60	602	24	1,57	0,19	54
677	54	1,56	0,34	57	607	39	1,50	0,26	63
657	57	1,54	0,33	87	606	40	1,59	0,21	78

10. Beurteilung der Inkohlung in der Bohrung Specking 1 aufgrund der Fluoreszenzmessungen

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Flözproben aus dem Westfal C müssen in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- eine, die die Flöze Volker bis etwa Parsifal-Nibelung (also den oberen Teil der Bohrung) erfaßt
- eine mit den Flözen Parsifal bis Chriemhilt, die im unteren Teil der Bohrung angetroffen wurden

Die stratigraphisch höher liegende erste Flözgruppe ist charakterisiert durch einen mit der Teufe kaum merkbar ansteigenden Inkohlungsgrad. Die Kohlen sind heterogen, weshalb die mikroskopphotometrischen Analysenwerte stärker die spezifisch-substanziellen Unterschiede darstellen, als die Intensität der Inkohlung selbst. Vielleicht spielen hier auch noch die Auswirkungen feiner Unterschiede in der Bildungsfazies der einzelnen Flöze eine gewisse Rolle. Die Versuche, dies durch einige statistische Auswertungen nachzuweisen, hatten aber keine eindeutigen Ergebnisse. Von größerer Bedeutung ist es, daß in diesen Schichten in den Vitriniten Veränderungen stattfinden, die zu immer stärkerer Entwicklung flüssiger bituminöser Exsudate führt. Auf diese Exsudate ist auch das beginnende Blähen (Swelling-Index = 1) zurückzuführen.

Die Zuordnung dieser jüngsten Flöze zu einer Kohlenart, zum Beispiel Flammkohlen, kann auch nach diesen Untersuchungen nicht vorgenommen werden, denn die geläufigen Inkohlungsparameter Flüchtige Bestandteile und Reflexionsgrad sind nicht eindeutig.

In der tieferliegenden Flözgruppe, etwa von Parsifal bis Chriemhielt, ist ein Inkohlungsfortschritt mit zunehmender Tiefe gut an der Entwicklung der Werte für mehrere Parameter erkennbar (Reflexionsgrad, Flüchtige Bestandteile, Fluoreszenzintensität der Vitrinite, Alteration der Sporinite und spektrale Verteilung der Sporinitfluoreszenz). Die Proben dieses Bohrungsabschnittes sind aber besonders durch die sukzessive Exsudatbildung in den Sporiniten (andere Liptinitmacerale wurden nicht untersucht) gekennzeichnet, während sie in den Vitriniten zu stagnieren scheint. Damit geht die Entwicklung des Kokungsvermögens einher: Es wurden Blähgrade von $4^1/_2 - 5^1/_2$ beobachtet und die Dilatation steigt kontinuierlich an. Für diese Flöze dürfte die Zuordnung in die Gasflammkohlen gerechtfertigt sein.

Für die gesamte Probenabfolge liefern die Untersuchungsmethoden der Fluoreszenzmikroskopie eindeutige Hinweise auf stetig ablaufende Veränderungen in den Kohlen. Sie betreffen die ursprünglichen und neugebildeten Bitumen, weshalb sich die Messung der Fluoreszenzintensität und die Feststellung des Alterationsverlaufs am besten eignen, diese Umbildungen anzuzeigen.

Beurteilt nach den klassischen Inkohlungsparametern Flüchtige Bestandteile und Reflexionsgrad steigt die Inkohlung, wie einleitend gesagt, bis zum Flöz Nibelung hin kaum an. Der Reflexionsgrad beträgt etwa 0,7 % und der Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen um 41 % (waf). Im unteren Abschnitt der Bohrung dagegen indizieren Flüchtige Bestandteile und R_r fortschreitenden Reifegrad. Bei der Reflexion ist eine Steigerung von 0,7 % in Flöz Parsifal bis auf 0,9 % in Flöz Chriemhilt zu verzeichnen, und es erfolgt eine Abnahme der Flüchtigen Bestandteile auf etwa 37 % (waf).

Das Koksbildungsvermögen tritt deutlich in Erscheinung. Dies ist an den technologischen Kennwerten (Blähgrad, Dilatation) wahrnehmbar. Die Ursache dafür konnte in den vorliegenden Untersuchungen mit den Methoden der Fluoreszenz-Mikrophotometrie nachgewiesen werden: zunehmender Reifegrad und Bildung sekundärer Exsudate.

Die Ergebnisse der Maceralanalysen erbrachten für die gesamte Probenreihe keine weiterführenden Informationen. Zusammenhänge zwischen der Menge der Liptinitmacerale und dem Desmocollinitgehalt ergaben sich nicht. Darin zeigt sich, daß die Entstehung von Desmocollinit kaum mit der Menge der enthaltenen Liptinite und Liptodetrinite in Verbindung steht.

Der Vergleich der ermittelten Fluoreszenzwerte mit den bereits in zahlreichen Arbeiten vorliegenden Angaben zeigt zwar, daß die bis jetzt bekannten Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fluoreszenzeigenschaften und Inkohlung noch nicht bis ins einzelne gesichert sind; die Fluoreszenzmessungen erwiesen sich aber als eine brauchbare Hilfe bei der Untersuchung komplizierter Zusammenhänge von Ursache und Wirkung. Die Anwendung der Fluoreszenzmikroskopie ist daher sicherlich nicht mit der hier gezeigten Darstellung und den bisher bekannten analytischen Möglichkeiten erschöpft.

D a n k: Der Bergbau AG Lippe, dort insbesondere Dr. U. KLINGE und Dr. W. PFISTERER, danke ich für die Erlaubnis, über Untersuchungen an Proben aus der Bohrung Specking 1 zu berichten, Dr. W. PFISTERER aber besonders für die Bereitstellung von Anschliffpräparaten und verschiedenen Untersuchungsbefunden.

11. Schriftenverzeichnis

FIEBIG, H., & GROSCURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257-267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

FISCHER, F., & BROCHE, H., & STRAUCH, J. (1925): Über die Bestandteile des Steinkohlenbitumens und die Rolle der einzelnen für das Backen und Blähen der Steinkohlen. - Brennst.-Chem., **6**: 33-48, 11 Abb., 21 Tab.; Essen.

GIJZEL, P. VAN (1975): Polychromatic UV-Fluorescence Microphotometry of Fresh and Fossil Plant Substances, with Special Reference to the Location and Identification of Dispersed Organic Material in Rocks. - In: Centre National de la Recherche Scientifique [Hrsg.]: Colloque International. Pétrographie de la Matière Organique des Sédiments, Relations avec la Paléotempérature et le Potentiel Pétrolier: 67-91, 5 Abb., 7 Tab.; Paris.

HUTTON, A. C., & KANTSLER, A. J., & COOK, A. C., & MCKIRDY, D. M. (1980): Organic Matter in Oil Shales. - APEA J., **20**: 44-68, 12 Abb., 4 Tab., 4 Taf.; Sydney.

JACOB, H. (1964): Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Luminiszenzmikroskopie fossiler Brennstoffe. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **12**: 569-588, 2 Abb., 7 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

- (1972): Mikroskop-Photometrie der organischen Stoffe von Böden. I. Organopetrographische Nomenklatur und mikroskop-photometrische Methodik. - Bodenkultur, **23**: 217-226, 1 Abb., 4 Tab.; Wien.

Kleines Ruhrkohle-Handbuch. - 40 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Essen (Ruhrkohle AG Qualitätsstelle). - [Unveröff., ohne Jahresangabe]

OTTENJANN, K. (1980): Spektrale Fluoreszenz-Mikrophotometrie von Kohlen und Ölschiefern. - LEITZ-Mitt. Wiss. u. Techn., **7**: 262-272, 19 Abb., 2 Tab.; Wetzlar.

- (1982): Verbesserungen bei der mikroskopphotometrischen Fluoreszenzmessung an Kohlenmaceralen. - Zeiss-Inform., **26**: 40-46, 8 Abb., 2 Tab.; Oberkochen.

OTTENJANN, K., & TEICHMÜLLER, M., & WOLF, M. (1974): Spektrale Fluoreszenz-Messungen an Sporiniten mit Auflicht-Anregung, eine mikroskopische Methode zur Bestimmung des Inkohlungsgrades gering inkohlter Kohlen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 1-36, 26 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

OTTENJANN, K., & WOLF, M., & WOLFF-FISCHER, E. (1982): Das Fluoreszenzverhalten der Vitrinite zur Kennzeichnung der Kokungseigenschaften von Steinkohlen. - Glückauf-Forschungsh., **43**: 173-179, 9 Abb., 3 Tab.; Essen.

Ruhrkohlen-Handbuch (1969). - 5. erw. Aufl.: 495 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Essen (Ruhrkohlen-Beratung GmbH; Glückauf).

STACH, E., & MACKOWSKY, M.-TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R. (1982): STACH's Textbook of coal Petrology. - 535 S., 204 Abb., 49 Tab., 6 Taf.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).

TEICHMÜLLER, M. (1974): Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 65-112, 10 Abb., 6 Tab., 15 Taf.; Krefeld.

- (1982): Fluoreszenzmikroskopische Änderungen von Liptiniten und Vitriniten mit zunehmendem Inkohlungsgrad und ihre Beziehungen zu Bitumenbildung und Verkokungsverhalten. - 119 S., 35 Abb., 10 Tab., 5 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

TEICHMÜLLER, M., & OTTENJANN, K. (1977): Liptinite und lipoide Stoffe in einem Erdölmuttergestein. - Erdöl u. Kohle, **30**: 387-398, 7 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Leinfelden.

WOLF, M., & WOLFF-FISCHER, E., & OTTENJANN, K., & HAGEMANN, H. W. (1983): Fluorescence Properties of Vitrinites. - 36. ICCP-Meet. Comm. III: 13 S., 12 Abb., 1 Tab.; Oviedo.

Eingang des Manuskriptes: 23. 5. 1984

Tafel 1

Fluoreszenz-Mikrofotos von Anschliffpräparaten verschiedener Liptinit- (Fig. 1-6) und Vitrinitmacerale (Fig. 7-8)
Zeiss-Photomikroskop III, Trockenobjektiv 25/0,50; Film: Ektachrome 200; die lange Bildkante entspricht 0,3 mm am Anschliff

Fig. 1 Stark und relativ kurzwellig fluoreszierender Sporinit (Mikrosporen) (S1) in fluoreszenzfreier vitrinitreicher Grundmasse (V); langwellige UV-Anregung

Fig. 2 Verschiedene Mikrosporinite, darunter stark und kurzwellig fluoreszierende Exemplare (S1) und matter und bräunlicher fluoreszierende (S2) in vitrinitischer „Grundmasse" (V); isolierte Einschlüsse der auf Seite 176 beschriebenen Liptinitkomponente X (X); Blauanregung

Fig. 3 Cutinit (C) aus derben Häuten und Beispiele für die mit X bezeichneten Objekte (X) sowie andere liptinitische Einschlüsse in vitrinitischer „Grundmasse"; Blauanregung

Fig. 4 Megasporinit (MS) und andere Liptinitmacerale, Objekte der mit X bezeichneten Art (X) und Vitrinit (V); Blauanregung

Fig. 5 Liptinitische Grundmasse, gebildet hauptsächlich aus der mit X bezeichneten und hier wenig figurierten Substanz (X), mit vitrinitischen Streifen (V); Blauanregung

Fig. 6 Liptinitische Grundmasse, gebildet aus der mit X bezeichneten, hier unterschiedlich deutlich figurierten Substanz (X), mit vitrinitischen Streifen (V); langwellige UV-Anregung

Fig. 7 Telinit (der im Normallicht-Hellfeld eher als Telocollinit anzusprechen war) mit lipoiden (resinitischen?) Zellfüllungen; langwellige UV-Anregung

Fig. 8 Telinit mit lipoiden (resinitischen?) Zellfüllungen; Blauanregung

Plate 1

Fluorescence photomicrographs of polished bloc samples of several macerals of the liptinite group (fig. 1-6) and of the vitrinite group (fig. 7-8)
Zeiss Photomicroscope III, dry lens 25/050; Ektachrome 200 film; field width 0,3 mm

Fig. 1 Sporinites (microspores) with strong fluorescence and tending to short wavelength (S1) embedded in non fluorescent vitrinitic groundmass (V); long wave UV excitation

Fig. 2 Several types of microsporinite, among them items with strong and yellowish fluorescence (S1) and with weak and brownish fluorescence (S2), all embedded in vitrinitic „groundmass" (V); single inclusions of the liptinite X described on p. 176 (X); blue light excitation

Fig. 3 Cutinite (C) of thick skins and examples for objekts designated X (X) and other liptinitic inclusions in vitrinitic „groundmass"; blue light exitation

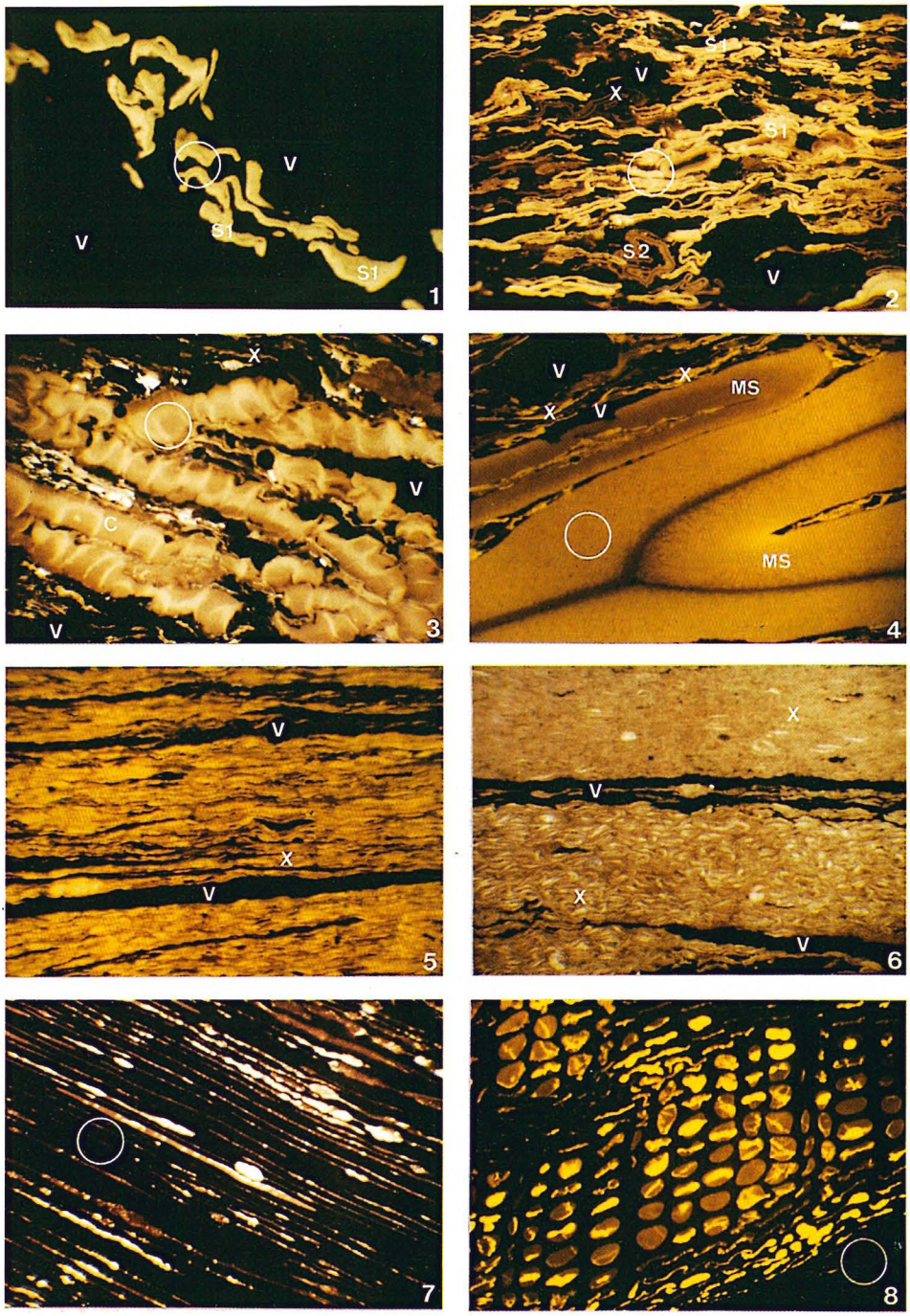
Fig. 4 Megasporinite (MS) and other liptinitic macerals, objekts designated with X (X) and Vitrinite (V); blue light excitation

Fig. 5 Liptinitic groundmass mainly consisting of the substance called X which is in this example less shaped (X) and vitrinitic layers; blue light excitation

Fig. 6 Liptinitic groundmass mainly consisting of the substance called X which is here more or less clearly shaped (X) and vitrinitic layers (V); long wave UV excitation

Fig. 7 Telinite (identified in normal bright field as telocollinite) with lipoid (resinitic?) cell fillings; long wave UV excitation

Fig. 8 Telinite with lipoid (resinitic?) cell fillings; blue light excitation



Tafel 1

Tafel 2

Fluoreszenz-Mikrofotos von Anschliffpräparaten verschiedener Vitrinitmacerale (Fig. 1 - 2) und von Ausstrichpräparaten extrahierter bituminöser Substanzen (Fig. 3 - 8)

Fig. 1-2: Zeiss-Photomikroskop III, Trockenobjektiv 25/0,50; Film: Ektachrome 200; die lange Bildkante entspricht 0,3 mm am Anschliff

Fig. 3-8: Zeiss-Photomikroskop III, Trockenobjektiv 16/0,40; Film: Ektachrome 200; die lange Bildkante entspricht 0,45 mm am Präparat

Fig. 1 Bituminöser Telocollinit; der Riß ist mit einem flüssigen Exsudat gefüllt, das ausgesickert und unter dem Einfluß der Anregungsbestrahlung zum Teil verdampft ist; Blauanregung

Fig. 2 Desmocollinitische Grundmasse mit liptinitischen Objekten und nicht fluoreszierenden vitrinitischen und inertinitischen Einschlüssen. X bezeichnet Beispiele für Objekte der Substanz X.

Fig. 3 Mischbitumen aus Beispiel 1 (S. 183)

Fig. 4 Mischbitumen aus Beispiel 2 (S. 183)

Fig. 5 Festbitumen (F) und Flüssigbitumen (FL) aus Beispiel 3 (S. 183)

Fig. 6 Flüssigbitumen und einige Festbitumenpartikel aus Beispiel 3 (S. 183)

Fig. 7 Tröpfchen und Ausstrichspuren von Flüssigbitumen bei Beginn der Bestrahlung (aus Beispiel 4, S. 184)

Fig. 8 Dieselbe Präparatstelle wie Fig. 7 nach längerer Bestrahlung mit langwelligem UV-Licht (aus Beispiel 4, S. 184)

Plate 2

Fluorescence photomicrographs of polished bloc samples of macerals of the vitrinite group (fig. 1 - 2) and of spreaded bitumen samples of extracted bituminous substances (fig. 3 - 8)

Fig. 1 - 2: Zeiss Photomicroscope III, dry lens 25/0,50; Ektachrome 200 film; field width 0,3 mm

Fig. 3 - 8: Zeiss Photomicroscope III, dry lens 16/0,40; Ektachrome 200 film, field width 0,45 mm

Fig. 1 Bituminous telocollinite; the crack is filled with a fluid exsudate which has leaked out and is partly vaporized by the treatment of irradiation; blue light excitation

Fig. 2 Desmocollinitic groundmass with liptinitic objects and non fluorescent vitrinitic and inertinitic inclusions; X labels examples of objects called X; blue light excitation

Fig. 3 Mixed bitumen from example 1 (see p. 183)

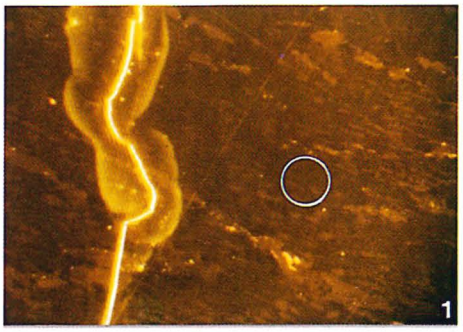
Fig. 4 Mixed bitumen from example 2 (see p. 183)

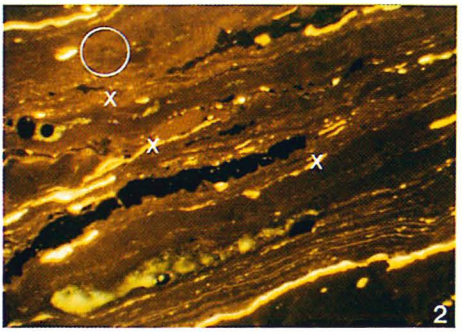
Fig. 5 Solid (F) and fluid (FL) bitumen from example 3 (see p. 183)

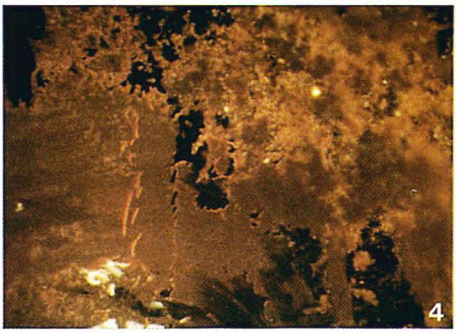
Fig. 6 Fluid bitumen and some particles of solid bitumen from example 3 (see p. 183)

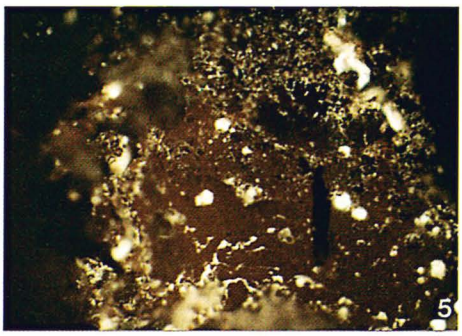
Fig. 7 Droplets and traces of fluid bitumen. State of beginning irradiation (from example 4; see p. 184)

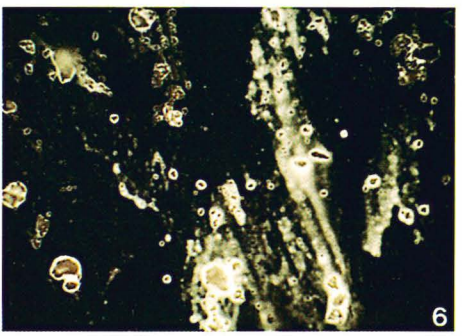
Fig. 8 The same as fig. 7, but after longer irradiation with long wave UV light (from example 4; see p. 184)

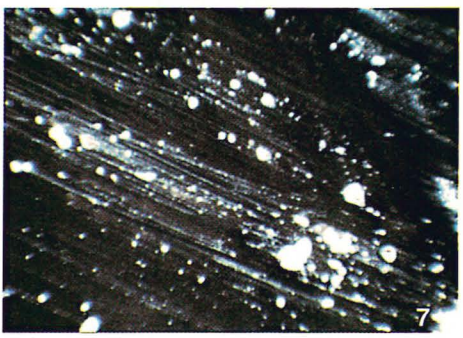


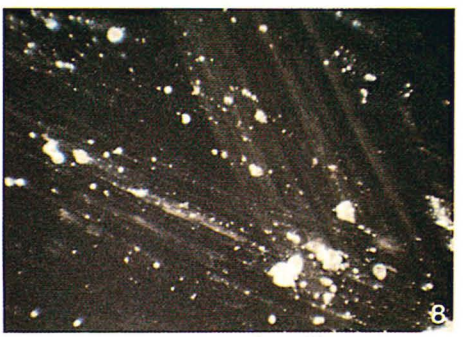












Tafel 2

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	197-217, 3 Abb., 1 Tab.	Krefeld, März 1985

Bildung und Umwandlung schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe in Kohlen des Ruhrkarbons in Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad

Von MATTHIAS RADKE, RAINER G. SCHAEFER, DETLEV LEYTHAEUSER und MARLIES TEICHMÜLLER *

Coalification, heavy hydrocarbons (generation, conversion), hard coal (dull coal), Upper Carboniferous, borehole (Kohlhaus 1, Uedem 1), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

Kurzfassung: Aus zwei Tiefbohrungen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers, Kohlhaus 1 und Uedem 1, wurden 23 karbonische Kohlen mit Vitrinit-Reflexionswerten zwischen 0,63 und 1,60 % $\bar{R}_m$ kohlenpetrologisch charakterisiert. Beprobt wurden Mattkohlenlagen; entsprechend herrschen liptinitreiche Clarite, Trimacerite und Durite vor. Wie bei Karbon-Kohlen üblich, sind von den bestimmbaren Liptinit-Maceralen die Sporinite am stärksten vertreten. Fluoreszenzmikroskopische Beobachtungen und Messungen zeigen, daß im Inkohlungsbereich zwischen 0,85 und 0,95 % $\bar{R}_m$ der Rotanteil der Liptinit-Fluoreszenz stark zunimmt und danach der Gehalt an fluoreszierenden Vitriniten sprunghaft ansteigt. In einigen Proben wurden (sekundär gebildete) Exsudatinite und fluoreszierende „Öl"austritte beobachtet.

Unter Anwendung verbesserter oder neu entwickelter Analysenverfahren wie „Flow-Blending"-Extraktion, Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und Glaskapillar-Gaschromatographie wurden die Ausbeuten für das mittels unspezifischer Lösungsmittel extrahierbare organische Material sowie für ausgewählte gesättigte und aromatische Kohlenwasserstoffe bestimmt. Mit zunehmendem Inkohlungsgrad wurden für die Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 charakteristische Änderungen in den auf den organischen Kohlenstoffgehalt bezogenen Ausbeuten festgestellt: Die Ausbeuten für den Gesamtextrakt und für n-Nonadecan durchlaufen ein Maximum bei 0,90 % $\bar{R}_m$, während die Ausbeuten für Phenanthren und die Methylphenanthrene ein entsprechendes Maximum erst bei einem höheren Inkohlungsgrad von 1,0 % $\bar{R}_m$ zeigen. Hingegen ergeben die Pristan-Ausbeuten bis 0,90 % $\bar{R}_m$ keinen klaren Trend, um dann mit weiterem Inkohlungsfortschritt deutlich abzunehmen. Offenbar bedingen fazielle Unterschiede der untersuchten Kohlenproben im Inkohlungsintervall 0,7 - 0,9 % $\bar{R}_m$ eine stärkere Variation der Ausbeuten, als dies bei den höher inkohlten Proben der Fall ist. Insgesamt zeigen die Ausbeuten jedoch mit zunehmender Inkohlung den für eine Genesekurve typischen Verlauf, wie er für die Bildung von Erdöl aus dem Kerogen der Muttergesteine vielfach beobachtet worden ist.

Auffallend niedrige Ausbeuten, wie sie für Proben mit 0,95 - 1,05 % $\bar{R}_m$ aus dem oberen Bereich der Bohrung Uedem 1 sowohl für den Gesamtextrakt als auch für Einzelkomponenten gefunden wurden, deuten auf eine Auswanderung niedermolekularer Komponenten im Zuge von Migrationsprozessen hin. In diesem Bereich zeigen auch die aus dem Methylphenanthren-Index berechneten Vitrinit-Reflexionswerte größere Abweichungen von den gemessenen Werten. Legt man die Messungen an nicht durch Migration beeinflußten Proben zugrunde, so ergibt sich für beide Bohrungen eine gute Übereinstimmung des berechneten mit dem gemessenen Vitrinit-Reflexionsgradienten.

---

* Anschriften der Autoren: Dr. M. RADKE, Dr. R. G. SCHAEFER, Prof. Dr. D. LEYTHAEUSER, Institut für Erdöl und Organische Geochemie (ICH-5), Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Postfach 1913, D-5170 Jülich; Dr. M. TEICHMÜLLER, Am Hohen Haus 15, D-4150 Krefeld 1

[Generation and conversion of heavy hydrocarbons in relation to rank of Carboniferous coals from the Ruhr basin]

Abstract: Twenty-three Carboniferous coals from two deep wells, Kohlhaus 1 and Uedem 1, drilled in the Rhine-Ruhr area, with vitrinite reflectances in the range 0,63 - 1,60 % $\bar{R}_m$ were characterized in terms of coal petrology. Samples were taken from dull-coal layers, thus contained mainly clarite, trimacerite, and durite. Sporinites were the predominant macerals of the liptinite group, which is typical for Carboniferous coals. Fluorescence microscopic observations and measurements indicate a strong red shift of liptinite fluorescence in the rank range between 0,85 and 0,95 % $\bar{R}_m$, followed by an abrupt increase of the amount of fluorescing vitrinites. Exudatinite (a secondary maceral) and fluorescent „oil"expulsions were observed in some samples.

The yields of total organic matter and of selected saturated and aromatic hydrocarbons obtained by extraction with non-specific solvents were determined using refined or new analytical methods such a „flow-blending" extraction, high-performance liquid chromatography, and glass capillary gas chromatography. Characteristic changes of the organic-carbon normalized yields with increasing rank were observed for the samples from well Kohlhaus 1. The total-extract and n-nonadecane yields pass through a maximum at 0,90 % $\bar{R}_m$, whereas the yields of phenanthrene and the methylphenanthrenes show a corresponding maximum only at the higher rank of 1,0 % $\bar{R}_m$. On the other hand, the pristane yields show no clear trend up to 0,90 % $\bar{R}_m$, but then exhibit a distinct decrease with further rank progress. Obviously, differences in facies among the coal samples cause greater yield variations between 0,7 and 0,9 % $\bar{R}_m$ than at higher rank levels. Generally, the yields show a rank trend typical of a generation curve, which is well known from oil generation in source rocks.

Exceptionally low yields of total extract and single components measured for samples with 0,95 - 1,05 % $\bar{R}_m$ from the upper part of well Uedem 1 are indicative of a loss of low-molecular-weight components during primary migration processes. For this interval also a greater discrepancy exists between the calculated vitrinite reflectance based on the Methylphenanthrene Index and the measured vitrinite reflectance. If only samples not influenced by migration phenomena are considered, a good agreement between calculated and measured vitrinite reflectance gradients is observed for both wells.

[Formation et conversion des hydrocarbures lourds en fonction du rang dans les charbons du Carbonifère du bassin de la Ruhr]

Résumé: Vingt-trois charbons du Carbonifère obtenus de deux forages profonds du bassin de la Ruhr, Kohlhaus 1 et Uedem 1, avec leur pouvoir réflecteur de la vitrinite entre 0,63 et 1,60 % $\bar{R}_m$, ont été caractérisés par des méthodes pétrographiques. Les échantillons ont été prises des lits des charbons mats. Par conséquence, les clarites, trimacérites et durites riches en liptinites en sont prédominants. Entre les macéraux de la liptinite les sporinites sont les plus fréquents, ce qui est normal pour des charbons du Carbonifère. Par fluorescence en microscopie on a constaté et mesuré entre 0,85 et 0,95 % $\bar{R}_m$ le déplacement intense de la fluorescence de la liptinite vers le rouge, suivi par l'augmentation abrupte de la proportion des vitrinites fluorescentes. Dans quelques échantillons on a pu observer l'exsudatinite (un macéral secondaire) et des expulsions d'huile fluorescentes.

Les rendements en matière organique totale et en hydrocarbures saturés et aromatiques obtenus par l'extraction non spécifique ont été mesurés par des techniques analytiques améliorées ou nouvelles comme l'extraction « flow-blending », la chromatographie liquide haute performance et la chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire. Certaines variations caractéristiques des rendements rapportés au carbone organique en fonction d'évolution ont été observées par les échantillons du forage Kohlhaus 1: Les quantités d'extrait total et de n-nonadécane passent par un maximum pour $\bar{R}_m \cong 0{,}90$ %. Les quantités des phénanthrènes ne passent par un maximum que pour $\bar{R}_m \cong 1{,}0$ %. Les quantités de pristane ne montrent pas de tendance distincte jusqu'au $\bar{R}_m \cong 0{,}90$ % mais décroîtrent rapidement pour les rangs les plus élevés. Évidemment, pour $\bar{R}_m$ compris entre 0,7 et 0,9 % les différences en facies entre les échantillons examinées causent une plus grande fluctuation des rendements que pour $\bar{R}_m > 0{,}9$ %. L'ensemble de ces observations permet de supposer que les variations des rendements en fonction du stade d'évolution sont typiques d'une courbe de génèse, fréquemment observée pour la formation du pétrole par transformation du kerogène des roches-mère.

Les rendements faibles exceptionels de l'extrait total et des constituants individuels de l'extrait pour les échantillons du forage Uedem 1 les moins profondes avec leur $\bar{R}_m$ compris entre 0,95 et 1,05 % indiquent une émigration des constituants légers au cours d'un procès migratoire. A cette profondeur on observe les différences très significantes aussi entre le pouvoir réflecteur de la vitrinite calculé de l'indice de maturité MPI (indice méthylphénanthrène) et le pouvoir réflecteur de la vitrinite mesuré.

Si l'on néglige la section du forage Uedem 1 influencée par des phénomènes migratoires les courbes du pouvoir réflecteur de la vitrinite calculées en fonction de la profondeur obtenues pour les deux forages montrent un bon accord avec les courbes correspondantes $\bar{R}_m$.

1. Einleitung

Bei der Extraktion von Steinkohlen mit unspezifischen Lösungsmitteln erhält man ein komplexes Gemisch niedermolekularer Komponenten, das in seiner Zusammensetzung dem Erdöl ähnelt. Das lösliche organische Material entsteht wahrscheinlich zum überwiegenden Teil im Verlauf der Inkohlung durch thermischen Abbau der makromolekularen Kohlenmatrix. Dieser Vorgang ist der Erdölbildung aus dem Kerogen der Erdölmuttergesteine qualitativ vergleichbar (M. TEICHMÜLLER 1974 a, 1974 b), jedoch wird von der Kohle, bezogen auf die Masse an organischem Kohlenstoff, eine geringere Menge schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe generiert. Vermutlich ist dieser Unterschied zum Teil dadurch bedingt, daß bei der thermischen Umwandlung des Kerogens der katalytische Effekt der Mineralsubstanz eine größere Rolle spielt.

Die Untersuchung von Gehalt und Zusammensetzung des C_{15+}-löslichen organischen Materials von Kohlen ist vom geochemischen Standpunkt aus zwei Gründen besonders interessant: Zum einen ist das organische Ausgangsmaterial der Kohlen im Hinblick auf seine biologische Herkunft durch Angabe der Maceralzusammensetzung in der Regel gut charakterisierbar. Zum anderen sind die Temperaturen, denen dieses organische Material im Verlauf der Inkohlung ausgesetzt war, anhand verschiedener Inkohlungsparameter zuverlässig zu rekonstruieren. Diese Voraussetzungen sind bei der geochemischen Untersuchung von Muttergesteinen meist nicht in gleicher Weise gegeben. Auf der anderen Seite wirkt sich die besondere Porenstruktur der Kohle erschwerend auf die Extraktion der niedermolekularen Bestandteile aus (VAHRMAN 1972), so daß im Einzelfall geklärt werden muß, inwieweit der erhaltene Extrakt repräsentativ ist für die Gesamtmenge der in der Kohle enthaltenen niedermolekularen Bestandteile.

Aus der Literatur sind eine Reihe von Untersuchungen des C_{15+}-löslichen organischen Materials von Kohlen unter geochemischen Gesichtspunkten bekannt (LEYTHAEUSER 1968, BROOKS & SMITH 1967, DURAND et al. 1977, ALLAN & DOUGLAS 1977, BARTLE et al. 1979, MUKHOPADHYAY et al. 1979, HOLLERBACH 1982). Dabei handelt es sich jedoch meist um Untersuchungen von Kohlenserien, die einen relativ engen Inkohlungsbereich abdecken oder die eine heterogene stratigraphische und geographische Herkunft aufweisen. Zudem beschränken sich die detaillierteren Untersuchungen meist auf die Fraktion der gesättigten C_{15+}-Kohlenwasserstoffe.

Die beiden Kernbohrungen Kohlhaus 1 (TK 25: 4307 Dorsten) und Uedem 1 (TK 25: 4303 Uedem), die im Rahmen des Explorationsprogramms der Ruhrkohle AG abgeteuft wurden (PALM 1978, DROZDZEWSKI 1978), boten die Möglichkeit, geochemische Untersuchungen an einer Probenserie durchzuführen,

die bei einheitlicher stratigraphischer und geographischer Herkunft einen breiten Inkohlungsbereich von 0,63 – 1,60 % Vitrinit-Reflexion abdeckt. Durch den Einsatz neu entwickelter Analysenmethoden konnten Einzelkomponenten in den Fraktionen der C_{15+}-gesättigten Kohlenwasserstoffe und der C_{11+}-aromatischen Kohlenwasserstoffe quantitativ bestimmt werden. In zwei vorausgegangenen Publikationen (RADKE et al. 1980, 1982) wurden die beobachteten Variationen in Gehalt und Zusammensetzung des C_{15+}-löslichen organischen Materials in Beziehung gesetzt zu den Ergebnissen der kohlenpetrologischen Untersuchungen, die an der gleichen Probenserie vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen ausgeführt wurden (M. TEICHMÜLLER 1982). Die vorliegende Arbeit ist den quantitativen Aspekten der Bildung und Umwandlung der schwerflüchtigen Kohlenwasserstoffe und der Anwendung des Methylphenanthren-Index (MPI 1) als chemischem Inkohlungs- und Reifeparameter gewidmet.

2. Proben

Alle in dieser Arbeit analysierten Proben sind aus Bohrkernen entnommen: Vierzehn Mattkohlenlagen, zum Teil mit Übergängen zu Brandschiefern, aus Flözen der Bohrung Kohlhaus 1 und neun Mattkohlenlagen sowie drei Bergelagen aus Flözen der Bohrung Uedem 1. Die Bohrung Kohlhaus 1 durchteufte im Bereich von 709 – 1 502 m Teile des Westfals C und B (Obere Dorstener bis Obere Essener Schichten). Stratigraphisch sind die für die geochemische Analyse ausgewählten Proben zwischen dem Flöz Nibelung 1 und dem Flöz C eingeordnet. Die ausgewählten Mattkohlenlagen aus Flözen der Bohrung Uedem 1 liegen im Teufenbereich 763 – 1 486 m und stammen aus den Flözen Anna bis Girondelle 5 des Westfals A.

Die Vitrinit-Reflexion der Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 liegt zwischen 0,63 und 1,06 % $\bar{R}_m$. Die aus der Bohrung Uedem 1 ausgewählten Kohlen umfassen den Bereich 0,96 – 1,60 % $\bar{R}_m$. Bei der Probenauswahl wurde besonders Wert gelegt auf eine Überlappung der Inkohlungsbereiche aus beiden Bohrungen. Jeweils fünf Kohlen aus beiden Bohrungen haben etwa den gleichen Inkohlungsbereich gemeinsam. Tabelle 1 (S. 202 – 203) gibt einen Überblick über die untersuchten Proben.

3. Zur Petrologie der Proben

Die petrologische Zusammensetzung der untersuchten Proben zeigt Tabelle 1. Nach M. TEICHMÜLLER (1979 a) bestehen die meisten Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 aus liptinitreichen Clariten mit relativ viel Micrinit, oft mit Übergängen zu claritischen Brandschiefern und Bergen. Außer Alginit, Bituminit (sehr selten) und Exsudatinit sind alle Liptinit-Macerale mehr oder weniger stark vertreten. Sporinite sind bei weitem vorherrschend. Darunter befinden sich relativ viele Megasporen, Sporangien-Sporinite und Mikrosporen der Sporomorphengattung *Densosporites* („Splintsporen"). An Cutiniten fallen vor allem zwei Arten auf: dicke Epidermen von relativ geringer Fluoreszenzintensität und – relativ selten – sehr dünne Kutikulen mit starker Fluoreszenz. Resinite erwiesen sich, wie üblich, sehr variabel in ihren Fluoreszenzeigenschaften. Selten, jedoch sehr auffallend, sind grün- bis kräftig gelb fluoreszierende ovale Resinitkörper. Sie gleichen in ihren Fluoreszenzeigenschaften sehr dem Fluorinit, von dem sie sich jedoch durch ihre Form (Füllung großer

Zellen) deutlich unterscheiden. Ein großer Teil des Liptinits ist nicht näher bestimmbar. Durch relativ hohe Micrinitgehalte zeichnen sich die Mattkohlenproben 15057 aus Flöz C (6,5%) und 15012 der Nibelung-Flözgruppe (5,9%) aus. Bei den Vitriniten wurden fluoreszierende Arten von nicht fluoreszierenden unterschieden. Der Anteil von fluoreszierenden Vitriniten (am Gesamtvitrinit) nimmt bemerkenswerterweise sprungartig von 6 auf 20% zu zwischen den Proben 15040 bei 1216 m (0,92% $\bar{R}m$) und 15045 bei 1297 m Teufe (0,97% $\bar{R}m$). Er bleibt bis zur untersten Probe (15057) bei 1502 m Teufe (1,06% $\bar{R}m$) hoch und erreicht maximal 50%. Im gleichen Teufen- und Inkohlungsbereich tritt eine plötzliche Rotverschiebung der Liptinit-Fluoreszenz ein. Auch wurden ab 1297 m Teufe erstmals stark fluoreszierende Zellfüllungen in Fusiten beobachtet sowie grünlich fluoreszierende „Öl"austritte an Rissen. In der Probe 15055 aus dem marin überlagerten Flöz L/K1 (1403 m Teufe, 0,99% $\bar{R}m$), die 33% fluoreszierenden Vitrinit führt, wurde eine auffallend starke Reaktion mit dem Immersionsöl (Cargille) unter Blaulichtbestrahlung beobachtet, die zu einer Verschleierung des mikroskopischen Bildes führte. Alle diese Beobachtungen deuten darauf hin, daß eine Neubildung und Migration von bituminöser Substanz in der Kohle stattgefunden hat (M. TEICHMÜLLER 1974a, 1974b).

Zur Petrologie der Mattkohlenproben aus der Bohrung Uedem 1 wurden folgende Beobachtungen gemacht (M. TEICHMÜLLER 1979b): Liptinitreiche Clarite, Trimacerite und Durite herrschen vor. Die Clarite führen meist Micrinit. In Probe 14665 liegt ein Boghead-Cännelschiefer mit *Botryococcus*-Algen vor (Tab. 1). Probe 14666 besteht großenteils aus Densosporen-Durit (Splint) mit zahlreichen Mikro- und Megasporen, wobei letztere oft korrodiert erscheinen. Fusite und Semifusite sind reichlich vertreten in den Proben 14687 (Fl. Jakob 2/Präsident/Helene) und 14691 (Fl. Wasserfall/Sonnenschein). Ihre Zellumen sind oft mit einer hell-orange fluoreszierenden Substanz gefüllt, die vorwiegend mineralisch zu sein scheint. Fluoreszierende „Öl"austritte beziehungsweise Verschleierung des Immersionsöls (vgl. M. TEICHMÜLLER 1974a: 76–80) bei Blaulichtbestrahlung wurden besonders in den Stückschliffen der Proben 14661, 14684, 14689, 14691 und 14723 beobachtet.

Den höchsten Vitrinitgehalt (rd. 83 Vol.-%) hat die unterste Probe aus 1486 m Teufe. Hier macht sich bereits der STACH'sche Inkohlungssprung stark bemerkbar, indem sich die ursprünglichen Liptinite dem Vitrinit optisch angeglichen haben.

Der Gehalt an fluoreszierenden Vitriniten (%-Anteil am Gesamtvitrinit) schwankt zwischen 10,7% in der untersten, am stärksten inkohlten Probe 14723 (Grenze Fett-/Esskohle) und 52,8% in der Probe 14684 aus Flöz Ernestine 2.

Der Anteil der fluoreszierenden Vitrinite, bezogen auf den Gesamtvitrinitgehalt der jeweiligen Probe, zeigt eine Beziehung zum Verschwinden der Liptinit-Fluoreszenz: Die höchsten Werte werden bei ca. 1,1% $\bar{R}m$ und somit bei

---

zu Tabelle 1 (S. 202–203)

[1] GLA = Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen
[2] KFA = Kernforschungsanlage Jülich
[3] n. m. = nicht meßbar

Tabelle 1

Proben-Nr. GLA[1]	Proben-Nr. KFA[2]	Teufe (m)	Flöz	Vitrinit-Reflexion Rm (%)	Rot/Grün-Quotient Sporinit (Mikrosporen)
Bohrung Kohlhaus 1					
15011	3407	709	Nibelung-Gruppe	0,70	0,91
15012	3408	725	Nibelung-Gruppe	0,63	0,94
15014	3409	758	Midgard 2	0,76	1,06
15015	3410	800	Loki	0,75	1,11
15020	3411	857	Iduna-Gruppe	0,81	1,05
15024	3412	894	Hagen 1/2	0,84	1,22
15031	3413	1007	Chriemhilt 2/3	0,88	1,29
15032	3414	1112	Z	0,92	1,55
15040	3415	1216	S-Gruppe	0,92	1,87
15045	3416	1297	Q 1/2	0,97	2,20
15054	3417	1382	N	1,02	2,35
15055	3418	1403	L/K1	0,99	2,50
15056	3419	1413	K2	1,03	2,42
15057	3420	1502	C	1,06	3,35
Bohrung Uedem 1					
14661	4792	763	Anna	0,96	2,26
14664	4793	783	Matthias 1	0,99	2,17
14665	4794	786	Matthias 2	0,95	2,16
14666	4795	786	Matthias 2	1,00	2,38
14670	4796	821	Hugo 1	1,05	2,33
14680	4797	934	Karl 2	1,09	2,73
14684	4798	1000	Ernestine 2	1,13	2,94
14687	4799	1090	Jakob 2 — Präs./Helene	1,15	3,16
14689	4800	1181	Dickebank 1	1,29	3,87
14691	4801	1258	Wasserfall/Sonnenschein	1,39	n. m.[3]
15007	4802	1429	Girondelle 7	1,50	—
14723	4803	1486	Girondelle 5	1,60	n. m.

Zusammensetzung der Mattkohlenproben aus den Bohrungen Kohlhaus 1 und Uedem 1

vorherrschende Mikrolithotypen	Maceralanalyse				
	Vitrinit		Liptinit	Inertinit	Minerale
	gesamt (Vol.-%)	fluoresz. (Vol.-%)	(Vol.-%)	(Vol.-%)	(Vol.-%)
liptinitreicher Clarit, Durit, Trimacerit	54,8	0,9	21,4	15,7	8,1
pyritreicher Clarit u. Vitrit	77,5	1,9	6,7	8,7	7,1
pyritreicher Clarit u. Vitrit	73,1	1,2	9,1	5,0	12,8
Clarit, Vitrit, Berge	50,9	1,1	9,2	4,0	35,9
Clarit, Trimacerit, Fusit	63,8	2,8	15,4	17,0	3,8
Clarit, Vitrit, Trimacerit	71,1	1,9	9,6	15,0	4,3
Clarit, Berge	52,1	12,2	14,2	8,5	25,2
Vitrit, Brandsch. u. Berge	44,3	1,7	4,6	2,3	48,8
Clarit, Brandsch., Vitrit	65,1	6,2	6,8	9,5	18,6
Clarit, Vitrit, Trimacerit, Berge	69,0	19,8	9,1	9,7	12,2
Vitrit, Clarit, Berge	63,1	21,2	5,8	6,9	24,2
Vitrit, Clarit, Berge	69,0	32,9	5,2	5,0	20,8
Clarit, Durit, Vitrit	70,1	49,7	11,5	17,6	0,8
Trimacerit, Durit, Clarit	51,2	28,3	18,1	29,7	1,0
Vitrit u. liptinitreicher Clarit, beide mit Übergängen zu Brandschiefern	75,8	29,6	6,1	13,8	4,3
Berge, Brandschiefer (claritisch, vitritisch)	46,3	16,2	1,5	2,7	49,5
Boghead-Cännel-Eisenstein	5,6	—	9,1	5,3	80,0
sporenreicher Durit u. sporenarmer Clarit	38,6	23,5	25,1	30,1	6,2
liptinitarmer Clarit u. Vitrit	73,7	47,9	5,2	16,7	4,4
micrinitreicher, canneloider Trimacerit u. Clarit mit Übergängen zu Brandschiefern u. Bergen, Fusit	24,9	12,2	10,6	26,9	37,6
liptinitarmer Clarit, Fusit, Vitrit, liptinitreicher Durit	77,7	52,8	6,9	12,1	3,3
Trimacerit, Durit u. viel Fusit, Clarit	35,4	24,1	5,9	52,0	6,7
Vitrit, Clarit, Fusit, Trimacerit, Durit	71,0	39,8	6,7	19,4	2,8
Fusit, Durit, Trimacerit	60,0	25,8	3,6	31,7	4,7
Berge	1,3	—	—	0,1	98,6
Vitrit, vitrinitreicher Vitrinertit, Fusit	82,6	10,7	0,9	13,6	2,9

einem Inkohlungsgrad erreicht, bei dem die Liptinit-Fluoreszenz deutlich abnimmt und Rotfärbung eintritt.

Wie in Karbon-Kohlen üblich, herrschen unter den Liptinit-Maceralen die Sporinite vor. Besonders sporenreich ist die Probe 14 666 aus Flöz Matthias 2, die hauptsächlich aus Durit besteht und entsprechend viel Inertinit führt. Relativ hoch ist der Anteil an unbestimmbaren Liptiniten in manchen liptinitreichen Proben.

Semifusinite und Fusinite machen den größten Teil der Inertinite aus. Auffallend viel Micrinit (10,4 %) führt die Probe 14 680 aus Flöz Karl 2. Interessanterweise ist es die erste Probe, bei der eine starke Rotverschiebung der Fluoreszenz von Sporiniten festgestellt wurde.

An Mineralen treten vor allem Tonminerale auf, im Boghead-Cännelschiefer auch relativ viel syngenetischer, feinkristalliner Carbonatspat und Pyrit. Letzterer ist auch häufig in der Gesteinsprobe aus Flöz Matthias 1. In sämtlichen Proben wurde grobkristalliner epigenetischer Carbonatspat als Kluftfüllung beobachtet.

Detaillierte Daten der Kurz-, Elementar- und Maceralanalysen sowie der fluoreszenzmikroskopischen Messungen an Vitriniten und den verschiedenen Liptinit-Maceralen sind den Publikationen von RADKE et al. (1980, 1982) und M. TEICHMÜLLER (1982) zu entnehmen.

4. Methoden der organisch-geochemischen Untersuchungen

Die auf ca. 1 mm vorzerkleinerten Proben wurden mit der Scheibenschwingmühle eine Minute gemahlen. Unter den gewählten Bedingungen liegt für den Hauptanteil des Mahlgutes die Korngröße unter 63 µm. Im Verlauf des Extraktionsvorganges wurden die Proben mittels eines Dispergiergerätes noch weiter zerkleinert.

Nach der Zerstörung der Carbonate durch Behandlung mit halbkonzentrierter Salzsäure wurde der Kohlenstoffgehalt ($C_{org.}$) ermittelt.

Die Extraktion erfolgte mit dem Dreikomponenten-System Chloroform/Aceton/Methanol (47:30:23, w/w/w) nach dem „Flow-Blending"-Verfahren in zwei Stufen zu je 10 Minuten (RADKE & SITTARDT & WELTE 1978).

Die Auftrennung des Extraktes nach Stoffgruppen erfolgte flüssigkeitschromatographisch an Kieselgel. Die Heterokomponenten wurden auf einer Vorsäule festgehalten, die gesättigten Kohlenwasserstoffe und Aromaten nacheinander von der Hauptsäule mit n-Hexan eluiert, wobei die Elutionszeit für die Aromatenfraktion durch Rückspülung der Säule (Backflush) verkürzt wurde. Die Fraktionenanteile wurden nach Abdampfen des Lösungsmittels (Stickstoff, 40°C) durch Wägung bestimmt, der Heterokomponenten-Anteil rechnerisch ermittelt (RADKE & WILLSCH & WELTE 1980).

Von den Fraktionen der gesättigten Kohlenwasserstoffe wurden Gaschromatogramme an Glaskapillarsäulen unter den folgenden Bedingungen aufgenommen: 20 m Länge, 0,3 mm Innendurchmesser, Silicongummi SE 52 (teilweise SE 54) auf $BaCO_3$-Zwischenschicht, temperaturprogrammiert 80°C (2 min), 3°/min, 250°C (24 min), Trägergas Wasserstoff. Die Gaschromatogramme wurden mit Hilfe eines Prozeßrechners ausgewertet (Gaschromatographie-Datensystem Datachrom II, Instem Computer Systems Ltd., England;

PDP 11/10, Digital Equipment Co.). Grundlage für die quantitative Erfassung der Komponenten war die Kalibrierung des Meßverfahrens mit einem externen Standard (n-Pentadecan).

Die Aromatenfraktionen wurden mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) an Aluminiumoxid in die Unterfraktionen AF 1 - 4 aufgetrennt. Die erste Fraktion (AF 1) wurde durch Elution mit n-Hexan gewonnen und enthielt Aromaten mit ein und zwei Ringen. Die weiteren Fraktionen erhielt man durch Elution mit n-Hexan-Dichlormethan-Gemischen unter stufenweiser Erhöhung des Dichlormethananteils. Sie enthielten Aromaten mit drei und vier (AF 2) beziehungsweise vier und fünf (AF 3) Ringen sowie höherkondensierte Aromaten (AF 4). Von den Fraktionen der aromatischen Kohlenwasserstoffe wurden Gaschromatogramme an Glaskapillarsäulen unter den folgenden Bedingungen aufgenommen: 25 m Länge, 0,3 mm Innendurchmesser, Silicongummi SE 54, Trägergas Helium. Die quantitative Bestimmung der Komponenten erfolgte unter Verwendung eines internen Standards (1,1'-Binaphthyl).

5. Extraktausbeuten

Die Extraktausbeuten der untersuchten Kohlenproben, gegen die Vitrinit-Reflexion als Inkohlungsparameter aufgetragen, zeigen ein ausgeprägtes Maximum von 1,6 % - bezogen auf wasser-, aschefreie Substanz (waf) - bei etwa 0,90 % $\bar{R}_m$. Mit fortschreitender Inkohlung wird ein exponentieller Abfall der Extraktausbeute bis auf etwa 0,1 % (waf) beobachtet, die bei etwa 1,4 % $\bar{R}_m$ erreicht wird (RADKE et al. 1980). Bezogen auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff zeigen die Extraktausbeuten einen analogen Inkohlungsverlauf mit einem Maximum von 22 mg Extrakt/g $C_{org.}$, ebenfalls bei etwa 0,90 % $\bar{R}_m$.

Die Beobachtungen stimmen mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen überein, die zum überwiegenden Teil an Kohlen des saarländischen Karbons gewonnen wurden (LEYTHAEUSER 1968, LEYTHAEUSER & WELTE 1969). Eine maximale Extraktausbeute von 1,1 % (af) wurde bei einem Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen von etwa 30 % (waf) (0,9 - 1,0 % $\bar{R}_m$) gefunden. Aus den Extraktdaten, die DURAND et al. (1977) an Kohlen unterschiedlicher Herkunft ermittelten, kann ein flaches Maximum, entsprechend etwa 20 mg Extrakt/g $C_{org.}$, im Bereich 0,8 - 1,2 % $\bar{R}_m$ abgelesen werden; allerdings fehlen Proben aus dem Inkohlungsintervall 0,55 - 0,75 % $\bar{R}_m$, so daß der Kurvenverlauf nur recht grob abzuschätzen ist. ALLAN & BJORØY & DOUGLAS (1977) untersuchten eine Reihe von englischen Karbon-Kohlen mit 77 - 87 % C_v (0,5 - 1,1 % $\bar{R}_{max}$), wobei sie Vitrinit- und Sporinitkonzentrate getrennt analysierten. Es konnte zwar kein bestimmter Zusammenhang zwischen Extraktausbeute und Inkohlungsgrad festgestellt werden, jedoch wurde eine allgemeine Abnahme der Extraktausbeute mit zunehmender Inkohlung konstatiert. Eine Abnahme der Extraktausbeute von Kohlen mit zunehmender Inkohlung von 0,90 % $\bar{R}_m$ an kann auch nach den Untersuchungen an indischen Perm-Kohlen als gesichert gelten (MUKHOPADHYAY et al. 1979), wohingegen der Anstieg der Extraktausbeute im Intervall 0,6 - 0,9 % $\bar{R}_m$ weniger einheitlich ausgeprägt erscheint. Offensichtlich wirken sich in diesem Intervall die durch wechselnde Fazieseinflüsse bedingten Unterschiede in der Maceralzusammensetzung der Kohlen stärker auf die Extraktausbeuten aus, als dies bei höherem Inkohlungsgrad der Fall ist. In der Tat zeigen die Extraktausbeuten

der Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 im Intervall 0,7 - 0,9 % Rm eine Abhängigkeit vom Liptinitgehalt. Bei einem Liptinitgehalt von 15 Vol.-% - bezogen auf mineralfreie Substanz (mf) - sind die Extraktausbeuten um 0,2 % (waf) höher als bei einem Liptinitgehalt von 10 Vol.-% (mf).

Die bisher diskutierten Extraktausbeuten wurden durch Extraktion von Kohlenproben mit unspezifischen Lösungsmitteln erhalten, das heißt mit Lösungsmitteln, die keine chemischen Veränderungen der Kohlenmatrix bewirken (DRYDEN 1950, KRÖGER 1956). Unter diesen Bedingungen kann nur ein Teil der in der Kohle vorhandenen niedermolekularen Komponenten extrahiert werden. Nach VAHRMAN (1972) wirkt die Kohlenmatrix als eine Art Molekularsieb, das einen Teil der Komponenten zurückhält. Wahrscheinlicher ist jedoch, daß das Porensystem der Kohle durch schwerlösliche Komponenten zum Teil verstopft und somit für das Lösungsmittel nicht zugänglich ist (THOMAS & DAMBERGER 1976). Möglicherweise ist eine erschöpfende Extraktion auch deshalb nicht möglich, weil ein Teil der niedermolekularen Bestandteile in fester Lösung in der Kohlenmatrix vorliegt (GREEN et al. 1982).

Es ist gut dokumentiert, daß die Extraktausbeute wesentlich gesteigert werden kann, wenn man die Kohle vor der Extraktion auf 350° C erhitzt (DRYDEN & PANKHURST 1955, ŌUCHI 1961, BROWN & WATERS 1966). Entsprechende Versuche mit vorerhitzten Kohlen der hier diskutierten Serie bestätigten dies und lieferten zudem den Hinweis, daß der drastische Abfall der Extraktausbeute jenseits 0,90 % $\bar{R}m$, wie er für die unbehandelten Kohlen beobachtet wird, teilweise durch einen Rückgang der Extrahierbarkeit der niedermolekularen Komponenten bedingt ist (RADKE et al. 1982).

6. Ausbeuten ausgewählter gesättigter Kohlenwasserstoffe

Während sich die vorstehenden Ausführungen ausschließlich auf die vom Inkohlungsgrad abhängigen Änderungen von Stoffgruppenparametern bezogen, werden im folgenden derartige Änderungen auf molekularer Basis diskutiert.

Trotz erheblicher Streuung der Meßdaten, die zum Teil analytisch durch die Verwendung eines externen Standards bedingt ist, läßt sich für die n-Nonadecan-Ausbeute von Kohlen der Bohrung Kohlhaus 1 bei etwa 1 100 m Teufe (entspricht etwa 0,90 % $\bar{R}m$) ein Maximum feststellen (Abb. 1, oben links). Der Anstieg von etwa 10 µg n-$C_{19}H_{40}$/g Corg. bei etwa 0,70 % $\bar{R}m$ auf knapp 30 µg/g Corg. und der nachfolgende Abfall auf unter 5 µg/g Corg. bei etwa 1,05 % $\bar{R}m$ kann als typische Kohlenwasserstoff-Genesekurve (Ausbeute als Funktion der Reife des organischen Materials) gedeutet werden. Die entsprechenden Daten für Pristan (Abb. 1, oben rechts) zeigen eine noch stärker ausgeprägte Streuung im oberen Teufenbereich, als Folge derer sich kein entsprechend eindeutiges Maximum wie für sein unverzweigtes Isomer erkennen läßt. Ein Höchstwert von 102 µg Pristan/g Corg. wird in der Probe aus 1 007 m Teufe (0,88 % $\bar{R}m$) erreicht. Der Verlauf des Abfalls der Pristan-Ausbeuten im Inkohlungsintervall über 0,9 % $\bar{R}m$ ist hingegen mit dem des n-Nonadecan durchaus vergleichbar. Die in der Abbildung gezeigte starke Streuung im Inkohlungsintervall 0,7 - 0,9 % $\bar{R}m$ scheint auch eine Folge fazieller Unterschiede der untersuchten Kohlenproben zu sein. Besonders hohe Pristan-Ausbeuten sind mit hohen Liptinitgehalten gekoppelt. So haben die beiden Kohlen mit den höchsten Liptinitgehalten in diesem Reifeintervall, bezogen auf mineralfreie Sub-

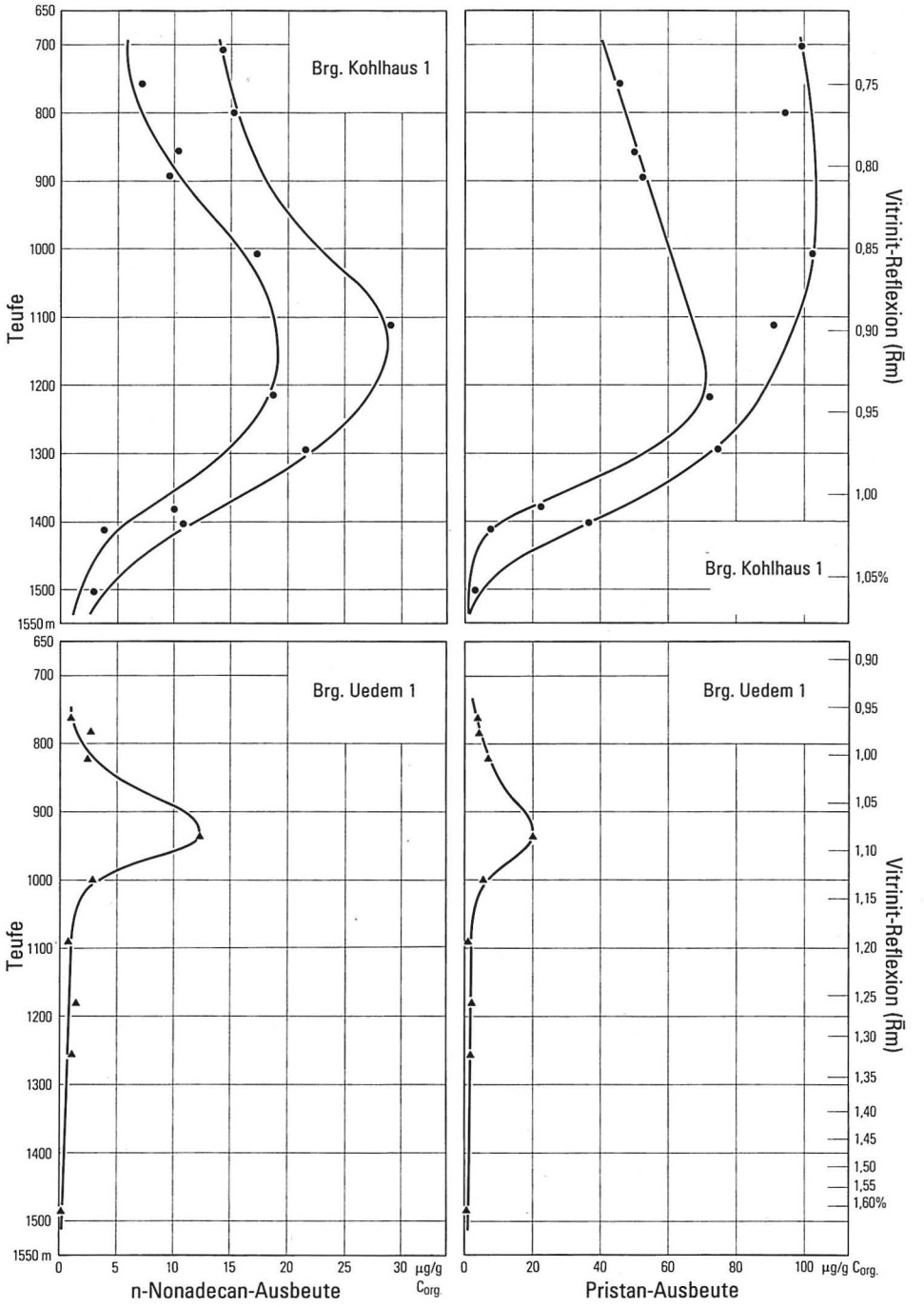


Abb. 1 n-Nonadecan- und Pristan-Ausbeute in Beziehung zu Teufe und Vitrinit-Reflexion von Kohlenproben aus den Bohrungen Kohlhaus 1 und Uedem 1

Fig. 1 n-Nonadecane and Pristane yield in relation to depth and vitrinite reflectance for coal samples of Kohlhaus 1 and Uedem 1 boreholes

stanz (23 % mf bei 709 m; 19 % mf bei 1 007 m) auch die höchsten Pristan-Ausbeuten zu verzeichnen (99,1 bzw. 102 µg/g Corg.). Auf der anderen Seite haben zwei Proben mit fast identischem Liptinitgehalt (14 % mf bei 800 m; 16 % mf bei 857 m) Pristan-Ausbeuten, die sich fast um den Faktor zwei unterscheiden. Eine Erklärung für diese Diskrepanz (94,1 gegen 49,8 µg/g Corg.) mag darin liegen, daß der Vitrinitgehalt bei letzterer Probe 66 % (mf) ist, während er bei ersterer 80 % (mf) beträgt. Das Potential, Pristan zu bilden, scheint demnach nicht nur durch den Anteil der wasserstoffreichen Macerale, sondern auch durch den wechselnden Vitrinitanteil bestimmt.

Ein Vergleich der Daten für die Bohrung Kohlhaus 1 mit denen der Bohrung Uedem 1 (Abb. 1), deren Probenauswahl sich reifemäßig mit einer gewissen Überlappungszone an jene der Bohrung Kohlhaus 1 anschließt, ergibt den erwarteten Verlauf (d. h. die Fortsetzung der Genesekurve nach höheren Reifegraden) erst ab Probe 934 m (1,09 % $\bar{R}m$; 12,4 µg n-$C_{19}H_{40}$/g Corg. und 20,1 µg Pristan/g Corg.), um mit einem allmählichen Abfall der Ausbeuten mit zunehmender Inkohlung gegen Null zu streben. Die drei oberen untersuchten Kohlenproben der Bohrung Uedem 1 (Inkohlungsintervall 0,96 – 1,05 % $\bar{R}m$) ergeben sowohl für n-Nonadecan- als auch für Pristan-Ausbeuten Werte, die erheblich unter den auf äquivalentem Reifeniveau der Bohrung Kohlhaus 1 angetroffenen Werten liegen. Die starken Unterschiede in den Kohlenwasserstoffausbeuten von Proben, die sich auf etwa gleichem Reifeniveau befinden (vgl. z. B. Probe 1 297 m aus der Bohrung Kohlhaus 1 mit 74,4 µg n-$C_{19}H_{40}$/g Corg. bzw. 21,5 µg Pristan/g Corg. gegenüber Probe 763 m aus der Bohrung Uedem 1 mit 3,5 µg n-$C_{19}H_{40}$/g Corg. bzw. 0,90 µg Pristan/g Corg.) können durch die geringen Unterschiede in der Maceralzusammensetzung nicht erklärt werden. Im Lichte des heutigen Kenntnisstandes wird man davon ausgehen müssen, daß die oberen drei Kohlen der Bohrung Uedem 1 (763 m, 786 m, 821 m) Kohlenwasserstoffe des untersuchten Molekularbereichs im Zuge von Migrationsvorgängen abgegeben haben. Diesbezügliche Vermutungen wurden bereits für die aromatischen Kohlenwasserstoffe in einer früheren Arbeit mitgeteilt (RADKE et al. 1982).

Die Berechnung von mittleren Ausbeuten für Einzelkomponenten innerhalb bestimmter Inkohlungsintervalle (RADKE et al. 1980) muß insoweit revidiert werden, daß im Inkohlungsintervall III (0,95 % $\leqq \bar{R}m < 1{,}10$ %), das den Überlappungsbereich beider Bohrungen umfaßt, die drei durch Migrationsvorgänge beeinflußten Proben bei der Mittelung unberücksichtigt bleiben. Für das angegebene Inkohlungsintervall ergeben sich dann für die Ausbeuten Werte, die etwa um den Faktor 1,4 höher liegen als die Werte, die mit Berücksichtigung dieser Proben erhalten wurden (10,3 gegenüber 7,5 µg n-$C_{19}H_{40}$/g Corg.; 27,3 gegenüber 19,8 µg Pristan/g Corg.). Entsprechend erhöhte Werte ergeben sich auch im höheren Molekulargewichtsbereich: Beispielsweise ergibt sich für n-$C_{27}H_{56}$ eine Ausbeute von 9,1 gegenüber bisher 6,4 µg/g Corg.

Neuerdings sind auch für das Flöz Katharina des Ruhrkarbons aufgrund geochemischer Untersuchungen deutliche Anzeichen einer Abgabe von schwerflüchtigen, gesättigten Kohlenwasserstoffen im Zuge von Migrationsprozessen beobachtet worden (ALTEBÄUMER 1983, ALTEBÄUMER & LEYTHAEUSER & SCHAEFER 1983).

7. Ausbeuten ausgewählter aromatischer Kohlenwasserstoffe

Die Änderung der Phenanthren-Ausbeute mit der Teufe, wie sie für die Proben der Bohrung Kohlhaus 1 in Abbildung 2 (oben links) dargestellt ist, zeigt zwischen 800 m und 1 500 m den für eine Kohlenwasserstoff-Genesekurve typischen Verlauf: Eine deutliche Zunahme der Ausbeute ist unterhalb von 1 100 m Teufe erkennbar, also in einer Teufe, bei welcher die n-Nonadecan-Ausbeute bereits ihr Maximum durchläuft. Das Maximum der Phenanthren-Ausbeute von etwa 40 µg/g Corg. wird zwischen 1 300 und 1 400 m Teufe erreicht, entsprechend etwa 1,0 % $\bar{R}$m. Auffallend ist die unsymmetrische Gestalt der Genesekurve, bedingt durch einen drastischen Abfall der Phenanthren-Ausbeute von 36,3 µg/g Corg. bei 1 382 m auf 11,3 µg/g Corg. bei 1 413 m Teufe. Dieser starke Rückgang der Phenanthren-Ausbeute bei nur geringem Inkohlungsfortschritt kann durch das Zusammenwirken zweier Vorgänge erklärt werden: Zum einen kommt es durch Kondensation von Phenanthrenmolekülen zur Bildung von höhermolekularen und damit schwerer löslichen aromatischen Verbindungen, zum anderen blockieren diese Reaktionsprodukte teilweise den Zugang des Lösungsmittels zu inneren Bereichen des Porensystems, so daß die dort zunächst noch unverändert vorhandenen Phenanthrenanteile nicht extrahiert werden können.

Oberhalb von 800 m zeigen zwei Proben der Bohrung Kohlhaus 1 höhere Phenanthren-Ausbeuten, als aufgrund ihres Inkohlungsgrads erwartet werden sollte. Petrologisch zeichnen sich diese Kohlen gegenüber den tiefenmäßig benachbarten durch geringfügig erhöhte Vitrinitgehalte - bezogen auf mineralfreie Substanz - aus. Der Rückgang des Vitrinitgehalts von 84 % (mf) bei 758 m auf 80 % (mf) bei 800 m Teufe kann jedoch kaum als Ursache für die Abnahme der Phenanthren-Ausbeute von 10 µg/g Corg. auf 3 µg/g Corg. angesprochen werden.

Die Ausbeuten an Methylphenanthrenen zeigen für die Proben der Bohrung Kohlhaus 1 den gleichen Verlauf mit der Teufe wie die Phenanthren-Ausbeuten (Abb. 2, oben rechts): Zwischen 700 m und 800 m werden leicht erhöhte Ausbeuten beobachtet, während zwischen 1 300 m und 1 500 m Teufe ein deutlich ausgeprägtes Maximum vorhanden ist. In diesem Teufenintervall erreichen die Methylphenanthren-Ausbeuten etwa 120 µg/g Corg. Da hier im wesentlichen vier Methylphenanthren-Isomere in annähernd gleichen Konzentrationen vorliegen, ergeben sich für die einzelnen Isomere Ausbeuten von jeweils etwa 30 µg/g Corg. Die maximalen Einzelausbeuten sind somit für die Methylphenanthren-Isomere geringfügig niedriger als die maximale Phenanthren-Ausbeute, die im gleichen Teufenintervall erreicht wird.

Für die Proben der Bohrung Uedem 1 verlaufen dagegen die teufenabhängigen Änderungen der Phenanthren- und Methylphenanthren-Ausbeuten nicht parallel (Abb. 2, unten). Der Rückgang der Ausbeute mit der Inkohlung, wie er bei einer Vitrinit-Reflexion 0,90 % $\bar{R}$m zu erwarten gewesen wäre, ist nur für die Methylphenanthrene erkennbar und auch hier nur unterhalb 820 m. Die Phenanthren-Ausbeuten für die drei Kohlenproben aus dem Teufenintervall 763 - 821 m der Bohrung Uedem 1 liegen mit 0,17 - 3,0 µg/g Corg. deutlich unter den Ausbeuten von 11,3 - 36,3 µg/g Corg., wie sie für die Kohlenproben mit entsprechender Vitrinit-Reflexion aus der Bohrung Kohlhaus 1 bestimmt wurden. Diese Unterschiede in den Phenanthren-Ausbeuten finden ihre Entsprechung in den unterschiedlichen Ausbeuten für n-Nonadecan und Pristan, die

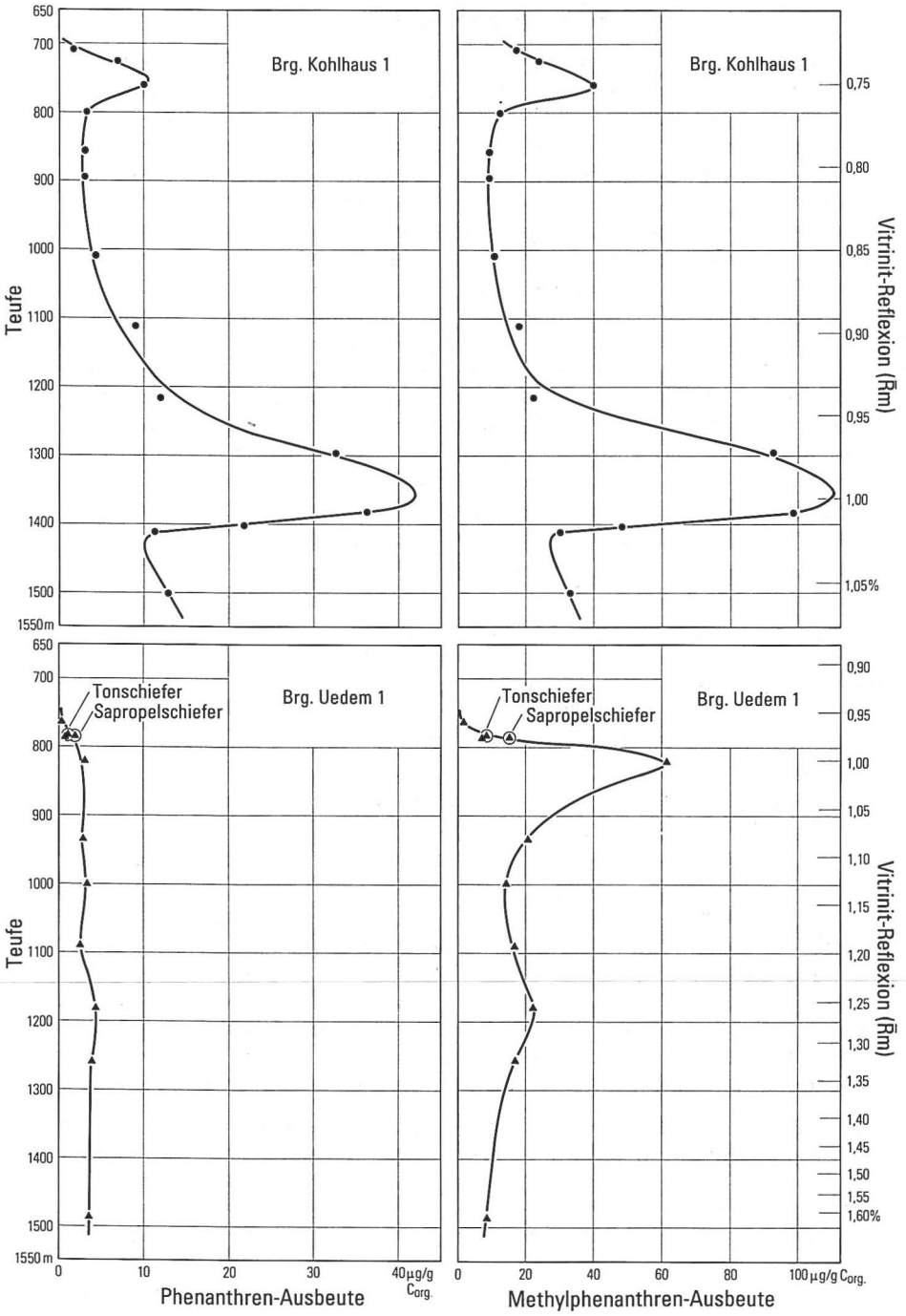


Abb. 2 Phenanthren- und Methylphenanthren-Ausbeute in Beziehung zu Teufe und Vitrinit-Reflexion von Kohlenproben aus den Bohrungen Kohlhaus 1 und Uedem 1

Fig. 2 Phenanthrene and Methylphenanthrene yield in relation to depth and vitrinite reflectance for coal samples of Kohlhaus 1 and Uedem 1 boreholes

zuvor diskutiert wurden. Wie bei diesen gesättigten Kohlenwasserstoffen können auch beim Phenanthren die starken Unterschiede in den Ausbeuten nicht auf unterschiedliche Maceralzusammensetzungen der Kohlenproben zurückgeführt werden. Ein Einfluß der Maceralzusammensetzung auf die Phenanthren-Ausbeute ist auch aufgrund der Analysendaten für die beiden Gesteinsproben aus 783 m und 786 m Teufe der Bohrung Uedem 1 unwahrscheinlich. Bei den Gesteinsproben gab die Probe mit dem höheren Liptinitgehalt (46 % mf bei 786 m gegenüber 3 % mf bei 783 m) die höhere Phenanthren-Ausbeute (1,9 gegenüber 1,0 µg/g Corg.), während bei den Kohlenproben die Probe mit dem geringeren Liptinitgehalt (5 % mf bei 821 m gegenüber 27 % mf bei 786 m) die höhere Phenanthren-Ausbeute (3,0 gegenüber 0,8 µg/g Corg.) lieferte. Die bereits in einer vorausgegangenen Arbeit diskutierte Annahme, daß die Proben im oberen Bereich der Bohrung Uedem 1 im Zuge von Migrationsvorgängen Kohlenwasserstoffe abgegeben haben (RADKE et al. 1982), findet sich demnach bestätigt. Offensichtlich war diese Abgabe teilweise selektiv: Beispielsweise zeigt die Probe in 821 m Teufe eine vorzugsweise Abreicherung des Phenanthrens gegenüber den Methylphenanthrenen. Eine zweite Extraktion nach Erhitzen der Probe auf 350° C ergab, daß diese relative Abreicherung offenbar nur jenen Bereich des Porensystems betrifft, der bei der nicht thermisch behandelten Probe für das Lösungsmittel zugänglich ist. Folglich gilt die früher vertretene Auffassung (LEYTHAEUSER & WELTE 1969), aufgrund der besonderen Porenstruktur und der hohen Adsorptionskapazität der Kohle sei eine Migration schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe generell auszuschließen, nicht uneingeschränkt. Weitgehend von Migrationseffekten unbeeinflußt erscheint jedoch weiterhin jener Anteil von Kohlenwasserstoffen, der erst nach dem Vorerhitzen der Kohle auf 350°C extrahiert werden kann (RADKE et al. 1982).

8. Die Anwendung des Methylphenanthren-Index als Inkohlungsparameter

Die Untersuchung der Aromatenfraktionen konzentrierte sich in dieser Studie auf das Phenanthren und die Gruppe der isomeren Methylphenanthrene. Vorausgegangene Untersuchungen an Gesteinsproben aus den westkanadischen und nordwestdeutschen Becken hatten für das lösliche organische Material Hinweise auf eine Reifeabhängigkeit der Relativanteile dieser Verbindungen geliefert (RADKE & WELTE & WILLSCH 1982, RADKE & WELTE 1983). Insbesondere zeigte der gemäß Gleichung (1) definierte Methylphenanthren-Index (MPI 1) eine sehr gute Korrelation mit der Vitrinit-Reflexion.

$$\text{MPI 1} = \frac{1{,}5(2\text{-MP} + 3\text{-MP})}{\text{P} + 1\text{-MP} + 9\text{-MP}} \qquad (1)$$

P = Phenanthren-Konzentration

MP = Methylphenanthren-Konzentration (Stellung der Methylgruppe in 2-, 3-, 1- und 9-Position

Ein Korrelationskoeffizient $r^2 > 0{,}8$, wie er für etwa 80 Proben unterschiedlicher Herkunft ermittelt werden konnte, bildet die Grundlage für die Berechnung der Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}c$) aus dem MPI 1. Durch Regressionsanalyse wurden die Gleichungen (2) und (3) erhalten, wobei dem Umstand Rechnung

zu tragen war, daß bei $\bar{R}m = 1{,}35\,\%$ der Korrelationskoeffizient sein Vorzeichen wechselt (RADKE & WELTE 1983).

$$\bar{R}c = 0{,}60\ MPI\,1 + 0{,}40 \quad (\text{für } \bar{R}m < 1{,}35\,\%) \tag{2}$$

$$\bar{R}c = -0{,}60\ MPI\,1 + 2{,}30 \quad (\text{für } \bar{R}m \geqq 1{,}35\,\%) \tag{3}$$

Zur Überprüfung dieses Konzepts sind für die hier untersuchte Kohlenserie in Abbildung 3 die gemessene Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}m$) und die aus dem MPI 1 berechnete Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}c$) gegen die Teufe aufgetragen. Für die Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 stimmt der berechnete Inkohlungsgradient weitgehend mit dem gemessenen überein, wobei jedoch die $\bar{R}c$-Werte im Mittel um 0,06 % (absolut) niedriger sind als die entsprechenden $\bar{R}m$-Werte. Eine ähnlich gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Inkohlungsgradienten wurde im westkanadischen Becken für die Bohrung Elmworth 6-28-68-13W6M beobachtet (WELTE et al. 1984). Dort lagen jedoch im Bereich 0,71 – 0,94 % $\bar{R}m$ die $\bar{R}c$-Werte im Mittel um 0,04 % (absolut) über den entsprechenden $\bar{R}m$-Werten. Angesichts dieser Differenz zwischen $\bar{R}m$ und $\bar{R}c$ stellt sich die Frage, welche Bedeutung die Absolutwerte beider Parameter in Beziehung zur Kohlenwasserstoffgenese besitzen. In der Elmworth-Bohrung wird das Maximum der C_{15+}-Kohlenwasserstoff-Genesekurve bei

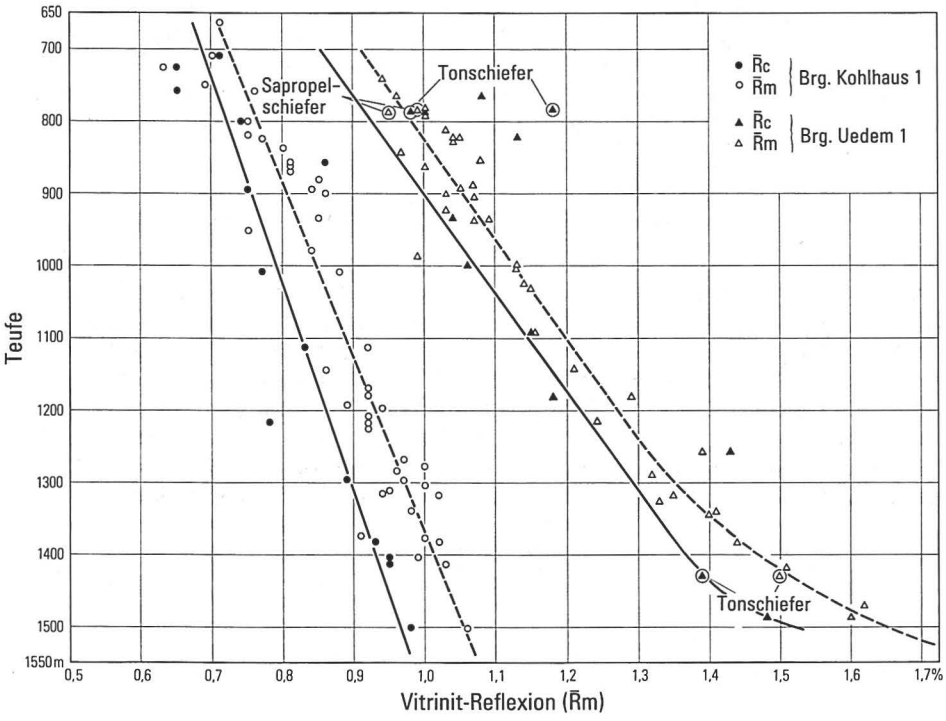


Abb. 3 Zunahme der berechneten Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}c$) und der gemessenen Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}m$) mit der Teufe für Kohlenproben aus den Bohrungen Kohlhaus 1 und Uedem 1

Fig. 3 Increase of calculated vitrinite reflectance ($\bar{R}c$) and measured vitrinite reflectance ($\bar{R}m$) with depth for coal samples from Kohlhaus 1 and Uedem 1 boreholes

0,79 % $\bar{R}_m$ beziehungsweise 0,85 % $\bar{R}_c$ angetroffen, während es in der Bohrung Kohlhaus 1 bei 0,92 % $\bar{R}_m$ beziehungsweise 0,83 % $\bar{R}_c$ liegt. Es zeigt sich, daß die Maxima der Genesekurven auf der $\bar{R}_c$-Skala praktisch zusammenfallen, während sich auf der $\bar{R}_m$-Skala für die Maxima eine Differenz von 0,13 % $\bar{R}_m$ ergibt. Die Vorhersage des Verlaufs von Kohlenwasserstoff-Genesekurven auf der Grundlage von $\bar{R}_c$-Werten ist somit möglicherweise zuverlässiger als eine Vorhersage auf der Basis von $\bar{R}_m$-Werten.

Für die Proben aus der Bohrung Uedem 1 wird der Vergleich von $\bar{R}_m$- und $\bar{R}_c$-Werten im oberen Teufenbereich dadurch erschwert, daß $\bar{R}_c$ infolge einer selektiven Phenanthren-Abreicherung zu höheren Werten verschoben worden ist. Wie bereits diskutiert, erstreckt sich die Abreicherung nicht auf das nach dem Erhitzen der Probe zusätzlich extrahierbare Material. In der Tat zeigt dieser zweite Extrakt $\bar{R}_c$-Werte von 0,95 – 1,02 %, während der erste Extrakt – ohne Vorerhitzen der Probe – $\bar{R}_c$-Werte von 0,98 – 1,18 % ergab (RADKE et al. 1982). Im Teufenintervall 900 – 1 200 m stimmen, ähnlich wie bei der Bohrung Kohlhaus 1, berechneter und gemessener Inkohlungsgradient praktisch überein. Auch bei den Proben aus der Bohrung Uedem 1 liegen die $\bar{R}_c$-Werte im Mittel um 0,06 % (absolut) unter den entsprechenden $\bar{R}_m$-Werten. Für die unterste Probe (1 486 m) wird nach Gleichung (3) ein zu niedriger $\bar{R}_m$-Wert von 1,22 % erhalten, während unter Verwendung von Gleichung (2) der berechnete Wert von 1,48 % $\bar{R}_c$ besser mit dem gemessenen Wert von 1,60 % $\bar{R}_m$ übereinstimmt. Dies mag damit zusammenhängen, daß für Kohlenproben eine Abnahme des MPI 1 mit zunehmender Vitrinit-Reflexion jenseits von 1,35 % $\bar{R}_m$ weniger gut dokumentiert ist als für Gesteinsproben. Offenbar hat sich diese Trendumkehr, die durch einen Wechsel der vorherrschenden Reaktionen von Methylierung und Umlagerung zu Demethylierung erklärt werden kann (RADKE & WELTE & WILLSCH 1982), bei der hier betrachteten Kohlenprobe verzögert. In der Tat wurde beim Erhitzen der Probe auf 400° C eine Abnahme des MPI 1 von 1,80 auf 0,49 beobachtet. Nach Gleichung (3) entspricht dies einer Zunahme des $\bar{R}_c$-Wertes von 1,22 % auf 2,00 %, während sich der $\bar{R}_m$-Wert bei der Pyrolyse nicht signifikant veränderte. Demnach vermag der $\bar{R}_c$-Wert eher Aufschluß über chemische Veränderungen der Kohle im Zuge der Pyrolyse zu geben als der $\bar{R}_m$-Wert.

9. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Die Untersuchung von Kohlen unter organisch-geochemischen Gesichtspunkten wird durch die äußerst komplexe Zusammensetzung der Extrakte erschwert. Selbst bei Anwendung hochauflösender Glaskapillaren erwies sich die flüssigkeitschromatographische Vortrennung des Extrakts in Kohlenwasserstoffgruppen als unabdingbare Voraussetzung für die gaschromatographische Bestimmung von Einzelkomponenten. Die Bestimmung einzelner trizyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe erforderte zudem noch die weitere Auftrennung der Aromatenfraktion in Ringklassen, die mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie durchgeführt wurde.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit bei der Interpretation der an Kohlenextrakten gewonnenen Analysendaten ergibt sich aus dem Umstand, daß bei Verwendung unspezifischer Lösungsmittel bei Raumtemperatur oder mäßig erhöhter Temperatur nur ein Teil der in der Kohle tatsächlich vorhandenen niedermolekularen Bestandteile extrahiert werden kann. Auf der anderen Sei-

te besteht bei Anwendung spezifischer Lösungsmittel und höherer Temperatur die Gefahr, daß es durch chemischen oder thermischen Abbau der Kohlenmatrix zu einer Neubildung niedermolekularer Komponenten kommt. Auch in diesem Fall ist der Kohlenextrakt nicht repräsentativ für das organische Material, das ursprünglich nicht an die Kohlenmatrix gebunden war, womit geochemische Aussagemöglichkeiten stark eingeschränkt werden. Obwohl diese Zusammenhänge seit längerem bekannt sind, wurde erst in jüngerer Zeit auf die Fehlermöglichkeiten hingewiesen, die sich aus einer unkritischen Anwendung organisch-geochemischer Parameter auf nichtrepräsentative Kohlenextrakte ergeben können (BARTLE et al. 1979). In der vorliegenden Arbeit wurde daher immer wieder auf die Ausbeuten eines zweiten Extraktionsschritts Bezug genommen, dem die vorextrahierten und auf 350°C erhitzten Proben unterworfen worden waren. Unter den gewählten Bedingungen kann davon ausgegangen werden, daß ein repräsentativer Extrakt ohne nennenswerten Abbau der Kohlenmatrix erhalten wird (BARTLE & MARTIN & WILLIAMS 1975).

Die Untersuchungen an einer Kohlenserie aus dem Ruhrkarbon haben gezeigt, daß sich die Extrakte sowohl im Hinblick auf die Ausbeuten als auch in ihrer Zusammensetzung in charakteristischer Weise mit dem Inkohlungsgrad ändern. Für die Proben aus der Bohrung Kohlhaus 1 erreichen die Ausbeuten bei 0,90 % $\bar{R}_m$ ihr Maximum, wobei die Extraktkurve einen Verlauf zeigt, der jenem der Kohlenwasserstoff-Genesekurve für Erdölmuttergesteine ähnelt. Der vergleichsweise steilere Abfall der Extraktkurve bei Kohlen jenseits 0,90 % kann teilweise auf einen Rückgang der Extrahierbarkeit der niedermolekularen Komponenten zurückgeführt werden, der durch ein Verstopfen von Poren durch schwerlösliche Reaktionsprodukte bedingt sein könnte. Dies ist insbesondere für Phenanthren und die Methylphenanthrene wahrscheinlich, deren Ausbeuten jenseits 1,0 % $\bar{R}_m$ sehr rasch mit weiterem Inkohlungsfortschritt abnehmen, während die Ausbeuten von n-Nonadecan und Pristan jenseits 0,90 % $\bar{R}_m$ wesentlich langsamer mit der Teufe abnehmen.

Für die Proben aus dem oberen Teufenbereich der Bohrung Uedem 1 wurden wesentlich geringere Ausbeuten erhalten, als nach den Untersuchungen an der Bohrung Kohlhaus 1 bei einem Inkohlungsgrad entsprechend 0,95 – 1,05 % $\bar{R}_m$ zu erwarten gewesen wäre. Dies gilt für den Gesamtextrakt wie für Einzelkomponenten und kann durch ein Auswandern bevorzugt niedermolekularer Bestandteile im Zuge von Migrationsprozessen erklärt werden. Eine Migration und Abgabe schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe kann somit für Kohlen nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, jedoch ist sie offensichtlich auf Bereiche beschränkt, deren Porenstruktur eine Bewegung größerer Moleküle über hinreichende Strecken zuläßt. Als mögliche Migrationsbahnen kommen hierbei Zwischenräume entlang von Korngrenzen zwischen verschiedenen Maceralpartikeln in Frage, die sich im Verlauf der Inkohlung aufgrund differentieller Volumenänderungen gebildet haben könnten (ALLAN & LARTER 1983). Auf die erdölgeologische Bedeutung dieser Prozesse und ihren möglichen Beitrag zur Bildung kommerzieller Erdöllagerstätten haben kürzlich DURAND & PARRATTE & BERTRAND (1983) hingewiesen.

Hinweise auf Migrationsvorgänge ergab auch die mikroskopische Untersuchung. Bei 0,95 % $\bar{R}_m$ wurden unter Blaulichtbestrahlung stark gelb fluoreszierende Exsudate in Rissen und großen Poren beobachtet (M. TEICHMÜLLER 1982). Eine beginnende Zunahme des Gehaltes an fluoreszierenden Vitriniten bei gleichem Inkohlungsgrad kann auf eine zunehmende Imprägnation der

Vitrinite durch migriertes, ölartiges Material zurückgeführt werden. Daß ein Teil dieses Materials im oberen Bereich der Bohrung Uedem 1 aus der Kohle ausgewandert ist, würde auch erklären, warum bei gleichem Inkohlungsgrad der Gehalt der Kohlen an fluoreszierenden Vitriniten in der Bohrung Kohlhaus 1 höher ist als in der Bohrung Uedem 1.

Ebenfalls auf den Einfluß von Migrationsvorgängen zurückgeführt werden können die positiven Abweichungen der aus dem Methylphenanthren-Index (MPI 1) berechneten Vitrinit-Reflexion ($\bar{R}c$) von den gemessenen $\bar{R}m$-Werten, die nur im oberen Bereich der Bohrung Uedem 1 beobachtet werden. Gemeinhin liegen für beide Bohrungen, bei weitgehend übereinstimmenden Regressionskoeffizienten, die $\bar{R}c$-Werte geringfügig niedriger als die $\bar{R}m$-Werte, das heißt beide Inkohlungsparameter unterscheiden sich praktisch nur in ihren Regressionskonstanten. Durch Vergleich der Bohrung Kohlhaus 1 mit einer Bohrung im Elmworth-Gasfeld, Westkanada, konnte gezeigt werden, daß in beiden Bohrungen das Maximum der C_{15+}-Kohlenwasserstoff-Genesekurve bei praktisch dem gleichen $\bar{R}c$-Wert liegt, während sich die Maxima in ihrem $\bar{R}m$-Wert deutlich unterscheiden. Demnach scheint der Methylphenanthren-Index und der daraus abgeleitete $\bar{R}c$-Wert als chemischer Reifeparameter in diesem Fall ein besseres Maß für die Charakterisierung des Ablaufs der Kohlenwasserstoffgenese zu sein als die Vitrinit-Reflexion.

Dank: Wir danken der Ruhrkohle AG (Essen) für die Bereitstellung der Proben. Unser besonderer Dank gilt Herrn K. OTTENJANN (Krefeld) für die Durchführung der Reflexionsmessungen und Maceralanalysen sowie Herrn H. WILLSCH (Jülich), der einen Großteil der organisch-chemischen Analysen durchführte. Für technische Hilfe danken wir Frau B. KAMMER und Herrn W. LAUMER (beide Jülich). Den Herren Dr. C. CORNFORD, Dr. B. DURAND, T. POWELL, Prof. Dr. H. JÜNTGEN und Dr. J. ALLAN sind wir für wertvolle Hinweise und Kommentare zu großem Dank verpflichtet. Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Forschungsprojekt „Liptinit-Diagenese", Te 53/7-8) und dem Bundesministerium für Forschung und Technologie (Forschungsvorhaben Nr. 3070 B) für finanzielle Unterstützung der Arbeiten.

10. Schriftenverzeichnis

ALLAN, J., & BJORØY, M., & DOUGLAS, A. G. (1977): Variation in the content and distribution of high molecular weight hydrocarbons in a series of coal macerals of different ranks. - Adv. org. Geochem., **1975**: 633 - 654, 8 Abb., 3 Tab.; Madrid (Enadimsa).

ALLAN, J., & DOUGLAS, A. G. (1977): Variations in the content and distribution of n-alkanes in a series of carboniferous vitrinites and sporinites of bituminous rank. - Geochim. cosmochim. Acta, **41**: 1 223 - 1 230, 4 Abb., 2 Tab.; Oxford, New York.

ALLAN, J., & LARTER, S. R. (1983): Aromatic structures in coal maceral extracts and kerogens. - Adv. org. Geochem., **1981**: 534 - 545, 8 Abb.; Chichester (Wiley).

ALTEBÄUMER, A. M. (1983): Geochemische Untersuchungen zur Klärung des Einflusses der Fazies sowie der primären Migration auf Menge und Zusammensetzung des organischen Materials im Flöz Katharina (Westfal A) und in den hangenden Schiefertonen (Westfal B) im Ruhrgebiet. - Diss. Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen: 305 S., 64 Abb., 8 Tab.; Aachen.

ALTEBÄUMER, A. M., & LEYTHAEUSER, D., & SCHAEFER, R. G. (1983): Geochemistry of the marine 'Katharina' shale in the coal-bearing Upper Carboniferous strata of the Ruhr District, F.R. Germany: Source-controlled versus migration-related effects. - Adv. org. Geochem., **1981**: 561 - 567, 5 Abb.; Chichester (Wiley).

BARTLE, K. D., & JONES, D. W., & PAKDEL, H., & SNAPE, C. E., & CALIMI, A., & OLCAY, A., & TUGRUL, T. (1979): Paraffinic hydrocarbons from supercritical-gas extracts of coal as organic geochemical markers. - Nature, **277**: 284 - 287, 1 Abb., 1 Tab.; London.

BARTLE, K. D., & MARTIN, T. G., & WILLIAMS, D. F. (1975): Chemical nature of a supercritical-gas extract of coal at 350°C. - Fuel, **54**: 226 - 235, 3 Abb., 5 Tab.; London.

BROOKS, J. D., & SMITH, J. W. (1967): The diagenesis of plant lipids during the formation of coal, petroleum and natural gas. I. Changes in the n-paraffin hydrocarbons. - Geochim. cosmochim. Acta, **31**: 2389 - 2397, 2 Abb., 1 Tab.; Oxford, New York.

BROWN, H. R., & WATERS, P. L. (1966): The function of solvent extraction products in the coking process. I. Yields, properties and mode of release of chloroform extracts. - Fuel, **45**: 17 - 39, 9 Abb., 7 Tab.; London.

DROZDZEWSKI, G. (1978): Geologische Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Aufschlußbohrungen" (ET 2238A). - In: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 - 1980. Statusreport 1978, Geotechnik und Lagerstätten, **2**: 757 - 768, 5 Abb.; Jülich (Projektleitung Energieforschung, PLE, KFA Jülich).

DRYDEN, I. G. C. (1950): Behaviour of bituminous coals towards solvents. I, II. - Fuel, **29**: 197 - 207; 221 - 228; London.

DRYDEN, I. G. C., & PANKHURST, K. S. (1955): Plastic softening of coking coals on heating. - Fuel, **34**: 363 - 366, 2 Abb., 1 Tab.; London.

DURAND, B., & NICAISE, G., & ROUCACHÉ, J., & VANDENBROUCKE, M., & HAGEMANN, H. W. (1977): Étude géochimique d'une série de charbons. - Adv. org. Geochem., **1975**: 601 - 631, 13 Abb., 3 Tab.; Madrid (Enadimsa).

DURAND, B., & PARRATTE, M., & BERTRAND, P. (1983): Le potentiel en huile des charbons: une approche géochimique. - Rev. Inst. Franç. Pétrole, **38**: 709 - 721, 6 Abb.; Paris.

GREEN, T., & KOVAC, J., & BRENNER, D., & LARSEN, J. W. (1982): The macromolecular structure of coals. - In: MEYERS, R. A.: Coal Structure: 199 - 282, 43 Abb., 3 Tab.; New York (Acad. Press).

HOLLERBACH, A. (1982): Chemische Charakterisierung von Kohlen unterschiedlicher Inkohlung. - Techn. Mitt., **75**: 94 - 100, 12 Abb., 1 Tab.; Essen (Haus d. Technik).

KRÖGER, C. (1956): Die Steinkohleextraktion. II. Einfluß des Lösungsmittels, des Inkohlungsgrades und der Temperatur auf die Extraktion. - Erdöl u. Kohle, **9**: 516 - 520, 10 Abb.; Leinfelden.

LEYTHAEUSER, D. (1968): Die Verteilung höherer n-Paraffine und anderer schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe in Kohlen und Gesteinen des saarländischen Karbons und Devons in Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen. - Diss. Univ. Würzburg: 137 S., 59 Abb.; Würzburg.

LEYTHAEUSER, D., & WELTE, D. H. (1969): Relation between distribution of heavy n-paraffins and coalification in Carboniferous coals from the Saar District, Germany. - Adv. org. Geochem., **1968**: 429 - 442, 7 Abb.; Oxford (Pergamon Press).

MUKHOPADHYAY, P. K., & HAGEMANN, H. W., & HOLLERBACH, A., & WELTE, D. H. (1979): The relation between organic geochemical and petrological parameters of coal in Indian coal basins. - Energy Sources, **4**: 313 - 328, 5 Abb., 2 Tab.; New York.

ŌUCHI, K. (1961): The effect of preheating on the yields of chloroform extracts from coals. - Fuel, **40**: 485 - 490, 2 Abb., 1 Tab.; London.

PALM, H. (1978): Aufschlußbohrungen in Steinkohlenlagerstätten der Bundesrepublik Deutschland (ET 2237 A). - In: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 - 1980. Statusreport 1978, Geotechnik und Lagerstätten, **2**: 737 - 755, 12 Abb.; Jülich (Projektleitung Energieforschung, PLE, KFA Jülich).

RADKE, M., & SCHAEFER, R. G., & LEYTHAEUSER, D., & TEICHMÜLLER, M. (1980): Composition of soluble organic matter in coals: relation to rank and liptinite fluorescence. - Geochim. cosmochim. Acta, **44**: 1787 - 1800, 11 Abb., 1 Tab.; Oxford, New York.

RADKE, M., & SITTARDT, H. G., & WELTE, D. H. (1978): Removal of soluble organic matter from rock samples with a flow-through extraction cell. - Anal. Chem., **50**: 663 - 665, 3 Abb., 3 Tab.; Washington.

RADKE, M., & WELTE, D. H. (1983): The Methylphenanthrene Index (MPI): a maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. - Adv. org. Geochem., **1981**: 504 - 512, 9 Abb., 1 Tab.; Chichester (Wiley).

RADKE, M., & WELTE, D. H., & WILLSCH, H. (1982): Geochemical study on a well in the Western Canada Basin: relation of the aromatic distribution pattern to maturity of organic matter. - Geochim. cosmochim. Acta, **46**: 1-10, 6 Abb., 1 Tab.; Oxford, New York.

RADKE, M., & WILLSCH, H., & LEYTHAEUSER, D., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Aromatic components of coal: relation of distribution pattern to rank. - Geochim. cosmochim. Acta, **46**: 1831-1848, 9 Abb., 4 Tab.; Oxford, New York.

RADKE, M., & WILLSCH, H., & WELTE, D. H. (1980): Preparative hydrocarbon group type determination by automated medium pressure liquid chromatography. - Anal. Chem., **52**: 406-411, 3 Abb., 4 Tab.; Washington.

TEICHMÜLLER, M. (1974 a): Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **24**: 65-112, 10 Abb., 6 Tab., 15 Taf.; Krefeld.

- (1974 b): Generation of petroleum-like substances in coal seams as seen under the microscope. - Adv. org. Geochem., **1973**: 379-407, 5 Abb., 1 Tab., 6 Taf.; Paris (Technip).

- (1979 a): Die Liptinit-Diagenese in der Bohrung Kohlhaus 1 und ihre Beziehungen zur Bitumen-Neubildung und Verkokbarkeit. - 25 S., 12 Abb., 4 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

- (1979 b): Chemische und mikroskopische Untersuchungen zur Liptinit-Diagenese an Mattkohlen-Proben aus der Bohrung Uedem 1. - 41 S., 20 Abb., 4 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

- (1982): Fluoreszenzmikroskopische Änderungen von Liptiniten und Vitriniten mit zunehmendem Inkohlungsgrad und ihre Beziehungen zu Bitumenbildung und Verkokungsverhalten. - 119 S., 35 Abb., 10 Tab., 5 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

THOMAS, J., & DAMBERGER, H. H. (1976): Internal surface area, moisture content and porosity of Illinois coals: variations with coal rank. - Ill. State Geol. Surv. Circ., **493**: 38 S., 15 Abb., 4 Tab.; Urbana.

VAHRMAN, M. (1972): The smaller molecules - an overlooked component of coal. - Chem. Brit., **8**: 16-24, 3 Tab.; London.

WELTE, D. H., & SCHAEFER, R. G., & STOESSINGER, W., & RADKE, M. (1984): Gas generation and migration in the Deep Basin of Western Canada. - Mitt. geol.-paläont. Inst. Univ. Hamburg, **56**: 263-285, 17 Abb.; Hamburg.

Eingang des Manuskriptes: 3. 9. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	219 - 229, 3 Abb., 1 Tab.	Krefeld, März 1985

Aspekte der Erkennung und Beurteilung der primären Migration des Erdöls - erläutert an einem Beispiel aus dem Ruhrkarbon

Von DETLEV LEYTHAEUSER, RAINER G. SCHAEFER und MATTHIAS RADKE *

Geochemical analysis, hydrocarbon expulsion, primary migration, fractionation, source rock, shale, Westphalian A/B, borehole (Kökelsumer Heide 1), Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia (Ruhr district)

K u r z f a s s u n g : Organisch-geochemische Untersuchungen haben gezeigt, daß in Teilen des Westfals A und B der Bohrung Kökelsumer Heide 1 des Ruhrkarbons eine Wechselfolge von muttergesteinsartigen Schiefertonen und potentiellen Sandstein-Trägerhorizonten vorliegt. Anhand der Analyse engständiger Kernproben war es möglich, die Effekte der Abgabe von Erdöl-Kohlenwasserstoffen aus den Muttergesteinslagen im Zuge der primären Migration im einzelnen zu zeigen. Aspekte dieser in mehreren Arbeiten bereits dokumentierten Beobachtungen und Konzepte zur Erkennung und Beurteilung der primären Migration von Erdöl-Kohlenwasserstoffen werden hier am Beispiel von zwei dünnen, in Sandsteinen eingeschalteten Muttergesteinslagen gezeigt. In beiden Fällen war die Abgaberate („expulsion efficiency") hoch, zum Beispiel für die C_{15+}-gesättigten Kohlenwasserstoffe bis zu 76 %, und die primäre Migration war mit deutlichen Fraktionierungseffekten verbunden. Abschließend wird die mögliche Relevanz dieser Beobachtungen für die Erdölgeologie kurz diskutiert.

[Selected aspects regarding the recognition and quantification of the effects of primary migration. Exemplified by a case history from Upper Carboniferous strata of the Ruhr district, F.R. Germany]

A b s t r a c t : Based on geochemical analysis parts of the Westphalian A and B penetrated by borehole Kökelsumer Heide 1 (Ruhr district, F.R. Germany) can be considered as an interbedded sequence of source rock-type shales and sandstone carrier beds. By analysis of closely spaced core samples the effects of hydrocarbon expulsion during primary migration could be shown in detail. Selected aspects of these observations and conclusions regarding the recognition and quantification of primary migration processes are discussed in this paper utilising two thin source rock-type shale layers interbedded in a sandstone as an example. For both layers the expulsion efficiency was determined and found to be high, e.g. reaching up to 76 % for the saturated hydrocarbon fraction. Also, hydrocarbon expulsion was associated with pronounced compositional fractionation effects. In the final chapter the relevance of these observations for petroleum exploration is discussed.

[Aspects de détermination et signification de la migration primaire du pétrole. Un exemple du Carbonifère de la Ruhr]

R é s u m é : Des travaux récents ont permis de suivre les effets de migration primaire des composés du pétrole dans les sédiments. Au moyen des méthodes chimiques organiques on a étudié une partie du Westfalien A et B du forage Kökelsumer Heide 1 qui se compose des strates alternantes des lits argileux (du type roche-mère) et des lits de sable (du type

* Anschrift der Autoren: Prof. Dr. D. LEYTHAEUSER, Dr. R. G. SCHAEFER und Dr. M. RADKE, Institut für Erdöl und Organische Geochemie (ICH-5), Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Postfach 1913, D-5170 Jülich

réservoir). Comme suite d'une série de carottes très détaillée on a pu démontrer les effets d'expulsion du pétrole des roches-mère du point de vue intégral et moléculaire dans une situation exemplaire. Les données analytiques permettaient la calculation des efficacités d'expulsion pour deux lits minces argileux placés entre des strates sableuses (jusqu'à 76 % pour les hydrocarbures saturés C_{15+}). En outre, les effets d'expulsion étaient associés à un fractionnement en fonction du type d'hydrocarbure. Finalement les observations sont discutées brièvement en relation de la géologie pétrolière.

1. Einleitung

Zur Bildung einer Kohlenwasserstofflagerstätte müssen bekanntlich eine Reihe von geologischen Prozessen in der richtigen räumlichen und zeitlichen Relation zueinander ablaufen: die Genese von Kohlenwasserstoffen in einem Muttergestein, der Transport dieser Kohlenwasserstoffe im Zuge der primären und sekundären Migration (im Muttergestein bzw. im Trägergestein), die Bildung und Erhaltung von Porenraum im Trägergestein und die Entstehung einer Fallensituation durch Gesteine mit abdichtenden Eigenschaften. Unter diesen Teilprozessen ist derjenige der primären Migration des Erdöls trotz intensiver Forschungsanstrengungen auch heute noch der am wenigsten bekannte. Dies betrifft vor allem Art und Mechanismus des Stofftransports bei der Migration, seine Effektivität sowie seine zeitliche Einordnung in der geologischen Geschichte des Muttergesteins. Einen Überblick über den diesbezüglichen Kenntnisstand geben TISSOT & WELTE (1978), HUNT (1979) und DURAND (1983).

Die Frage der Erkennung und Beurteilung von Migrationsprozessen ist für die Explorationspraxis wichtig. Grundsätzlich stellt sich dabei die Frage, ob man durch geeignete geochemische Untersuchungsverfahren feststellen kann, ob und in welchem Ausmaß Erdölkohlenwasserstoffe aus einem bestimmten Muttergestein im Zuge der primären Migration abgegeben wurden. Zur Lösung dieser geochemischen Problemstellung wurden von den Autoren in den letzten Jahren eine Reihe von Methoden und Konzepten entwickelt und erfolgreich auf einige geologische Situationen angewandt (LEYTHAEUSER et al. 1983, 1984; MACKENZIE et al. 1983; LEYTHAEUSER & SCHAEFER 1984; LEYTHAEUSER & RADKE & SCHAEFER 1984). In der vorliegenden Arbeit werden ausgewählte Aspekte dieser neu entwickelten Verfahren zur Erkennung und Beurteilung von Migrationsprozessen an einem Beispiel aus dem Oberkarbon des nördlichen Ruhrgebiets erläutert.

2. Proben und Methoden

Ein Schlüssel zur geochemischen Erfassung und zum Verständnis von Migrationsvorgängen ist die Art der Probennahme. Das hier erläuterte Konzept zur Erkennung und Beurteilung von Migrationsprozessen setzt - beim gegenwärtigen Kenntnisstand - das Vorhandensein einer engständigen Probenserie (etwa im Meterbereich) voraus, die unter lithologischen Gesichtspunkten entnommen wurde und sich auf konventionelle Bohrkerne beschränken sollte. Eine solche Probenserie stand aus der Bohrung Kökelsumer Heide 1 zur Verfügung, die im Rahmen eines Kohlenexplorationsprogramms der Ruhrkohle AG im nördlichen Ruhrgebiet gebohrt worden war. Die hier diskutierten Proben beschränken sich auf das Teufenintervall von 1 120 bis ca. 1 155 m (Abb. 1). In diesem Bereich wurden vorwiegend schwachsandige bis sandfreie, mittel- bis dunkelgraue Schiefertone des unteren Westfals B durchteuft.

In einem ca. 5 m mächtigen eingelagerten Intervall von fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen treten zwei dünne Zwischenlagen (0,75 und 0,20 m mächtig) von Schiefertonen der gleichen Lithologie auf. Die Daten dieser beiden Proben stehen im Vordergrund der nachfolgenden Diskussion. Weiterhin wurden, wie in Abbildung 1 gezeigt, Proben aus dem Bereich der mächtigen Schiefertonintervalle analysiert. Das hier diskutierte Teufenintervall 1 120 - 1 155 m liegt einheitlich im Bereich der nichtmarinen Schiefertone und ca. 10 m über dem marinen Katharina-Horizont. Die stratigraphische Position der geochemisch analysierten Proben ist in Abbildung 1 mit einem Pfeil angezeigt.

Eine wesentliche Voraussetzung für das erläuterte Konzept zur Erkennung und Beurteilung von Migrationsphänomenen war die Durchführung der gaschromatographischen Analyse der schwerflüchtigen gesättigten Kohlenwasserstoffe (C_{15+}) auf quantitativer Basis. Während die n-Alkane in nahezu allen geochemischen Routineuntersuchungen nur im Hinblick auf Veränderungen ihrer Relativverteilung untersucht werden, konnten hier die Konzentrationen der einzelnen Homologen sowie von Pristan und Phytan (in ng/g Corg. des Gesteins) gaschromatographisch ermittelt werden. Dieses Verfahren setzt unter anderem die Verwendung eines internen Standards für den gesamten Analysengang voraus. Die feingemahlenen Gesteinsproben wurden mit Dichlormethan mittels des modifizierten „Flow-Blending"-Verfahrens extrahiert (RADKE & SITTARDT & WELTE 1978), und aus den erhaltenen Extrakten wurden durch Mitteldrucksäulenchromatographie (MPLC) die Fraktionen der gesättigten und der aromatischen Kohlenwasserstoffe abgetrennt (RADKE & WILLSCH & WELTE 1980). Die erstere wurde mittels Kapillarsäulen-Gaschromatographie auf ihre Detailzusammensetzung analysiert. Die Charakterisierung der Kerogenqualitäten wurde mittels Pyrolyse nach dem Rock-Eval-Verfahren (ESPITALÉ et al. 1977) vorgenommen und die Reife

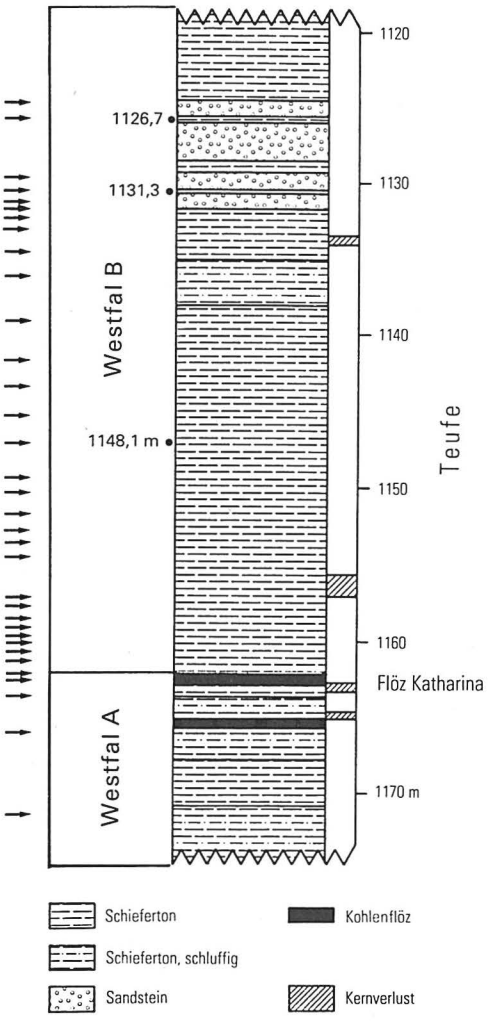


Abb. 1
Stratigraphie und Lithologie des geochemisch untersuchten Abschnitts der Bohrung Kökelsumer Heide 1 (nach Angaben der Ruhrkohle AG)

Fig. 1
Stratigraphy and lithology of the analysed section from Kökelsumer Heide 1 borehole (acc. to information supplied from Ruhrkohle AG)

des feinverteilten organischen Materials durch Messung der Vitrinit-Reflexion bestimmt.

3. Das organische Material der Schiefertone

Phänomene der primären Migration können definitionsgemäß nur dort beobachtet werden, wo Kohlenwasserstoffe generiert worden sind. Deshalb ist die Untersuchung und geochemische Charakterisierung ihrer Bildungsbedingungen eine unerläßliche Voraussetzung. Im Falle der hier besprochenen Schichtenfolge ist dies im einzelnen in einer früheren Arbeit ausgeführt (LEYTHAEUSER & SCHAEFER 1984), aus der hier nur die wichtigsten und für das Verständnis der nachfolgenden Ausführungen notwendigen Schlußfolgerungen gebracht werden.

Der Gehalt der in Abbildung 1 hervorgehobenen Schiefertone an organischem Kohlenstoff reicht von 0,62 - 0,95 % (Mittelwert 0,78 %). Alle diese Schiefertone führen einheitlich ein wasserstoffarmes Typ III Kerogen (TISSOT et al. 1974), das sich vornehmlich aus Überresten höherer Landpflanzen herleitet. Die für diese Einstufung maßgebenden Werte für den Wasserstoffindex variieren von 40 - 79 mg Kohlenwasserstoffe/g $C_{org.}$ mit einem Mittelwert von 68 mg/g $C_{org.}$ Die Reife des organischen Materials aller hier diskutierten Proben (die das Stadium der Kohlenwasserstoffgenese bedingt), wurde pauschal mit einem Vitrinit-Reflexionswert von 1,1 % $\overline{R}_m$ angenommen. Dies ist der Mittelwert aus Detailbestimmungen der mittleren Vitrinit-Reflexion für zwei Flözkohlen bei 984 und 1 163 m aus der gleichen Bohrung (briefl. Mitt. W. PFISTERER, Bergbau AG Lippe).

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß die analysierten Schiefertone des Westfals B aufgrund ihres Gehalts an organischem Kohlenstoff und der ermittelten Kerogenqualitäten als Muttergesteine mäßiger Qualität eingestuft werden müssen, die das Optimum der Genesephase schon überschritten haben. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu vermerken, daß die beiden geringmächtigen Schiefertonlagen, die bei 1 126,7 und 1 131,3 m in das Sandsteinintervall eingelagert sind, im Hinblick auf ihr Potential Kohlenwasserstoffe zu bilden, als gleich einzustufen sind mit den Schiefertonproben aus dem mächtigen Intervall im Liegenden.

4. Konzept der geochemischen Erkennung und Beurteilung von Migrationsphänomenen

In geochemischen Untersuchungen von mehreren Wechselfolgen klastischer Lithologie von reifen Muttergesteinen und Speichergesteinen konnte beobachtet werden, daß die Abgabe von Kohlenwasserstoffen im Zuge der primären Migration bevorzugt aus den Trägergesteinen zugewandten Randbereichen der Muttergesteine sowie aus dünnen Muttergesteinszwischenlagen erfolgt (MACKENZIE et al. 1983, LEYTHAEUSER et al. 1984). Dabei nimmt die ermittelte Abgaberate („expulsion efficiency") im Muttergestein in Richtung auf den Speichergesteinskontakt hin in der Regel deutlich zu. Ferner war in den untersuchten Schichtenfolgen die Abgabe von Erdöl aus den Muttergesteinen mit deutlichen Fraktionierungseffekten verbunden. Besonders deutlich kam dies zum Beispiel bei den gesättigten Kohlenwasserstoffen zum Ausdruck, wo für die n-Alkane eine Fraktionierung nach Kettenlänge beobachtet wurde.

Diese Beobachtungen und Schlußfolgerungen beruhten auf einem detaillierten Vergleich von Konzentration und Zusammensetzung extrahierbarer erdölähnlicher Verbindungen innerhalb von Probenserien, wobei vom Zentrum dicker Muttergesteinsintervalle zum liegenden und hangenden Trägergesteinskontakt hin engständige Proben geochemisch analysiert wurden. Für viele der betrachteten Verbindungen wurden eine regelmäßige Abnahme der Konzentration oder gerichtete Änderungen der Zusammensetzung über die kontaktnahen Randbereiche der Muttergesteine beobachtet. Eine Erklärung dieser Beobachtungen im Sinne von systematisch wechselnden Genesebedingungen konnte angesichts der über diese Intervalle gleichbleibenden Kerogenqualitäten und Reife ausgeschlossen werden. Zur Erklärung im Sinne von Migrationsphänomenen wurde angenommen, daß die Proben aus dem Zentrum der Muttergesteinsintervalle keine (oder sehr wenige) Kohlenwasserstoffe abgegeben haben, das heißt im Hinblick auf Menge und Zusammensetzung des extrahierbaren organischen Materials weitgehend den originären, in situ gebildeten Zustand widerspiegeln. Obwohl der Wahrheitsgehalt dieser Annahme nicht exakt nachweisbar ist, besteht aufgrund der immer wieder beobachteten Regelmäßigkeiten an der Tendenz des Unterschieds zwischen Randbereichen und dem Zentrum eines dickeren Muttergesteinsintervalls kein Zweifel.

Entsprechend diesem Konzept ist der Konzentrationsunterschied (in %) zwischen einer Probe aus dem Zentrum gegenüber einer aus dem Randbereich eines dicken Muttergesteinsintervalls ein Maß für die Abgaberate (MACKENZIE et al. 1983):

$$\frac{\text{Probe}_{\text{(Zentrum)}} - \text{Probe}_{\text{(Rand)}}}{\text{Probe}_{\text{(Zentrum)}}} \times 100 = \text{Abgaberate (\%)}$$

5. Abgabe von Kohlenwasserstoffen aus den dünnen Schiefertonlagen

In der Bohrung Kökelsumer Heide 1 wurden nach diesem Verfahren Abgaberaten für den Gesamtextrakt, die gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffe sowie auf molekularer Basis für die n-Alkane und Isoprenoidkohlenwasserstoffe für mehrere Muttergesteinsintervalle (incl. mariner Katharina-Horizont) bestimmt und in ihrer geochemischen Relevanz diskutiert (LEYTHAEUSER & SCHAEFER 1984; LEYTHAEUSER & RADKE & SCHAEFER 1984).

Im folgenden soll dieses Konzept am Beispiel der Proben 1 126,7 und 1 131,3 m aus den dünnen muttergesteinsartigen Schiefertonlagen erläutert werden. Tabelle 1 zeigt die organisch-geochemischen Daten dieser beiden Proben im Vergleich zu denen der Probe 1 148,1 m, die von LEYTHAEUSER & SCHAEFER (1984) als „unbeeinflußt" (oder wenig von der Migration beeinflußt) eingestuft wurde. Die Proben der dünnen Schiefertonlagen sind beide gegenüber der Vergleichsprobe 1 148,1 m deutlich abgereichert an C_{15+}-gesättigten Kohlenwasserstoffen und an Gesamtkohlenwasserstoffen (Summe der gesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoffe), während sie stark angereichert sind an Heterokomponenten (NSO-Verbindungen), was insgesamt zum Eindruck einer geringfügigen Anreicherung an Gesamtextrakt führt. Diese Beobachtungen werden als Effekt der primären Migration gedeutet: Aus den dün-

Tabelle 1
Geochemische Daten und ihre Interpretation im Hinblick auf Migrationsphänomene für ausgewählte Proben[1] aus der Bohrung Kökelsumer Heide 1

Teufe (m)	org. Kohlenstoff (%)	Wasserstoffindex $\left(\frac{mg\,KW}{g\,C_{org.}}\right)$	Produktionsindex $(S_1/S_1 + S_2)$	C_{15+}-lösl. org. Material $\left(\frac{mg}{g\,C_{org.}}\right)$	(% v. Pr. 1 148,1 m)[2]
1 126,7	0,73	58	0,13	25,6	108
1 131,3	0,94	61	0,12	24,5	104
1 148,1	0,84	76	0,16	23,6	100

[1] Proben 1 126,7 und 1 131,3 m = dünne Schiefertonlagen im Sandstein; Probe 1 148,1 m stammt aus dem Zentrum eines dicken Schiefertonintervalls

nen Muttergesteinslagen sind in starkem Maß und bevorzugt gesättigte Kohlenwasserstoffe abgegeben worden, wobei die Abgaberaten zwischen 60 und 76 % schwanken. Die relativ hohen Abgaberaten von Kohlenwasserstoffen werden aufgrund des lithologischen Aufbaus als Folge günstiger Dränagebedingungen interpretiert: Der Transport von Kohlenwasserstoffen brauchte nur über relativ kurze Distanzen zu erfolgen, und die Ableitung des in die eng benachbarten Sandsteinlagen transportierten Stoffgemischs konnte infolge der dort vorhandenen erhöhten Porositäten und Permeabilitäten rasch und umfassend erfolgen.

Schwieriger gestaltet sich aber die Erklärung der beobachteten Anreicherung dieser beiden dünnen Schiefertonlagen an Heterokomponenten. Dies gilt insbesondere, weil es sich um eine absolute Anreicherung handelt, das heißt, es hat wohl auch eine Stoffzufuhr stattgefunden (offenes System mit Quelle und Senke). Eine mögliche Erklärungshypothese besteht in der Annahme, daß im Laufe der primären Migration ein größeres Volumen eines erdölähnlichen Stoffgemisches durch den analysierten Gesteinsausschnitt hindurchtransportiert wurde (lateraler Transport in der Muttergesteinslage), aus dem die Heterokomponenten aufgrund ihrer erhöhten Polarität durch adsorptive Bindung an Tonmineral- und Kerogenoberflächen bevorzugt „herausgefiltert" wurden.

Die geschilderten Beobachtungen bezüglich der Abgabe von Kohlenwasserstoffen und damit verbundenen Fraktionierungseffekten sind auch, und zum Teil deutlicher, auf molekularem Niveau erkennbar. Abbildung 2 zeigt die Gegenüberstellung der Absolutkonzentrationen der n-Alkane und Isoprenoidkohlenwasserstoffe (in µg/g $C_{org.}$) der Proben aus den beiden dünnen Muttergesteinslagen 1 126,7 und 1 131,3 m jeweils im Vergleich zu den Daten der Probe 1 148,1 m, die aus dem Zentrum des dicken Muttergesteinsintervalls darunter stammt. Wiederum kann davon ausgegangen werden, daß die beiden dünnen Muttergesteinslagen aufgrund der Ähnlichkeiten der Genesebedingungen ursprünglich in etwa die gleichen Mengen an gesättigten Kohlenwasserstoffen gebildet hatten. Die starken Konzentrationsverluste in den dünnen Schiefertonlagen, die aus der in Abbildung 2 gezeigten Mengenbilanz ersichtlich sind, werden als Folge der Abgabe von Alkanen im Zuge der primären Migration gedeutet. Dabei sind wiederum die Auswirkungen von Fraktionierungseffekten zu beobachten: Bei den n-Alkanen sind die kürzerkettigen Ho-

Tabelle 1 (Fortsetzung)

C_{15+}-Kohlenwasserstoffe		C_{15+}-gesätt. Kohlenwasserstoffe		NSO-Komponenten	
$\left(\frac{mg}{g\,C_{org.}}\right)$	(% v. Pr. 1 148,1 m²)	$\left(\frac{mg}{g\,C_{org.}}\right)$	(% v. Pr. 1 148,1 m²)	$\left(\frac{mg}{g\,C_{org.}}\right)$	(% v. Pr. 1 148,1 m²)
5,0	43	2,0	24	20,6	170
8,5	74	3,4	40	15,9	132
11,5	100	8,4	100	12,1	100

[2] < 100 % Abreicherung; > 100 % Anreicherung

mologen offenbar bevorzugt abgegeben worden (was auf einen Fraktionierungseffekt nach der Kettenlänge hindeutet). Weiterhin ist in Abbildung 2 eine Fraktionierung zwischen dem Isoprenoidkohlenwasserstoff Pristan und seinem isomeren n-Alkan, dem n-Nonadecan, zu beobachten. Dies wird deutlich aus dem Vergleich dieser beiden Komponenten zwischen der Referenzprobe 1 148,1 m und den beiden durch Migration stark beeinflußten dünnen Schiefertonproben 1 126,7 m und 1 131,3 m. Im Verteilungsmuster der beiden letztgenannten Proben überwiegt Pristan deutlich über das n-Nonadecan, während bei der von der Migration relativ unbeeinflußten Probe 1 148,1 m der umge-

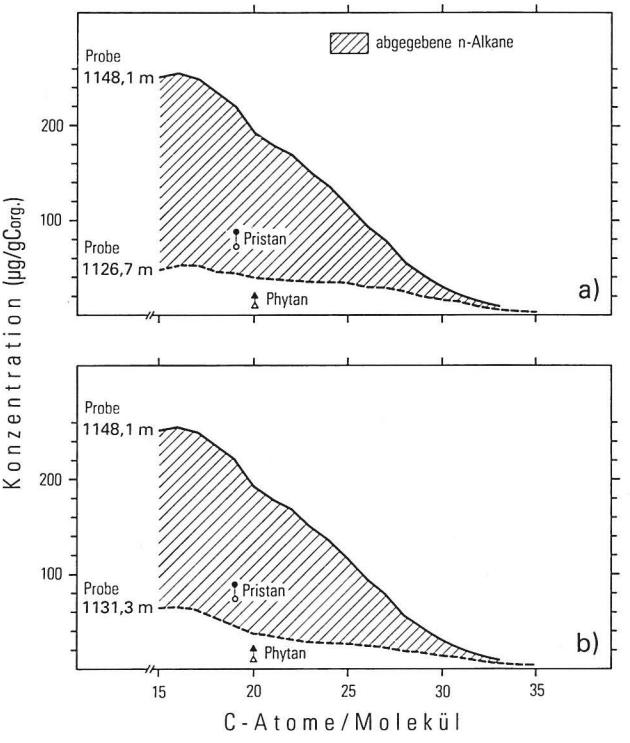


Abb. 2
Quantitativer Vergleich der Absolutkonzentrationen der n-Alkane und Isoprenoidkohlenwasserstoffe aus der Probe 1 148,1 m (als von der Migration relativ unbeeinflußt eingestuft) mit Proben dünner Schiefertonlagen (a = Probe 1 126,7 m; b = Probe 1 131,3 m)

Fig. 2
Quantitative comparison of the absolute amounts of individual normal and isoprenoid alkanes of the „unmodified" shale sample 1 148,1 m and samples from thin shale interbeds (a = sample 1 126,7 m; b = sample 1 131,3 m)

kehrte Fall vorliegt. Daraus kann gefolgert werden, daß Pristan offenbar bei der primären Migration in weniger starkem Ausmaß abgegeben worden ist.

Das in diesen dünnen Muttergesteinslagen nach der Hauptphase der primären Migration verbliebene Kohlenwasserstoffgemisch (ein Teil des sog. „Restöls") ist also in seiner Zusammensetzung weder mit dem ursprünglich gebildeten noch mit dem ausgewanderten Gemisch vergleichbar. Das migrierte Kohlenwasserstoffgemisch (in Abb. 2 durch Schraffur hervorgehoben) ist an n-Alkanen kürzerer Kettenlängen angereichert, während in der Verteilungskurve des Restgemisches im Muttergestein die Konzentration des Pristans deutlich die benachbarten n-Alkane überwiegt. Für die n-Alkane der Probe 1 126,7 m wurden nach dem angegebenen Verfahren Abgaberaten bestimmt, die bis in den Bereich des n-C_{25} zwischen 70 und 80 % liegen (LEYTHAEUSER & SCHAEFER 1984).

6. Pristan/n-Heptadecan-Verhältnis als Indikator für Abreicherung im Zuge der primären Migration

Wie aus Abbildung 2 (S. 225) ersichtlich ist, sind beide dünnen Schiefertonproben, die in hohem Maße Kohlenwasserstoffe abgegeben haben, durch eine deutliche Prädominanz des Pristans über die benachbarten n-Alkane ausgezeichnet. Dieses stoffliche Merkmal ist bisher nur bei unreifen Muttergesteinen beobachtet und als Indiz für eine besondere Fazies des organischen Materials (Überreste höherer Landpflanzen unter schwach oxidierenden Bedingungen abgelagert) gedeutet worden. Diese Deutung trifft angesichts des fortgeschrittenen Reifestadiums von 1,1 % R_m auf diesen Fall nicht zu. Ferner ist dieses Merkmal in manchen Erdölen als Folge eines bakteriellen Abbaus (Biodegradation im Porenraum des Trägergesteins) beobachtet worden. Aber auch dieser Prozeß kann die hier diskutierten Beobachtungen für die Proben 1 126,7 m und 1 131,3 m nicht erklären: Zum einen wegen der gut dokumentierten oberen Temperaturschwelle von ca. 70° C dieser Bakterien (PHILIPPI 1977), zum anderen wegen der Porenraumlimitationen. Der Transport dieser Bakterien ist bisher nämlich nur in Sandsteinen dokumentiert, nicht aber im Inneren feinklastischer Muttergesteine. Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß das Pristan/n-Heptadecan-Verhältnis zusätzlich zu den zuvor angeführten Interpretationsmöglichkeiten auch noch in gewissen geologischen Situationen als ein Indikator für eine erfolgte Abgabe von Kohlenwasserstoffen im Zuge der primären Migration geeignet ist.

Dies ist in Abbildung 3 für ein ca. 20 m mächtiges, lithologisch recht einheitlich aufgebautes Schiefertonintervall im Liegenden des Sandsteins angezeigt. Wiederum ist trotz annähernd gleichbleibender Genesebedingungen (Kerogentyp III und einheitliche Reife) ein deutlicher Trend zu beobachten: Das Pristan/n-Heptadecan-Verhältnis, das bei allen Proben aus dem Zentrum des Schiefertonintervalls (1 142,8 – 1 155,5 m) Werte unter 1,0 zeigt, ist dort deutlich erhöht, wo – infolge der Nähe zu Orten erhöhter Wegsamkeiten – eine bevorzugte Kohlenwasserstoffabgabe stattgefunden hat. Dies ist im Randbereich des Schiefertons nahe dem Kontakt zum überlagernden Sandstein der Fall (1 132,6 und 1 133,1 m) sowie in der Umgebung einer vermuteten Kluftzone (1 153,3 m), die sich in der Bohrung durch Kernverlust bemerkbar machte. Das heißt, daß bei der primären Migration Kohlenwasserstoffe unter anderem

bevorzugt in die Klüfte abgegeben wurden. Die hier nur für ausgewählte Proben diskutierten Trends der Richtung und des Ausmaßes der Kohlenwasserstoff-Migration sind im einzelnen in früheren Arbeiten für das gesamte in Abbildung 1 (S. 221) gezeigte Intervall der Bohrung Kökelsumer Heide 1 dargestellt (L EYTHAEUSER & SCHAEFER 1984, LEYTHAEUSER & RADKE & SCHAEFER 1984).

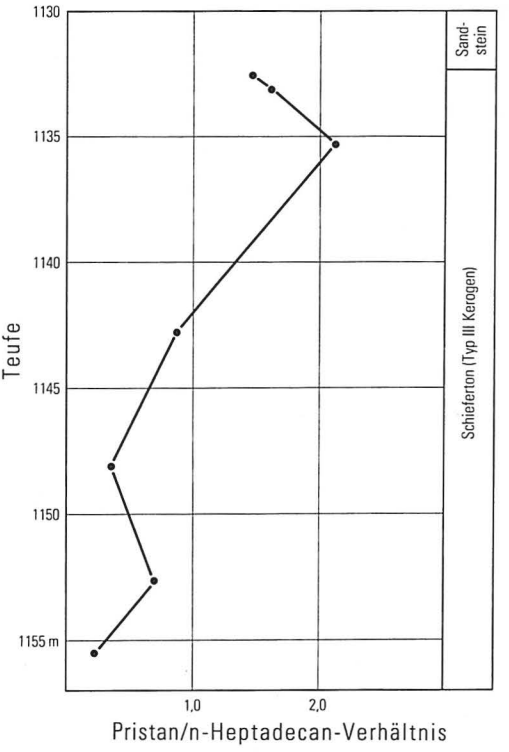


Abb. 3
Die Variation des Pristan/n-Heptadecan-Verhältnis mit der Teufe für das in Abbildung 1 (S. 221) gezeigte Schiefertonintervall einheitlicher Kerogenqualität (Type III) im Liegenden des Sandsteins

Fig. 3
Depth-trend of the pristane/n-heptadecane-ratio for the shale interval of uniform type III kerogen in figure 1 (p. 221) below the sandstone

7. Geologische Bedeutung

Die Beobachtung, daß dünne, in Sandsteine eingelagerte Muttergesteinslagen bei der primären Migration in erhöhtem Maße Kohlenwasserstoffe abgegeben haben und diese Abgabe mit Fraktionierungseffekten verbunden war, ist nicht nur im Fall der Bohrung Kökelsumer Heide 1, sondern schon in mehreren Schichtenfolgen beobachtet worden, zum Beispiel im Paläozän von Spitzbergen (LEYTHAEUSER et al. 1984). Dabei haben die nach dem oben erläuterten Verfahren bestimmten Abgaberaten zum Beispiel für die gesättigten Kohlenwasserstoffe Werte bis zu ca. 80 % erreicht.

Obwohl alle hier untersuchten Fälle geringmächtiger Muttergesteinslagen sicher nicht zur Entstehung kommerzieller Lagerstätten beigetragen haben, zeigen sie doch in besonderer Klarheit die beschriebenen Effekte der Abgabe von Kohlenwasserstoffen im Zuge der primären Migration. Für die Erdölgeologen sind diese Beobachtungen in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Die hohen Abgaberaten von dünnen Muttergesteinslagen im Vergleich zu solchen nahe dem Zentrum mächtigerer Muttergesteinsintervalle führt zu der Schlußfolgerung, daß Abfolgen intensiver Wechsellagerungen von Mutter- und Speichergesteinen (oder wenigstens permeablen Trägergesteinen) eine besonders hohe Erdölhöffigkeit haben. Umgekehrt dürften Muttergesteinsintervalle selbst sehr guter Kerogenqualitäten, die in mächtigen Schiefertonfolgen eingelagert sind, eine relativ geringe Ölabgabe im Zuge der primären Migration erfahren haben. Dies dürfte zum Beispiel für den Posidonienschiefer des Lias ε in weiten Teilen Nordwestdeutschlands zutreffen. Dieses zwar reiche Erdöl-

muttergestein, dessen Kerogen weitgehend dem Typ II entspricht, ist von sehr mächtigen Abfolgen schluffig-toniger Sedimente unter- und überlagert (Lias $\alpha - \delta$, bzw. Lias ζ und Dogger α). Darin sind Sandsteine oder auch Schluffsteine, die als Migrationsbahnen gedient haben können, nicht oder nur ganz untergeordnet vertreten. Das in derartigen Muttergesteinen in hohem Maße gebildete, aber mangels günstiger Dränagemöglichkeiten überwiegend festgehaltene Öl stellt bei weiterer Versenkung und Temperaturerhöhung ein großes Potential zur Gasbildung dar (MONNIER & POWELL & SNOWDON 1983).

Schließlich geben die hier geschilderten Beobachtungen einer erhöhten Abgabe von Kohlenwasserstoffen aus dünnen, in Sandsteinen eingelagerten Muttergesteinslagen gewisse Hinweise über den Mechanismus der primären Migration. Dabei sind zwei geologische Prozesse als alternative Erklärungsmöglichkeiten denkbar: die Rolle der Sedimentkompaktion und die Gasdruck-Migration. Bei einem normalen Verlauf der Sedimentkompaktion (Entwicklung des Drucks der Porenlösungen im Gleichgewicht mit hydrostatischem Druck) ergibt sich die bekannte zeitliche Diskrepanz zwischen der Hauptphase der Abgabe des Porenwassers und dem Beginn der Erdölgenese im Muttergestein (TISSOT & WELTE 1978). In tonigen Abfolgen, die in der entsprechenden Phase ihrer Absenkungsgeschichte eine retardierte Diagenese erfahren haben (zeitweise über-hydrostatischer Druck im Porenraumsystem) können beide Prozesse jedoch zeitlich näher aneinanderrücken: Der aus dem allmählichen Abbau des Überdrucks infolge des zeitweiligen Kompaktionsungleichgewichts resultierende, und aus dem Zentrum dicker Tonpakete nach außen gerichtete Druckgradient könnte als Motor für den Kohlenwasserstofftransport in Frage kommen. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß die Gleichgewichtseinstellung des Kompaktionsdrucks bis zum Einsetzen der Hauptphase der Erdölgenese verzögert wird. Anomale Abläufe der Kompaktion und Diagenese treten vielfach in rasch absinkenden Trögen hoher Sedimentationsrate und überwiegend tonig-schluffiger Gesteinsausbildung auf (FERTL 1972, CHAPMAN 1973, MAGARA 1976). Inwieweit dies als lokales Phänomen auch auf das Oberkarbon der subvariscischen Saumsenke zutrifft, ist bisher nicht bekannt.

Alternativ können die hier gemachten Beobachtungen im Sinne eines anderen geologischen Prozesses gedeutet werden: die Rolle des Gasdrucks, der sich mit fortschreitender Kohlenwasserstoffgenese aufbaut. Diesem wird, besonders für eine Spätphase der primären Migration eine große Bedeutung als Antriebskraft zugeschrieben (TISSOT & WELTE 1978). Im Falle der dünnen Muttergesteinslagen in der Bohrung Kökelsumer Heide 1 kann erwartet werden, daß sich der im Zuge von Geneseprozessen aufgebaute Gasdruck infolge der Nähe zu den permeablen Sandsteinlagen dorthin rasch und effektiv wieder abbauen konnte (wobei langkettige Kohlenwasserstoffe transportiert wurden). Dies ist in weniger starkem Maße vermutlich der Fall gewesen im Zentrum der dickeren Muttergesteinspakete.

Dank: Wir danken der Ruhrkohle AG, Essen, für die Bereitstellung der Proben und geologischer Informationen für diese Untersuchung. Besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang auch Dr. H. FIEBIG (Westfälische Berggewerkschaftskasse). Für die Durchführung der Rock-Eval-Analysen danken wir Dr. P. MÜLLER (Kernforschungsanlage Jülich) und für technische Hilfe folgenden Mitarbeitern: Frau G. BRUCH, M. DERICHS, A. FISCHER und B. KAMMER sowie Herrn U. DISKO, H. HÖLTKEMEIER, H. POOCH, J. SCHNITZLER und H. WILLSCH.

8. Schriftenverzeichnis

CHAPMAN, R. E. (1973): Petroleum geology: A concise study. – 304 S.; Amsterdam (Elsevier).

DURAND, B. (1983): Present trends in organic geochemistry in research on migration of hydrocarbons. – Adv. org. Geochem., **1981**: 117–127, 7 Abb.; Chichester (Wiley).

ESPITALIÉ, J., & LAPORTE, J. L., & MADEC, M., & MARQUIS, F., & LEPLAT, P., & PAULET, J., & BOUTEFEU, A. (1977): Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. – Rev. Inst. Fr. Petrol., **32**: 23–42; Paris.

FERTL, W. H. (1972): Worldwide occurrence of abnormal formation pressures, Tl. 1. – Amer. Inst. Min., metallurg. Petrol. Eng., Pap., **SPE 3844**; Dallas.

HUNT, J. M. (1979): Petroleum geochemistry and geology. – 617 S.; San Francisco (Freeman).

LEYTHAEUSER, D., & MACKENZIE, A., & SCHAEFER, R. G., & ALTEBÄUMER, F. J., & BJORØY, M. (1983): Recognition of migration and its effects within two coreholes in shale/sandstone sequences from Svalbard, Norway. – Adv. org. Geochem., **1981**: 136–146; Chichester (Wiley).

LEYTHAEUSER, D., & MACKENZIE, A. S., & SCHAEFER, R. G., & BJORØY, M. (1984): A novel approach for recognition and quantitation of hydrocarbon migration effects in shale/sandstone sequences. – Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., **68**: 196–219, 27 Abb., 4 Tab.; Tulsa.

LEYTHAEUSER, D., & RADKE, M., & SCHAEFER, R. G. (1984): Efficiency of petroleum expulsion from shale source rocks. – Nature, **311**: 745–748; London.

LEYTHAEUSER, D., & SCHAEFER, R. G. (1984): Effects of hydrocarbon expulsion from shale source rocks of high maturity in Upper Carboniferous strata of the Ruhr area, F.R. Germany. – Adv. org. Geochem., **1983**; Oxford (Pergamon Press.). – [Im Druck].

MACKENZIE, A. S., & LEYTHAEUSER, D., & SCHAEFER, R. G., & BJORØY, M. (1983): Expulsion of petroleum hydrocarbons from shale source rocks. – Nature, **301**: 506–509; London.

MAGARA, K. (1976): Water expulsion from clastic sediments during compaction – directions and volumes. – Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., **60**: 543–553; Tulsa.

MONNIER, F., & POWELL, T. G., & SNOWDON, L. R. (1983): Qualitative and quantitative aspects of gas generation during maturation of sedimentary organic matter. Examples from Canadian frontier basins. – Adv. org. Geochem., **1981**: 487–495; Chichester (Wiley).

PHILIPPI, G. T. (1977): On the depth, time and mechanism of origin of the heavy- to medium-gravity naphthenic crude oils. – Geochim. Cosmochim. Acta, **41**: 33–52; Oxford.

RADKE, M., & SITTARDT, H. G., & WELTE, D. H. (1978): Removal of soluble organic matter from rock samples with a flow-through extraction cell. – Anal. Chem., **50**: 663–665; Washington.

RADKE, M., & WILLSCH, H., & WELTE, D. H. (1980): Preparative hydrocarbon group type determination by automated medium pressure liquid chromatography. – Anal. Chem., **52**: 406–411; Washington.

TISSOT, B., & DURAND, B., & ESPITALIÉ, J., & COMBAZ, (1974): Influence of the nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. – Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., **58**: 499–506; Tulsa.

TISSOT, B., & WELTE, D. H. (1978): Petroleum formation and occurrence. A new approach to oil and gas exploration. – 538 S., 243 Abb.; Berlin (Springer).

Eingang des Manuskriptes: 24. 9. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	231 - 253, 7 Abb., 9 Tab.	Krefeld, März 1985

Inkohlungsgradienten in der Anthrazitfolge des Ibbenbürener Karbons

Von ROLF TEICHMÜLLER † und MARLIES TEICHMÜLLER *

Coalification, coalification gradient, Upper Carboniferous, Westphalian D, C, borehole, intrusive body (Bramsche Massif), N-German hills (Ibbenbüren horst), Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: In fünf Bohrungen der Ibbenbürener Karbon-Scholle wurde die Zunahme des Inkohlungsgrades mit der Tiefe aufgrund der Vitrinit-Reflexion untersucht. Bezogen auf bestimmte Flözhorizonte ist der Inkohlungsgrad auffallend hoch im Nordwesten, in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und 2. Das ist auf eine relativ starke Absenkung der Flöze vor allem in der Unterkreide, aber auch auf eine stärkere telemagmatische Inkohlung durch den Intrusivkörper des Bramscher Massivs zurückzuführen. Dagegen zeichnet sich die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 neben der Untertagebohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) durch einen auffallend niedrigen Inkohlungsgradienten (im Inkohlungsbereich 2,5 - 3,4 % $\bar{R}m$) aus. Diese „Diskrepanz" zwischen hohem Inkohlungsgrad eines bestimmten Horizonts und kleinem Inkohlungsgradient wird darauf zurückgeführt, daß die Schichten der am Südwestrand des Bramscher Massivs gelegenen Bohrungen durch den Intrusivkörper in mehr tangentialer als vertikaler Richtung erhitzt wurden.

Besonders hohe Inkohlungsgradienten wurden in den untersten Horizonten der Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 2 und 3 und Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) festgestellt. Vielleicht hängen sie mit einer stärkeren Annäherung an den Magmenkörper des Bramscher Massivs und/oder mit hydrothermaler Wärmezufuhr zusammen.

[Coalification gradients in the anthracite sequence of the Carboniferous of Ibbenbüren]

Abstract: The increase of coal rank with depth has been determined by measurements of vitrinite reflectance in five boreholes drilled by the coal industry in the horst of Ibbenbüren (West-Germany). The Ibbenbüren coal district is characterized by outcropping of Westphalian D and C, high rank coals and its geographic position at the southwestern margin of the Bramsche Massif which - for its part - is underlain by a large intrusive body of Upper Cretaceous age. The main uplift of the Ibbenbüren horst occurred in Subhercynian-Laramic times (Upper Cretaceous-boundary Tertiary).

Comparing the rank of individual seams, coalification has been strongest in the northwestern part of the horst (boreholes Ibbenbüren-Westfeld 1 and 2) where the subsidence has been relatively deep (and therefore heat supply relatively strong) in Lower Cretaceous times, and where a stronger telemagmatic heat supply by the Bramsche intrusive body could act. In contrast to the relatively high rank of individual seams in the borehole Ibbenbüren-Westfeld 1, the coalification gradient (for the range 2,5 - 3,4 % $\bar{R}m$) is strikingly low in this borehole, same as in the borehole Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld). This "discrepancy" between the high rank of coal and the low coalification gradient is explained by a more tangential than horizontal heat supply from the Bramsche intrusive body, the boreholes lying above the southwestern margin of the pluton (fig. 7). Extremely high coalification gradients in the lowermost horizons of the boreholes Ibbenbüren-Westfeld 2 and 3 and Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) may perhaps be explained by a nearer approach to the Bramsche intrusive body and/or by an additional hydrothermal heat supply.

---

* Anschrift der Autorin: Dr. M. TEICHMÜLLER, Am Hohen Haus 15, D-4150 Krefeld 1

[Gradients de houillification de la séquence d'anthracites du Carbonifère d'Ibbenbüren]

Résumé: L'augmentation du rang des charbons avec la profondeur a été déterminée par des mesures de réflectance de vitrinite dans cinq sondages forés par l'industrie charbonnière dans le horst d'Ibbenbüren (ouest de l'Allemagne). La région houillère d'Ibbenbüren est caractérisée par l'affleurement de charbons de haut rang d'âge Westphalien C et D et par sa situation géographique en bordure sud-ouest du Massif de Bramsche. Celuici repose sur un grand corps intrusif d'âge Crétacé Supérieur. Le principal soulèvement du horst d'Ibbenbüren s'est produit à l'époque Subhercynienne-Laramienne (limite Crétacé Supérieur-Tertiaire).

En comparant le rang des veines prises individuellement, on constate que la houillification a été la plus forte dans la partie nord - ouest du horst (sondages Ibbenbüren-Westfeld 1 et 2), là où au Crétacé Inférieur la subsidence a été relativement profonde (et par conséquent l'apport de chaleur relativement important) et là où un apport de chaleur télémagmatique plus fort a pu agir à cause du corps intrusif de Bramsche. Contrairement au rang plus élevè des veines dans le sondage Ibbenbüren-Westfeld 1, le gradient de houillification (pour la même gamme de rang: 2,5 - 3,4 % $\bar{R}m$) est frappant bas dans ce sondage ainsi que dans le sondage Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld). Ce „contraste" entre le rang haut et le gradient bas de houillification est expliqué par l'apport de chaleur en direction plus tangentiale que verticale, car les sondages sont situés sur la bordure sud ouest du pluton de Bramsche (fig. 7). Les gradients de houillification extrêment élevés trouvés dans les parties les plus profondes des sondages Ibbenbüren-Westfeld 2 et 3 et Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld), sont peut-être interprétable par l'approche plus près au pluton de Bramsche, et/ou par l'addition d'une conduite de chaleur hydrothermale.

1. Einleitung

In der subherzyn bis laramisch herausgehobenen Ibbenbürener Karbon-Scholle tritt das flözführende Oberkarbon heute mit Westfal C kund D an die Oberfläche. Westfal B wurde durch den Bergbau aufgeschlossen. Trotz des relativ jungen Alters der Schichten ist der Inkohlungsgrad der Flöze auffallend hoch. Die Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren der Preussag AG Kohle bauen hochwertige Anthrazite ab, früher auch Ess- und Magerkohlen. Der Abbau findet beziehungsweise fand im Ostfeld und im Westfeld statt, die beide durch den Bockrader Graben getrennt sind (vgl. Abb. 1). 1979 wurde der Bergbau im Westfeld eingestellt.

Die am stärksten inkohlten Kohlen der Bundesrepublik Deutschland wurden früher am Piesberg bei Osnabrück, ca. 20 km ostnordöstlich von Ibbenbüren, gewonnen. Sie führen nur noch 2 - 3 % Flüchtige Bestandteile, haben also das höchste Meta-Anthrazitstadium erreicht, obgleich sie im Westfal D liegen und heute an oder dicht unter der Erdoberfläche auftreten. In der Ibbenbürener Karbon-Scholle nimmt der Inkohlungsgrad der einzelnen Flöze auffallend schnell von Südsüdwest nach Nordnordost zu (HOYER & LEISSER & R. TEICHMÜLLER 1971). In der Lageskizze (Abb. 1) ist die Abnahme der Flüchtigen Bestandteile im Flöz Reden dargestellt. Grund für die rasche Abnahme der Flüchtigen Bestandteile ist offenbar die Annäherung an das Zentrum des Bramscher Massivs, das in seinem Untergrund einen großen Intrusivkörper oberkretazischen Alters birgt (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1950, STADLER & R. TEICHMÜLLER 1971). Obgleich die Oberfläche dieses Plutons nach geophysikalischen Messungen an seiner höchsten Stelle in ca. 5 km Tiefe liegt (vgl. Abb. 7, S. 251), hat er die Schichten in seinem Dach so stark aufgeheizt, daß die Inkohlung, ebenso wie die Diagenese der Gesteine, weit voranschritten. BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER (1979) haben versucht, die

Paläotemperaturen im Dach des Intrusivkörpers für das Karbon des Piesbergs und der Bohrung Alfhausen Z1 aus den Inkohlungsdaten zu ermitteln. Danach lagen die „wirksamen" Temperaturen über dem Zentrum des Bramscher Massivs nach der Intrusion zwischen 290 und 340° C.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Zunahme der Inkohlung mit der Tiefe, das heißt den Inkohlungsgradienten, in verschiedenen Bohrungen des Ibbenbürener Karbons zu untersuchen. Die Ergebnisse der geologisch-stratigraphischen und lithologischen Bearbeitung dieser Bohrungen werden demnächst von SCHUSTER & KÖWING & HÄDICKE (in Vorbereit.) publiziert. Da der Inkohlungsgradient Extrapolationen des Inkohlungsgrades in noch nicht erschlossene Teufen erlaubt, ist er für den Bergbau von großem Interesse. Außerdem soll versucht werden, aus den Inkohlungsgradienten Rückschlüsse zu ziehen auf die paläogeothermischen Verhältnisse am Südwestrand des Bramscher Massivs (vgl. Abb. 7, S. 251), dessen Inkohlungsgeschichte KÖWING (1981) bereits kurz skizziert hat. Die Untersuchungen zur Paläogeothermie führte BUNTEBARTH (1985) durch, in dessen Arbeit sich weitere Angaben über die Absenkungsgeschichte des Ibbenbürener Karbons befinden, die vor allem auf Arbeiten von THIERMANN (1970, 1980) fußen.

2. Proben, Methodik

In den Jahren 1974/75 wurden im Westfeld der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren drei tiefe Bohrungen von übertage heruntergebracht, die die Kohlenführung unterhalb der vom Bergbau bereits aufgeschlossenen Schichten des Westfals C und B prüfen sollten, nämlich die Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, 2 und 3 (Abb. 1). Aus diesen Bohrungen erhielt das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen seinerzeit je eine Serie von Spülproben und zerkleinerten Kernproben, die auf das Reflexionsvermögen des Vitrinits als optischen Inkohlungsmaßstab untersucht wurden (M. TEICHMÜLLER 1976 a, 1977).

Aus dem Ostfeld wurden Proben aus der Untertagebohrung Ibbenbüren UB 251 (1975) in der gleichen Weise untersucht (M. TEICHMÜLLER 1976 b). Diese Bohrung ergänzt stratigraphisch das schon früher von STADLER & M. TEICHMÜLLER (1971) untersuchte Inkohlungsprofil der Untertagebohrung Ibbenbüren UB 150, die 1967 von der 800-m-Sohle des Nordschachts der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren heruntergebracht wurde.

Aus den Spülproben wurden die Kohlenkörner von Hand ausgelesen. Alle Kohlenproben wurden zu Körneranschliffen verarbeitet, an denen das Reflexionsvermögen des Vitrinits bestimmt wurde [teils mit Leitz Orthoplan Mikroskop-Photometer bei 546 nm, teils mit Zeiss Photometer-Mikroskop bei 525 nm (UB 150), unter Ölimmersion]. Da es sich neben hoch inkohlten Steinkohlen vor allem um Anthrazite handelt, wurde neben der mittleren Reflexion ($\bar{R}$ m) auch die maximale Reflexion ($\bar{R}$ max) und in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 2 und 3 und Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) auch die minimale Reflexion ($\bar{R}$ min) nach der im „Textbook of Coal Petrology" (STACH et al. 1982: 319 - 328) beschriebenen Methode gemessen. Jeder Reflexionswert repräsentiert das arithmetische Mittel aus 50 (in Einzelfällen aus 30 - 40) Einzelmessungen der Vitrinit-Reflexion.

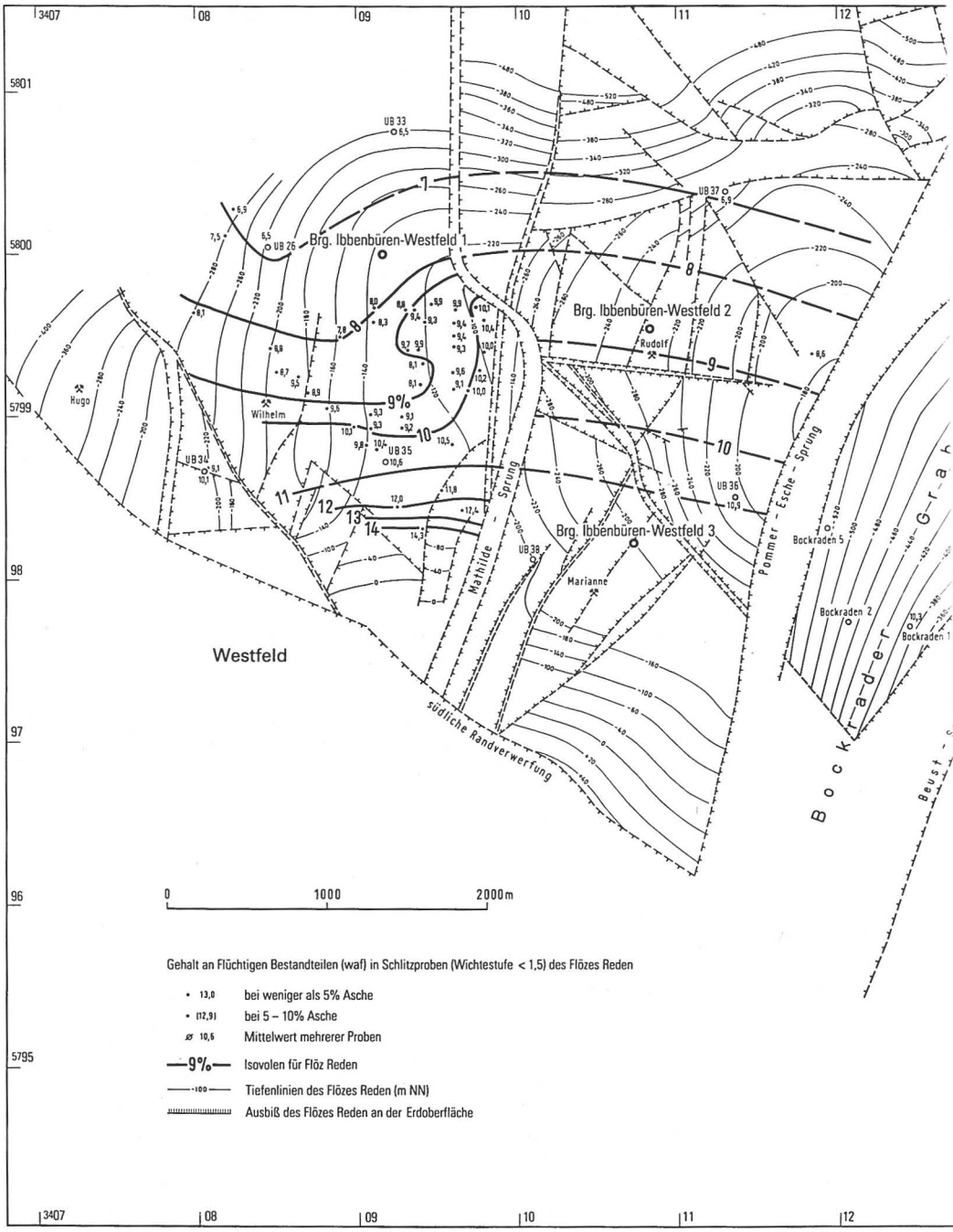


Abb. 1 Lage der untersuchten Bohrungen in einer Inkohlungskarte von Flöz Reden des Westfals C (aus HOYER et al. 1971)

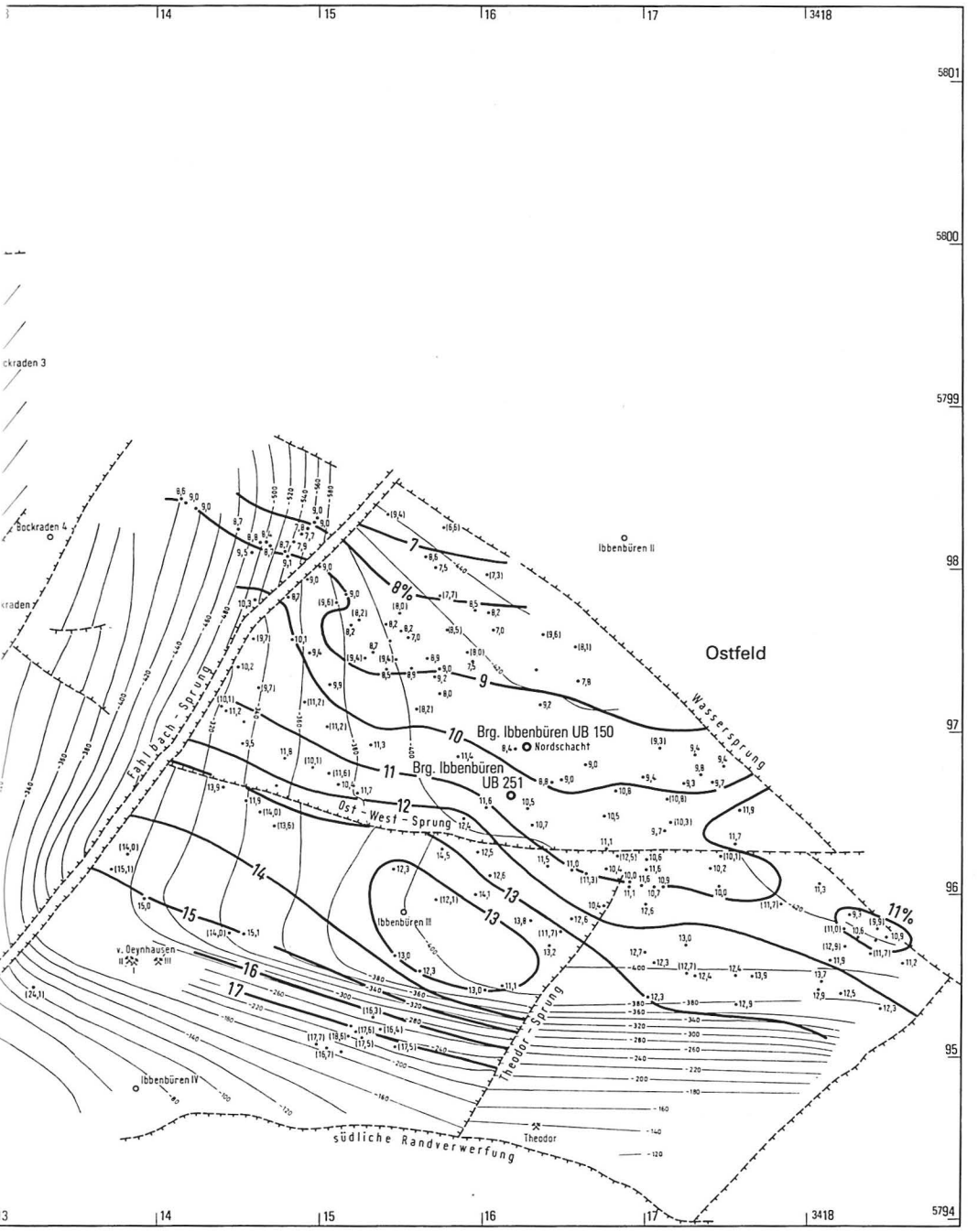


Fig. 1 Location of the studied boreholes in a coalification map of the Reden seam (Westphalian C) (from HOYER et al. 1971)

3. Zunahme der Vitrinit-Reflexion in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, 2 und 3

Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 (= UB 1121) (TK 25: 3612 Mettingen, R 34 09 150, H 58 00 063, +118,2 m NN) traf nach Information der Preussag AG Kohle in 120 m Bohrteufe als erstes Flöz das Flöz Glücksburg des Westfals C an, durchteufte bei 740 m die Grenze Westfal C/B mit dem Ägir-Horizont und durchbohrte bis zur Endteufe bei 1 352 m noch mehr als 600 m flözführendes Westfal B (bis in die Essener Schichten). Die Schichten lagen flach und waren kaum gestört. Zwischen ca. 1 036 und 1 039 m wurde eine Aufschiebung durchbohrt, die für das Inkohlungsprofil jedoch ohne Bedeutung ist.

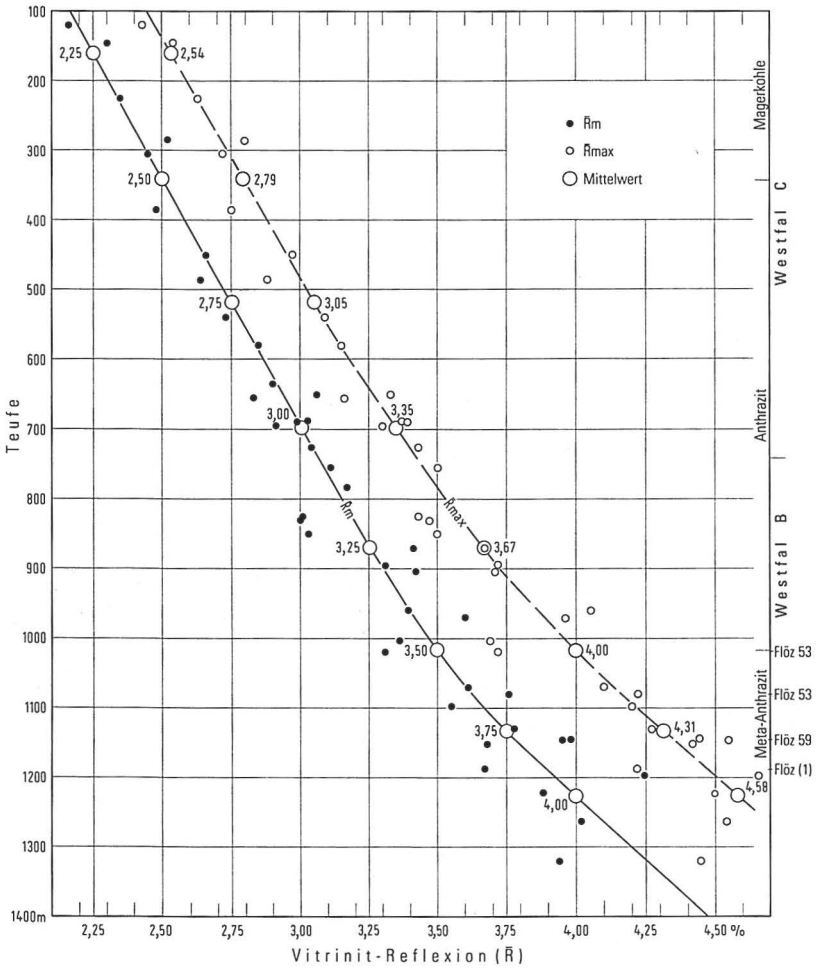


Abb. 2 Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1

Fig. 2 Increase of vitrinite reflectance with depth in the borehole Ibbenbüren-Westfeld 1

Tabelle 1
Vitrinit-Reflexion in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1

Proben-Nr.[1]	Teufe (m)	Flöz[2]	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)	ΔRm (%)	$\Delta Rmax$ (%)	kleinster Rm-Wert (%)
13460 Sp	120	Glücksburg	2,16	2,43	1,25	0,37	1,20
13461 Sp	146	Bentingsbank	2,30	2,54	0,92	0,35	1,72
13462 Sp	225	Saar	2,35	2,63	0,94	0,25	1,80
13463 Sp	285	Theodor 2	2,52	2,80	1,10	0,30	1,85
13464 Sp	305		2,45	2,72	0,98	0,45	1,82
13465 Sp	385		2,48	2,75	1,10	0,45	1,80
13466 Sp	450	Loki/Kobold	2,66	2,97	1,13	0,37	2,00
13467 Sp	485		2,64	2,88	0,90	0,30	2,20
13468 Sp	540	Iduna	2,73	3,09	1,25	0,55	2,05
13469 Sp	578,5	Hagen 1	2,85	3,15	1,40	0,45	2,00
13470 Sp	636	Erda	2,90	3,24	1,30	0,65	2,25
13471 Sp	649	Donar/Chriemhilt	3,06	3,33	1,35	0,75	2,30
13472 Sp	654		2,83	3,16	1,10	1,13	2,20
13473 Sp	688,5		3,03	3,37	1,37	0,70	2,18
13474 Sp	691	Baldur	2,99	3,39	1,15	0,60	2,30
13475 Sp	694		2,91	3,30	1,10	0,60	2,35
13476 Sp	725		3,04	3,43	1,35	0,60	2,25
13477 Sp	754		3,11	3,50	1,45	0,70	2,25
13478 Sp	782	35/38 (ZB)	3,17	3,51	1,36	0,81	2,34
13480 K	824	40/42 (ZB)	3,01	3,43	1,25	1,15	2,25
13481 K	831		3,00	3,47	1,40	1,15	2,25
13482 K	850	43 (ZB)	3,03	3,50	1,35	0,70	2,30
13483 K	870	45 (ZB)	3,41	3,67	1,25	0,50	2,70
13484 K	895	47 (ZB)	3,31	3,72	1,30	0,75	2,70
13485 K	903,5	49 (ZB)	3,42	3,71	1,50	0,65	2,50
13486 K	960	50 (ZB)	3,39	4,05	1,90	0,55	2,45
13487 K	971	51 (ZB)	3,60	3,96	1,70	0,60	2,40
13488 Sp	1003	52 (ZB)	3,36	3,69	1,75	0,95	2,40
13489 Sp	1019	53 (ZB)	3,31	3,72	1,60	0,95	2,40
		Überschiebung					
13490 Sp	1069	52 (ZB)	3,61	4,10	2,05	0,75	2,60
13491 Sp	1081	53 (ZB)	3,76	4,22	1,90	0,95	2,60
13492 Sp	1098	54 (ZB)	3,55	4,20	2,05	0,95	2,50
13493 K	1129	57/58 (ZB)	3,78	4,27	1,95	0,55	2,45
13494 K	1145	59 (ZB)	3,98	4,44	2,00	0,65	2,70
13495 K	1147	59 (ZB)	3,95	4,55	1,90	0,60	2,75
13496 K	1152		3,68	4,42	2,15	0,58	2,40
13497 Sp	1187	(1) (ZB)	3,67	4,22	2,25	1,40	2,55
13498 Sp	1198		4,24	4,66	1,70	1,30	3,20
13499 Sp	1222,5	(3) (ZB)	3,88	4,50	2,05	0,70	2,65
13500 Sp	1263		4,02	4,54	2,20	1,40	2,55
13501 Sp	1320		3,94	4,45	2,01	1,20	2,65

[1] Sp = Spülprobe, K = Kernprobe [2] ZB = Zechenbezeichnung

Die Vitrinit-Reflexion wurde an 41 Spül- und Kernproben gemessen. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 1 und Abbildung 2 zu entnehmen. Danach traf die Bohrung Magerkohlen (ab 2,16 % $\bar{R}m$ und 2,43 % $\bar{R}max$ aufwärts) und Anthrazite bis an die Grenze zum Meta-Anthrazitstadium (4,02 % $\bar{R}m$ und 4,45 % $\bar{R}max$, entsprechend ca. 4,5 % Flüchtige Bestandteile) an. In Tabelle 1 sind auch die Differenzwerte zwischen dem jeweils größten und kleinsten Rm-Wert und Rmax-Wert der Einzelmessungen für jede Probe angegeben. Sie sind für Rm

Tabelle 2
Vitrinit-Reflexion in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2

Proben-Nr. [1]	Teufe (m)	Flöz [2]	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)	$\bar{R}min$ (%)
14444 Sp	25		1,97	2,13	1,76
14445 Sp	30-45		1,99	2,22	1,76
14446 Sp	50-55		2,08	2,24	1,94
14447 Sp	65		2,01	2,23	1,81
14448 Sp	70-80		2,08	2,26	1,83
14449 Sp	100-105		2,00	2,17	1,74
14450 Sp	130-135		1,90	2,18	1,70
14452 Sp	215-220	ca. Glücksburg	2,04	2,25	1,81
14453 Sp	240-250	ca. Bentingsbank	2,11	2,33	1,89
14454 Sp	270-275		2,07	2,24	1,80
14455 Sp	295-300		2,16	2,40	1,92
14456 Sp	310		2,16	2,40	1,91
14457 Sp	866	ca. 31	2,77	3,19	2,50
14458 Sp	874		3,20	3,52	2,60
14459 Sp	898		3,15	3,60	2,65
14460 Sp	910-924	ca. 38	3,25	3,66	2,60
14461 Sp	926-932		3,03	3,57	2,60
14462 Sp	946	ca. 40/42	3,12	3,54	2,66
14463 Sp	956		3,13	3,58	2,69
14464 Sp	968	ca. 43	3,13	3,64	2,86
14465 Sp	986	ca. 45	3,36	3,75	2,86
14466 Sp	994-998	ca. 46	3,06	3,66	2,48
14467 Sp	1002-1010	ca. 47	3,12	3,67	2,88
14468 Sp	1012-1018		3,29	3,63	2,80
14469 Sp	1020-1026	ca. 48	3,17	3,66	2,79
14470 Sp	1030		3,17	3,88	2,71
14471 Sp	1042	ca. 49	3,44	3,91	2,82
14472 Sp	1066		3,41	3,88	2,87
14473 Sp	1070-1074		3,42	3,99	2,89
14475 Sp	1090	ca. 52	3,60	4,15	2,91
14476 Sp	1106	ca. 53	3,25	4,04	2,69
14477 Sp	1118		3,68	4,22	2,98
14478 K	1124	ca. 54	3,49	4,10	2,98
14479 Sp	1134	ca. 55/56	3,46	4,11	2,99
14480 Sp	1144		3,68	3,93	3,25
14481 Sp	1152		3,49	3,85	3,05
14482 Sp	1160		3,41	4,08	2,86
14483 Sp	1168		3,39	3,99	2,78
14484 Sp	1188		3,67	3,96	3,14
14485 Sp	1196	ca. 59	3,72	4,26	3,03
14486 K	1223		3,86	4,47	2,73
14487 K	1241	ca. (1)	3,92	4,54	3,14
14488 K	1250		4,04	4,72	3,20
14489 K	1269	ca. (2)	3,97	4,58	3,20

[1] Sp = Spülprobe, K = Kernprobe [2] Zechenbezeichnung

naturgemäß größer als für Rmax. Diese △-Werte nehmen mit der Tiefe deutlich zu als Folge des zunehmenden Reflexionspleochroismus (optische Anisotropie). Diese Zunahme ist für Rm deutlicher als für Rmax, bei dem bemerkenswerterweise außerdem größere Schwankungen der △-Werte im gleichen Teufenbereich vorkommen. Der Grad für die Zunahme der Anisotropie mit der Teufe drückt sich auch in der Differenz zwischen dem größten Rmax-Wert und dem kleinsten Rm-Wert (der in etwa dem Rmin-Wert entsprechen dürfte) einer

jeden Probe aus. Diese Differenz beträgt in den oberen Teufen (bei ca. 160 m) im Mittel 0,84 % $\bar{R}$ und nimmt nach unten bis 1 230 m ständig zu bis auf 1,83 % $\bar{R}$. Abbildung 2 zeigt die Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe für die mittlere und maximale Reflexion. Da die Werte zum Teil stark streuen, wurden in gewissen Teufenabständen Mittelwerte gebildet, durch die die beiden Inkohlungskurven laufen. Im oberen Teil der Bohrung bis ca. 700 m verlaufen die R_m- und R_{max}-Kurve fast parallel (bis ca. 3,00 % $\bar{R}_m$ und 3,35 % $\bar{R}_{max}$). Danach spreizen sie sich etwas infolge der stärker zunehmenden Anisotropie. Diese ist jedoch bemerkenswert gering – offenbar infolge der telemagmatischen Inkohlung durch den Bramscher Intrusivkörper. Der sonst mit zunehmender Temperatur zunehmende Belastungsdruck konnte nämlich auf die Einregelung der Aromatlamellen in die Schichtebene nur während der „normalen" Inkohlung, das heißt vor Eindringen des Intrusivkörpers, wirken.

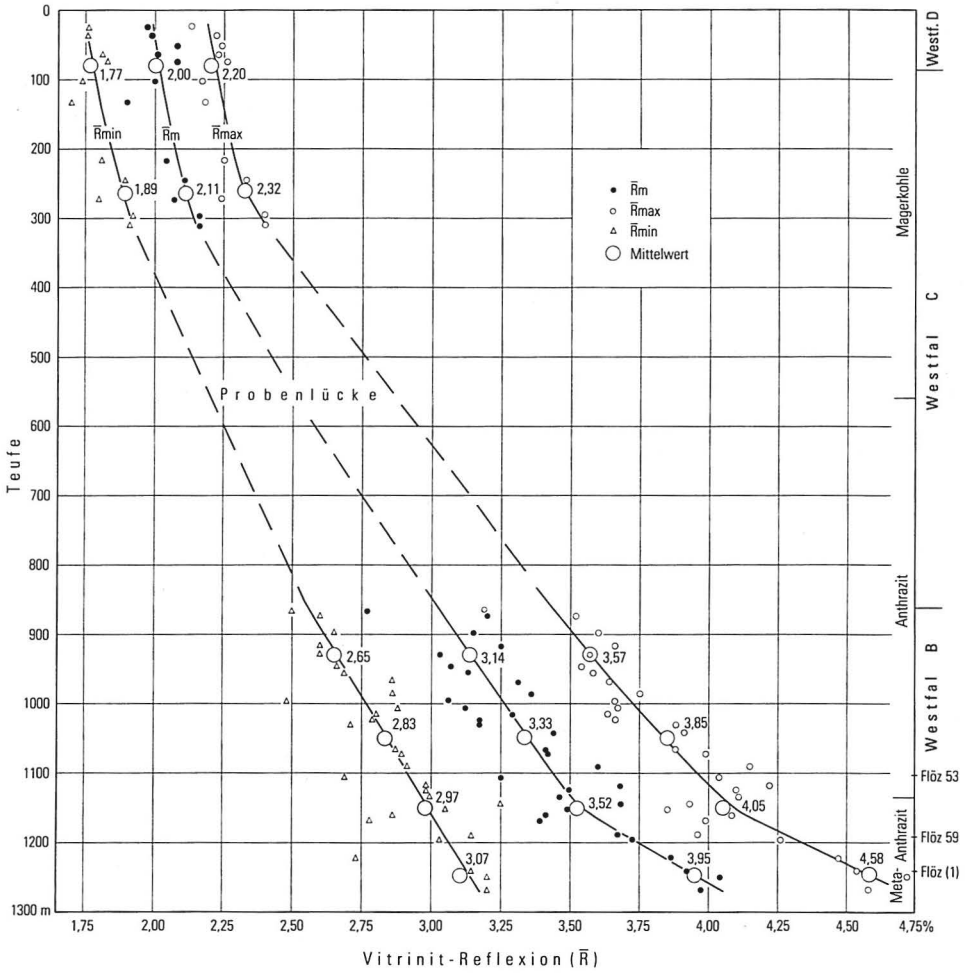


Abb. 3 Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2
Fig. 3 Increase of vitrinite reflectance with depth in the borehole Ibbenbüren-Westfeld 2

Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 (= UB 1122) (TK 25: 3612 Mettingen, R 34 10 829, H 57 99 532, + 128,3 m NN) liegt ca. 1,75 km ostnordöstlich von der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 entfernt, im Norden des Rudolf-Schachtes (s. Abb. 1). Sie durchteufte zunächst Westfal D. Flöz Buchholz wurde in ca. 16 m Teufe angetroffen, Flöz Dickenberg, das die Grenze zum Westfal C markiert, in ca. 86 m Teufe. Mit der Basis des Ägir-Horizontes bei ca. 862 m wurde das Westfal B erreicht, das bis zur Endteufe bei 1 305,5 m durchbohrt wurde. Die Grenze Horster/Essener Schichten ergibt sich durch den Domina-Horizont in ca. 1 191 m Tiefe. Die Schichten lagen flach und waren kaum gestört.

Die Vitrinit-Reflexion wurde an 39 Spülproben und 5 Kernproben aus den Teufenbereichen 25 - 310 m und 866 - 1 269 m gemessen (Tab. 2). Dazwischen besteht infolge von Spülungsverlusten eine Probenlücke von 556 m (Abb. 3). Proben aus den bekannten Flözen standen für die Reflexionsmessungen nicht zur Verfügung. Zur besseren Orientierung ist in Tabelle 2 die Tiefenlage einiger Flöze angegeben.

Tabelle 3

Vitrinit-Reflexion in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3

Proben-Nr.[1]	Teufe (m)	Flöz[2]	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)	$\bar{R}min$ (%)	$\bar{R}max$-$\bar{R}min$ (%)
14512	20 - 30		1,79	1,97	1,61	0,36
14513	40 - 50		1,70	1,83	1,55	0,28
14514	55 - 65		1,75	1,86	1,60	0,26
14515	90 - 95		1,76	1,90	1,57	0,33
14516	100		1,75	1,92	1,56	0,36
14517	115 - 120		1,69	1,88	1,61	0,27
14518	130 - 145		1,75	1,88	1,60	0,28
14519	160 - 170		1,71	1,88	1,56	0,32
14520	230 - 238		2,24	2,36	2,00	0,36
14522	325	Saar/Saar 1	1,96	2,12	1,82	0,30
14523	335 - 345		1,97	2,11	1,76	0,35
14524	350 - 355	Reden	1,93	2,11	1,74	0,37
14525	360 - 370	Theodor	1,89	2,01	1,75	0,26
14526	375 - 390	Theodor 2	1,91	2,07	1,73	0,34
14527	400 - 410	Mosel	1,86	2,00	1,67	0,33
14528	415 - 425	Mosel 1	1,97	2,12	1,81	0,31
14529	430 - 440		1,96	2,13	1,83	0,30
14530	445		2,04	2,29	1,77	0,52
14531	460 - 470		1,96	2,14	1,79	0,35
14532	475 - 485	Flözgruppe 1a	1,98	2,19	1,81	0,38
14533	490 - 495	Flözgruppe 1a	2,03	2,25	1,86	0,39
14534	500 - 505	Flöz 1b	1,95	2,20	1,72	0,48
14535	515		2,01	2,20	1,76	0,44
14537	550 - 555	Flöz 2/2a	2,13	2,30	1,87	0,43
14538	590 - 595		2,12	2,31	1,95	0,36
14539	700 - 705		1,98	2,17	1,76	0,41
14540	715 - 725		2,19	2,44	1,95	0,49
14541	730 - 735		2,33	2,57	2,07	0,50
14542	740 - 745		2,10	2,27	1,98	0,29
14543	780 - 785		2,36	2,54	2,14	0,40

[1] K = Kernprobe; alle anderen Proben sind Spülproben

Die Ergebnisse der Reflexionsmessungen sind aus Tabelle 2 und Abbildung 3 zu entnehmen. Danach hat die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 Magerkohlen, Anthrazite und Meta-Anthrazite mit Reflexionswerten zwischen ca. 2,0 und 4,0 % $\bar{R}_m$ und 2,1 und 4,7 % $\bar{R}_{max}$ (entsprechend 14,5 – 3,5 % Flüchtige Bestandteile, waf) angetroffen.

Die relativ große Schwankung der gemessenen Werte um die Mittellinien der Inkohlungszunahme ergibt sich ebenfalls aus Abbildung 3. Da meist Spülproben untersucht wurden, ist in einigen Fällen Nachfall nicht auszuschließen. Im Mittel ist jedoch die Zunahme der Reflexionswerte mit der Tiefe deutlich. Sie ist, wie auch in den anderen Westfeld-Bohrungen, in den oberen Teufen und jüngeren Horizonten kleiner als im unteren Teil der Inkohlungsprofile. In der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 beginnt bei ca. 1 150 m allerdings eine besonders starke Zunahme der $\bar{R}_m$- und $\bar{R}_{max}$-Werte. Die Inkohlungsgradienten betragen ab 1 150 m – das heißt in den Essener Schichten des Westfals B in einem Inkohlungsbereich zwischen 3,55 und 4,05 % $\bar{R}_m$ beziehungsweise zwischen 4,1 und 4,7 % $\bar{R}_{max}$ – 0,425 % $\bar{R}_m$ beziehungsweise 0,51 % $\bar{R}_{max}$ pro

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Proben-Nr.[1]	Teufe (m)	Flöz[2]	$\bar{R}_m$ (%)	$\bar{R}_{max}$ (%)	$\bar{R}_{min}$ (%)	$\bar{R}_{max}$ - $\bar{R}_{min}$ (%)
14544	790 – 795		2,49	2,67	2,19	0,48
14545	800 – 810		2,49	2,73	2,29	0,44
14546	815 – 825		2,40	2,59	2,20	0,39
14547	854		2,36	2,51	2,14	0,37
14548	856 – 860		2,38	2,53	2,21	0,32
14549	862 – 870		2,42	2,56	2,25	0,31
14550	876 – 880		2,35	2,56	2,19	0,37
14551	882 – 888		2,43	2,58	2,18	0,40
14552	890 – 894		2,42	2,59	2,15	0,44
14553	896 – 898		2,37	2,56	2,13	0,43
14554	900 – 906		2,63	2,88	2,24	0,64
14555	912		2,70	2,96	2,32	0,64
14556	930		2,54	2,84	2,29	0,55
14557	934	Flöz 43 (ZB)	2,70	3,00	2,40	0,60
14558	946	Flöz 44/45 (ZB)	2,64	2,97	2,37	0,60
14559	952 – 954		2,60	2,89	2,31	0,58
14560	966	Flöz 46 (ZB)	2,76	3,04	2,39	0,65
14561	978	Flöz 47 (ZB)	2,79	3,06	2,38	0,68
14562	986	Flöz 48 (ZB)	2,82	3,11	2,43	0,68
14563	1 000		2,79	3,05	2,52	0,53
14564	1 010	Flöz 49 (ZB)	2,89	3,13	2,53	0,60
14565	1 012		2,81	3,07	2,50	0,57
14566	1 030	Flöz 51 (ZB)	3,02	3,23	2,53	0,70
14567	1 040		2,75	3,07	2,39	0,68
14568	1 042		2,75	3,09	2,39	0,70
14569 (K)	1 082	Flöz 53 (ZB)	3,15	3,40	2,76	0,64
14570 (K)	1 099	Flöz 54 (ZB)	3,17	3,48	2,64	0,84
14571 (K)	1 123,7		3,16	3,48	2,63	0,85
14572 (K)	1 154,1		3,12	3,62	2,63	0,99
14573 (K)	1 184,5	Flöz (1) (ZB)	3,32	3,77	2,74	1,03
14574 (K)	1 207,6	Flöz (2) (ZB)	3,25	3,67	2,74	0,93

[2] ZB = Zechenbezeichnung

100 m. Entsprechend ist das bei ca. 1 239 m angetroffene Flöz (1) in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 sogar stärker inkohlt als in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1, die sich sonst im regionalen Inkohlungsbild durch die höchsten Inkohlungsgrade auszeichnet (vgl. Tab. 4).

Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 (= UB 1123) (TK 25: 3612 Mettingen, R 34 10 718, H 57 98 210, + 139,9 m NN) liegt nur etwa 2,2 km südöstlich von der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 entfernt. Im Gegensatz zu dieser Bohrung begann sie im Westfal D. Schon 8 m unter der Oberfläche wurde das Flöz Buchholz durchbohrt. Die Westfal D/C-Grenze wurde mit Flöz Dickenberg in 72,5 m Teufe angetroffen und die Westfal C/B-Grenze mit dem Ägir-Horizont bei 838 m. Mit der Endteufe bei 1 296 m wurden die Essener Schichten des Westfals B erreicht. Die Schichten liegen flach. Größere Störungen wurden nicht durchbohrt.

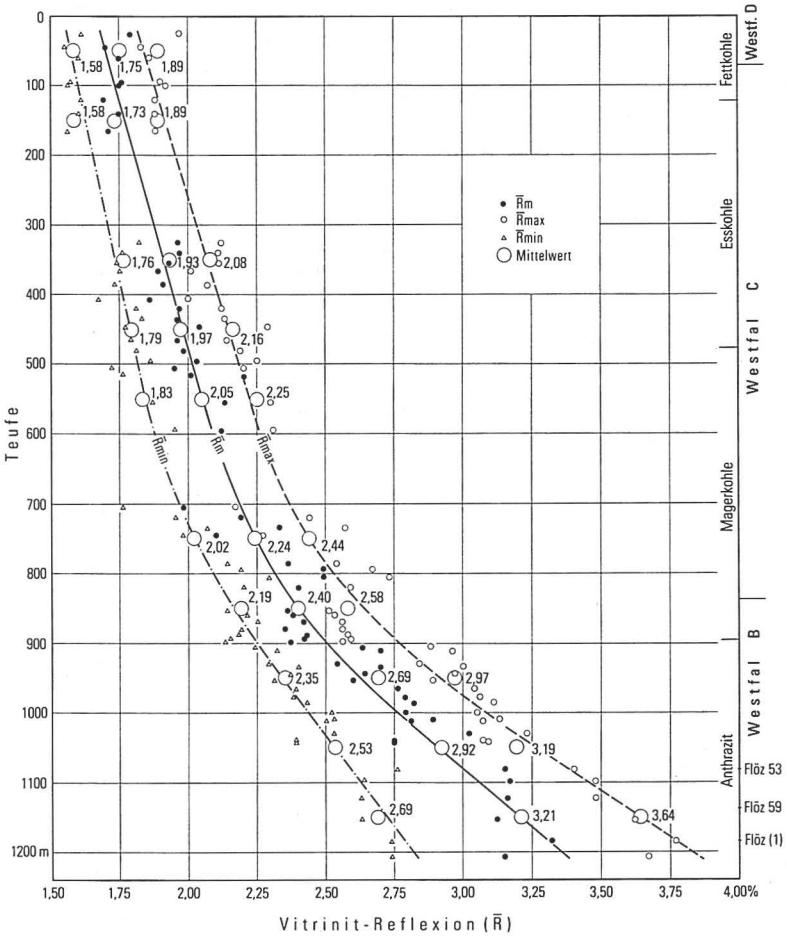


Abb. 4 Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3

Fig. 4 Increase of vitrinite reflectance with depth in the borehole Ibbenbüren-Westfeld 3

Aus den Teufen zwischen 195 - 281 m und 601 - 819 m lagen infolge von Spülungsverlusten keine Proben vor. Die Spülproben waren zum Teil so arm an Kohle, daß - nach Auslesen der Kohlenkörner - nah benachbarte Proben zu einem Anschliff verarbeitet werden mußten, um genügend Meßpunkte zu finden. Die jeweilige Teufenspanne für solche „Sammelproben" ist in Tabelle 3 angegeben. Insgesamt wurden an 61 Proben aus Bohrteufen zwischen 20 und 1 207,6 m, also über eine Teufendifferenz von über 1 000 m, die Vitrinit-Reflexion gemessen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 und Abbildung 4 zusammengestellt. Danach traf die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 Esskohlen, Magerkohlen und Anthrazite an mit Reflexionswerten zwischen 1,70 - 3,32 % $\bar{R}_m$ und 1,83 - 3,77 % $\bar{R}_{max}$ (entsprechend ca. 20,0 - 4,5 % Flüchtige Bestandteile). Bis ca. 120 m Teufe befinden sich die Flöze im Fettkohlen-Stadium, bis ca. 470 m Teufe im Esskohlen-Stadium, bis ca. 900 m Teufe im Magerkohlen-Stadium und darunter im Anthrazit-Stadium. Abbildung 4 zeigt, daß die Reflexionswerte in benachbarten Teufen oft stark streuen, was zum Teil vielleicht auf Nachfall zurückzuführen ist. Im großen und ganzen nehmen die Vitrinit-Reflexionen jedoch deutlich mit der Tiefe zu, besonders wenn man für bestimmte Teufenbereiche Mittelwerte bildet. In der Verbreiterung des Inkohlungsbandes nach unten kommt der mit der Tiefe und dem Inkohlungsgrad zunehmende Reflexionspleochroismus als Maßstab der optischen Anisotropie zum Ausdruck. Ebenso wie in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 ist die Anisotropie offenbar aus den oben genannten Gründen relativ gering. Auffallend ist die Änderung des Inkohlungsgradienten im Teufenbereich 700 - 900 m: Während oberhalb 700 m die Gradienten ca. 0,08 % $\bar{R}_m$ und 0,08 % $\bar{R}_{max}$ pro 100 m Teufe betragen, erreichen sie zwischen 700 und 1 200 m Teufe Werte von 0,23 % $\bar{R}_m$ und 0,30 % $\bar{R}_{max}$ pro 100 m Teufe.

Einen Vergleich der Inkohlungsverhältnisse in den verschiedenen Bohrungen des Westfeldes zeigt Tabelle 4 aufgrund der Reflexionswerte bestimmter Flöze und bestimmter Teufen. Danach war die Inkohlung in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 am stärksten und in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 am schwächsten. Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 nimmt eine Zwischenstellung ein, abgesehen von ihrem untersten Horizont, wo - wie gesagt - im Horizont des Flözes (1) der Essener Schichten höhere Reflexionswerte festgestellt wurden als im Flöz (1) der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1.

Besonders deutlich ist der Inkohlungsunterschied zwischen den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und Ibbenbüren-Westfeld 3. Während zum Beispiel die Grenze Magerkohle/Anthrazit (2,5 % $\bar{R}_m$) in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 bei 340 m Teufe liegt, wurde diese Grenze in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 erst in einer Teufe von 900 m erreicht. Dieser, in Anbetracht der geringen Entfernung zwischen beiden Bohrungen (2,2 km) geradezu gewaltige Inkohlungsunterschied kann nur auf den Einfluß des Bramscher Massivs zurückgeführt werden. Der Befund steht in Einklang mit den Ergebnissen von HOYER & LEISSER & R. TEICHMÜLLER (1971), nach denen die Isovolen (Linien gleicher Flüchtiger Bestandteile), zum Beispiel für das Flöz Reden, sehr dicht geschart von Westnordwest nach Ostsüdost verlaufen (vgl. Abb. 1, S. 234 - 235). Im Gebiet der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 hat Flöz Reden nach der Inkohlungskarte von HOYER & LEISSER & R. TEICHMÜLLER (1971) ca. 7,7 % Flüchtige Bestandteile, während es in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 (am Marianne-Schacht) mehr als 14 % Flüchtige Bestandteile haben müßte.

Tabelle 4

Vergleich von Inkohlungswerten in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, 2 und 3 aufgrund der Mittellinien in den Abbildungen 2, 3 und 4

	Brg. Ibbenbüren-Westfeld 1			Brg. Ibbenbüren-Westfeld 2			Brg. Ibbenbüren-Westfeld 3		
	$\bar{R}$min (%)	$\bar{R}$m (%)	$\bar{R}$max (%)	$\bar{R}$min (%)	$\bar{R}$m (%)	$\bar{R}$max (%)	$\bar{R}$min (%)	$\bar{R}$m (%)	$\bar{R}$max (%)
Flöz 53	Teufe 1019 m			Teufe 1.102 m			Teufe 1082 m		
	n.b. [1]	3,51	4,01	2,93	3,44	3,96	2,60	3,01	3,40
Flöz 59	Teufe 1145 m			Teufe 1190 m			Teufe 1137 m		
	n.b.	3,78	4,36	3,04	3,71	4,30	2,70	3,18	3,61
Flöz (1)	Teufe 1187 m			Teufe 1239 m			Teufe 1184 m		
	n.b.	3,89	4,47	3,13	3,92	4,56	2,79	3,31	3,77
bei 100 m	n.b.	2,17	2,45	1,78	2,02	2,23	1,60	1,74	1,88
bei 500 m	n.b.	2,73	3,03	keine Proben			1,84	2,02	2,19
bei 1000 m	n.b.	3,47	3,96	2,76	3,26	3,72	2,44	2,77	3,09

[1] n.b. = nicht bestimmt

Dieser Inkohlungsunterschied entspricht normalerweise einem Teufenunterschied von 500 - 600 m. Zu dem gleichen Teufenunterschied kommt man, wenn man die Reflexionswerte der Flöze 59 und (1) in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und Ibbenbüren-Westfeld 3 aufgrund eines Diagramms miteinander vergleicht, das die Beziehungen zwischen Vitrinit-Reflexion (% $\bar{R}$m) und relativer Tiefe (m) zeigt (M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1979: Abb. 2), oder wenn man die Reflexionskurven der beiden Bohrungen aufgrund gleicher Reflexionswerte gegeneinander verschiebt. Die thermische Einwirkung des Bramscher Intrusivkörpers ist also in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 zweifellos ungleich stärker gewesen als in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3, die nur etwa 1 km weiter von der Oberfläche des Intrusivs entfernt liegen dürfte als die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 (vgl. Abb. 1, S. 234 - 235 mit Abb. 7, S. 251). Zweifellos sind die großen Inkohlungsunterschiede auf kleinstem Raum für die weitere Prospektion in der Ibbenbürener Karbon-Scholle von großer Bedeutung.

Für die Inkohlungsgradienten im Westfeld ergibt sich, daß in dem vergleichbaren Inkohlungsbereich (zwischen 2,5 % und 3,4 % $\bar{R}$m) die Gradienten in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 wesentlich kleiner sind als in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3. Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 nimmt auch bei den Gradienten eine Mittelstellung ein (vgl. Tab. 8, S. 249). Der merkwürdige Gegensatz zwischen starker Inkohlung und kleinem Inkohlungsgradienten in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 und die starke Zunahme der Inkohlungsgradienten in den untersten Horizonten der Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 2 und 3 werden in Kapitel 5. in einem größeren Zusammenhang diskutiert.

4. Zunahme der Vitrinit-Reflexion in den Untertagebohrungen Ibbenbüren UB 150 und UB 251 im Ostfeld

Die Untertagebohrung Ibbenbüren UB 150 (TK 25: 3612 Mettingen, R 34 16 270, H 58 96 930, - 657,13 m NN) wurde 1967 von der 800-m-Sohle des Nordschachtes heruntergebracht. Sie durchsank bei 908 m unter Geländeoberfläche (104 m Bohrteufe) das Flöz Hagen 1 des Westfals C, bei 1 103 m

(298 m Bohrteufe) die Westfal C/B-Grenze und wurde bei einer Endteufe von 1 451 m (646 m Bohrteufe, 617 m lotrechte Bohrteufe) in den Horster Schichten des Westfals B eingestellt (BÄSSLER 1971). Die Schichten lagen flach und waren ungestört.

Obgleich Inkohlungsprofile der Bohrung Ibbenbüren UB 150 aufgrund verschiedener Inkohlungsparameter schon früher publiziert wurden (STADLER & M. TEICHMÜLLER 1971) soll der Vollständigkeit halber die Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe hier noch einmal beschrieben werden, um den Vergleich mit den anderen Ibbenbüren-Bohrungen zu erleichtern.

Es wurden 20 Kernproben aus Teufen zwischen 821 und 1 391 m (16 - 623 m Bohrteufe) untersucht. Die Ergebnisse sind Tabelle 5 und Abbildung 5 zu entnehmen. Danach wurden im wesentlichen Anthrazite mit 2,5 - 3,15 % $\bar{R}_m$ und 2,7 - 3,5 % $\bar{R}_{max}$ (entsprechend ca. 8 - 5 % Flüchtige Bestandteile) angetroffen. Wie Abbildung 5 zeigt, streuen die Reflexionswerte ähnlich stark wie in den anderen Ibbenbüren-Bohrungen um die Mittellinie der Inkohlungszunahme mit der Tiefe, obgleich in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 nur Kernproben untersucht wurden. Auffallend ist die starke Streuung der $\bar{R}_{max}$-Werte im oberen Teil des Profils, die auf optische Zweiachsigkeit schließen läßt.

Die Inkohlungsgradienten wurden aufgrund der beiden Kurven in Abbildung 5 auf 0,12 % $\bar{R}_m$ und 0,13 % $\bar{R}_{max}$ berechnet. Sie sind etwas kleiner als in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1, die zwischen 300 und 900 m in einem

Tabelle 5

Vitrinit-Reflexion in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)

Proben-Nr.	Teufe unter Oberfläche [1] (m)	Bohrteufe (m)	Flöz Nr.	Flöz ZB [2]	Flöz EB [3]	$\bar{R}_m$ (%)	$\bar{R}_{max}$ (%)
7726	821	16	II	6		2,49	2,57
7725	839	34		Kohlengerölle		2,50	2,76
7723	881	76	V - VIII	9 - 12		2,58	2,91
7745	905	103				2,52	3,03
7727	906	104	XI	15	Hagen 1	2,61	2,97
7724	954	154	XII	17		2,62	2,88
7739	982	184	XIII	19	Erda	2,76	3,07
7743	1013	216	XVI	22		2,67	2,90
7744	1023	227	XX	26		2,81	3,17
7785	1102	310	XXV	32	Z	2,85	3,11
7753	1129	339	XXVIII	35		2,87	3,18
7786	1164	376	XXXIV	39		2,81	3,22
7787	1180	393	XXXV	40		2,80	3,26
7783	1187	400	XXXVIa	42		2,97	3,23
7788	1198	412	XXXVII	43		2,83	3,16
7789	1212	427	XXXIX	45		2,85	3,33
7790	1252	470	XLII	48	R	2,88	3,36
7794	1287	507	XLV	50	Q	3,03	3,48
7795	1369	591	XLIX	54	O	3,15	3,54
7796	1391	623	LII	57	N/M	3,15	3,51

[1] unter Berücksichtigung der Bohrlochabweichung von 21° (nach BÄSSLER 1971)

[2] ZB = Zechenbezeichnung

[3] EB = Einheitsbezeichnung

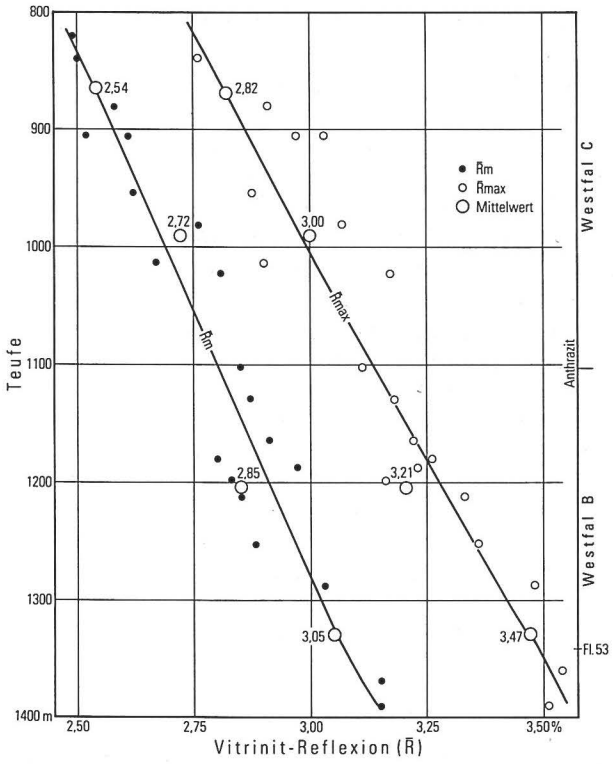


Abb. 5
Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)

Fig. 5
Increase of vitrinite reflectance with depth in the borehole Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)

stratigraphisch höheren Niveau etwa den gleichen Inkohlungsbereich durchteuft hat. Das läßt auf eine vergleichsweise schwächere Wärmebeanspruchung in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 schließen. Die randliche Lage der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) in bezug auf das Bramscher Massiv zeigt Abbildung 7 (S. 251). Dort wurde diese Bohrung in ein Profil hineinprojiziert, das ca. 8,5 km weiter im Südosten quer zum Verlauf der Ibbenbürener Karbon-Scholle durch das Zentrum des Bramscher Massivs verläuft (vgl. BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER 1979: Abb. 2).

Die Untertagebohrung Ibbenbüren UB 251 im Oeynhausen-Feld (TK 25: 3712 Tecklenburg, R 34 16 176, H 57 96 630, -1 208,0 m NN) hat nur 192,6 m Westfal B durchteuft. Sie wurde ca. 1 360 m unter der Erdoberfläche unmittelbar unter dem Flöz 54 angesetzt und schließt damit stratigraphisch an das Profil der Untertagebohrung UB 150 im Nordschacht Ibbenbüren an. Bis zur Endteufe bei ca. 1 550 m wurden 24 Flöze und Flözniveaus durchbohrt, von denen 19, zum Teil sehr eng benachbarte Proben auf ihre Vitrinit-Reflexion untersucht wurden.

Tabelle 6 und Abbildung 6 fassen die Ergebnisse zusammen. Danach hat die Bohrung hoch inkohlte Anthrazite angetroffen. Das Reflexionsvermögen steigt mit der Tiefe im Mittel von 3,15 % $\bar{R}_m$ und 3,56 % $\bar{R}_{max}$ auf 3,65 % $\bar{R}_m$ und 4,1 % $\bar{R}_{max}$ ungewöhnlich schnell an, etwa viermal so schnell wie in der stratigraphisch nach oben anschließenden Bohrung Ibbenbüren UB 150. Obgleich der geringe Teufenunterschied von nur 133 m die Berechnung eines zuverläs-

Tabelle 6
Vitrinit-Reflexion in der Bohrung Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)

Proben-Nr.	Teufe unter Oberfläche (m)	Teufe Bohrteufe (m)	Flöz-Nr.	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)	$\bar{R}min$ (%)
14014	1381	21	I	3,41	3,62	3,19
14015	1382	22	II	3,12	3,52	2,54
14016	1391	31	III	3,20	3,59	2,69
14017	1416	56	IV = 59	3,04	3,55	2,61
14018	1417	57	IV = 59	3,13	3,49	2,73
14019	1421	61	VI	3,20	3,66	2,81
14020	1422	62	VII	3,23	3,67	2,85
14021	1426	66	VIII	3,08	3,53	2,60
14022	1441	81	IX	3,29	3,64	2,79
14023	1442	82	X	3,30	3,74	2,83
14024	1444	84	XII	3,27	3,63	2,74
14025	1455	95	XIV = (1)	3,30	3,60	2,75
14026	1468	108	XV	3,65	3,77	3,49
14027	1475	115	XVI = (2)	3,44	3,82	2,95
14028	1491	131	XVII = (3)	3,46	3,86	2,87
14029	1493	133	XVIII	3,56	3,98	2,72
14030	1499	139	XIX	3,56	4,04	3,04
14031	1506	146	XX	3,33	3,97	2,84
14032	1514	154	XXI	3,65	4,06	2,98

sigen Inkohlungsgradienten erschwert, ist dieser zweifellos sehr groß und gleicht demjenigen, der in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 unterhalb von 1 000 m festgestellt wurde. Zwischen 3,0 und 3,5 % Vitrinit-Reflexion decken sich praktisch die Inkohlungskurven in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 3 und Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld). Auch liegen sie hier im gleichen stratigraphischen Bereich [Flöze 53 bis (2)], während in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 die starke Zunahme des Inkohlungsgradienten erst bei 1 150 m in einem stratigraphisch etwas tieferen Niveau beginnt.

Ein Vergleich mit der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 zeigt dagegen, daß der Inkohlungsgrad jeweils gleicher Flöze in der Bohrung Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) trotz größerer Tiefenlage dieser Flöze geringer ist. Dieser Befund steht in Einklang mit den Untersuchungen von HOYER & LEISSER & R. TEICHMÜLLER (1971): Nach der Isovolen-Karte von Flöz Reden (Westfal C) hat dieses Flöz in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 ca. 7,5 % Flüchtige Bestandteile (waf), während es im Bereich der Bohrung Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) ca. 10,5 % Flüchtige Bestandteile haben müßte (Abb. 1, S. 234 - 235).

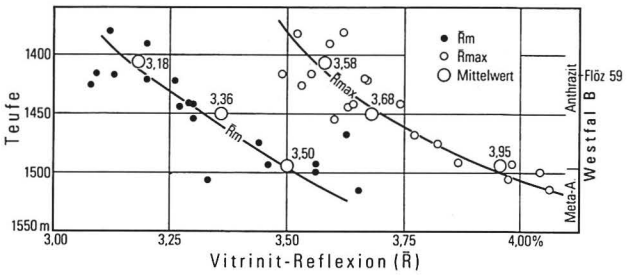


Abb. 6
Zunahme der Vitrinit-Reflexion mit der Tiefe in der Bohrung Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)

Fig. 6
Increase of vitrinite reflectance with depth in the borehole Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)

5. Ergebnis

Die regionalen Inkohlungsunterschiede zwischen den einzelnen, hier untersuchten Bohrungen der Ibbenbürener Karbon-Scholle kommen am besten durch einen Vergleich der Vitrinit-Reflexionen bestimmter Flöze zum Ausdruck. Dazu bieten sich die Flöze 53 und 59 im Westfal B an, da sie in fast allen Bohrungen angetroffen wurden, wobei sich die Ostfeld-Bohrungen Ibbenbüren UB 150 und UB 251 ergänzen (s. Tab. 7). Wo von diesen Flözen keine Proben für Reflexionsmessungen zur Verfügung standen, konnten die Reflexionswerte aus den Inkohlungsprofilen der Abbildungen 2–5 leicht durch Interpolation gewonnen werden. Das trifft zu für Flöz 53 aus den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 2 und Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld), Flöz 59 aus den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 2 und 3 und Flöz (1) aus der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2.

Die Flöze 53 und 59 von Ibbenbüren werden mit den Flözen P und L/K des Ruhrkarbons konnektiert (SCHUSTER 1971, JOSTEN & R. TEICHMÜLLER 1971). Sie liegen damit in den untersten Horster beziehungsweise obersten Essener Schichten des Westfals B. Bei einem Vergleich mit Flözen der Bohrung Münsterland 1 zeigt sich, daß dort das erste angetroffene Flöz Laura/Viktoria der untersten Essener Schichten trotz seines wesentlich höheren Alters und seiner um mehrere hundert Meter tieferen stratigraphischen Position nur das Gaskohlen-Stadium mit 1,14 % $\bar{R}_m$ und 1,21 % $\bar{R}_{max}$ erreicht hat (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & WEBER 1979). Damit wird abermals die ungewöhnlich starke Inkohlung der Ibbenbürener Flöze bestätigt.

Vergleicht man nun die verschiedenen Ibbenbürener Bohrungen untereinander, so zeigt sich nach Tabelle 7, daß der Inkohlungsgrad in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 wesentlich höher ist als in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 3, Ibbenbüren UB 150 und UB 251, in denen die Flöze 53 und 59 etwa gleich stark inkohlt sind. Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 2 nimmt eine Mittelstellung ein. Die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 liegt im Nordwesten des Westfeldes dort, wo auch Flöz Reden besonders stark inkohlt ist (vgl. Abb. 1, S. 234–235). Man muß also annehmen, daß dort die Erhitzung durch das Bramscher Intrusiv am stärksten war. Hinzu kommt, daß der Nordwesten der Ibbenbürener Karbon-Scholle nach dem Karbon und vor dem Zechstein weniger stark herausgehoben wurde als der Südosten (mdl. Mitt. G. DROZDZEWSKI, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.), und daß dort die Absenkung der Flöze

Tabelle 7

Vergleich der Vitrinit-Reflexionen in den Flözen 53 und 59 in den untersuchten Bohrungen von Ibbenbüren aufgrund der Mittellinien in den Abbildungen 2–6

Bohrung	Flöz 53			Flöz 59		
	Teufe (m)	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)	Teufe (m)	$\bar{R}m$ (%)	$\bar{R}max$ (%)
Ibbenbüren-Westfeld 1	1019	3,51	4,01	1145	3,78	4,36
Ibbenbüren-Westfeld 2	1102	3,44	3,96	1190	3,71	4,30
Ibbenbüren-Westfeld 3	1082	3,01	3,40	1137	3,18	3,61
Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)	1342	3,08	3,49	nicht erreicht, s. UB 251		
Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)	nicht erbohrt			1416	3,19	3,59

Tabelle 8

Inkohlungsgradienten in den untersuchten Bohrungen der Ibbenbürener Karbon-Scholle aufgrund der Mittellinien in den Abbildungen 2–6

Bohrung	Teufenbereich (m)	mittlere Reflexion		maximale Reflexion	
		Inkohlungsbereich (% $\bar{R}$m)	Inkohlungsgradient (% $\bar{R}$m / 100 m)	Inkohlungsbereich (% $\bar{R}$max)	Inkohlungsgradient (% $\bar{R}$max / 100 m)
Ibbenbüren-Westfeld 1	340–960 (620 m)	2,50–3,40	0,145	2,80–3,87	0,173
Ibbenbüren-Westfeld 2	556–1080 (524 m)	2,50–3,40	0,17	2,86–3,90	0,20
	1080–1270 (190 m)	3,40–4,05	0,34	3,90–4,70	0,42
Ibbenbüren-Westfeld 3	40–895 (855 m)	1,70–2,50	0,094	1,84–2,76	0,108
	895–1212 (317 m)	2,50–3,40	0,28	2,76–3,87	0,35
Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)	832–1390 (558 m)	2,50–3,15	0,12	2,77–3,35	0,14
Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)	1384–1518 (134 m)	3,10–3,60	0,38	3,51–4,09	0,43

vor allem in der Unterkreide, vor Eindringen des Magmas, stärker war als im Ostfeld (THIERMANN 1970: 81–82). Daraus ergibt sich eine Differenz von ca. 1000 m stärkerer Überlagerung im Nordwesten vor der Heraushebung der Ibbenbürener Karbon-Scholle an der Grenze Oberkreide/Tertiär. Man muß also im Nordwesten auch mit einer stärkeren prämagmatischen Inkohlung rechnen als im Südosten.

Um die Inkohlungsgradienten vergleichen zu können, muß der gleiche Inkohlungsbereich zugrunde gelegt werden, denn die Zunahme der Vitrinit-Reflexion hängt, wie die anderer Inkohlungsparameter, vom Inkohlungsgrad ab. Dazu eignet sich in unserem Fall am besten der Anthrazit-Bereich zwischen 2,5 und 3,4 % $\bar{R}$m, der in fast allen Bohrungen durchteuft wurde (Tab. 8). Er kann auch für einen Vergleich mit anderen Tiefbohrungen Westdeutschlands, die das Karbon durchteuft haben, zugrunde gelegt werden (Tab. 9).

Aus Tabelle 8 ergibt sich, daß in dem vergleichbaren Inkohlungsbereich zwischen 2,5 und 3,4 % $\bar{R}$m die Inkohlungsgradienten in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) am kleinsten sind, gefolgt von den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und 2. Auffallend hohe Gradienten wurden in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 3 und Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld) festgestellt, wobei für die letztere Bohrung allerdings nur der etwas höhere Inkohlungsbereich von 3,10–3,60 % $\bar{R}$m zum Vergleich herangezogen werden konnte.

Wie stark die Gradienten von der Teufe beziehungsweise vom Inkohlungsbereich abhängen, ergibt sich aus dem Vergleich der Werte aus der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3, wo in den oberen Teufen (40–895 m) (zwischen 1,70 und 2,50 % $\bar{R}$m) Gradienten von 0,094 % $\bar{R}$m und 0,108 % $\bar{R}$max pro 100 m Teufe und in den unteren Teufen (895–1212 m) solche von 0,28 % $\bar{R}$m und 0,35 % $\bar{R}$max pro 100 m Teufe festgestellt wurden. Die Gradienten sind damit im

Tabelle 9
Vergleich von Inkohlungsgradienten im Anthrazit-Bereich (2,5 – 3,4 % $\bar{R}$m) in verschiedenen Bohrungen

Bohrung	Inkohlungsgradient (% $\bar{R}$m/100 m Tiefe)
Münsterland 1	0,18
Versmold	0,16
Saar 1	0,16
Ibbenbüren-Westfeld 1	0,145
Ibbenbüren-Westfeld 2	0,17 (extrapoliert)
Ibbenbüren-Westfeld 3	0,28
Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)	0,12
Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)	(0,38) (für 3,1 – 3,6 % $\bar{R}$m)

oberen Teil der Bohrung (Westfal D und C) kleiner und im unteren Teil der Bohrung (Westfal B) wesentlich größer als in stratigraphisch vergleichbaren Horizonten der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1.

Wenn man den gleichen Inkohlungsbereich zugrunde legt, so fällt auf, daß trotz der wesentlich stärkeren Inkohlung der Flöze in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 (vgl. Tab. 7), der Inkohlungsgradient in dieser Bohrung mit 0,14 % $\bar{R}$m pro 100 m Teufe wesentlich kleiner ist als in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3, die mit 0,28 % $\bar{R}$m pro 100 m Teufe einen mehr als doppelt so hohen Gradienten ergeben hat (Tab. 8). Wie Tabelle 9 zeigt, ist der Inkohlungsgradient in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 auch etwa doppelt so hoch wie in den anderen, dort zum Vergleich herangezogenen Bohrungen, das heißt auch in den Bohrungen Münsterland 1, Versmold und Saar 1, die außerhalb des Bramscher Massivs liegen. Dagegen hat die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 bemerkenswerterweise einen kleineren Gradienten ergeben als diese Bohrungen.

Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Reflexionszunahme des Vitrinits mit dem Grad der Anthrazitisierung zunimmt (vgl. M. & R. TEICHMÜLLER & BARTENSTEIN 1984: Abb. 1), ist der Inkohlungsgradient in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 für den Inkohlungsbereich 2,5 – 3,4 % $\bar{R}$m ungewöhnlich groß. Das trifft in noch stärkerem Maße in etwas höheren Inkohlungsbereichen (3,1 – 3,6 % $\bar{R}$m bzw. 3,40 – 4,05 % $\bar{R}$m) für die Bohrungen Ibbenbüren UB 251 und Ibbenbüren-Westfeld 2 zu, in deren untersten Horizonten sogar Gradienten von 0,38 % $\bar{R}$m und 0,34 % $\bar{R}$m pro 100 m Teufe ermittelt wurden. Diese besonders rasche Inkohlungszunahme in relativ großen Tiefen läßt sich möglicherweise mit einer stärkeren Annäherung an den Intrusivkörper des Bramscher Massivs und/oder mit hydrothermalen Einflüssen durch tiefliegende Störungen erklären, die mit dem Osning-System in Verbindung stehen könnten (vgl. Abb. 7).

Eine ähnliche „Diskrepanz" zwischen relativ starker Inkohlung (bezogen auf ein bestimmtes Flöz) und relativ kleinem Inkohlungsgradienten, wie sie in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 gefunden wurde, wurde schon früher (aufgrund der Flüchtigen Bestandteile) in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) im Vergleich zur Bohrung Münsterland 1 festgestellt (STADLER & M.

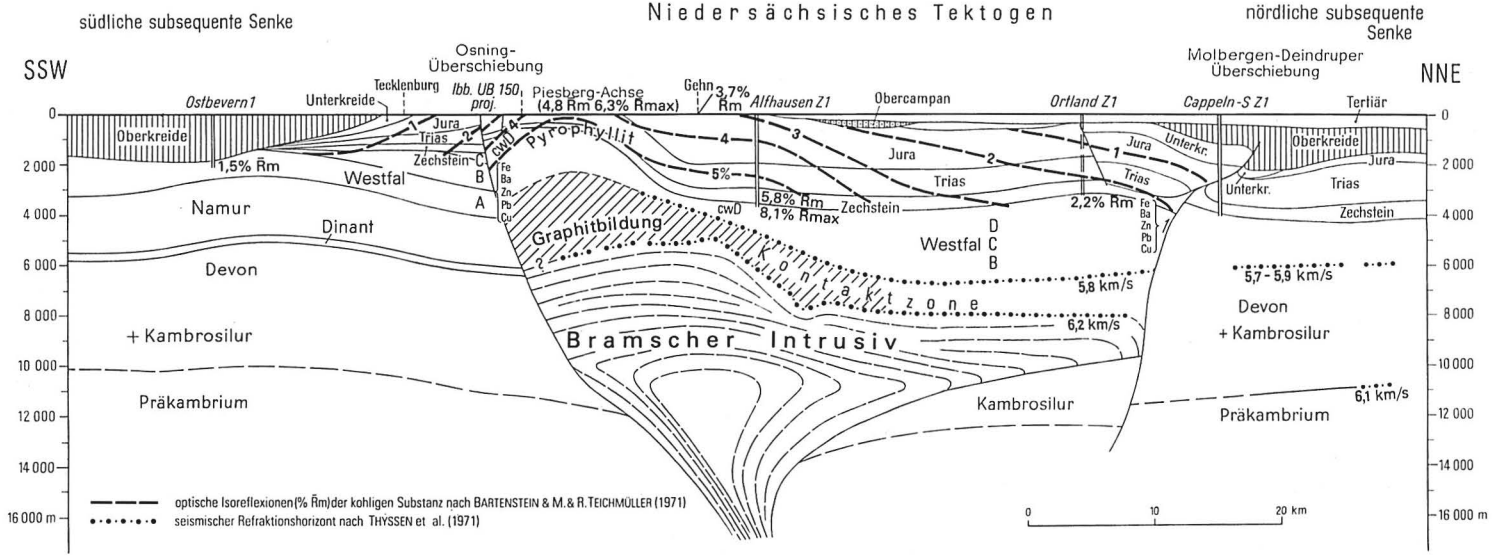


Abb. 7 Schnitt durch das Bramscher Massiv (nach M. & R. TEICHMÜLLER 1984), der die randliche Lage der Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) zum Intrusivkörper in der Tiefe zeigt

Fig. 7 Cross section through the Bramsche Massif (acc. to M. & R. TEICHMÜLLER 1984), showing the marginal position of the borehole Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) in relation to the deep lying intrusive body

TEICHMÜLLER 1971: 144) und damit erklärt, daß die (magmatische) Wärme in der Bohrung Ibbenbüren UB 150 nicht nur von unten, sondern auch von der Seite zuströmte. Nach Tabelle 9 würde das auch für die Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und 2 gelten, deren Inkohlungsgradienten kleiner sind als die der Bohrungen Münsterland 1, Versmold und Saar 1.

In Abbildung 7 ist die Bohrung Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld) in einen Schnitt durch das Bramscher Massiv, der ca. 8,5 km weiter im Südosten verläuft, hineinprojiziert. In diesem Schnitt kommt die randliche Lage der Bohrung zur Oberfläche des Intrusivkörpers deutlich zum Ausdruck. Sie gilt mehr oder weniger auch für die anderen hier untersuchten Bohrungen.

Zweifellos bleiben noch viele Fragen offen für die Erklärung der eigentümlichen Gegensätze zwischen dem Grad der Inkohlung (bezogen auf einen bestimmten Horizont) und den Inkohlungsgradienten in der Anthrazitfolge des Ibbenbürener Karbons. Umso wichtiger sind weitere Inkohlungsuntersuchungen im Raum des Bramscher Massivs und seiner näheren und weiteren Umgebung.

Dank: Die Reflexionsmessungen führten dankenswerterweise R. DRAFEHN, J. ELSING und L. ORLIK durch. Dr. O. DEUTLOFF, Dr. G. DROZDZEWSKI, Dr. K. KÖWING und Dr. A. THIERMANN (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) sei herzlich gedankt für Diskussionen und wichtige Hinweise. Der Preussag AG, insbesondere Dr. A. SCHUSTER und Dr. M. HÄDICKE, danken wir für die Proben und für die Erlaubnis zur Veröffentlichung der Arbeit.

6. Schriftenverzeichnis

BÄSSLER, R. (1971): Das Westfal-Profil der Untertagebohrung Ibbenbüren 150 und sein Vergleich mit anderen Aufschlüssen im Ostfeld der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 151–200, 3 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

BUNTEBARTH, G. (1985): Das Temperaturgefälle im Dach des Bramscher Massivs aufgrund von Inkohlungsuntersuchungen im Karbon von Ibbenbüren. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 255–264, 5 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

BUNTEBARTH, G., & TEICHMÜLLER, R. (1979): Zur Ermittlung der Paläotemperaturen im Dach des Bramscher Intrusivs aufgrund von Inkohlungsdaten. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 171–182, 4 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

HOYER, P., & LEISSER, J., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die regionale Änderung der Inkohlung im Grubenfeld der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 147–150, 2 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.

KÖWING, K. (1981): Geologische Voraussetzungen für das Auftreten von Gasausbrüchen im Steinkohlenbergbau. – Glückauf, **117**: 763–765; Essen.

SCHUSTER, A. (1971): 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.

SCHUSTER, A., & KÖWING, K., & HÄDICKE, M.: Normalprofil des Ibbenbürener Karbons nach Bohrlochmessungen. – [In Vorbereit.]

STACH, E., & MACKOWSKY, M. TH., & TEICHMÜLLER, M., & TAYLOR, G. H., & CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R. (1982): Textbook of coal petrology. – 3. rev. u. erw. Aufl.: 535 S., 204 Abb., 49 Tab., 6 Taf.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).

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.

TEICHMÜLLER, M. (1976 a): Inkohlungsuntersuchungen in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 (UB 1121). – 3 S., 1 Tab., 1 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]

– (1976 b): Inkohlungsuntersuchungen in der Untertagebohrung UB 251 der Preussag AG Kohle, Ibbenbüren Ostfeld. – 4 S., 2 Tab., 1 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]

– (1977): Inkohlungsuntersuchungen an Proben aus der Bohrung Ibbenbüren Westfeld 3 (UB 1123). – 5 S., 1 Tab., 2 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Unveröff.]

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1950): Das Inkohlungsbild des Niedersächsischen Wealden-Beckens. – Z. dt. geol. Ges., **100**: 498 – 517, 11 Abb., 2 Taf.; Hannover.

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.

–, & –, & – (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.

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.

THIERMANN, A. (1970): Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf., Erl., **3712** Tecklenburg: 243 S., 22 Abb., 12 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

– (1980): Erläuterungen zu Blatt 3612 Mettingen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf., Erl., **3612** Mettingen: 200 S., 23 Abb., 12 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 25. 10. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	255 - 264, 5 Abb., 1 Tab.	Krefeld, März 1985

Das Temperaturgefälle im Dach des Bramscher Massivs aufgrund von Inkohlungsuntersuchungen im Karbon von Ibbenbüren

Von GÜNTER BUNTEBARTH*

Geothermics, paleotemperature, heat flow density, organic matter, coalification, Upper Carboniferous, Westphalian B - C, intrusive body (Bramsche Massif), N-German hills (Ibbenbüren horst), Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: Im Karbon von Ibbenbüren sind die Inkohlungsprofile von vier Bohrungen bekannt. Die Inkohlungsgrade zeigen deutlich den Einfluß der magmatischen Aufheizung durch das Bramscher Massiv, das als basisches bis ultrabasisches Intrusiv an der Wende Unterkreide/Oberkreide in das Niedersächsische Becken eindrang. Aus der maximalen Versenkung der Schichten zu dieser Zeit und den Inkohlungsdaten werden die Paläotemperaturgradienten errechnet. Sie liegen im Bereich von 65 - 92° C/km und damit ebenso hoch wie die Paläotemperaturgradienten am linken Niederrhein. Mit angenommenen Wärmeleitfähigkeiten ergibt sich für das Karbon von Ibbenbüren eine Paläowärmeflußdichte von ca. 150 mW/m^2.

Aufgrund eines Abkühlungsmodells wird die Einwirkung des Bramscher Intrusivs auf die Inkohlung der untersuchten Bohrungen errechnet. Die Paläotemperaturgradienten lassen sich dann gut erklären, wenn die Bohrungen über dem Intrusivkörper etwa 1 - 2 km vom Rand entfernt liegen. Die für die Inkohlung wirksamen Temperaturen, die niedriger als die errechneten Temperaturmaxima sind, werden als effektive Temperaturen mit dem Inkohlungsgrad in Beziehung gesetzt. Dabei zeigt sich, daß der Inkohlungszustand in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 nur dann erklärt werden kann, wenn der Temperaturgradient vor der Intrusion mit 30° C/km angesetzt wird. Bei den anderen Bohrungen (Ibbenbüren-Westfeld 1, Ibbenbüren UB 150 und UB 251) wird er mit 40° C/km angenommen.

[Temperature gradients in the roof of the Bramsche Massif using coalification data in the Carboniferous of Ibbenbüren]

Abstract: The coalification profiles of four boreholes are known in the Carboniferous of Ibbenbüren (NW-Germany). The degrees of coalification exhibit clearly the influence of the magmatic heating by the Bramsche Massif which intruded as a basic to ultrabasic body into the Lower Saxony basin at the end of the Lower Cretaceous. Using the maximum subsidence of the layers at that time and the coalification data, paleotemperature gradients are calculated. They cover a range between 65 and 92° C/km which is as much high as the gradients in the Lower Rhine basin. Applying thermal conductivities in dependence on the coal content of the strata, a paleo heat flow density of about 150 mW/m^2 is estimated for the Carboniferous of Ibbenbüren.

The influence of the Massif of Bramsche on the coalification of the boreholes investigated is calculated on the basis of a cooling model. The paleotemperature gradients agree well with the results of the model, if the boreholes are located above the intrusive body 1 - 2 km distant from the rim. The effective coalification temperatures, which are lower than the maximum temperatures reached during the cooling process, are correlated with the degrees of coalification. The coalification in the borehole Ibbenbüren-Westfeld 3 agrees with the relation, if an initial temperature gradient of 30° C/km is applied, whereas the initial gradient of the other boreholes (Ibbenbüren-Westfeld 1, Ibbenbüren UB 150 and UB 251) is 40° C/km.

* Anschrift des Autors: Dr. G. BUNTEBARTH, Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal, Postfach 230, D-3392 Clausthal-Zellerfeld

[Les gradients de température dans le toit du massif de Bramsche basées sur des recherches de houillification du Carbonifère d' Ibbenbüren]

Résumé: Dans le Carbonifère d' Ibbenbüren les profils de houillification de quatre forages sont connus. Les degrés des carbonification montrent clairement l'influence de l'échauffement magmatique du massif de Bramsche qui pénétrait le bassin de Basse Saxe comme corps intrusif basique à ultrabasique à la fin du crétacé inferieur. Les gradients paléogéothermiques sont évalués suivant l'effondrement maximal des couches à cette époque et suivant les données de carbonification. Ils couvrent une zone de 65 - 92° C/km ce qui est aussi élevé que les gradients du bassin du Bas-Rhin. Avec des conductibilités de température dépendant de la contenance du charbon dans les couches, on obtient le flux de chaleur d'environ 150 mW/m^2 pendant le Carbonifère d' Ibbenbüren.

L'influence du corps intrusif de Bramsche sur la houillification des forages examinés est calculée sur la base d'un modèle de refroidissement. Les gradients paléogéothermiques correspondent bien aux résultats du modèle si les forages sont localisés au dessus du corps intrusif de 1 - 2 km de distance du toit. Les températures effectives de houillification, qui sont moindres que les températures calculées durant le processus de refroidissement, sont mises en relation avec le degré de carbonification. La houillification du forage d' Ibbenbüren-Westfeld 3 demontre cette relation si un gradient initial de température est appliqué à 30° C/km de même que le gradient initial des autres forages (Ibbenbüren-Westfeld 1, Ibbenbüren UB 150 et UB 251) est 40° C/km.

1. Einführung

Das regionale Inkohlungsbild im Niedersächsischen Tektogen ist ganz bedeutend von der Intrusion des Bramscher Massivs geprägt worden (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1950). Nachgewiesener Pyrophyllit und eine höhere Illit-Kristallinität weisen auch auf die Einwirkung des großen Intrusivs von Bramsche hin (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER & WEBER 1979). Ein erstes thermisches Modell und die Auswirkung auf das Dach des Intrusivs während der Abkühlung des Körpers stellte MUNDRY (1971) vor. Ein auf gravimetrischen, magnetischen und seismischen Ergebnissen basierender Modellkörper wurde im Zentralbereich der Anomalie mit Inkohlungsdaten vom Piesberg, Gehn und der Bohrung Alfhausen Z1 in Einklang gebracht (BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER 1979) und damit eine Inkohlungszunahme erklärt, die über den aus der epirogenen Absenkung erreichten Inkohlungsgrad hinausgeht und auf die magmatische Erwärmung der Oberkruste durch das aufgedrungene Magma beruht.

Die Inkohlungsuntersuchungen im Karbon von Ibbenbüren weisen auch deutlich auf eine starke Aufheizung im Untergrund hin, die auf den kretazischen Magmatismus, das heißt auf den Einfluß des Bramscher Massivs zu-

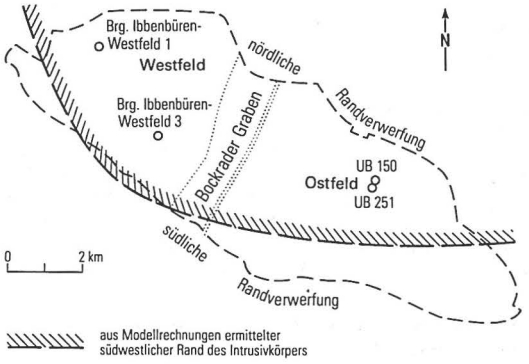


Abb. 1
Die Ibbenbürener Karbon-Scholle mit Lage der untersuchten Bohrungen

Fig. 1
The Ibbenbüren horst and the location of the boreholes investigated

Abb. 2
Angenommene Versenkung des Westfals B der Ibbenbürener Karbon-Scholle bis zur Unterkreide-Zeit (aufgrund von Schichtenmächtigkeiten nach THIERMANN 1970, 1980)

Fig. 2
Presumed subsidence of Westphalian B of the Ibbenbüren horst until the Lower Cretaceous (applying the thickness of layers reported by THIERMANN 1970, 1980)

rückzuführen ist (R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER 1985). Diese Inkohlungsdaten aus den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und -Westfeld 3 sowie den beiden Untertagebohrungen UB 150 und UB 251 (Abb. 1) im Ostfeld der Ibbenbürener Steinkohlenbergwerke der Preussag AG Kohle werden geothermisch interpretiert. Es muß dazu die Versenkungsgeschichte des Gebietes bekannt sein, um die epirogene Absenkung und die maximal erreichte Versenkungstiefe der einzelnen Proben zu erhalten, die für die maximale Inkohlungstemperatur bedeutend ist. Die zahlreichen Arbeiten über die Mächtigkeit der einzelnen stratigraphischen Horizonte wurden von THIERMANN (1970, 1980) ausgewertet und dienen hier als Grundlage zur Rekonstruktion der Versenkungsgeschichte (Abb. 2). Für das Ost- und Westfeld sind die Absenkungskurven nur in der Unterkreide unterschiedlich. Im Bereich des Ostfeldes, das zu dieser Zeit in Küstennähe lag, ist eine geringere Unterkreide-Mächtigkeit anzunehmen als im Westfeld, das in Richtung des Zentralteils des Niedersächsischen Beckens und schon im offenen Meer lag. Die nach der Unterkreide einsetzende intensive Gebirgsbildung führte zur Hebung und Abtragung, die im Ibbenbürener Raum 3000 – 4000 m betrug, so daß das Karbon nun zutage tritt.

Mit dem Aufstieg des großen Intrusivs von Bramsche, das sich als gravimetrischer und magnetischer Störkörper an der Erdoberfläche abzeichnet, haben sich auch die thermischen Verhältnisse im Dach des Intrusivs stark verändert. Nach STADLER & R. TEICHMÜLLER (1971) drang das Magma an der Wende Neokom/Alb in die Kruste des Niedersächsischen Beckens ein, und der Magmatismus dürfte bis ins Turon angehalten haben. Die periphere Lage der hier untersuchten Vertikalprofile zum Bramscher Massiv bewirkte eine weit geringere Erwärmung der Kohlenflöze als es im Zentralteil des Massivs der Fall war, wie Temperaturberechnungen zeigen (MUNDRY 1971, BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER 1979). Nach KÖWING (1981) hatten die Flöze 53 und 54 mindestens das Esskohlenstadium erreicht, als das Magma aufstieg. Das mittlere Reflexionsvermögen des Vitrinits erhöhte sich danach als Folge der magmatischen Einwirkung von 1,8 % auf über 3 % R_m. Die periphere Lage bewirkte nicht

nur eine niedrigere Temperaturerhöhung, sondern auch einen geringeren Unterschied zwischen maximal erreichter Temperatur und einer effektiven Temperatur, die dem erhöhten Inkohlungsgrad zugeordnet wird. Weil die Inkohlungsreaktionen nicht spontan auf Temperaturerhöhung reagieren, ist im allgemeinen nicht das nur kurze Zeit andauernde Temperaturmaximum für den vorgefundenen Inkohlungsgrad verantwortlich, sondern eine niedrigere effektive Temperatur. Im Falle des Bramscher Massivs wurde die effektive Temperatur aus dem Mittelwert errechnet, der sich aus dem Temperaturmaximum und dem auf 1/e (= 1/2,718) abgeklungenen Wert ergibt (BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER 1979). Je größer nun die Entfernung vom Intrusiv ist, desto näher liegt die effektive Temperatur dem Temperaturmaximum.

2. Geothermische Interpretation der Inkohlungsprofile

Die Ibbenbürener Karbon-Scholle liegt, wie die Inkohlungsuntersuchungen zeigen (HOYER & LEISSER & R. TEICHMÜLLER 1971, R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER 1985), im peripheren Randbereich des Bramscher Massivs. In erster Näherung kann man erwarten, daß die maximal erreichten Temperaturen in den Schichten des Westfals lange genug vorherrschten, um repräsentativ für den gemessenen Inkohlungsgrad zu sein. Unter dieser Voraussetzung werden die gemessenen Inkohlungsdaten der Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, -Westfeld 3, UB 150 und UB 251 (R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER 1985) mit Hilfe der in Abbildung 2 angegebenen maximalen Versenkungstiefen geothermisch ausgewertet. Danach ist das Quadrat des mittleren Reflexionsvermögens (R_m) der integrierten Versenkungsgeschichte proportional und vom Temperaturgradienten abhängig (BUNTEBARTH 1979, BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982). Mit Hilfe einer Eichfunktion läßt sich der Temperaturgradient (dT/dz) errechnen:

$$dT/dz\ [°C/km] = 98{,}7 - 14{,}6 \ln \left([\int_{z_1}^{z_2} (z(t) + z_e)dt + c]/R_m^2\right) \qquad (1)$$

z_1 bis z_2 bedeuten die Sedimentmächtigkeit, für die das Integral berechnet werden kann; c wird als Konstante mittels Statistik aus den Wertepaaren R_m und $\int_{z_1}^{z_2} z(t)dt$ ermittelt und enthält den Integralwert:

$$c = \int_{o}^{z_1} z_e(t)dt, \qquad (2)$$

der durch Abtragung von Schichten (z_e) im Verlaufe der geologischen Geschichte nicht unmittelbar zu errechnen ist. c kann aber auch bei langen Stillstandszeiten negativ sein, weil bei der Auswertemethode vorausgesetzt wird, daß nur kinetische Vorgänge die Inkohlung beeinflussen. Bei Stillstand würde sonst die Zeit einen nach empirischen Erkenntnissen ihr nicht zukommenden großen Einfluß haben.

Werden unter den angegebenen Voraussetzungen die Inkohlungsdaten ausgewertet, ergeben sich die in Tabelle 1 und Abbildung 3 dargestellten Temperaturgradienten. In der Abbildung sind die Profilabschnitte dargestellt, die durch Inkohlungsdaten belegt sind, mit Angabe der errechneten Temperaturgradienten (°C/km), der abgeschätzten Paläowärmeflußdichte (mW/m^2) und der mittleren Vitrinit-Reflexion (% R_m) der obersten und untersten Probe

Tabelle 1

Maximale Versenkung der erbohrten Schichten für Beginn und Ende der untersuchten Bohrprofile

Bohrung	Versenkungstiefe z (km)	Vitrinit-Reflexion[1] Rm (%)	effektive Temperatur Teff (°C)	Temperaturgradient (dT/dz) nach Abkühlungsmodell ohne Korrektur (°C)	mit Kohlengehalt (°C)	aus Inkohlung
Ibbenbüren-Westfeld 1	4,2 5,4	2,25 4,0	240 308	76	87 95	74 81
Ibbenbüren-Westfeld 3	4,0 4,5	1,7 2,25	189 217	58	67	65
	4,7 5,2	2,25 3,3	228 257	69	86	83
Ibbenbüren UB 150 (Ostfeld)	3,8 4,4	2,45 3,1	219 251	68	82	73
Ibbenbüren UB 251 (Ostfeld)	4,4 4,5	3,1 3,6	251 257	71	89	92

[1]nach R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER 1985

in der jeweiligen Bohrung nach R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER (1984). Die Temperaturgradienten im Ibbenbürener Karbon sind im Mittel - wie zu erwarten - höher als die Gradienten im Ruhrkarbon und liegen ähnlich hoch wie am linken Niederrhein (BUNTEBARTH & KOPPE & M. TEICHMÜLLER 1982), wo auch ein Magmenkörper im Krefelder Gewölbe die Inkohlung der Flöze beeinflußt hat (BUNTEBARTH & MICHEL & R. TEICHMÜLLER 1982). Auch der hohe Gradient von 86° C/km bei Westerholt im Ruhrbecken wird als magma-

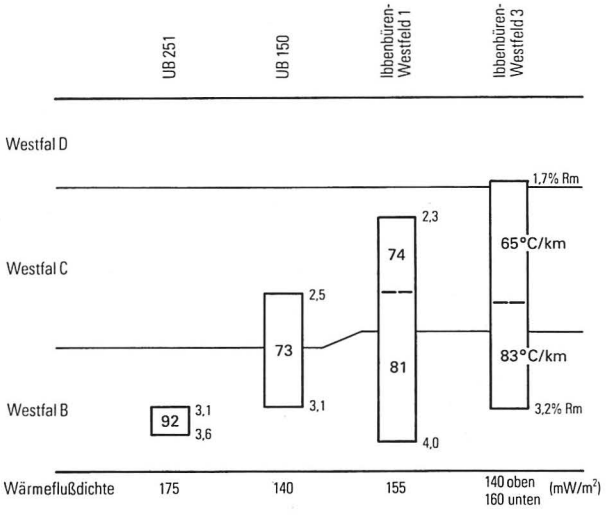


Abb. 3
Errechnete Temperaturgradienten und die abgeschätzte Paläowärmeflußdichte in den durch Inkohlungsdaten belegten Profilabschnitten der untersuchten Bohrungen

Fig. 3
Calculated temperature gradients (° C/km), and the estimated paleo heat flow density (mW/m²) in borehole sections demonstrated by coalification data (% Rm)

tisch bedingt verstanden (WEGEHAUPT 1962). Die errechneten Temperaturgradienten im Karbon von Ibbenbüren liegen zwischen 65 und 92° C/km, wobei der sehr hohe Gradient in der Bohrung Ibbenbüren UB 251 aus einem kurzen Profil errechnet wird und ein größerer Fehler anzunehmen ist als in der benachbarten Bohrung Ibbenbüren UB 150. Die Temperaturgradienten im Westfeld weisen im unteren Profilstück ebenfalls einen hohen Gradienten von 81 bzw. 83° C/km auf. Hingegen zeigt das obere Profilstück einen niedrigeren Gradienten von 74 bzw. 65° C/km. Die Änderung im Temperaturgradienten ist auch im Inkohlungsgradienten deutlich angezeigt (R. TEICHMÜLLER & M. TEICHMÜLLER 1985).

Änderungen im Temperaturgradienten können vielfältige Ursachen haben (BUNTEBARTH 1983), wie Änderung der Wärmeleitfähigkeit in den Schichten, synsedimentäre Abnahme in der Wärmeflußdichte, Migration von Porenwasser und auch magmatische Einwirkung. Die Abnahme des Temperaturgradienten in den Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und Ibbenbüren-Westfeld 3 liegt etwa in der Iduna-Flözgruppe. Das Normalprofil des Ibbenbürener Karbons weist im Liegenden der Iduna-Gruppe eine deutlich höhere Kohlenführung auf als im Hangenden (THIERMANN 1980). Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Kohle, die hier mangels Daten mit 0,26 W/mK als konstant angenommen wird, läßt sich zeigen, daß die Änderung im Temperaturgradienten in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 allein auf eine materialbedingte Änderung zurückzuführen ist. Wird für das Flözleere eine Wärmeleitfähigkeit von 2,4 W/mK angenommen, so ergeben sich folgende Wärmeleitfähigkeiten bei dem genannten Kohlenanteil:

- Obere Ibbenbürener Schichten (1,2 % Kohle): 2,18 W/mK
- Untere Ibbenbürener Schichten (1,9 % Kohle): 2,08 W/mK
- Alstedder Schichten (3 % Kohle): 1,92 W/mK

Mit diesen Werten ergibt sich für die Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 eine konstante Wärmeflußdichte von $Q = 155\ mW/m^2$.

Bei der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 errechnet sich für die Schichten im Hangenden der Iduna-Gruppe eine Wärmeflußdichte von $Q = 140\ mW/m^2$ und im Liegenden eine von $Q = 160\ mW/m^2$. Solche nicht sehr markanten Unterschiede können bei Wassermigrationen leicht auftreten, was einerseits wegen der Nähe des Intrusivkörpers plausibel und andererseits mit dem der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 1 gut übereinstimmenden Mittelwert auch wahrscheinlich ist.

Die beiden Untertagebohrungen im Ostfeld, Ibbenbüren UB 150 und UB 251, lassen sich, obschon sie nur wenig voneinander entfernt liegen, nicht als Einheit verstehen. Der Temperaturgradient der Bohrung Ibbenbüren UB 150 ist niedriger als der in den entsprechenden Schichten im Westfeld. Es könnte sein, daß die Position zum Bramscher Massiv anders ist und/oder daß die thermischen Eigenschaften der Schichten nicht die gleichen sind. Die Wärmeflußdichte errechnet sich bei einer Wärmeleitfähigkeit von 1,92 W/mK zu $Q = 140\ mW/m^2$. Der hohe Temperaturgradient in der Bohrung Ibbenbüren UB 251 ergibt bei gleichen Eigenschaften der Gesteine eine Wärmeflußdichte von $Q = 175\ mW/m^2$. Bei einem so kurzen Profil von nur 133 m müßte wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Kohle ihr Anteil genauer bekannt sein. Wenn der Kohlenanteil in diesen Schichten nicht 3 %, sondern 5 % betrüge, würde die Wärmeleitfähigkeit von 1,92 auf 1,7 W/mK sinken und damit die

Wärmeflußdichte auf Q = 155 mW/m^2. Es wird deshalb angenommen, daß die Wärmeflußdichte derjenigen in den vergleichbaren Schichten des Westfeldes ähnlich ist.

Die Wärmeflußdichte im Ibbenbürener Karbon ist ebenso hoch wie sie in der Nahe-Senke für das Autun errechnet wurde (BUNTEBARTH 1983), wo der Rotliegend-Vulkanismus die thermische Anomalie verursacht hat.

3. Zur thermischen Wirkung des Bramscher Intrusivs auf die Kohlenflöze des Westfals

Ein quaderförmiger Modellkörper von einer Größe 15 x 30 x 6 km wird als Magmenkörper angenommen, um die Wärmemenge zu erzeugen, die die hohen Inkohlungsgrade am Piesberg, am Gehn und in der Bohrung Alfhausen Z1 zu erklären vermag (BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER 1979). Die Überdeckung beträgt zur Zeit der Platznahme 8 300 m. Als Schmelztemperatur des vermutlich basischen bis ultrabasischen Magmas werden mindestens 900 – 1 000° C angenommen. Zur näherungsweisen Berücksichtigung der bei der Kristallisation freiwerdenden latenten Wärme wird die Intrusionstemperatur um einen fiktiven Betrag von ca. 300° C erhöht (z. B. BUNTEBARTH 1980: 26), ein Betrag, der sich aus dem Quotienten von Schmelzwärme und spezifischer Wärme ergibt.

Bei der Berechnung der Temperaturen im Dach des Intrusivkörpers wird angenommen, daß die Intrusion ein einmaliges Ereignis war. Für eine Intrusion von solchem Ausmaß ist diese Prämisse sicherlich sehr vereinfachend, zumal auch bekannt ist, daß der Magmatismus vom Alb bis zum Turon andauerte, aber die Informationen über die Größe des Körpers selbst sind noch so unzureichend, daß ein komplizierteres Intrusionsmodell unpassend wäre. Auch die thermischen Leitfähigkeiten der Gesteine im Dach und die des Intrusivs selbst sind nur annähernd abschätzbar. Es besteht daher noch nicht die Voraussetzung, mit einem genaueren Modell als dem von MUNDRY (1971) und BUNTEBARTH & R. TEICHMÜLLER (1979) zu rechnen.

Der ungestörte Temperaturgradient wird mit 40° C/km angenommen. Zur Erklärung der errechneten Paläotemperaturgradienten ergibt sich, daß sowohl die Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1 und -Westfeld 3 wie auch die Untertagebohrungen Ibbenbüren UB 150 und UB 251 nahe dem Rand des Intrusivkörpers liegen. Aus dem benutzten Modell und den bisherigen Daten stimmt der Verlauf des südwestlichen Randes des Magmenkörpers etwa mit der südlichen Randverwerfung der Ibbenbürener Karbon-Scholle überein (s. Abb. 1, S. 256). Die Modellberechnungen zeigen Temperaturgradienten auf, die mit den aus den Inkohlungsgradienten errechneten dann vergleichbar sind, wenn die Profile über dem Intrusiv etwa 1 – 2 km vom Rand entfernt sind. Weil in diesem Fall Temperaturanstieg und -abfall im Nebengestein wesentlich langsamer verlaufen als über dem zentralen Körper, ist die effektive Temperatur für den gemessenen Inkohlungsgrad dem erfahrenen Temperaturmaximum weit näher als Punkte, die weniger weit von der Wärmequelle entfernt sind. Die Aufheizgeschwindigkeiten sind für die angegebenen Lokationen in Abbildung 4 dargestellt mit der Tiefe als Parameter, wenn die Oberkante des Intrusivs in z = 8,3 km Tiefe liegt. Danach ist die maximale Aufheizrate bereits zwischen 70 000 und 100 000 Jahren erreicht. Bei einer so schnellen Temperaturänderung kann der Inkohlungsgrad keinen Gleichgewichtszustand errei-

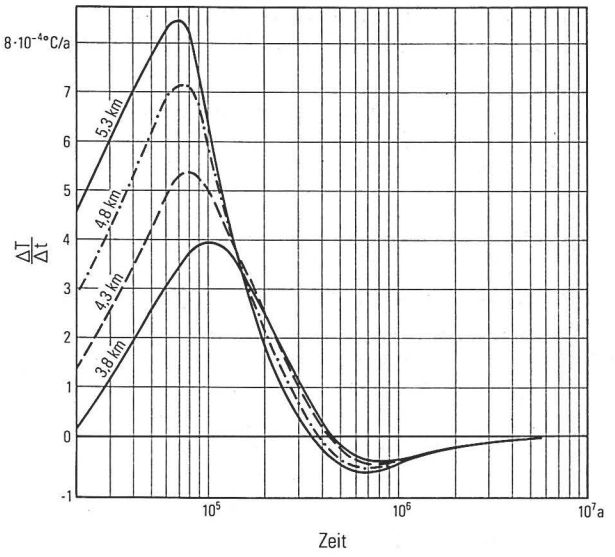


Abb. 4
Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten im Dach eines Modellmagmenkörpers, dessen Oberfläche in einer Tiefe von z = 8,3 km liegt. Die Kurvenschar wurde in einer Entfernung von 1,5 km vom Rand für verschiedene Teufen errechnet.

Fig. 4
Heating and cooling rates in the roof of a model intrusive body, of which the top is in a depth of z = 8,3 km. The set of curves has been calculated at different depths in a distance of 1,5 km from the rim.

chen. Der Inkohlungsfortschritt wird im wesentlichen erst dann mit den Reaktionstemperaturen vergleichbar sein, wenn die Aufheizraten schon niedrig sind und die Abkühlung der Schichten nach ca. 400 000 Jahren, das heißt nahe dem Temperaturmaximum, eingesetzt hat.

Die Modellberechnungen ergeben die in Tabelle 1 (S. 259) jeweils am Profilanfang und am Profilende errechneten effektiven Temperaturen. Die Temperaturen für die Bohrungen Ibbenbüren-Westfeld 1, UB 150 und UB 251 korrelieren gut mit dem Inkohlungsgrad, wenn ein Temperaturgradient von 40° C/km vor der Intrusion vorausgesetzt wird. Die Inkohlungsgrade in der Bohrung Ibbenbüren-Westfeld 3 hingegen, die nach R. TEICHMÜLLER &

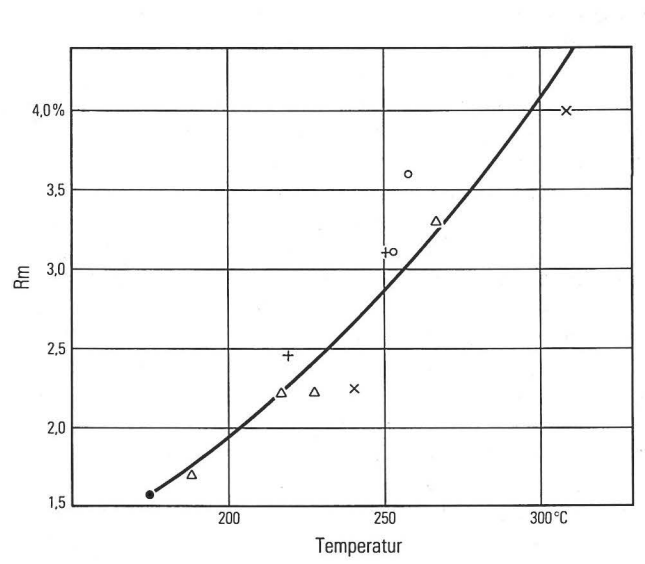


Abb. 5
Beziehung zwischen der mittleren Vitrinit-Reflexion und der errechneten Reaktionstemperatur für die jeweils oberste und unterste Probe der untersuchten Profilabschnitte

Fig. 5
Relation between the mean vitrinite reflectance (% Rm) and the estimated reaction temperature (T) of the uppermost and undermost sample of the investigated borehole sections

M. TEICHMÜLLER (1985) auffallend niedrig sind, passen sich nur dann in die Beziehung zwischen Inkohlungsgrad und Reaktionstemperatur ein, wenn ein Temperaturgradient von 30°C/km vor der Intrusion angenommen wird (Abb. 5).

Die aus dem Modell errechneten maximalen Temperaturgradienten sind alle deutlich niedriger als diejenigen, die sich aus den Inkohlungsprofilen errechnen. Im Abkühlungsmodell wurde der Kohlenanteil der Westfal-Schichten, der die Wärmeleitfähigkeit merklich erniedrigt, nicht berücksichtigt. Wie groß der Einfluß der sehr schlecht leitenden Kohle auf das Temperaturfeld sein kann, zeigt Tabelle 1 (S. 259). Werden die aus dem Abkühlungsmodell errechneten Temperaturgradienten entsprechend den geschätzten Wärmeleitfähigkeiten der Ibbenbürener und Alstedder Schichten korrigiert, ergeben sich maximale Temperaturgradienten, die mit den aus den Inkohlungsprofilen errechneten weit besser übereinstimmen. Eine genauere Betrachtung ist nicht möglich, weil es keine Wärmeleitfähigkeitsmessungen von Kohle in Abhängigkeit von Temperatur und Inkohlungsgrad gibt.

Es ist geplant, die vorliegenden Ergebnisse mit Unterstützung neuerer Daten zu präzisieren, wenn weiterführende geologische Untersuchungen und zusätzliche Bohrungen im Ibbenbürener Karbon neue Erkenntnisse vor allem über die Gesamtmächtigkeit des Westfals B und die thermischen Eigenschaften in diesem Gebiet erbringen.

4. Schriftenverzeichnis

BUNTEBARTH, G. (1979): Eine empirische Methode zur Berechnung von paläogeothermischen Gradienten aus dem Inkohlungsgrad organischer Einlagerungen in Sedimentgesteinen mit Anwendung auf den mittleren Oberrhein-Graben. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 97-108, 3 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

- (1980): Geothermie - eine Einführung in die allgemeine und angewandte Wärmelehre des Erdkörpers. - 156 S., 64 Abb., 11 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

- (1983): Zur Paläogeothermie im Permokarbon der Saar-Nahe-Senke. - Z. dt. geol. Ges., **134**: 211-223, 7 Abb., 2 Tab.; Hannover.

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.

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., & MICHEL, W., & TEICHMÜLLER, R. (1982): Das permokarbonische Intrusiv von Krefeld und seine Einwirkung auf die Karbon-Kohlen am linken Niederrhein. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **30**: 31-45, 8 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

BUNTEBARTH, G., & TEICHMÜLLER, R. (1979): Zur Ermittlung der Paläotemperaturen im Dach des Bramscher Intrusivs aufgrund von Inkohlungsdaten. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 171-182, 4 Abb., 2 Tab.; Krefeld.

HOYER, P., & LEISSER, J., & TEICHMÜLLER, R. (1971): Die regionale Änderung der Inkohlung im Grubenfeld der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 147-150, 2 Taf.; Krefeld.

KÖWING, K. (1981): Geologische Voraussetzungen für das Auftreten von Gasausbrüchen im Steinkohlenbergbau. - Glückauf, **117**: 763-765; Essen.

MUNDRY, E. (1971): Der Temperaturverlauf im Dach des Bramscher Massivs nach der Wärmeleitungstheorie. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **10**: 539-546, 5 Abb.; Krefeld.

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1950): Das Inkohlungsbild des Niedersächsischen Wealden-Beckens. – Z. dt. geol. Ges., **100**: 498–517, 11 Abb., 1 Taf., 1 Kt.; Hannover.

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., & TEICHMÜLLER, M. (1985): Inkohlungsgradienten in der Anthrazitfolge des Ibbenbürener Karbons. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 231–253, 7 Abb., 9 Tab.; Krefeld.

THIERMANN, A. (1970): Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000: 243 S., 22 Abb., 10 Taf.; Krefeld.

– (1980): Erläuterungen zu Blatt 3612 Mettingen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000: 200 S., 23 Abb., 12 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

WEGEHAUPT, H. (1962): Zur Petrographie und Geochemie des höheren Westfal A von Westerholt. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3**: 445–495, 11 Abb., 20 Tab., 6 Taf.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 23. 8. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	265 - 287, 4 Abb., 1 Tab.	Krefeld, März 1985

Vorschlag eines Richtschichtenschnittes für das flözführende Oberkarbon (Westfal A und B) des Aachen - Erkelenzer Steinkohlenreviers

Von MATTHIAS ZELLER*

Coal seam, Upper Carboniferous (Westphalian A, B), correlation, Rhenish Massif (Wurm-syncline), Lower Rhine Basin (Erkelenz-Horst), Northrhine-Westphalia (Aachen - Erkelenz coal district)

Kurzfassung: Für die beiden Steinkohlengebiete des Aachener (Wurm-) Reviers und des Erkelenzer Reviers wurde ein gemeinsamer Schichtenschnitt erarbeitet, der als Richtschichtenschnitt vorgeschlagen wird. Die Auswahl von drei Referenzprofilen der einzelnen stratigraphischen Abschnitte erfolgte nach einer möglichst zentralen Lage im Wurm-Gebiet. Die Schichtenfolge wurde aus Grubenaufschlüssen (Querschlag, Schacht und Untertagebohrungen), die eine kontinuierliche Schichtenfolge repräsentieren, durch die detaillierte geologische Aufnahme ermittelt, soweit die bergbaulichen Aufschlüsse es zuließen. Die Referenzprofile bilden die Grundlage für den Richtschichtenschnitt.

Die Schichtenfolge beginnt im Bereich der Geitling-Flözgruppe der Oberen Stolberger Schichten (Westfal A), schließt die gesamten Kohlscheider und Alsdorfer Schichten (Westfal B) ein und endet in den höchsten im Wurm-Revier bekannten Flözen der Merksteiner Schichten (Flöz 41, oberes Westfal B).

Für die Benennung der Flöze wurde die Aachener Einheitsbezeichnung verwendet: Lediglich für die Oberen Stolberger Schichten gelten die Flöznamen der Ruhrgebietsbezeichnung, für die Kohlscheider Schichten große Buchstaben (vom Hangenden mit A beginnend) und für die Alsdorfer und Merksteiner Schichten Ziffern (vom Liegenden mit 1 beginnend).

[Proposed Type section of the productive measures of the Upper Carboniferous (Westphalian A and B) in the Aachen (Wurm) and Erkelenz coal district]

Abstract: For both coal mining districts in the western part of the Federal Republic of Germany a joint section has been set up and will be proposed as a general type section for the Aachen district. The choice of three reference sections refering to the particular stratigraphic divisions has been taken according to the following principles: a central position within the Wurm district, a continous and comprehensive stratigraphic succession represented by one exposure (crosscut, shaft, borehole) and a most detailed geological investigation.

The stratigraphic sequence regarded by the type section commences with the group of Geitling coal seams (Westphalian A) of the Upper Stolberg beds and continues describing the entire Kohlscheid and Alsdorf beds. The type section completes the sequence somewhere within the Merkstein beds (coal seam 41, Upper Westphalian B), which are known as the youngest carboniferous layers in the Wurm district.

The type section is based on the standard designation of the Aachen area (Aachener Einheitsbezeichnung): the Ruhr standard designation is taken over only for the Upper Stolberg beds, capital letters are used for the Kohlscheid beds (starting with A from the top) and numbers are used for the Alsdorf and Merkstein beds (starting with 1 from the bottom).

* Anschrift des Autors: Dr. M. ZELLER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

[Une proposition d'une section de référence du Carbonifère supérieur (Westphalien A et B) dans la région houillère d'Aix-la-Chapelle - Erkelenz]

Résumé: Une section de référence commune a été établié pour les deux régions houillères d'Aix-la-Chapelle (ou de Wurm) et d'Erkelenz. Le choix de trois sections de référence qui concernent les divisions stratigraphiques particulières a été fait selon la méthode suivante: une position centrale dans le district de Wurm, une succession stratigraphique continue et globale obtenue par un affleurement, soit un travers-banc, un puits ou un forage et une recherche géologique la plus exacte possible.

La séquence stratigraphique présenteé commence par le groupe de veines de charbon Geitling dans les couches supérieures de Stolberg (Westphalien A), comprend les couches entières de Kohlscheid et d'Alsdorf (Westphalien B) et finit par les veines de charbon les plus récentes de la section de Wurm, tracées jusqu'ici dans les couches de Merkstein (couches 41 du Westphalien B supérieur).

Les désignations connues d'Aix-la-Chapelle ont été utilisées pour ces veines: On a pris les désignations de la Ruhr pour les couches supérieures de Stolberg, des majuscules par ordre alphabétique pour les couches de Kohlscheid (commençant par le toit), et des chiffres arabes pour les couches d'Alsdorf et de Merkstein (commençant au mur par le numéro 1).

1. Einleitung

In der geologisch-lagerstättenkundlichen Literatur über das Aachen - Erkelenzer Steinkohlenrevier finden sich eine große Anzahl von stratigraphischen Profilen und Beschreibungen. Doch gibt es bisher keinen einheitlichen Richtschichtenschnitt, weder für das Wurm-Revier noch für das Erkelenzer Revier, wie er für das Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlengebiet von OBERSTE-BRINK & BÄRTLING (1929, 1930 a, 1930 b) geschaffen wurde.

Die Verfasser wählten seinerzeit geeignete Schichtenschnitte von Schachtanlagen aus, die sie zu einem „Normalprofil" für die einheitliche Flözbenennung zusammengestellt haben. Die Aufschlüsse stammten weitgehend von Schachtanlagen aus der Mitte des Ruhrreviers und sind für diesen Zweck entsprechend stratigraphisch überarbeitet worden. FIEBIG (1954, 1957, 1960, 1961) hat die nach etwa 25 Jahren noch zugänglichen Strecken nach modernen Gesichtspunkten erneut untersucht, für die nicht mehr zugänglichen Aufschlüsse andere Strecken entsprechend bearbeitet und daraus „neue Richtschichtenschnitte" für das Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlengebiet aufgestellt. Deren Flöze sind mit den Normalprofilen von OBERSTE-BRINK & BÄRTLING verknüpft, denn diese bleiben für die einheitliche Flözbenennung auch dann verbindlich, wenn die Aufschlüsse nicht mehr zugänglich sind.

In den letzten Jahren führte das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen in enger Zusammenarbeit mit den Bergwerksgesellschaften eine systematische lagerstättenkundliche Untersuchung des Aachen - Erkelenzer Reviers durch. Für die Bereitstellung der Unterlagen und kritische Durchsicht sei an dieser Stelle Markscheider Dipl.-Ing. H. PETERS und Vermess.-Ing. H. MEYER von der Eschweiler Bergwerks-Verein AG, Bergwerksdirektion Mayrisch, sowie Markscheider Dipl.-Ing. W. BORN der Gewerkschaft Sophia-Jacoba herzlich gedankt.

Innerhalb der genannten Bergbaureviere wurden in den letzten Jahren vom Verfasser zahlreiche Aufschlüsse und Bohrungen miteinander konnektiert, so daß dadurch für die Bergbaureviere repräsentative stratigraphische Schnitte erstellt werden konnten. Da die Reviere des Wurm-Gebietes und des Erkelenzer Gebietes mit 10 - 15 km Entfernung geographisch eng beieinander liegen

Tabelle 1

Stratigraphische Gliederung des Oberkarbons

		Ruhr	Aachen	Südlimburg	Grenzhorizonte
Westfal	D				
	C	Lembecker Schichten*		Jabeek-Schichten	
		Dorstener Schichten			
	B	Horster Schichten: Obere / Untere	Merksteiner Schichten	Maurits-Schichten	Ägir-Horizont
		Essener Schichten: Obere / Mittlere / Untere	Alsdorfer Schichten: Obere / Mittlere / Untere	Hendrik-Schichten	Domina-Horizont Muschelhorizont über Flöz 21 Flöz Zollverein 1 Flöz Zollverein 8 Muschelhorizont über Flöz 9
	A	Bochumer Schichten: Obere / Mittlere / Untere	Kohlscheider Schichten: Obere / Mittlere / Untere	Wilhelmina-Schichten	Katharina-Horizont Flöz Hugo *Anthrapalaemon*-Horizont Sandstein über Flöz T Flöz Präsident
		Wittener Schichten: Obere / Untere	Obere Stolberger Schichten: Pannesheider Schichten / Carl-Friedrich-Schichten	Baarloer Schichten	Wasserfall-Horizont Plaßhofsbank-Horizont Finefrau-Nbk-Horizont Sarnsbank-Horizont
Namur	C	Sprockhöveler Schichten: Obere / Untere	Untere Stolberger Schichten: Wildbach-Schichten		Hinnebecke-Horizont Grenzsandstein

*nach FIEBIG & GROSCURTH (1984)

und die Stratigraphie und Flözfolge sehr ähnlich sind, wird mit der vorliegenden Arbeit ein gemeinsamer Richtschichtenschnitt für das Wurm- und Erkelenzer Revier aufgestellt. Der Versuch einer stratigraphischen Anbindung an das südlich gelegene Inde-Revier hat ZELLER (1985) unternommen, leider fehlen dort neuere Aufschlüsse, um entsprechend moderne Untersuchungen durchführen zu können. Eine Flözgleichstellung mit dem Rhein-Revier findet sich bei WREDE & ZELLER (1983: Taf. 1–3).

2. Zur Aachener Einheitsbezeichnung

Die Flözbezeichnungen im Aachen–Erkelenzer Raum einschließlich des Inde-Reviers waren seit Beginn der geologisch-lagerstättenkundlichen Bearbeitung grundsätzlich verschieden von der im Ruhrgebiet üblichen Einheitsbezeichnung (REB). Besonders die stratigraphischen Abschnitte innerhalb der Oberen Stolberger Schichten (Sarnsbank-Horizont bis Wasserfall-Horizont) wiesen in der Literatur unterschiedliche und für die Praxis schlecht

anwendbare Flözbezeichnungen auf. Meist wurden den Flözen keine Namen gegeben (HAHNE 1947), oder die Flöze wurden mit römischen Ziffern vom Hangenden zum Liegenden bezeichnet (HAHNE & FISENI 1951). HERBST (1955) vergab für die Girondelle-Flöze des Aachen - Erkelenzer Reviers Flöznamen der Ruhrgebietsbezeichnung. Eindeutige Flözbezeichnungen für die Flözgruppen der Oberen Stolberger Schichten finden sich auch nicht bei BACHMANN & HERBST & KIMPE (1970).

In der vorliegenden Arbeit wird für die Oberen Stolberger Schichten aus den dargelegten Gründen die Ruhrgebietsbezeichnung übernommen, zumal die Flözfolge und fazielle Ausbildung den Ruhrgebietsverhältnissen sehr ähnlich sind. Für die Kohlscheider Schichten werden Buchstaben vom obersten Flöz mit A beginnend als Aachener Einheitsbezeichnung verwendet, wie sie bei HAHNE & FISENI (1951) angewendet wurden. Im Text werden im folgenden zusätzlich die wichtigsten Zechenbezeichnungen der Flöze aufgeführt, um einen Zusammenhang zur älteren Literatur herzustellen (vgl. auch WESTERMANN 1906, WUNSTORF & GOTHAN 1925, HARTUNG 1966).

Die Flöze der Alsdorfer Schichten werden mit Zahlen von 1 - 30 bezeichnet, vom untersten mit 1 beginnend, wobei sich kleinere Änderungen durch die Anwendung der Grundsätze für die Flözbenennung von JESSEN & MICHELAU & RABITZ (1962: 876) ergeben. Auch für die Merksteiner Schichten werden Zahlen als Flöznamen verwendet (Flöz 31 - 41), die HAHNE & FISENI (1951) festgelegt haben.

Eine stratigraphische Gesamtübersicht über das Oberkarbon mit der Unterteilung der einzelnen Schichtenabschnitte sowie einer Gegenüberstellung zu den Steinkohlenrevieren Südlimburg und Ruhr zeigt Tabelle 1.

3. Die Referenzprofile für den Richtschichtenschnitt

Die Auswahl von drei repräsentativen stratigraphischen Profilen für den Richtschichtenschnitt, die als Referenzprofile bezeichnet werden, erfolgte nach der Qualität der geologischen Aufnahme, den speziellen Einzeluntersuchungen in den erschlossenen Schichten, der geographischen Lage im Bergbaurevier und besonders nach einer möglichst umfassenden Schichtenfolge in einem einzigen Aufschluß. Der Richtschichtenschnitt für die Oberen Stolberger, die Kohlscheider, die Alsdorfer und die Merksteiner Schichten liegt im Wurm-Revier. Wegen der ähnlichen Ausbildung im Erkelenzer Revier und der räumlichen Nähe soll dieser Richtschichtenschnitt als gemeinsamer Richtschichtenschnitt für den deutschen Teil des Wurm-Reviers und Erkelenzer Reviers gelten. Die Lage der einzelnen Referenzprofile ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

Die meisten Aufschlüsse der Referenzprofile sind heute nicht mehr zugänglich. Der Profilabschnitt in der Hauptabteilung Norden auf der 860-m-Sohle des Steinkohlenbergwerks Emil Mayrisch ist noch zu befahren, doch hindert der Ausbau der Strecke die direkte Beobachtung des anstehenden Gesteins.

Der heutige Bergbau konzentriert sich im Wurm-Revier auf den zentralen und nordöstlichen Teil und im Erkelenzer Revier auf den nördlichen und südöstlichen Teil der Lagerstätte. Beide Reviere erschließen Schichten des Westfals A und des Westfals B. Insgesamt wird ein bankrechter stratigraphischer Abschnitt von 1 530 m in dem Richtschichtenschnitt berücksichtigt. Der

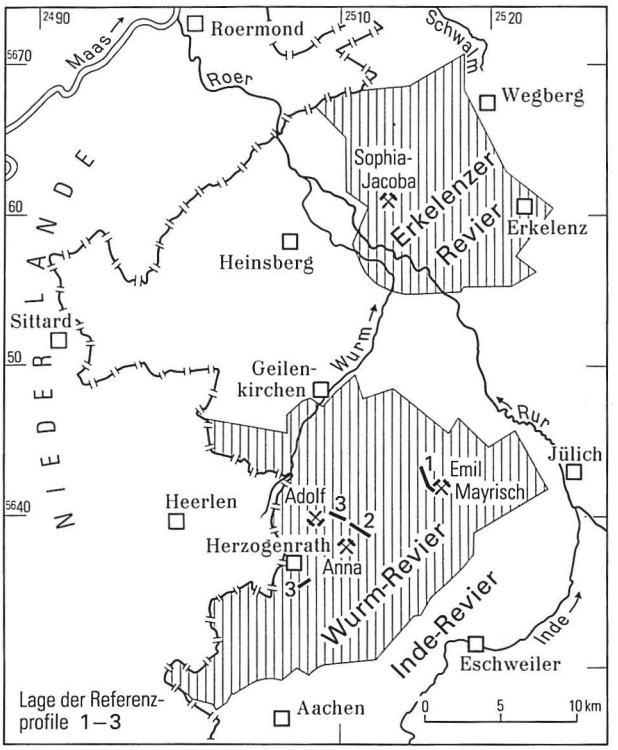


Abb. 1
Lage der Referenzprofile 1 - 3 im Aachen - Erkelenzer Steinkohlenrevier

Fig. 1
Situation of the reference profiles 1 - 3 within the coal mining district of Aachen - Erkelenz

heutige Bergbau geht in den Flözen der Kohlscheider und untersten Alsdorfer Schichten um. Der höhere Teil der Alsdorfer Schichten und der gesamten Merksteiner Schichten mußte, da nicht mehr zugänglich, aus älteren Bergbauunterlagen zusammengestellt werden. Die Oberen Stolberger Schichten sind, wie bereits erwähnt, nur sporadisch aufgeschlossen gewesen.

Im folgenden wird für die Gesteinsansprache die im Bergbau übliche DIN 21 900, Abschnitt 3.06 verwendet (Bergmännisches Rißwerk. Richtlinien für die Ausgestaltung des bergmännischen Rißwerkes; 1951).

3.1. Obere Stolberger Schichten

Der Abschnitt vom marinen Kreftenscheer-3-Horizont bis Flöz Wasserfall (Obere Carl-Friedrich-Schichten und Pannesheider Schichten, vgl. Tab. 1) hat eine Mächtigkeit von 460 m.

Referenzprofil 1 (Abb. 2):

- Steinkohlenbergwerk Emil Mayrisch, Betriebsfeld Emil Mayrisch
  Untersuchungsbohrung, 860-m-Sohle
  TK 25: 5003 Linnich; R 25 15 308, H 56 43 034; Z = -731,91 m NN
  Schichtenaufnahme 1969: K. BRIMBERG (Eschweiler Bergwerks-Verein), M. BACHMANN, G. HERBST, P. MICHELAU, N. VENNEMANN (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)
  Veröffentlichung: BACHMANN & KNAUFF (1970)

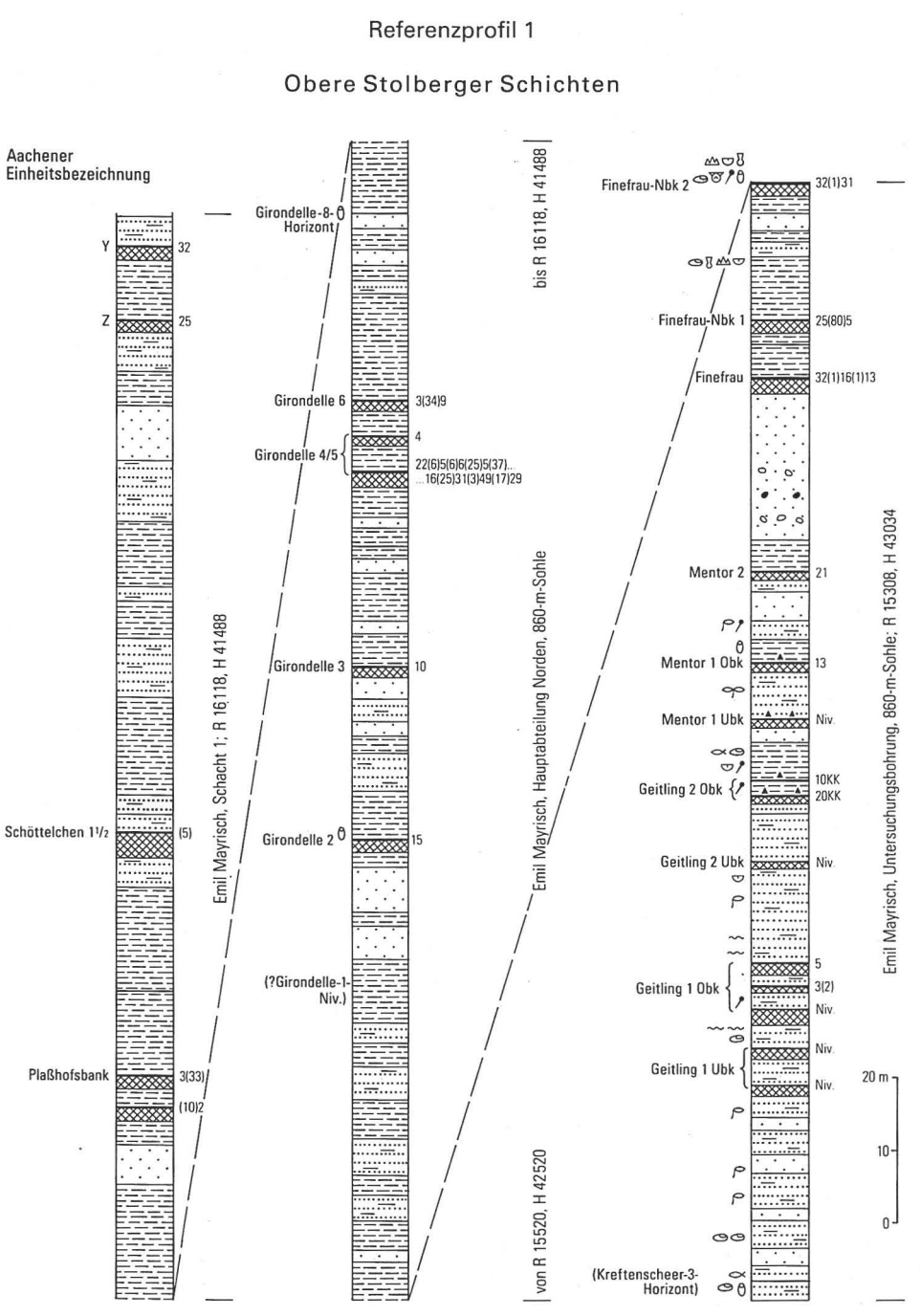


Abb. 2 Referenzprofil 1 (Obere Stolberger Schichten) für den vorgeschlagenen Richtschichtenschnitt

Fig. 2 Reference profile 1 (Upper Stolberg beds) for the proposed type section

- Steinkohlenbergwerk Emil Mayrisch, Hauptabteilung Norden, 860-m-Sohle
  TK 25: 5003 Linnich; R 25 15 520, H 56 42 520 bis R 25 16 118, H 56 41 488;
  Z = -735 m NN
  Schichtenaufnahme: Markscheiderei Emil Mayrisch
  Veröffentlichung: WREDE & ZELLER (1983)
- Steinkohlenbergwerk Emil Mayrisch, Betriebsfeld Emil Mayrisch (Schacht 1)
  TK 25: 5003 Linnich; R 25 16 118, H 56 41 488; Z = +119 m NN
  Schichtenaufnahme: H. MEYER sen. und jun. (Eschweiler Bergwerks-Verein), G. HERBST (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)
  Veröffentlichung: WREDE & ZELLER (1983)

Wichtige andere Aufschlüsse:

- Plaßhofsbank-Horizont
  Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna
  2. westl. Richtstrecke, 860-m-Sohle
  TK 25: 5103 Eschweiler; R 25 12 595, H 56 39 685; Z = -731 m NN
  Bearbeitung der Mikrofauna: C. K. RESCHER (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)
- Girondelle-6-Horizont
  Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna
  2. westl. Richtstrecke, 860-m-Sohle
  TK 25: 5103 Eschweiler; R 25 12 835, H 56 40 030; Z = -730 m NN
  Bearbeitung der Mikrofauna: W. KNAUFF (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)
  Bearbeitung der Makrofauna: E. PAPROTH (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.)
- Flöz Girondelle 1
  Brg. Scherpenseel im Feld Carolus Magnus
  TK 25: 5002 Geilenkirchen; R 25 04 244, H 56 44 010; Z = +111 m NN
  Schichtenaufnahme: H. MEYER sen. (Eschweiler Bergwerks-Verein)
  Veröffentlichung: HERBST (1955)

Das Flöz Kreftenscheer 3 ist im Wurm-Revier und im Erkelenzer Revier nirgends aufgeschlossen. Die Untertagebohrung auf der 860-m-Sohle (Referenzprofil 1) endete kurz über dem Flöz im marinen Horizont, der aus sandfreien bis schwachsandigen Schiefertonen besteht. Es wurden gefunden: Palaeonisciden-Schuppe, *Carbonicola* sp., *Naiadites* sp., *Rhabdoderma* sp. und eine fragliche *Lingula mytilloides* SOWERBY.

Aus insgesamt fünf Flözen beziehungsweise Flözniveaus besteht die Flözgruppe Geitling 1. Die unteren beiden Flözniveaus werden als Unterbank, das folgende Flözniveau und die oberen beiden als Oberbank zusammengefaßt. Die hangenden Schiefertone sind sandig und weisen Kriechspuren mit *Beloraphe kochi* (LUDWIG) auf.

Auch die Flözgruppe Geitling 2 wird in Unterbank und Oberbank aufgeteilt. Zur Unterbank zählt ein Flözniveau, zur Oberbank gehören zwei Kennelkohlenflöze. Der sandfreie Schieferton im Hangenden führt Muscheln der Gattungen *Carbonicola* sp., *Anthracosia* sp. und *Naiadites* sp. sowie Ostracoden der *Jonesina*-Gruppe und zahlreiche „Augen" (*Planolites ophthalmoides* JESSEN).

Ein Flözniveau wird als Flöz Mentor 1 Ubk angesehen. Es führt Pflanzenreste im sandigen Schieferton des Flözhangenden. Über Flöz Mentor 1 Obk folgt bituminöser sandfreier Schieferton mit marinem Einfluß: *Lingula mytilloides* SOWERBY und *Planolites ophthalmoides* JESSEN.

4 m über Flöz Mentor 2, dessen Hangendschichten nicht faunistisch untersucht worden sind, liegt der etwa 21 m mächtige Finefrau-Sandstein, der fein- bis mittelkörnig ausgebildet ist und Lagen von Geröllen aus Quarzit und Toneisenstein, Kohle, Schiefertonen und Konglomeraten führt.

Wenige Meter über dem Finefrau-Sandstein liegt das meist mehrere Dezimeter mächtige Flöz Finefrau. Die Hangendschichten bestehen aus sandfreiem Schieferton mit Pflanzenresten und Kriechspuren.

Über Flöz Finefrau-Nebenbank 1, einem Flöz mit 30 cm Kohlenmächtigkeit, befinden sich marin beeinflußte, meist sandfreie Schiefertone mit *Carbonicola* cf. *communis* DAVIES & TRUEMAN, *C.* cf. *pseudorobusta* TRUEMAN, *Curvirimula belgica* HIND, *Jonesina* sp., *Spirorbis pusillus* MARTIN und *Planolites ophthalmoides* JESSEN. Etwa 10 m über Flöz Finefrau-Nebenbank 1, unterhalb eines feinkörnigen Sandsteines, zeigen Conodontenfunde einen rein marinen Horizont an. In ihm wurden ferner folgende Foraminiferen gefunden: *Ammodiscus* sp., *Glomospira* sp., *Glomospirella* sp.

Die 6 m mächtigen hangenden sandfreien Schiefertonschichten über Flöz Finefrau-Nebenbank 2 weisen einen hochmarinen Einfluß auf, der durch folgende Fossilfunde gestützt ist: Conodontenbruchstücke, cf. *Anthracoceras, Gastrioceras weristerense* DEMANET, *G. circumnodosum* FOORD, *Lingula mytilloides* SOWERBY, *Dunbarella* sp., *Polidevcia* sp. Dazu wurden Kleinformen von Gastropoden, verkieste Lamellibranchiaten, zahlreiche Foraminiferen und Ostracoden gefunden.

Das Flöz Girondelle 1 ist im Richtschichtenschnitt weder durch einen Wurzelboden noch durch einen faunistisch belegbaren Hangendschieferton nachzuweisen. Die im Feld Carolus Magnus stehende Bohrung Scherpenseel (TK 25: 5002 Geilenkirchen; R 25 04 244, H 56 44 010) zeigt 30 m über dem Finefrau-Nebenbank-2-Horizont einen Wurzelboden. Nach HERBST (1955) ist dieser dem Flöz Girondelle 1 zuzuordnen.

In den hangenden sandfreien Schiefertonen sind dort *Lingula mytilloides* SOWERBY, Ostracoden (*Jonesina* sp.), zahlreiche Foraminiferen (*Glomospirella* sp.) und *Planolites ophthalmoides* JESSEN zu finden.

Flöz Girondelle 2 liegt unter einem durch *Lingula mytilloides* SOWERBY nachgewiesenen marinen Horizont.

Flöz Girondelle 3 ist durch einen Wurzelboden und 10 cm mächtiger Kohle klar erkennbar. Hinweise auf marine Ablagerungen über dem Flöz sind aus der Bohrung Scherpenseel bekannt, wo in entsprechender Lage ein Horizont mit *Lingula mytilloides* SOWERBY über einem Sandstein zu erkennen ist.

Die Flöze Girondelle 4 und Girondelle 5 liegen in zwei getrennten Flözen vor. Wegen der geringen Mächtigkeit des oberen Flözes (4 cm Kohle) und der großen Mächtigkeit des unteren Flözes (153 cm Kohle) liegt es nahe, die beiden Flöze Girondelle 4 und Girondelle 5 in dem unteren Flöz zu sehen. Das obere geringmächtige Flöz ist nur vom unteren abgespalten. Faunistische Bearbeitungen liegen nicht vor. In der Bohrung Scherpenseel wurden über Flöz Girondelle 4 nichtmarine Muscheln und Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe und über Flöz Girondelle 5 bituminöse Schiefertone mit Pyritkonkretionen, Fischschuppen und *Glomospirella* sp. beobachtet.

Das Flöz Girondelle 6 befindet sich 5 m über dem Flöz Girondelle 4/5. In dem Aufschluß, der dem Richtschichtenschnitt zugrunde liegt, liegen keine

paläontologischen Untersuchungen vor. Deshalb werden hier die Fossilfunde aus dem etwa 4 km entfernten Aufschluß im Grubenfeld des Steinkohlenbergwerkes Anna in der 2. westlichen Richtstrecke der 860-m-Sohle (R 25 12 835, H 56 40 030; Z = - 730 m NN) gebracht, die von E. PAPROTH (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) untersucht worden sind:

Anthracoceras vanderbeckei (LUDWIG)
cf. *Anthracoceras* sp.
Lingula mytilloides (SOWERBY)
Dunbarella papyracea (SOWERBY)
Posidonia sulcata (HIND)
Myalinide ?
Nautilide ?

Die mikrofaunistische Bestimmung (W. KNAUFF, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) ergab:

Ostracoden der *Jonesina*-Gruppe
Conodontenbruchstücke
Foraminiferen: *Ammodiscus* sp., *Glomospira* sp.,
Glomospirella sp., *Hyperammina* sp.

25 Meter über Flöz Girondelle 6 befindet sich ein mariner Horizont mit *Lingula mytilloides* SOWERBY, den man stratigraphisch mit dem Flöz niveau Girondelle 8 gleichstellen kann. Es fehlen allerdings weitere Aufschlüsse dieses Schichtenabschnittes im Wurm-Revier, um eine sichere Parallelisierung zu erreichen. Im Erkelenzer Revier konnte das Flöz Girondelle 8 in der Bohrung Rosenthal (TK 25: 4802 Birgelen; R 25 11 130, H 56 65 700) mit der Flözstruktur 5 cm unreine Kohle, 20 cm Kohle, 20 cm Brandschiefer erkannt werden. Dieses Flöz wurde ursprünglich von HERBST (1955) als Flöz Plaßhofsbank bezeichnet. Auch in der Bohrung Rödgen 1 (TK 25: 4803 Wegberg; R 25 13 633, H 56 68 097, vgl. WREDE & ZELLER 1983: Taf. 1) wurde das Flöz Girondelle 8 erbohrt. Die sandfreien, zum Teil bituminösen Schiefertone im Hangenden weisen folgende Fossilien auf: Fischreste, *Carbonita* sp., *Jonesina* sp., *Ammodiscus* sp., *Glomospira* sp., *Glomospirella* sp., *Planolites ophthalmoides* JESSEN und Schlängelspuren.

Das Flöz Plaßhofsbank besteht aus zwei Flözen mit jeweils nur wenigen Zentimetern Kohlenmächtigkeit. In dem Aufschluß des Richtschichtenschnittes wurde keine marine Fauna im Hangenden der Flöze beobachtet. In der 2. westlichen Richtstrecke der 860-m-Sohle (R 25 12 620, H 56 39 685) Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna sind Conodontenbruchstücke gefunden worden (Bestimmung: C. K. RESCHER). Damit ist zum ersten Mal ein mariner Horizont über Flöz Plaßhofsbank im Wurm-Revier nachgewiesen worden.

Die Schöttelchen-Flözgruppe ist im Wurm-Revier nur durch ein geringmächtiges und mit Bergelagen verunreinigtes Flöz vertreten, das als Flöz Schöttelchen 1 1/2 bezeichnet werden soll. Im benachbarten Schacht Emil Mayrisch 2 (TK 25: 5003 Linnich; R 26 16 176, H 56 41 570) wurde durch die Markscheiderei 48 m über Flöz Plaßhofsbank ein 6 m mächtiger „Faunenschiefer" aufgenommen. 41,50 m über Flöz Plaßhofsbank geben HEIDE & MEYER (1955) die Beschreibung eines marinen Horizontes innerhalb der Schöttelchen-Gruppe mit folgendem Fossilinhalt: *Lingula mytilloides* (SOWERBY), *Posidoniella laevis* (BROWN), *Pterinopecten* cf. *papyraceus* (SOWERBY) und einen

unbestimmbaren Cephalopodenrest. Die Verfasser haben zwei stratigraphische Deutungen: Dieser Horizont ist entweder dem Schöttelchen-1-Horizont zuzuordnen, oder es handelt sich um eine örtliche marine Einschaltung.

Auf der 860-m-Sohle im Hauptquerschlag nach Norden (Zeche Emil Mayrisch) wurden etwa 70 m unterhalb des Flözes Z in bituminösen Schiefertonen neben Foraminiferen auch Conodontenbruchstücke gefunden, die eindeutig auf einen marinen Schöttelchen-1-Horizont hinweisen (R 25 15 030, H 56 43 700; Z = -726 m NN; Bestimmung: W. KNAUFF (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

Das Flöz Z (Flöz Steinknipp) ist stratigraphisch das tiefste Flöz, das im Wurm-Revier gebaut worden ist. Seine Mächtigkeit kann 100 cm stellenweise weit überschreiten. An vielen Stellen innerhalb des Wurm-Reviers trifft man bis etwa 10 m im Liegenden von Flöz Z ein geringmächtigeres Flöz an, das dann entsprechend der Flözbezeichnung für die Kohlscheider Schichten mit Z1 benannt wird. die Hangendgesteine können, wie benachbarte Aufschlüsse zeigen, nichtmarine Muscheln, Foraminiferen und *Planolites montanus* JESSEN enthalten.

Das gewöhnlich geringmächtige Flöz Y (Flöz Wasserfall) schließt die Stolberger Schichten nach oben hin ab.

3.2. Kohlscheider Schichten

Referenzprofil 2 (Abb. 3)
Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna
TK 25: 5102 Herzogenrath
- Blindschacht NW 61 16 R 25 10 680, H 56 39 570
- Blindschacht NW 81 10 R 25 11 278, H 56 39 121
- Blindschacht NW 81 08 R 25 11 839, H 56 38 438
- Blindschacht NW 11 11 R 25 11 408, H 56 39 096

Schichtenaufnahme: H. MEYER jun. (Eschweiler Bergwerks-Verein)

Die Gesamtmächtigkeit der Kohlscheider Schichten beträgt im Richtschichtenschnitt 480 m. Als Referenzprofile wurden die geologischen Aufnahmen der genannten Blindschächte ausgewählt. Sie zeigen ein lückenloses Profil aus dem zentralen Teil des Wurm-Reviers. Leider ist dieses Schichtenprofil nicht paläontologisch bearbeitet worden und heute nicht mehr zugänglich. Der gleiche Abschnitt ist jedoch an den Kernen der Bohrung Loverich 3 (1977) stratigraphisch genauer untersucht worden (vgl. WREDE & ZELLER 1983: Taf. 2). Mikropaläontologische Untersuchungen innerhalb der Kohlscheider Schichten finden sich bei VANGEROW (1957), die Flora untersuchte HARTUNG (1966). Im folgenden wurden die Zechenbezeichnungen der Flöze in Klammern hinter die Buchstabenbezeichnung der Flöze gebracht, um den Zusammenhang zur älteren Literatur zu erleichtern.

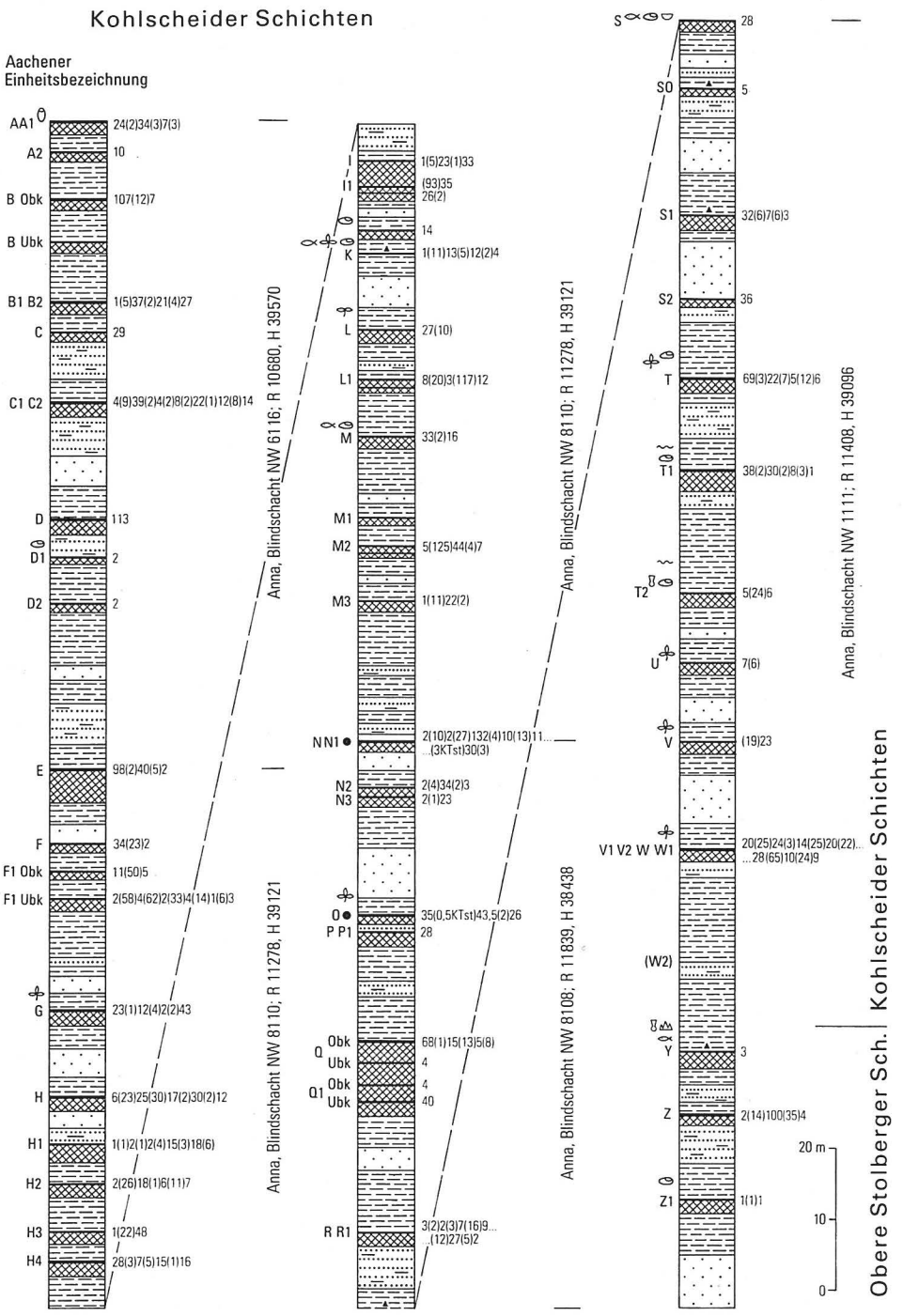
Mit dem marinen Horizont über Flöz Wasserfall beginnen die Kohlscheider Schichten (HAHNE & FISENI 1951 und BACHMANN & HERBST & KIMPE 1970). In den letzten Jahren wurden in zahlreichen Bohrungsaufschlüssen des Stein-

---

Abb. 3 Referenzprofil 2 (Kohlscheider Schichten) für den vorgeschlagenen Richtschichtenschnitt

Fig. 3 Reference profile 2 (Kohlscheid beds) for the proposed type section

Referenzprofil 2



kohlenbergwerkes Emil Mayrisch und im Grubenfeld des Steinkohlenbergwerkes Anna *Lingula mytilloides* SOWERBY und Conodontenbruchstücke gefunden, die auf eine marine Ablagerung über dem Flöz Wasserfall hinweisen. Weiter konnten nachgewiesen werden: Fischschuppen, *Carbonicola* sp., *Curvirimula belgica* (HIND), *Curvirimula candela* (DEWAR), *Carbonita* sp., *Jonesina* sp., *Ammodiscus* sp., *Glomospirella* sp., *Glomospira* sp., *Agathaminoides* sp., *Planolites ophthalmoides* JESSEN.

Die Flöze W, V und U werden allgemein in der Zechenbezeichnung als Mühlenbach-Flöze zusammengefaßt. Die Gruppe der Flöze W und V besteht stellenweise aus vielen Einzelflözen, doch können sie sich an anderen Orten zu wenigen einzelnen Flözen vereinigen.

Das Flöz U dagegen besteht meist nur aus einem einzelnen Flöz und hat ein charakteristisches brackisch bis marines Hangendes (vgl. Brg. Puffendorf 5; TK 25: 5003 Linnich; R 25 14 616, H 56 44 146): Conodontenbruchstücke, *Glomospirella* sp., *Ammodiscus* sp.).

Das im Richtschichtenschnitt über Flöz U liegende, bisher unbenannte Flöz ist dem Flöz Luise (REB) gleichzustellen. Dieses Flöz wird entsprechend der Aachener Flözbezeichnung mit Flöz T2 benannt. Die faunistische Zusammensetzung der Hangendschichten in verschiedenen Aufschlüssen besteht aus: *Curvirimula* sp., *Naiadites* sp., *Carbonita* sp., *Hyperammina* sp., *Glomospira* sp., *Glomospirella* sp., Schlängelspuren.

Die Flöze T1 und T (Merl-Nebenbank und Merl) sind meist durch etwa 10 m mächtige sandige Schiefertone voneinander getrennt. Nur in wenigen Fällen scharen sie zu einem mächtigen Flöz. Die Hangendschichten von Flöz T beinhalten in mehreren Aufschlüssen Fischschuppen, nichtmarine Muscheln, Ostracoden, Foraminiferen und Schlängelspuren. Auch Pflanzen werden vielfach beobachtet. Die Flöze T1 und T werden im Wurm-Revier flächenhaft abgebaut. Im Erkelenzer Revier ist das Flöz T das stratigraphisch tiefste Flöz, das abgebaut wird.

Die S-Flözgruppe besteht aus vier Flözen (S, S0, S1 und S2). Das Flöz S0 (= S-Null) schaltet sich stellenweise zwischen Flöz S und Flöz S1 ein. Das Hangende des Flözes S (Flöz Klein-Athwerk) zeigt in vielen Aufschlüssen nichtmarine Muscheln, Ostracoden der *Jonesina*- und *Carbonita*-Gruppe, Foraminiferen (*Hyperammina* sp., *Ammodiscus* sp., *Glomospirella* sp.), Augen und Schlängelspuren.

Nur in wenigen Aufschlüssen konnte ein Kaolin-Kohlentonstein im Flöz S nachgewiesen werden. Er entspricht dem Wilhelm-Tonstein des Ruhrgebietes. In der Bohrung Puffendorf 5 konnte G. STADLER (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) den Kaolin-Kohlentonstein röntgenographisch nachweisen.

Das Flöz R (Flöz Groß-Athwerk) und Flöz Q (Flöz Rauschenwerk) werden wegen ihrer bauwürdigen Mächtigkeit in beiden Bergbaurevieren flächenhaft abgebaut. Beide Flöze können sich in mehrere Einzelflöze aufspalten. Im Richtschichtenschnitt liegen die beiden Flöze R und R1 zusammen. Die Q-Flözgruppe spaltet sich in die Flöze Q und Q1 auf, wobei sich noch jedes in Oberbank und Unterbank aufteilt.

Das Flöz P (Flöz Ley) erscheint im Richtschichtenschnitt als ein Einzelflöz. Im Nordosten des Wurm-Reviers und in einzelnen Gebieten des Erkelenzer Reviers teilt sich das Flöz in Flöz P und P1 auf. Deshalb muß das 28 cm

mächtige Flöz im Richtschichtenschnitt mit Flöz PP1 bezeichnet werden. Vielfach werden im Hangenden nichtmarine Muscheln beobachtet.

Flöz O (Flöz Senteweck) hat meistens Pflanzen im Hangenden. Oft befindet sich über dem Flöz ein Sandstein, der mehrere Meter mächtig werden kann. Im Richtschichtenschnitt liegt in der oberen Hälfte des Flözes O ein Kaolin-Kohlentonstein. Dieser wurde ebenfalls auf den Gruben Gouley und Laurweg nachgewiesen. Das Flöz O wird großflächig abgebaut.

Die N-Flözgruppe, ebenfalls eine wirtschaftlich bedeutende Flözgruppe in beiden Bergbaurevieren und oft als Grauweck-Flöze bezeichnet, besteht maximal aus vier Flözen (Flöz N bis Flöz N3). Im Bereich des Richtschichtenschnittes befindet sich in Flöz N1 33 cm über der Liegendgrenze des Flözes ein Kaolin-Kohlentonstein vom Typ Kristalltonstein (Untersuchung: G. STADLER und M. WOLF, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). Dieser Kaolin-Kohlentonstein entspricht dem Karl-2-Tonstein des Ruhrreviers. Die die Flözgruppe N überlagernden sandfreien bis schwachsandigen Schiefertone führen, wie auch andere Aufschlüsse zeigen, neben Pflanzenresten Fischreste, nichtmarine Muscheln, Ostracoden und Foraminiferen (*Ammodiscus* sp., *Glomospirella* sp., *Hyperammina* sp.).

Die M-Flözgruppe (Stinkert-Flöze) zeigt eine nach Anzahl und Mächtigkeit der Flöze unterschiedliche Ausbildung. In der Aachener Einheitsbezeichnung werden nur Flöze (M bis M3) ausgehalten. Die hangenden, meist sandfreien Schiefertone, die stratigraphisch dem Albert-4-Horizont des Ruhrgebietes entsprechen, zeigen weder im Richtschichtenschnitt noch in anderen Aufschlüssen des Wurm-Reviers und Erkelenzer Reviers marine oder brackische Fossilien, die auf den im westlichen Ruhrrevier marin entwickelten Albert-4-Horizont hinweisen würden (vgl. KNAUFF & PIEPER 1985).

Die Flöze der L-, K- und I-Gruppe lassen sich nicht immer genau voneinander trennen. Oft scharen mehrere Flöze zu einigen wenigen Flözen. Im Hangenden des Flözes K (Flöz Croath) finden sich an verschiedenen Stellen des Wurm-Reviers in bituminösen Schiefertonen Fischschuppen, nichtmarine Muscheln und Ostracoden. In dieser Schicht wurde auch der Panzerkrebs *Anthrapalaemon* gefunden (vgl. HAHNE & FISENI 1951: 1062), der einen stratigraphischen Leitwert im Aachener und Südlimburger Steinkohlengebiet hat.

Die H-Flözgruppe (Flöz Meister) ist im Richtschichtenschnitt in fünf Flöze (H bis H4) aufgespalten. Der über Flöz H liegende Sandstein (vgl. HERBST 1967: 1348) hat vor allem im südlichen Teil des Wurm-Reviers eine gewisse stratigraphische Horizontbeständigkeit.

Über dem Flöz G (Flöz Großbruch) erscheint im Richtschichtenschnitt ein Pflanzenhorizont. Verschiedene Aufschlüsse im Wurm-Revier zeigen allerdings auch reichliche Muschelführung.

Die F-Flözgruppe (Flöz Klein-Langenberg) wird in das Flöz F und F1 unterteilt. Im Richtschichtenschnitt spaltet sich das Flöz F1 in Oberbank und Unterbank auf.

Das Flöz E (Flöz Groß-Langenberg) hat durch seine Mächtigkeit und seinen charakteristisch großen bankrechten Abstand zu den hangenden D-Flözen einen stratigraphischen Leitwert. Im Wurm-Revier und im Erkelenzer Revier ist das Flöz E eines der bedeutendsten bauwürdigen Flöze. Bereichs-

weise führen die hangenden sandigen Schiefertone Pflanzen oder nichtmarine Muscheln.

Über Flöz E folgt die Gruppe der D-Flöze. Ihre charakteristische Ausbildung zeigt ein mächtiges, oft bauwürdiges Flöz D (Flöz Hüls), unter dem die dünnen Flöze D1 und D2 folgen. Letzteres ist nicht immer ausgebildet. Die hangenden, oft Sandsteinlagen führenden Schichten des Flözes D weisen überwiegend pflanzlichen Fossilinhalt auf.

Die Flözgruppen C und B lassen sich oft nur schwer deutlich voneinander abtrennen. Charakteristische Leithorizonte fehlen, so daß die einzelnen Flöze mit Schwierigkeiten identifiziert werden können. Flöz C liegt nur 4 m unter dem Doppelflöz B1 B2. Flöz B ist im Bereich des Richtschichtenschnittes lokal in zwei Flöze Oberbank und Unterbank aufgespalten.

Flöz A (Flöz Sandberg) entspricht dem Flöz Katharina (REB). Es liegt unter dem an vielen Stellen durch Goniatiten, *Pterinopecten* und *Lingula mytilloides* SOWERBY belegten marinen Katharina-Horizont. Im Richtschichtenschnitt sind die Flöze A und A1 zu einem Flöz geschart. Flöz A2 liegt 4 m im Liegenden.

3.3. Alsdorfer Schichten

Referenzprofil 3 (Abb. 4)

- Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna
  1. südwestlicher Hauptquerschlag, 360-m-Sohle (SW 31)
  TK 25: 5102 Herzogenrath; R 2507180, H 5635470 bis R 2507830, H 5635890; Z = -180 m NN
  Schichtenaufnahme: G. HERBST (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.), H. MEYER jun. (Eschweiler Bergwerks-Verein)
  Veröffentlichung: HERBST (1962: Taf. 1)
- Grube Adolf
  3. Abteilungsquerschlag nach Süden, 300-m-Sohle (SO 63)
  TK 25: 5002 Geilenkirchen; R 2509870, H 5640220 bis R 2508730, H 5640570; Z = -141 m NN
  Schichtenaufnahme: G. HERBST, H. MEYER jun.
  Fossilbestimmung: W. GOTHAN, 8. August 1944 (unveröff.)
  Veröffentlichung: HERBST (1962: Taf. 4)

Die bankrechte Mächtigkeit der Alsdorfer Schichten beträgt im Bereich des Richtschichtenschnittes 420 m. Sie beginnen mit dem marinen Katharina-Horizont, der im Aachener Revier durch folgende marine Fossilien belegt ist (vgl. auch HERBST 1962: 1018):

marine Muscheln: *Pterinopecten papyraceus* SOWERBY
Brachiopoden: *Lingula mytilloides* SOWERBY

Durch neue Aufschlüsse konnten weitere Faunen bestimmt werden:
nichtmarine Muscheln: *Anthracosia* sp.
Conodontenbruchstücke (Brg. Loverich 3; TK 25: 5003 Linnich; R 2513013, H 5643680)
Foraminiferen: *Ammodiscus* sp., *Hyperammina* sp., Glomospira sp., *Glomospirella* sp. (Brg. Loverich 3 und Emil Mayrisch, 710-m-Sohle, 1. westl. Abt.).

Etwa 25 m über dem Katharina-Horizont folgt das Flöz 1, das meist, wie im Richtschichtenschnitt, nur als Flözniveau über einem Wurzelboden auftritt

oder auch ganz ausfallen kann. Auffallend ist der große Reichtum an nichtmarinen Muscheln zwischen dem Katharina-Horizont und dem Flöz 1.

Über Flöz 2 finden sich in einem zum Teil bituminösen Schieferton nichtmarine Muscheln oft in karbonatischer Schalenerhaltung.

Das Flöz 3, das stratigraphisch tiefste gebaute Flöz in den Alsdorfer Schichten, zeichnet sich durch eine Kaolin-Kohlentonsteinlage im oberen Flözabschnitt aus (HERBST & KOERNER & STADLER 1962). Die oft schwach bituminösen Hangendschichten sind schwach sandig und enthalten eine Fauna mit Fischschuppen, nichtmarinen Muscheln und Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe.

Der Abschnitt zwischen Flöz 3 und Flöz 4 ist durch einen sandigen Schiefertonabschnitt mit reichlicher Pflanzenführung gekennzeichnet, der sich noch bis Flöz 4 fortsetzt. Das Flöz 4, das stellenweise abgebaut wurde, hat einen sandigen hangenden Schieferton mit Pflanzen.

Das Zwischenmittel zwischen Flöz 5 und Flöz 6 Obk/7, ein oft bauwürdiges Flöz, zeigt im Richtschichtenschnitt eine Einschaltung von zwei dünnen und unreinen, bei HERBST (1962: Taf. 1) nicht benannten Flözen. Da diese Flöze vom Feld Gouley im Westen bis zum Feld Emil Mayrisch im Osten in wechselnder Anzahl auftreten, kann man sie ohne Bedenken als Flöz 6 Ubk bezeichnen. Flöz 6 Obk liegt dann sinngemäß mit Flöz 7 im Richtschichtenschnitt zusammen. In dem Flöz 7 ist an vielen Stellen ein Kaolin-Kohlentonstein festgestellt worden (HERBST & KOERNER & STADLER 1962), der dem des Flözes Zollverein 8 des Ruhrgebietes entspricht.

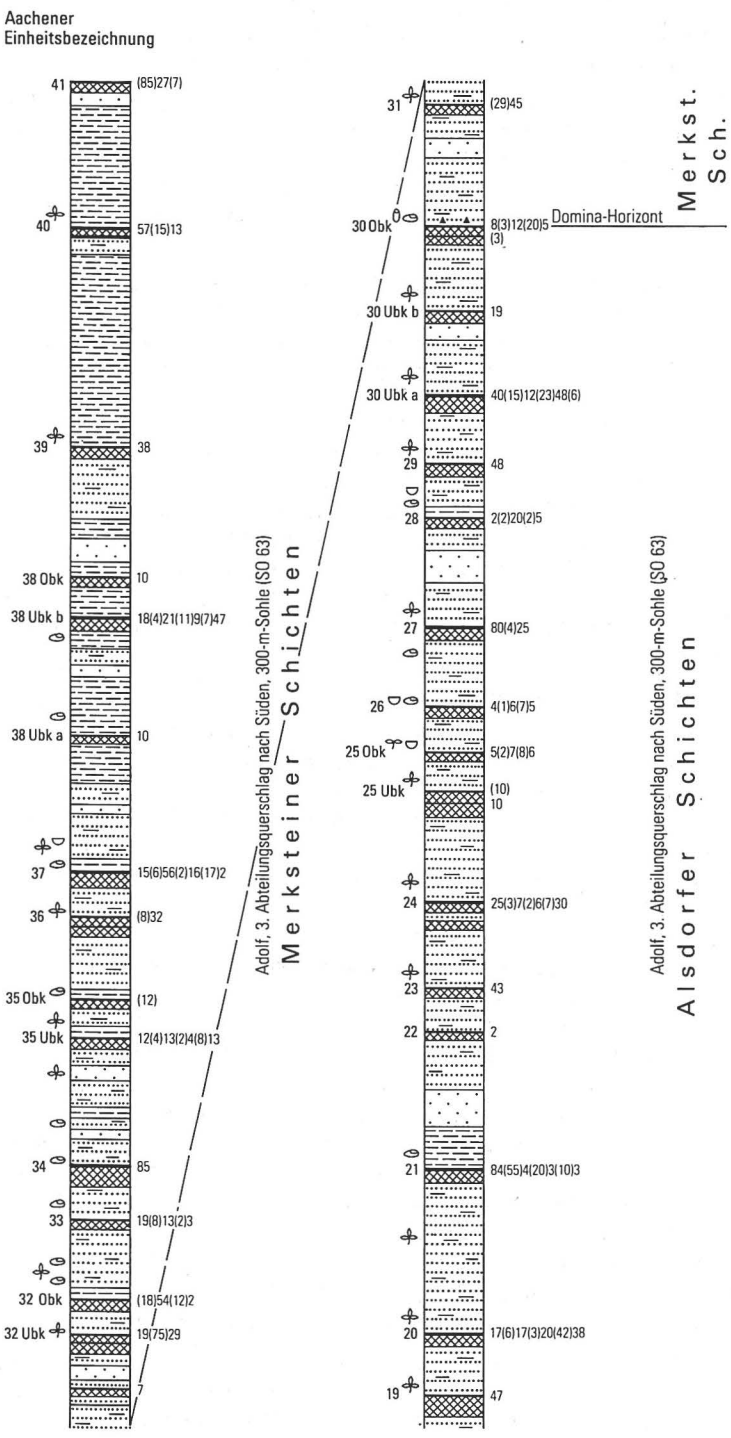
Das Flöz 8 ist stellenweise abgebaut worden.

Der Abschnitt von Flöz 9 bis Flöz 12 ist durch zahlreiche Flöze gekennzeichnet, die recht unterschiedlich benannt oder mit bestehenden Flözbezeichnungen konnektiert worden sind. HERBST (1962: 1022 und Taf. 2) gibt für das Flöz 9 im 1. südlichen Abteilungsquerschlag, 360-m-Sohle, im Grubenfeld Steinkohlenbergwerk Anna einen Kaolin-Kohlentonstein an, der 20–25 cm unter der Flözoberkante liegt. Es handelt sich um den Tonstein, der bei HERBST & KOERNER & STADLER (1962: Taf. 2, Fig. 2) beschrieben und abgebildet worden ist. Durch nachträgliche stratigraphische Vergleiche und Flözkonnektierung hat sich herausgestellt, daß dieses Flöz mit dem erwähnten Tonstein irrtümlich als Flöz 9 eingestuft worden ist. Es handelt sich vielmehr um Flöz 7, aus dem ebenfalls zahlreiche Kaolin-Kohlentonsteine bekannt sind. Nach G. STADLER (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; mündl. Mitt.) ist dieser Graupentonstein aus dem Flöz 9 (R 2474) nach Textur und Struktur nicht gravierend anders als die aus dem Flöz 7 bekannten Kaolin-Kohlentonsteine. Die bei HERBST & KOERNER & STADLER (1962: 594) erwähnten weiteren zwei Kaolin-Kohlentonsteine aus dem Flöz 9 sind von HERBST (1962: Taf. 2) bereits unsicher eingestuft worden. Nach diesen Befunden läßt sich sagen, daß sich nach dem heutigen Kenntnisstand kein Kaolin-Kohlentonstein im Flöz 9 der Alsdorfer Schichten befindet. Im Hangenden des Flözes 9 finden sich meist zahlreiche nichtmarine Muscheln, die bankweise auftreten können.

So wird für den Richtschichtenschnitt folgendes vorgeschlagen:

Das von HAHNE & FISENI (1951) als Flöz 10 bezeichnete Flöz erhält nach den Grundsätzen zur Flözbezeichnung (JESSEN & MICHELAU & RABITZ 1962) die Benennung Flöz 10 Ubk. Darüber folgt das Flöz 10 Obk (bei HERBST 1962:

Referenzprofil 3



Flözstruktur (cm)

15 15 cm Kohle, z.T. unrein
(2) 2 cm Berge
11 11 cm Kohle
(54) 54 cm Berge z.T. mit Kohle

● KTst Kaolin-Kohlentonstein
KS Kennelschiefer
KK Kennelkohle
Niv. Flözniveau

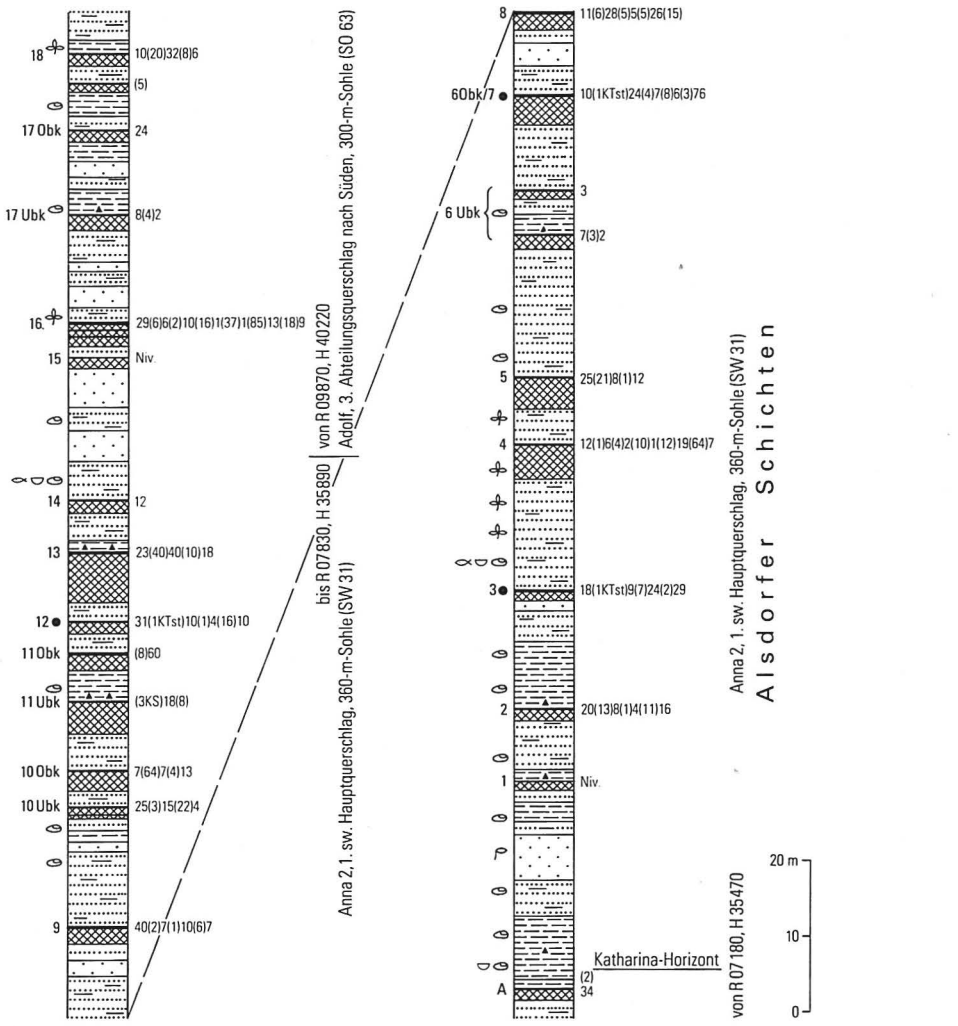


Abb. 4
Referenzprofil 3 (Alsdorfer und Merksteiner Schichten) für den vorgeschlagenen Richtschichtenschnitt

Fig. 4
Reference profile 3 (Alsdorf and Merkstein beds) for the proposed type section

Taf. 3 als Flöz 10 (+ 10a) bezeichnet). Im gleichen Sinne werden die Flöze unter Flöz 12 als 11 Obk und Flöz 11 Ubk benannt.

Flöz 12 stellt mit seinem Kaolin-Kohlentonstein (HERBST & KOERNER & STADLER 1962) ein Leitflöz in den Mittleren Alsdorfer Schichten dar. Bis zu vier Kaolin-Kohlentonsteinlagen treten zum Beispiel im Hauptquerschlag nach Südosten auf der 450-m-Sohle der Grube Adolf auf, wo die beiden Flöze 12 und 13 zu einem mächtigen, aber unreinen Flöz scharen (vgl. HERBST 1962: Taf. 3).

Für den Abschnitt von Flöz 13 bis Flöz 16 gibt HERBST (1962) große Mächtigkeitsschwankungen für die Zwischenmittel und Flöze an. Über Flöz 14 findet man im Richtschichtenschnitt vereinzelt Fischschuppen, nichtmarine Muscheln und Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe. Über die Lage, Struktur und Ausbildung des Hangenden von Flöz 15 läßt sich nichts Genaues sagen. Teils ist das Flöz nicht ausgebildet, teils sind nur Wurzelböden vorhanden. Für den Richtschichtenschnitt wurde das Flözniveau unter dem Flöz 16 mit der Flöznummer 15 bezeichnet. Nach HERBST (1962) gibt es für den Abschnitt von Flöz 13 bis Flöz 16 noch zwei Besonderheiten: das Auftreten der *Lonchopteris rugosa* BRONGNIART und einen lyditführenden quarzitischen Sandstein mit Feinkonglomeraten (Grube Adolf, Hauptquerschlag nach SO, 450-m-Sohle, SO 40).

Über den Flözen 17 Ubk, 17 Obk und 18 zeigen nichtmarine Muscheln Faunenhorizonte an, die auch Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe führen können. In dieser Schichtengruppe vermutet HERBST (1962) den Wijshagen-Horizont.

Der Abschnitt von Flöz 16 bis Flöz 37 wurde in der Grube Adolf, 3. Abteilungsquerschlag nach Süden, 300-m-Sohle, von W. GOTHAN auf Makroflora und Makrofauna untersucht (unveröff. Bericht vom 8. August 1944). Diese Ergebnisse werden im folgenden besonders berücksichtigt, da diese die einzigen Untersuchungen im Richtschichtenschnitt darstellen. Weitere Faunen- und Florenlisten über benachbarte Aufschlüsse finden sich bei HARTUNG (1966) und in bis jetzt unveröffentlichten Untersuchungsberichten von K.-H. JOSTEN (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). Die folgenden Fossillisten beziehen sich auf die jeweils hangenden Schichten der Flöze. Dabei wurden die Fossilnamen von W. GOTHAN fast unverändert übernommen.

Flöz 16, Schieferton, schwachsandig:

Calamites ramosus ARTIS
Calamites cisti BRONGNIART
Sigillaria tesselata BRONGNIART
Sigillariostrobus sp.
Alloiopteris coralloides GUTBIER
Sphenopteris obtusiloba BRONGNIART
Mariopteris muricata SCHLOTHEIM
Alethopteris lonchitica (SCHLOTHEIM) (häufig)
Alethopteris valida BOULAY
Neuropteris heterophylla (BRONGNIART)
Neuropteris obliqua (BRONGNIART) ZEILLER
Cyclopteris-Blatt
Paripteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN

Flöz 17 Ubk, Schieferton sandig, bituminös:

Carbonicola aquilina SOWERBY
Lepidodendron lycopodioides STERNBERG
Lepidostrobus variabilis LINDLEY & HUTTON

Flöz 17 Obk, Schieferton, schwachsandig:

Carbonicola aquilina SOWERBY (häufig)
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY (häufig) [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]

Flöz 18, Schieferton, schwachsandig:

Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]
Lepidodendron cf. *ophiurus* (BRONGNIART)
Lepidostrobus variabilis LINDLEY & HUTTON
Neuropteris heterophylla (BRONGNIART)

Flöz 19, stellenweise gebaut, Schieferton, sandig:

Calamites sp.
Sigillaria scutellata BRONGNIART
Linopteris neuropteroides (GUTBIER) H. POTONIÉ

Flöz 20, Schieferton, schwachsandig:

Calamites suckowi BRONGNIART
Calamites cisti BRONGNIART
Lepidodendron sp.
Mariopteris nervosa BRONGNIART
Paripteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN (häufig)

Flöz 21, stellenweise gebaut, Schieferton, sandfrei:

Carbonicola sp.
Naiadites sp.
Spirorbis carbonarius MURCHISON

Flöz 22 besteht nur aus 2 cm unreiner Kohle.

Flöz 23, Schieferton, sandig:

Calamites cisti BRONGNIART
Calamostachya sp.
Annularia sp.
Sigillaria cf. *deutschi* BRONGNIART
Mariopteris muricata SCHLOTHEIM
Mariopteris daviesi KIDSTON
Mariopteris cf. *nervosa* BRONGNIART
Alethopteris sp.
Neuropteris heterophylla BRONGNIART
Neuropteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN

Flöz 24, stellenweise gebaut, Schieferton, schwachsandig:

Calamites ramosus ARTIS
Sphenophyllum cuneifolium STERNBERG
Sigillaria scutellata BRONGNIART
Sigillaria tesselata BRONGNIART
Lepidodendron aculeatum STERNBERG
Lepidostrobus variabilis LINDLEY & HUTTON
Lepidostrobus ornatus BRONGNIART
Sphenopteris nummularia GUTBIER
Pecopteris miltoni ARTIS
Pecopteris volkmanni SAUVEUR (häufig)
Lonchopteris rugosa BRONGNIART (häufig)
Neuropteris hollandica STOCKMANS (häufig)
Neuropteris obliqua BRONGNIART
Cyclopteris-Blatt
Linopteris neuropteroides (GUTBIER) H. POTONIÉ
Cordaites principalis GERMAR
Cordaianthus pitcairniae LINDLEY & HUTTON

Flöz 25, Schieferton, schwachsandig:

Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]
Lepidostrobus sp.

Flöz 26, Schieferton, schwachsandig:

nichtmarine Muscheln
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]

Flöz 27, stellenweise gebaut, Schieferton, schwachsandig:

Annularia cf. *pseudostellata* H. POTONIÉ
Asterophyllites cf. *equisetiformis* SCHLOTHEIM (häufig)
Sigillaria sp.
Sphenopteris (*Renaultia*) *gracilis* BRONGNIART
Sphenopteris (*Zeilleria*) *advoldensis* STUR
Mariopteris nervosa BRONGNIART
Mariopteris sauveuri BRONGNIART
Pecopteris miltoni ARTIS (mehrfach)
Cordaites principalis GERMAR (häufig)

Flöz 28, Schieferton, schwachsandig:

Carbonicola acuta (SOWERBY)
Anthracomya minima HIND (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]

Flöz 29, Schieferton, schwachsandig:

Sigillaria sp.
Pecopteris volkmanni SAUVEUR
Lonchopteris rugosa BRONGNIART (häufig)
Linopteris neuropteroides (GUTBIER) H. POTONIÉ

Flöz 30 Ubk b, Schieferton, schwachsandig:

Calamites undulatus STERNBERG
Sigillaria scutellata BRONGNIART
Sigillaria mammillaris BRONGNIART
Sigillaria reniformis BRONGNIART
Sigillaria cf. *tesselata* BRONGNIART
Stigmaria cf. *rugulosa* GOTHAN
Lepidodendron sp.
Neuropteris hollandica STOCKMANS (häufig)
Mariopteris nervosa BRONGNIART

Flöz 30 Ubk a, Schieferton, schwachsandig:

Calamostachya germanica WEISS
Sigillaria scutellata BRONGNIART
Sigillaria elongata BRONGNIART
Lepidodendron aculeatum STERNBERG
Palmatopteris furcata (BRONGNIART) H. POTONIÉ
Sphenopteris laurenti ANDRAE
Sphenopteris obtusiloba BRONGNIART
Paripteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN
Linopteris neuropteroides (GUTBIER) H. POTONIÉ

Flöz 30 Obk ist das höchste Flöz der Alsdorfer Schichten. Im bituminösen sandigen Schieferton direkt über dem Flöz befinden sich pflanzliche Fossilien als Häcksel. Darüber liegt der marin ausgebildete Horizont, der schon zu den Merksteiner Schichten gehört. Im Erkelenzer Revier sind die Alsdorfer Schichten nur bis zum Flöz 16 erhalten geblieben. Die jüngeren Schichten sind abgetragen worden. Eine ausführliche Beschreibung der Alsdorfer Schichten für das Erkelenzer Revier findet sich bei HERBST (1962). Die stratigraphische Anbindung an das Wurm-Revier aufgrund der Flözgleichstellung ist bei WREDE & ZELLER (1983) ersichtlich.

3.4. Merksteiner Schichten

Referenzprofil 3 (Abb. 4)
- Grube Adolf
  3. Abteilungsquerschlag nach Süden, 300-m-Sohle (SO 63)
  TK 25: 5002 Geilenkirchen; R 2509870, H 5640220 bis R 2508730, H 5640570; Z = -141 m NN)
  Schichtenaufnahme: G. HERBST (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.), H. MEYER jun. (Eschweiler Bergwerks-Verein)
  Fossilbestimmung: W. GOTHAN, 8. August 1944 (unveröff.)
  Veröffentlichung: HERBST (1971: Taf. 1)

Mit dem marinen Domina-Horizont über Flöz 30 Obk, das bei HAHNE (1936) mit Flöz 30 Nebenbank bezeichnet worden ist, beginnen die Merksteiner Schichten. Sie sind untertägig mit einer Mächtigkeit von etwa 195 m bis zum Flöz 41 aufgeschlossen worden. Das Gestein des marinen Domina-Horizontes im Aufschluß des Richtschichtenschnittes besteht aus einem sandigen, bituminösen Schieferton, der folgenden Fossilinhalt erbrachte:

Lingula mytilloides SOWERBY
Carbonicola aquilina SOWERBY
Anthracomya minima HIND (häufig) (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]

Über dem Domina-Horizont folgen Flöze, die nur im zentralen Teil der Wurm-Mulde erhalten worden sind. Die Flöze 32, 34, 36, 38 und 40 wurden in diesem Gebiet stellenweise abgebaut.

Flöz 31, Schieferton, schwachsandig:
Spirorbis principalis GERMAR
Calamites ramosus ARTIS
Annularia fertilis BRONGNIART
Sphenopteris obtusiloba BRONGNIART (häufig)
Mariopteris sp.
Pecopteris miltoni ARTIS
Pecopteris plumosa (ARTIS) RADFORTH
Neuropteris hollandica STOCKMANS
Neuropteris cf. *rarinervis* BUNBURY (häufig)

Flöz 32, Schieferton, schwachsandig:
Anthracomya minima HIND (häufig) (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)
Lepidophyllum triangularis ZEILLER

Flöz 33, Schieferton, schwachsandig:
Anthracomya minima HIND (häufig) (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)

Flöz 34, Schieferton, schwachsandig:
Anthracomya minima HIND (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)
Paripteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]
Sigillariensporen
Calamites cisti BRONGNIART
Calamites suckowi BRONGNIART

Flöz 35, aufgespalten in Unterbank und Oberbank, Schieferton, schwachsandig:
Sphenophyllum cuneifolium STERNBERG
Lepidodendron obovatum STERNBERG
Lepidodendron rimosum STERNBERG
Lepidostrobus variabilis LINDLEY & HUTTON
Lepidostrobus ornatus BRONGNIART
Sphenopteris obtusiloba BRONGNIART
Cordaites principalis GERMAR

Flöz 36, Schieferton, schwachsandig:

Lepidodendron obovatum STERNBERG
Lepidodendron lycopodioides STERNBERG

Flöz 37, Schieferton, schwachsandig:

Naiadites sp.
Anthracomya minima HIND (häufig) (wahrscheinlich *Curvirimula belgica* HIND)
Carbonia fabulina JONES & KIRKBY [= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]
Lonchopteris rugosa BRONGNIART
Paripteris gigantea (STERNBERG) GOTHAN (häufig)

Obwohl keine exakte geologische Aufnahme und keine Fossilbestimmungen für den Abschnitt von Flöz 37 bis Flöz 41 vorliegen, soll dennoch dieser Abschnitt in den Richtschichtenschnitt übernommen werden. HAHNE (1936: 1269) gibt für einen in der Nähe gelegenen Aufschluß ein Säulenprofil wieder, das etwas von der Schichtenfolge des Richtschichtenschnittes abweicht und nicht das Flöz 41 berücksichtigt.

Flöz 38 ist in Oberbank und Unterbank aufgeteilt. Das 15 m unter Flöz 38 Obk b liegende 10 cm mächtige Flöz wird mit Flöz 38 Unterbank a bezeichnet. Flöz 39 mit einer Flözmächtigkeit von 38 cm hat Pflanzen im Hangenden. Flöz 40 liegt 30 cm über dem Flöz 39 und weist ein Pflanzenhangendes auf.

Das höchste bekannte Flöz der Merksteiner Schichten aus dem Wurm-Revier ist Flöz 41, über dessen Hangendschichten keine Aussagen gemacht werden können.

4. Schriftenverzeichnis

BACHMANN, M., & HERBST, G., & KIMPE, W. F. M. (1970): Der derzeitige Stand der Flözparallelisierung zwischen den Steinkohlenrevieren der Niederlande, von Aachen - Erkelenz und vom Niederrheingebiet. - C. R. 6. Congr. internat. Strat. Géol. Carbonif., Sheffield 1967, **2**: 445 - 452, 1 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Maestricht.

BACHMANN, M., & KNAUFF, W. (1970): Ein Aufschluß in der Flözgruppe Finefrau Nebenbank - Finefrau (Westfal A, obere Stolberger Schichten) im Aachener Steinkohlenrevier. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **17**: 733 - 746, 2 Abb.; Krefeld.

DIN 21 900 Bergmännisches Rißwerk. Richtlinien für die Ausgestaltung des bergmännischen Rißwerkes (1951). - Berlin, Köln (Beuth-Verl.).

FIEBIG, H. (1954): Der neue Richtschichtenschnitt für die Wittener (Eßkohlen-) Schichten im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. - Glückauf, **90**: 260 - 270, 9 Abb.; Essen.

- (1957): Der neue Richtschichtenschnitt für die Bochumer (Fettkohlen-) Schichten im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. - Glückauf, **93**: 446 - 453, 6 Abb.; Essen.

- (1960): Der neue Richtschichtenschnitt für die Essener (Gaskohlen-) Schichten im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. - Glückauf, **96**: 30 - 42, 11 Abb.; Essen.

- (1961): Der neue Richtschichtenschnitt für die Horster (Gasflammenkohlen-) Schichten im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. - Glückauf, **97**: 429 - 441, 15 Abb.; Essen.

FIEBIG, H., & GROSCOURTH, J. (1984): Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **32**: 257 - 267, 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

HAHNE, C. (1936): Die wichtigen Leithorizonte und Leitmerkmale im Oberkarbon (Westfal A und B) des Wurmkohlengebietes. - Glückauf, **72**: 1 265 - 1 272, 9 Abb., 1 Beil.; Essen.

- (1947): Namur und unteres Westfal A (Stolberger Schichten) im Wurmgebiet bei Aachen. - Bergb.-Arch., **7**: 65 - 79, 8 Abb.; Essen.

HAHNE, C., & FISENI, F. (1951): Die Gleichstellung und einheitliche Benennung der Flöze im Aachener Steinkohlenbezirk nunmehr durchgeführt und beschlossen. - Glückauf, **87**: 1 061 - 1 066, 1 Taf.; Essen.

HARTUNG, W. (1966): Fossilführung und Stratigraphie im Aachener Steinkohlengebirge. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (1): 335 - 564, 2 Abb., 10 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

HEIDE, S. VAN DER, & MEYER, H. (1955): Ein mariner Horizont zwischen Flöz Steinknipp und Flöz Plaßhofsbank in der Grube Emil Mayrisch. - Meded. geol. Sticht., N.S., **8**: 31; 's-Gravenhage.

HERBST, G. (1955): Die Ausbildung der Girondelle-Schichten im Revier von Aachen und Erkelenz. - Geol. Jb., **71**: 389 - 394, 1 Abb.; Hannover.

- (1962): Zur Ausbildung der Alsdorfer Schichten im Steinkohlenrevier von Aachen - Erkelenz. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 015 - 1 040, 1 Abb., 2 Tab., 5 Taf.; Krefeld.

- (1967): Die Tektonik des flözführenden Oberkarbons im Wurm-Revier (Aachener Steinkohlenbezirk), dargestellt an der Karbonoberfläche. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **13** (2): 1 345 - 1 358, 1 Taf.; Krefeld.

- (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.

HERBST, G., & KOERNER, K., & STADLER, G. (1962): Kaolin-Kohlentonsteine im Oberkarbon des Aachener Reviers. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (2): 591 - 604, 2 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

JESSEN, W., & MICHELAU, P., & RABITZ, A. (1962): Zur Flözgleichstellung in den Bochumer und Essener Schichten im Raum Essen - Gladbeck - Bottrop - Oberhausen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 873 - 906, 2 Abb., 9 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

KNAUFF, W., & PIEPER, B. (1985): Der Albert-4-Horizont, ein mikrofaunistischer Leithorizont in den Bochumer Schichten (Westfal A) des westlichen und mittleren Ruhrreviers. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 105 - 118, 9 Abb., 1 Taf.; Krefeld.

OBERSTE-BRINK, K., & BÄRTLING, R. (1929): Die Durchführung einer einheitlichen Gliederung und Flözbenennung für das produktive Karbon des rheinisch-westfälischen Industriebezirks. - Z. dt. geol. Ges., **80** (Mber.): 165 - 185; Berlin.

-, & - (1930 a): Gliederung des produktiven Karbons und einheitliche Flözbenennung im rheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken. - Z. dt. geol. Ges., **82**: 321 - 347, 9 Abb., 1 Taf.; Berlin.

-, & - (1930 b): Die Gliederung des Karbonprofils und die einheitliche Flözbenennung im Ruhrkohlenbecken. - Glückauf, **66**: 889 - 898, 1 Taf.; Essen.

VANGEROW, E. F. (1957): Mikropaläontologische Untersuchungen in den Kohlscheider Schichten im Wurmrevier bei Aachen. - Geol. Jb., **73**: 457 - 505, 15 Abb., 3 Tab., 5 Taf.; Hannover.

WESTERMANN, H. (1906): Die Gliederung der Aachener Steinkohlenablagerungen auf Grund ihres petrographischen und paläontologischen Verhaltens. - Verh. naturhist. Ver. Rheinld. u. Westf., **62**: 1 - 64; Bonn.

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.).

WUNSTORF, W., & GOTHAN, W. (1925): Ein Beitrag zur Kenntnis des Aachener Oberkarbons. - Glückauf, **61**: 1 073 - 1 084; Essen.

ZELLER, M. (1985): Ein Versuch zur Flözgleichstellung im Oberkarbon (Westfal A) zwischen dem Inde-Revier und dem Wurm-Revier (Aachener Steinkohlengebiet). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 289 - 296, 1 Abb.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 11. 10. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	289 - 296, 1 Abb.	Krefeld, März 1985

Ein Versuch zur Flözgleichstellung im Oberkarbon (Westfal A) zwischen dem Inde-Revier und dem Wurm-Revier (Aachener Steinkohlengebiet)

Von MATTHIAS ZELLER*

Coal seam, Upper Carboniferous (Westphalian A), correlation, Rhenish Massif (Inde syncline, Wurm syncline), Northrhine-Westphalia (Aachen coal district)

Kurzfassung: Ein Normalprofil der seit 1944 stillgelegten Steinkohlengrube Eschweiler-Reserve im Inde-Revier wird mit dem vorgeschlagenen Richtschichtenschnitt des Aachen - Erkelenzer Steinkohlenreviers verglichen. Die Flözabfolge, Kohlenführung und Mächtigkeiten des Abschnitts Flöz Finefrau bis kurz unter Flöz A (Flöz Katharina der Ruhreinheitsbezeichnung) sind sehr ähnlich. Die meisten Flöze lassen sich ohne Schwierigkeiten gleichstellen. Aus sedimentologischer Sicht heraus müssen die flözführenden Ablagerungen in beiden Steinkohlenrevieren unter relativ gleichen Bedingungen in geringer räumlicher Entfernung voneinander entstanden sein.

[A proposal to coal seam correlation in the Upper Carboniferous (Westphalian A) of the Inde and Wurm coal district (Aachen mining area)]

Abstract: A type section of the coal mine Eschweiler-Reserve (Inde coal district) and the proposed general type section of the Aachen (Wurm) and Erkelenz coal district in the western part of the Federal Republic of Germany have been compared. The type sections comprise the period from the coal seam Finefrau (Upper Stolberg beds) to the uppermost layers of the Kohlscheid beds (Westphalian A) just below the marine Katharina horizon. The succession of the coal seams and the country rocks are very similar. Most of the seams of both districts can be correlated easily. Sedimentological features obviously show very similar conditions for the two different sediment basins. The original positions of the basins must have been closely connected.

[Une tentative à comparer les veines de charbon du Carbonifère Supérieur (Westphalien A) dans la région houillère d'Inde et celle de Wurm]

Résumé: Une section typique de l'houillère „Eschweiler-Reserve" - fermée depuis 1944 - est comparée avec la section typique générale, établie par nous, des regions houillères „Aix-la-Chapelle" et „Erkelenz".

La série des veines et l'épaisseur des couches, y compris le pourcentage de charbon à partir de Finefrau - couche supérieure de Stolberg - jusqu'à la veine Katharina, juste au-dessous du Westphalien B, se ressemblent beaucoup. La plus grande partie des veines carbonifères se laisse comparer sans difficulté. Du point de vue sédimentologique, il est évident que les couches carbonifères dans les deux régions houillères ont resulté des mêmes conditions géologiques sans éloignement important.

Die genaue stratigraphische Einstufung der flözführenden oberkarbonischen Schichten des Inde-Reviers bereitete seit Beginn der geologischen Bearbeitung Schwierigkeiten. Besonders die Anbindung an das nur etwas

* Anschrift des Autors: Dr. M. ZELLER, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

mehr als 10 km nordwestlich gelegene Wurm-Revier war problematisch, weil die fazielle Ausbildung der Ablagerungen in beiden Revieren als sehr unterschiedlich angesehen worden ist. Wesentliche Unterschiede wurden gesehen im höheren Sandsteingehalt (WESTERMANN 1906) und im geringeren Inkohlungsgrad der Flöze (M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER 1979: 332) im Inde-Revier. Ferner fehlten zuverlässige Leithorizonte, die eine sichere Einstufung erlaubten.

Im folgenden werden von den Oberen Stolberger Schichten der Abschnitt Finefrau-Flözgruppe bis zum marinen Wasserfall-Horizont und von den Kohlscheider Schichten der Abschnitt Wasserfall-Horizont bis wenige Meter unterhalb des Katharina-Horizontes betrachtet. Im Inde-Revier wird der erstgenannte Abschnitt als Breitgang-Schichten, der letztgenannte als Binnenwerke bezeichnet (KNAPP 1980).

Grundlage für die Gleichstellung bilden zwei Profile. Für das Inde-Revier bot sich das „Normal Profil von Eschweiler Reserve" (HOLZAPFEL 1910: Taf. 1) an. Es ist von zahlreichen Profilen in der geologischen Literatur das stratigraphisch umfassendste und zeigt eine für damalige Zeiten erstaunlich detaillierte Aufnahmedarstellung, allerdings stammt es nicht von einem einzelnen Aufschluß, sondern ist ein zusammengesetztes Profil aus dem gesamten Grubenbereich.

Ein neues, nach modernen Methoden untersuchtes Profil steht leider nicht zur Verfügung, da nach Beendigung des Bergbaus im Jahr 1944 keinerlei Aufschlüsse mehr zur Verfügung standen oder neu geschaffen wurden. Das zweite Profil ist der Richtschichtenschnitt für das Aachen - Erkelenzer Steinkohlenrevier, der nach Auswertung zahlreicher Schichtenaufnahmen und nach neuen stratigraphischen Erkenntnissen aus Tiefbohrungen der letzten Jahre erarbeitet worden ist (ZELLER 1985, WREDE & ZELLER 1983).

Mit dem Nachweis des marinen Wasserfall-Horizontes im Inde-Revier durch den Fund von *Lingula mytilloides* SOWERBY und *Discina nitida* PHILLIPS im Hangenden des Flözes Kleinekohl (HAHNE 1932 a, 1932 b) gelang die sichere stratigraphische Gleichstellung: Das Flöz Kleinekohl (Inde-Zechenbezeichnung) ist identisch mit dem Flöz Wasserfall der Ruhr-Einheitsbezeichnung und das darunter folgende Flöz Padtkohl (Inde-Zechenbezeichnung) ist somit dem Flöz Z (Aachener Einheitsbezeichnung) und Flöz Sonnenschein (Ruhr-Einheitsbezeichnung) gleichzustellen.

Stellt man beide zuvor erwähnten Profilsäulen nebeneinander (Abb. 1), so scheint eine deutliche Übereinstimmung der faziellen Ausbildung und der Flözabfolge zu bestehen. Die um 60 m geringere bankrechte Mächtigkeit des Abschnittes von Flöz Finefrau bis Flöz Wasserfall kann auf die für die im Inde-Revier typischen Mächtigkeitsschwankungen (vgl. HAHNE 1931, 1933 a) zurückzuführen sein.

Im folgenden werden besonders markante stratigraphische Übereinstimmungen zwischen Inde- und Wurm-Revier beschrieben.

Das Flöz Breitgang entspricht dem Flöz Finefrau-Nebenbank 2, da sich über diesem Flöz der aus allen Steinkohlenrevieren gut bekannte marine Finefrau-Nebenbank-2-Horizont befindet. Er ist von HOLZAPFEL (1911: 34) aus dem Nordflügel des Inde-Reviers (Bahnhof Stolberg) mit folgender Fauna beschrieben:

Brachiopoden

Orthotetes crenistria PHILLIPS
Productus carbonarius DE KONINCK
Productus concinnus SOWERBY

marine Muscheln

Aviculapecten papyraceus SOWERBY
Aviculapecten gentilis SOWERBY
Protoschizodus axiniformis PORTLOCK
Leiopteria laminosa PHILLIPS
Nucula sp.

Der unter den Finefrau-Flözen liegende konglomeratische Sandstein fehlt zwar im Normalprofil der Grube Eschweiler-Reserve, doch wird er bei HOLZAPFEL (1911: 33) erwähnt, ohne daß er als Finefrau-Sandstein erkannt wurde. Im Profil des Förderschachtes der Grube Atsch (südlich von Stolberg) zeigt HOLZAPFEL (1910: Taf. 1) einen etwa 20 m mächtigen Sandstein, der dem Finefrau-Sandstein gleichzusetzen ist.

Für die höheren Abschnitte fehlen Angaben über Fossilführung, wodurch die eindeutige Gleichstellung erschwert wird. Bemerkenswert ist die Horizontbeständigkeit einiger Sandsteinlagen unter den Flözen Plaßhofsbank (Aachener EB) / Flöz Huppenbroich (Inde-ZB), unter dem Flöz Schöttelchen 1 1/2 und unter dem Flöz Z (Aachener EB) / Flöz Padtkohl (Inde-ZB).

Die Flöze Padtkohl, Rapp und Kleinekohl (Inde-ZB) entsprechen den Flözen Z und Y der Aachener Einheitsbezeichnung und stellen die höchsten Flöze der Oberen Stolberger Schichten (Breitgang-Schichten) dar.

Mit dem marinen Horizont über Flöz Kleinekohl, dessen Nachweis bereits erwähnt worden ist, beginnen die Kohlscheider Schichten, die im Inde-Revier Binnenwerke genannt wurden. Das Normalprofil gibt eine bankrechte Schichtenmächtigkeit von etwa 360 m wieder. Höhere Schichten, vielleicht sogar bis über den Katharina-Horizont, könnten nach Ansicht von HAHNE (1933 b) durch die Bohrung Weisweiler (1922; TK 25: 5103 Eschweiler, R 23215, H 33355) aufgeschlossen worden sein. Auch WREDE (in Vorbereit.) hält es aus tektonischen Gründen für möglich, daß diese Bohrung Untere Alsdorfer Schichten angetroffen hat.

Die Kohlscheider Schichten wurden von HERBST (1962 a) ausführlich und im Zusammenhang beschrieben. Im folgenden soll nur auf die neuen und ergänzenden Erkenntnisse eingegangen werden.

Das Flöz Gyr entspricht einem Flöz der Mühlenbach-Gruppe (Zechenbezeichnung im Wurm-Revier). Nach HAHNE & FISENI (1951) wird es mit Flöz Groß-Mühlenbach gleichgestellt, nach ZELLER (1985) muß es in den Flözbereich V1/V2/W/W1 (Aachener EB) zu stellen sein. Der liegende Sandstein ist nicht nur im Inde-Revier, sondern auch im Wurm-Revier, Erkelenzer Revier und am Niederrhein mit wechselnder Mächtigkeit nachgewiesen worden.

Abb. 1 (S. 292 - 293)

Abb. 1 Flözkonnektierung zwischen Inde- und Wurm-Revier
Fig. 1 Connection of the coal seam between Inde und Wurm coal district

Obere Stolberger Schichten

Wurm-Revier (nach ZELLER 1985) | Inde-Revier (nach HOLZAPFEL 1910, 1911)

Aachener Einheitsbezeichnung

Y

Z

Schöttelchen 1½

Plaßhofsbank

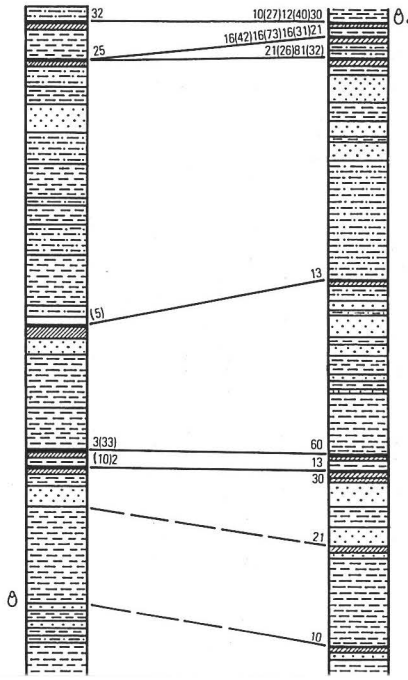
Girondelle-8-Horizont

Kleinekohl

Rapp

Padtkohl

Langenberg N°II (Huppenbroich) N°I



Kohlscheider Schichten

Wurm-Revier (nach ZELLER 1985) | Inde-Revier (nach HOLZAPFEL 1910)

Aachener EB

A/A1
A2
B Obk
Ubk
B1/B2
C
C1/C2
D
D1
D2
E
F
F1 Obk
Ubk
G
H
H1
H2
H3
H4
I
I1
K
L
L1
M
M1
M2
M3

1

2

Furth

N°5

Scholl

N°7

Kleinkohl

Plattekohl

Macrille

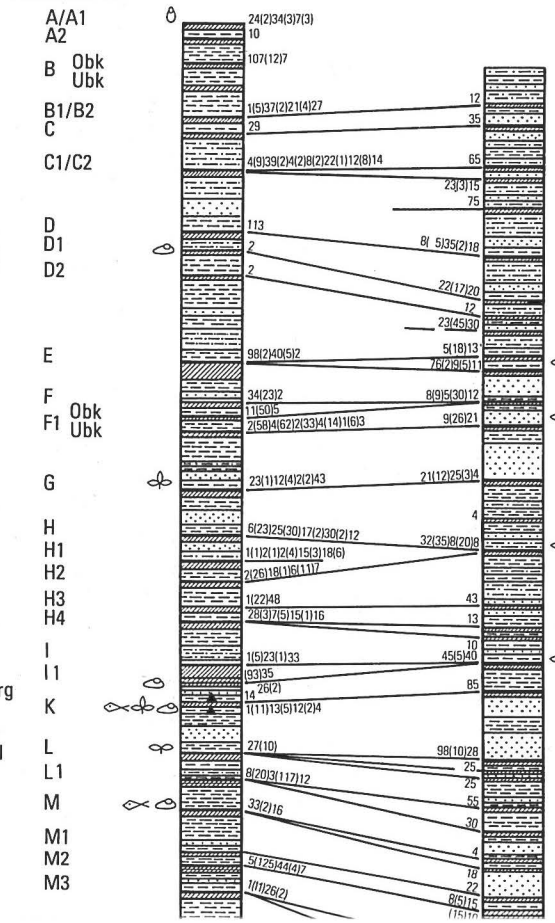
Spierling

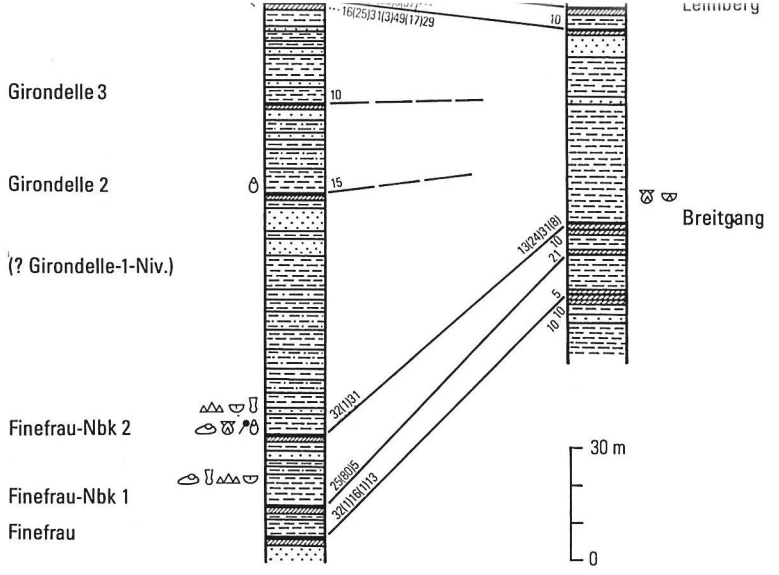
Bücking

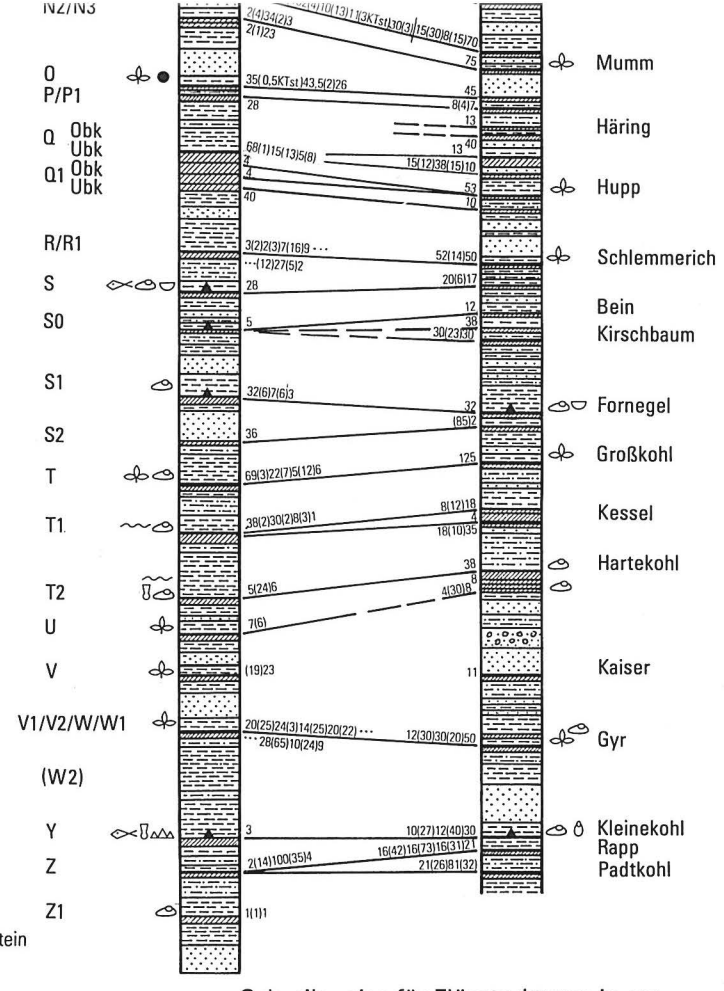
Rheinfisch

Steinkohl

Knoch







Megafauna

- Fische
- marine Muscheln
- nichtmarine Muscheln
- *Lingula*
- Brachiopoden
- *Planolites ophthalmoides* JESSEN
- Schlängelspuren

Mikrofauna

- Ostracoden der *Jonesina*-Gruppe
- Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe
- Conodonten
- Foraminiferen

Flora

- Pflanzenreste (meist bestimmbar)
- Pflanzenreste (unbestimmbar)

- Flöz mit Wurzelboden
- Kaolin-Kohlentonstein

Nebengestein

- Schluffstein bis Tonstein, bituminös
  Schluffstein bis Tonstein
- Feinsandstein, schluffig-tonig bis Schluffstein
  sandig, z.T. bänderig bis flaserschichtig
- Sandstein
- Sandstein, konglomeratisch

Schreibweise für Flözstrukturen in cm

15 15 cm Kohle (2) 2 cm Berge

Über dem Flöz Hartekohl liegt nach HAHNE (1932 b: 622) ein „Süßwasserhorizont" mit den nichtmarinen Muscheln *Carbonicola acuta* (SOWERBY) und *Carbonicola robusta* (SOWERBY). Dieser Faunenhorizont liegt im Normalprofil der Grube Eschweiler-Reserve über dem Flöz T2 (Aachener EB). Als Leithorizont mit brackisch-mariner Ausbildung ist er aus dem Wurm-Revier und aus dem Ruhrgebiet (Luise-Horizont) bekannt. Daraus folgend kann man Flöz Hartekohl mit dem Flöz Luise beziehungsweise Flöz T2 stratigraphisch gleichstellen. Nach einer mündlichen Mitteilung von W. WUNSTORF soll in diesem stratigraphischen Bereich in der Bohrung Horbach 2 (TK 25: 5102 Herzogenrath, R 03 880, H 35 230) im Wurm-Revier ein „*Lingula*-Niveau" gefunden worden sein (HAHNE 1932 b: 620).

Auffallend ist der beständige Faunenhorizont im bituminösen Hangendschiefer über Flöz Fornegel. Bei HAHNE (1932 b: 623) findet sich folgende Faunenliste:

nichtmarine Muscheln

Anthracomya minima HIND [wahrscheinlich *Curvirimula belgica* (HIND)]
Anthracomya acuta SOWERBY
Anthracomya aquilina (SOWERBY)
Anthracomya robusta (SOWERBY)
Naiadites sp.

Ostracoden

Carbonia fabulina JONES & KIRKBY
[= *Carbonita fabulina* (JONES & KIRKBY)]

Diese Fauna wurde im Wurm-Revier im Bereich der S-Flöze (Rhein-Ruhr-Revier: Wilhelm-Flöze) oft beobachtet. Auch vom Flözabstand her ist Flöz Fornegel ohne Bedenken mit dem Flöz S1 gleichzusetzen.

Für die höheren Flöze gibt es bisher keine gemeinsamen Leithorizonte. Kaolin-Kohlentonsteine wurden weder in Flöz Häring, das dem Flöz O des Wurm-Reviers entsprechen könnte, noch in Flöz Mumm gefunden, das in die N-Flözgruppe zu stellen wäre.

Als Leitflöz kann man die Flöze Furth (Inde-Revier) und Flöz E (Wurm-Revier) ansprechen. Beide befinden sich im gleichen stratigraphischen Abstand zu konnektierten Flözen im Liegenden, und beide zeigen eine für diesen Bereich oft beobachtete abbauwürdige Mächtigkeit.

Über die Ablagerungsbedingungen und die regionalgeologische Stellung des Inde-Reviers zum Wurm-Revier hat sich HAHNE (1933 c) geäußert. Er nimmt an, daß die beiden Ablagerungsgebiete der Inde-Mulde und der Wurm-Mulde durch eine flache Schwelle voneinander getrennt waren, die sich während der Ablagerung der Binnenwerke zu einer Barre entwickelte. Diese Hebungsstruktur soll mit dem heutigen Aachener Sattel weitgehend zusammenfallen.

M. TEICHMÜLLER & R. TEICHMÜLLER (1979) messen der Aachener Überschiebung aufgrund von Inkohlungsmessungen eine größere Bedeutung bei und vermuten, daß sie eine östliche Fortsetzung der Faille du Midi aus Belgien und Frankreich ist. HERBST (1962 b) ermittelte bei Aachen an der Aachener Überschiebung einen bankrechten Schichtenausfall von 1 400 m.

MEISSNER & BARTELSER & MURAWSKI (1981) erkannten anhand seismischer Messungen unter dem Venn-Sattel einen nach Südsüdost einfallenden Reflektor in etwa 4 km Tiefe, der auf eine Überschiebungsbahn hinweisen kann. BLESS & BOUCKAERT & PAPROTH (1980) vertreten die Ansicht, daß die Überschiebungsfläche, die heute Inde- und Wurm-Revier trennt, die Unterfläche einer Decke sei, deren Wurzelzone südlich des Stavelot-Venn-Massivs zu suchen sei. Damit würden die Sedimente des Inde-Reviers allochthon sein und hätten eventuell ihren sedimentären Ursprung nach Ansicht dieser Autoren einige hundert Kilometer südlich von ihrer heutigen Lage. Der Vergleich der stratigraphischen Abfolge zeigt allerdings deutlich, daß im Wurm-Revier und im Inde-Revier die Sedimentation sehr ähnlich gewesen ist, so daß die Ablagerungsgebiete eng beieinander gelegen haben dürften. Folgende Gründe sprechen dafür:

- Die Schichtenmächtigkeiten sind relativ gleich.
- Der marine Horizont über Flöz Finefrau-Nebenbank 2 findet sich in beiden Gebieten.
- Fossilführende Lagen lassen sich stratigraphisch vergleichen, wie zum Beispiel der Luise-Horizont (Fl. T2 - Fl. Hartekohl).
- Die Anzahl der Flöze und die Flözfolge ist in beiden Revieren sehr ähnlich.
- Die Kohlenführung differiert nur wenig: In den Kohlscheider Schichten sind im Inde-Revier rund 24 m (5,16 % Kohlenanteil) und im Wurm-Revier rund 25 m (5,13 % Kohlenanteil) Kohle abgelagert worden.

In jüngster Zeit beginnen vergleichende sedimentologische Arbeiten an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, die sich intensiv mit den Ablagerungsbedingungen in beiden Steinkohlenrevieren befassen werden (STEINGROBE 1983, 1984 und MULLER & STEINGROBE in Vorbereit.).

Eine modern bearbeitete Tiefbohrung im Inde-Revier würde Klarheit über die Ablagerungsbedingungen und Stratigraphie bringen können. Auch die Erfassung der Kohlenvorräte und damit für die Abschätzung des wirtschaftlichen Wertes der Lagerstätte wäre eine Bohrung von erheblichem Nutzen.

Schriftenverzeichnis

BLESS, M. J. M., & BOUCKAERT, J., & PAPROTH, E. (1980): Tektonischer Rahmen und Sedimentationsbedingungen im Prä-Perm einiger Gebiete NW-Europas. - Z. dt. geol. Ges., **131**: 699-713, 9 Abb.; Hannover.

HAHNE, C. (1931): Einige bemerkenswerte Züge in der Mächtigkeitsentwicklung des Zwischenmittels und der Flöze der Binnenwerke in der Eschweiler Reservegrube (Indegebiet) bei Aachen. - Cbl. Mineral., Geol., Paläont., (B) **1931**: 110-115, 4 Abb.; Stuttgart.

- (1932 a): Die Feststellung des Wasserfallniveaus im Indegebiet. - Glückauf, **68**: 146-148; Essen.
- (1932 b): Neue Leithorizonte in den Binnenwerken (Fettkohlenschichten) der Grube Eschweiler Reserve (Indegebiet) bei Aachen. - Z. dt. geol. Ges., **84**: 619-627, 1 Taf.; Berlin.
- (1933 a): Gleichzeitigkeit von Sedimentation und Faltung im Aachener Kohlengebiet? - Cbl. Mineral., Geol., Paläont., (B) **1933**: 314-325, 4 Abb.; Stuttgart.
- (1933 b): Die Indemulde östlich des Weisweiler Horstes. - Cbl. Mineral., Geol., Paläont., (B) **1933**: 508-520, 2 Abb.; Stuttgart.

- (1933 c): Die Paläogeographie und Ablagerungsverhältnisse des Indegebietes bei Aachen, insbesondere des Feldes der Grube Eschweiler Reserve, zur Fettkohlenzeit. – Arch. Lagerst.-Forsch., **55**: 60 S., 7 Taf.; Berlin.

HAHNE, C., & FISENI, F. (1951): Die Gleichstellung und einheitliche Benennung der Flöze im Aachener Steinkohlenbezirk nunmehr durchgeführt und beschlossen. – Glückauf, **87**: 1 061 – 1 066, 1 Taf.; Essen.

HERBST, G. (1962 a): Die Tektonik des flözführenden Oberkarbons in der Inde-Mulde (Aachener Revier), dargestellt an der Karbon-Oberfläche. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 159 – 1 166, 1 Taf.; Krefeld.

- (1962 b): Ein Aufschluß im Oberkarbon an der Aachener Überschiebung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 155 – 1 158, 1 Abb.; Krefeld.

HOLZAPFEL, E. (1910): Die Geologie des Nordabfalls der Eifel mit besonderer Berücksichtigung der Gegend von Aachen. – Abh. kgl. preuß. geol. L.-Anst., N.F., **66**: 218 S., 15 Abb., 2 Taf., 1 Kt.; Berlin. – [Festschr. 11. Allgem. dt. Bergmannstag Aachen 1910]

- (1911): Erläuterungen zu Blatt Stolberg. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. Bundesstaaten 1 : 25 000: 87 S., 8 Abb.; Berlin.

KNAPP, G. (1980), mit Beitr. von HAGER, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel 1 : 100 000. – 3. Aufl.: 155 S., 9 Abb., 9 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

MEISSNER, R., & BARTELSEN, H., & MURAWSKI, H. (1981): Thin-skinned tectonics in the northern Rhenish Massif, Germany. – Nature, **290**: 399 – 401, 5 Abb.; London.

MULLER, A., & STEINGROBE, B.: Structures and Textures in Upper Carboniferous Profiles of the Inde- and Wurm-Synclines (Aachen Area-W. Germany). A Comperative Approach to the Definition of the Deposition Conditions. – N. Jb. Geol. u. Paläont., Abh.; Stuttgart. – [In Vorbereit.]

STEINGROBE, B. (1983): Sedimentologische Untersuchungen zur Ausbildung des Oberkarbons im Aachener Revier. Vergleichende Untersuchungen in ausgewählten Profilen der Inde- und Wurm-Mulde. – Dipl.-Arb. Rhein. Westf. Techn. Hochsch. Aachen: 165 S., 53 Abb., 12 Taf.; Aachen. – [Unveröff.]

- (1984): Identification and Description of Sedimentary Sequences in Upper Carboniferous Deposits in the Aachen Area (West Germany). – Abstr. 5. Europ. Reg. Meet. Sediment., Internat. Assoc. Sediment: S. 414; Marseille.

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1979): Ein Inkohlungsprofil entlang der linksrheinischen Geotraverse von Schleiden nach Aachen und die Inkohlung in der Nord – Süd-Zone der Eifel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **27**: 323 – 355, 6 Abb., 3 Tab.; Krefeld.

WESTERMANN, H. (1906): Die Gliederung der Aachener Steinkohlenablagerungen auf Grund ihres petrographischen und paläontologischen Verhaltens. – Verh. naturhist. Ver. Rheinld. u. Westf., **62**: 1 – 64; Bonn.

WREDE, V.: Tiefentektonik des Aachen – Erkelenzer Steinkohlengebietes. – In: Tiefentektonik der Steinkohlenlagerstätten Aachen – Niederrhein – Ibbenbüren – Saar; Krefeld. – [In Vorbereit.]

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.).

ZELLER, M. (1985): Vorschlag eines Richtschichtenschnittes für das flözführende Oberkarbon (Westfal A und B) des Aachen – Erkelenzer Steinkohlenreviers. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **33**: 265 – 287, 4 Abb., 1 Tab.; Krefeld.

Eingang des Manuskriptes: 7. 3. 1984

Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.	33	297 - 306, 1 Abb.	Krefeld, März 1985

Die Fortsetzung der Aachener Überschiebung nach Osten - eine Arbeitshypothese -

Von VOLKER WREDE*

Thrust-fault (Aachen-thrust, Satanella-thrust) Variscan orogeny, Rhenish Massif, Lower Rhine basin, Rhenish-Westphalian basin, Northrhine-Westphalia

Kurzfassung: Die Aachener Überschiebung stellt eine der bedeutenden Überschiebungen dar, die am Nordrand des linksrheinischen Schiefergebirges auftreten und denen zumindest im Bereich der belgischen Ardennen der Charakter von Deckenbahnen zugesprochen wird. Nach Nordosten zu läßt sich diese Störung bis in den Untergrund des Jackerather Horstes im Zentrum der Niederrheinischen Bucht verfolgen.

Es wird in Form einer Hypothese die Möglichkeit erörtert, daß sich diese Störung weiter bis in den Bereich des Velberter Sattels fortsetzen und dort mit der Satanella-Überschiebung des Ruhrkarbons zusammenhängen könnte.

[The extension of the Aachen-thrust to the north-east - a hypothesis]

Abstract: The Aachen-thrust is one of the important thrust-faults that occur on the northern edge of the variscian mountains left of the river Rhine and which at least in the Belgian Ardennes are assumed to be of nappistic character. To the north-east this fault can be traced to the underground of the Jackerath horst in the center of the Lower Rhine basin.

In a hypothesis it is discussed that this fault might extend further to the Velbert anticline and beyond this might be connected to the Satanella-thrust in the southern Ruhr district.

[L'extension de la faille d'Aix-la-Chapelle en direction Nord-est - une hypothèse]

Résumé: La faille d'Aix-la-Chapelle est un des chevauchements importants qui se trouvent sur la bordure septentrionale du Massif schisteux rhénan occidental et auxquels - au moins dans l'Ardenne belge - on attribue le caractère de nappes. En direction Nord-est, cette faille se laisse tracer jusque dans le substratum du horst de Jackerath au centre de la bassin basse-rhènane.

Sous la forme d'une hypothèse, la possibilité est discutée, que cette faille s'étendrait plus loin jusque dans la région de l'anticlinal de Velbert et que là, elle pourrait être rattachée au chevauchement nommé Satanella du Carbonifère de la Ruhr.

1. Einleitung

Zu den auffälligsten Unterschieden im Baustil des Variscischen Gebirges beiderseits der Niederrheinischen Bucht gehört das Auftreten bedeutender Überschiebungsbahnen am Nordrand der Eifel und der Ardennen, die rechtsrheinisch anscheinend keine adäquate Fortsetzung finden. Die wichtigste und zugleich am weitesten nördlich ausbeißende dieser Überschiebungen ist die Aachener Überschiebung, die als Fortsetzung der Faille du Midi oder Faille Eifelienne am Nordrand der Ardennen aufgefaßt werden kann. Dabei sei es dahingestellt, ob es sich hierbei um identische Störungsbahnen handelt,

* Anschrift des Autors: Dr. V. WREDE, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld 1

oder – was wahrscheinlicher erscheint (vgl. KNAPP 1978: 123 – 124) – ein wechselseitiges Ablösen verschiedener Störungen im Streichen erfolgt. Diese Störungen besitzen erhebliche Verwurfsbeträge: An der Aachener Überschiebung werden Schichten des Frasnes auf höchstes Namur überschoben, was einem bankrechten Verwurf von ca. 1 400 m entspricht (HERBST 1962). Weiter westlich wurden in Belgien und Nordfrankreich zum Teil noch größere Verwürfe an der Störungszone festgestellt. So überschiebt die Faille du Midi in der Bohrung Jeumont Unterdevon auf Westfal A (BLESS & BOUCKAERT & PAPROTH 1982). Für diesen Bereich wurde durch seismische Untersuchungen eine erhebliche Erstreckung der Überschiebungsfläche nach Süden hin unter die Ardennen wahrscheinlich gemacht und durch Bohrungen teilweise nachgewiesen. Die Hangendschollen dieses Störungssystems bezeichnen die genannten Autoren demgemäß als Dinant-Decken. Auch für den Untergrund der Nordeifel nehmen MEISSNER & BARTELSEN & MURAWSKI (1981) die Fortsetzung der Aachener Überschiebung in eine solche weitreichende Deckenbahn an, für die eine horizontale Schubweite von eventuell mehreren Zehner Kilometern diskutiert wird (vgl. auch WALTER 1982).

Bei allen Darstellungen dieser nappistischen Deutung der Tektonik des linksrheinischen Schiefergebirges bleibt jedoch die Frage nach der östlichen Begrenzung der Dinant-Decken offen, da in der südlichen Umrahmung der Niederrheinischen Bucht bislang keine bedeutenden tektonischen Elemente bekannt geworden sind, die eine Interpretation als Deckengrenze rechtfertigen. PAPROTH & STRUVE (1982: 369) versuchen, die Achsendepression der Eifeler Nord-Süd-Zone mit diesem Deckenrand in Verbindung zu bringen, wobei aber ausdrücklich paläontologisch-stratigraphische und nicht tektonische Argumente ausschlaggebend sein sollen. Auch aus dem tektonischen Bau des Ruhrkarbons und des rechtsrheinischen Schiefergebirges wurden bislang keine Anzeichen für einen Deckenbau beschrieben.

Dort ist ein solcher Deckenbau auch kaum zu erwarten, da nach übereinstimmender Auffassung die Unterschiede im Baustil des links- und rechtsrheinischen Schiefergebirges darin begründet sein sollen, daß sich linksrheinisch die variscische Faltung am kaledonisch konsolidierten Brabanter Massiv „staute", während sie rechtsrheinisch unbehindert nach Norden hin ausklingen konnte (vgl. z. B. HERBST & THOME 1978; BLESS et al. 1976: 143, Abb. 36).

Es soll nun im folgenden versucht werden, aufgrund strukturgeologischer Untersuchungen und der Auswertung neuer und älterer Bohraufschlüsse in der Niederrheinischen Bucht, den Verlauf der Ausbißlinie der Aachener Überschiebung nach Osten hin zu verfolgen und damit zur Kenntnis der Natur dieser Störung beizutragen.

2. Der Verlauf der Aachener Überschiebung

2.1. Aachener Gebiet

Im Aachener Gebiet tritt die Aachener Überschiebung im Kern des Aachener Sattels auf. Die Nordflanke dieses Sattels bilden die stark nordvergenten, sehr steilen Spezialfalten im Namur C und Westfal, die die sogenannte Engfaltenzone in der Südflanke der Wurm-Mulde im Aachener Steinkohlenrevier darstellen.

Im Hangenden der Überschiebung tritt in einem schmalen Streifen das Oberdevon mit Schichten des Frasnes und Famenne an die Oberfläche, die nach Süden hin unter den Kohlenkalk einfallen. Die Südflanke des Aachener Sattels ist an weiteren Überschiebungen (Burtscheider Überschiebung, Eilendorfer Überschiebung u. a.) aufgeschuppt und bildet ihrerseits die Nordflanke des Inde-Synklinoriums, in dem erneut Oberkarbon auftritt (Abb. 1: Schnitt E - F).

Im Stadtgebiet von Aachen war die Überschiebung mehrfach aufgeschlossen; ihr weiterer streichender Verlauf läßt sich an der Erdoberfläche noch über den Ravelsberg (HERBST 1962) bis in den Bereich südöstlich von Würselen verfolgen (HOLZAPFEL 1911 a: 28). Weiter östlich geben dann noch einige ältere Mutungsbohrungen Hinweise auf den Verlauf der Störung: So trafen die Bohrungen Nr. 67 (HOLZAPFEL 1911 b) und Erberich 2 das Oberkarbon nördlich der Überschiebung an, wobei sich die Schichten in der letztgenannten Bohrung faunistisch als Namur B einstufen ließen und damit ein Herausheben des Aachener Sattels nach Osten zu angezeigt wird. Die Bohrungen Nr. 65, Kinzweiler und Altdorf haben dagegen das Oberdevon südlich der Überschiebung erschlossen. Nach diesen Feststellungen folgt die Störung weiter dem Generalstreichen des Faltenbaues, ohne daß sich bedeutsame Änderungen des Verwurfsmaßes erkennen lassen.

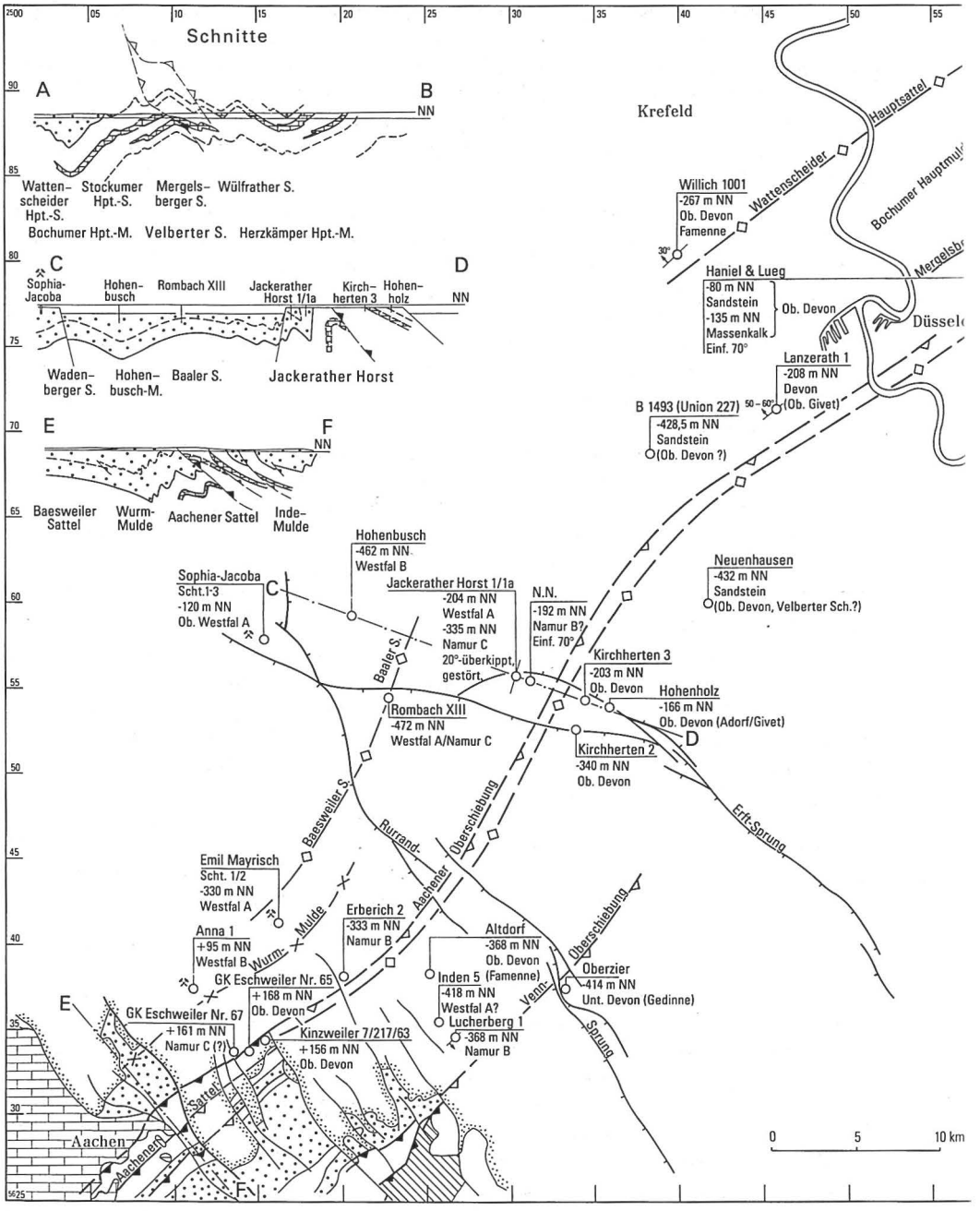
Noch weiter nach Osten zu taucht das Variscikum der Nordeifel unter die hier bis zu rund 700 m mächtige Tertiär-Füllung der Rur-Scholle ab, in der es bislang nicht aufgeschlossen wurde.

Die nördlich des Aachener Sattels verlaufende Wurm-Mulde ist bis in diesen östlichen Bereich hinein durch die Grubenbaue der Steinkohlenzeche Emil Mayrisch aufgeschlossen worden. Die Mulde biegt, genau wie der ihr nördlich vorgelagerte Baesweiler Sattel, im Fortstreichen nach Osten auffällig aus der bisherigen Streichrichtung von ca. 50 - 60 ° in ein stärker nach Norden gerichtetes Streichen um. Diese Beobachtung ermöglichte es neben anderen Kriterien, die im Rahmen des gegenwärtig am Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen durchgeführten Untersuchungsvorhabens „Tiefentektonik" gewonnen wurden, den Faltenbau des Wurm-Reviers südlich der Rur-Scholle mit dem des Erkelenzer Horstes nördlich davon zu verbinden (WREDE 1982 a).

2.2. Erkelenzer und Jackerather Horst

Der tektonische Bau des durch die Steinkohlengrube Sophia-Jacoba in Hückelhoven aufgeschlossenen Erkelenzer Horstes und seiner nur durch eine Anzahl von Tiefbohrungen bekannten östlichen Fortsetzung bis zum Jackerather Horst wird durch einen weitspannigen Faltenbau bestimmt (WREDE & ZELLER 1983). Diese Falten lassen sich - wie bereits erwähnt - mit den Hauptfaltenstrukturen des Wurm-Reviers vergleichen: Danach entspricht der Baaler Sattel im Erkelenzer Horst dem Baesweiler Sattel des Wurm-Reviers.

Weiter östlich erschlossen zwei Bohrungen im Jackerather Horst dann eine extrem steile, spezialgefaltete und gestörte, nordwestfallende Faltenflanke, in der bei etwa 950 m querschlägigem Abstand Schichten des Westfals A (Flöz Finefrau-Nebenbank) und des flözleeren Namurs (Namur B oder tiefer) an die Karbon-Oberfläche stoßen. Im Ostteil des Jackerather Horstes wurde schließlich an der Grundgebirgsoberfläche Devon erbohrt, wobei sich die Schichten der Bohrung Hohenholz paläontologisch ins Adorf bis Givet einstufen lassen.



Da sowohl die vorgenannten Falten des Erkelenzer Horstes das analog zum Umbiegen der Faltenachsen im nordöstlichen Wurm-Revier „steilere" Generalstreichen zeigen, als auch in den geophysikalischen Dipmetermessungen der Bohrung Jackerather Horst 1/1a ein solches steileres Streichen festgestellt wurde (KUNZ & NÖTH 1978), liegt es nahe, auch die tektonischen Struktu-

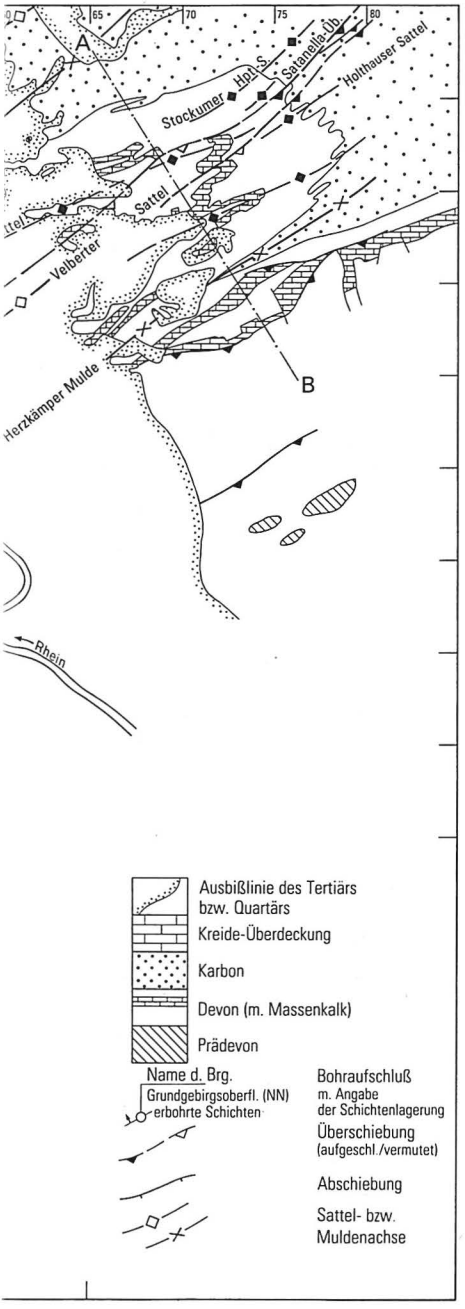


Abb. 1
Übersichtskarte über den vermuteten Verlauf der Aachener Überschiebung im Untergrund der Niederrheinischen Bucht und ihre mögliche Verbindung mit der Satanella-Überschiebung

Fig. 1
Sketch-map of the assumed extension of the Aachen-thrust in the basement of the Lower Rhine basin and its hypothetic connection to the Satanella-thrust in the Ruhr-Carboniferous

ren im Untergrund des Jackerather Horstes mit dem Wurm-Revier zu verbinden. Demnach verläuft der Aachener Sattel mit seiner steilen und spezialgefalteten Nordflanke (Engfaltenzone) und der Aachener Überschiebung, an der Oberdevon auf Namur überschoben wird, mit einem Generalstreichen von ca. 20 bis 30° durch den Bereich des Jackerather Horstes. Über den Verwurfsbetrag an der Überschiebung läßt sich nichts genaues sagen, da die Lagerungsverhältnisse vor allem im Hangenden völlig unbekannt sind. Der bankrechte Verwurf muß aber dennoch einige hundert Meter betragen, da zumindest ein Teil des Namurs, das gesamte Unterkarbon sowie ein Teil des Oberdevons an der Störung ausfallen.

Damit ist die Aachener Überschiebung von den östlichsten Aufschlüssen im Bereich der Nordeifel bis in den zentralen Teil der Niederrheinischen Bucht zu verfolgen, wobei ein Umschwenken der Richtung des Generalstreichens von ca. 50–60° nach 20–30° zu beobachten ist.

2.3. Südwestliches Ruhrkarbon und Velberter Sattel

Verlängert man den von Westen her bis zum Jackerather Horst erschlossenen Verlauf der Aachener Überschiebung und des Aachener Sattels weiter, so erreicht man nach einer Aufschlußlücke von ca. 40 km das südwestliche Ruhr-

karbon und den Bereich des Velberter Sattels. Innerhalb dieser Aufschlußlücke dreht das Generalstreichen der Faltenstrukturen wieder in die normale variscische Richtung von ca. 50 – 60° zurück, wie der Verlauf der Faltenachsen im südlichen Ruhrkarbon anzeigt.

Hier treten zwei bedeutende Sattelstrukturen auf, die eventuell die Fortsetzung des Aachener Sattels darstellen könnten: der Wattenscheider Hauptsattel und der Stockumer Hauptsattel, der als nördlicher Teilsattel im größeren Antiklinorium des Velberter Sattels aufgeht. Die beiden Forschungsbohrungen Lanzerath 1 (1982) und Willich 1001 (1983), die etwa in der Mitte der genannten Aufschlußlücke niedergebracht wurden, geben nun deutliche Anhaltspunkte dafür, daß sich diese Faltenstrukturen bis in den Bereich dieser Bohrungen mit normalem Streichen fortsetzen (K.-H. RIBBERT & M. ZELLER, Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., mdl. Mitt.).

Dadurch wird nun sehr wahrscheinlich gemacht, daß der Velberter Sattel die rechtsrheinische Fortsetzung des Aachener Sattels darstellt (vgl. Abb. 1) und auch die Verlängerung der Aachener Überschiebung – sollte sie bis in diesen Bereich fortstreichen – im Bereich des Velberter Sattels gesucht werden muß. Tatsächlich gibt es hier Indizien, die sich als Hinweis auf entsprechende streichende Störungen im Kern des Velberter Sattels deuten lassen (vgl. z. B. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1 : 100 000, Blatt C 4706 Düsseldorf – Essen).

Diese reichen allerdings nicht aus, ein eindeutiges Bild vom Verlauf der vermuteten Überschiebung zu zeichnen, so daß sich zum Teil alternative Deutungsmöglichkeiten ergeben: Zu den möglichen Hinweisen auf die vermutete Überschiebung im Velberter Sattel gehört vor allem das Aussetzen des Massenkalk-Zuges an der Nordspitze dieses Antiklinoriums, der sonst als durchgängiges Band das umlaufende Streichen der Devon-Schichten im Velberter Sattel markiert. Diese Lücke in der Massenkalk-Verbreitung kann ohne weiteres faziell bedingt sein. Sie läßt sich aber auch, ähnlich wie KARRENBERG (1954) es aufgrund anderer, inzwischen überholter Vorstellungen getan hat, tektonisch als Folge einer Überschiebung von ca. 500 m bankrechtem Verwurf deuten (Abb. 1: Schnitt A – B).

Weiter südwestlich tritt dann im Kern des Velberter Sattels im Bereich der Südflanke des Mergelsberger Teilsattels ein isoliert liegendes Massenkalk-Vorkommen auf, das nicht mit dem durchgehenden Kalkzug in der Umrahmung des Velberter Sattels zusammenhängt. In der streichenden Verlängerung dieses Vorkommens wurde auch in der Bohrung Haniel und Lueg (1933) im Osten von Düsseldorf im Niveau von ca. - 135 m NN der Massenkalk steil einfallend erbohrt. Eine Deutung dieser Vorkommen zum Beispiel als bruchtektonisch in Grabenposition versenkte Spezialmulden ist zwar denkbar, jedoch ist auch in diesem Falle eine Interpretation möglich mit Hilfe einer angenommenen streichenden Störung, die den Südflügel des Mergelsberger Sattels verschuppt und einen tieferen (givetischen) Massenkalk-Horizont in das Niveau der heutigen Erdoberfläche bringt.

Weiter nordöstlich wird der Kohlenkalkzug, der die Grenze zwischen dem devonischen Kern des Velberter Sattels und seiner karbonischen Umrahmung bildet und sich ähnlich wie der Massenkalk-Zug mit umlaufendem Streichen um die Sattelstruktur herumschmiegt, ebenfalls durch mehrere streichende Störungen verworfen, die etwa in der Verlängerung der angenommenen Längsstörung im Mergelsberger Sattel liegen. Der Verwurf an diesen Störun-

gen ist schwer zu ermitteln, er dürfte nach den Darstellungen von TÜMER (1960) aber immer noch im Bereich von hundert bis einige hundert Meter liegen.

Diese Störungen aber bilden die westliche Fortsetzung der Satanella-Überschiebung des Ruhrkarbons, wie die Arbeiten von KELLER (1941) und MICHELAU (1956) gezeigt haben. Diese Störung begleitet den Stockumer Hauptsattel auf seiner Südflanke, der im Bereich des Velberter Sattels in der Nordflanke des nach Süden parallel versetzt auftretenden Mergelsberger Sattels im Streichen ausklingt (vgl. auch die Schnitte der Geol. Kt. Ruhrkarbon 1 : 100 000, 1982).

Da über die Zusammenhänge und Veränderungen der einzelnen Spezialfalten im Bereich zwischen dem relativ gut aufgeschlossenen Ruhrkarbon (Stockumer Hauptsattel, Wittener Hauptmulde) und den Strukturen des Velberter Sattels nur wenig bekannt ist, bereitet eine unmittelbare Verbindung der vermuteten Überschiebung im Bereich des Mergelsberger Sattels mit den Ausläufern der Satanella-Überschiebung konstruktive Probleme. Sollte der Mergelsberger Sattel als südliche Teilfalte des Stockumer Hauptsattels (Antiklinoriums) aufzufassen sein, wie es sich aus der Darstellung der Geologischen Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000 (1982) ergibt, so wären wegen des südlichen Einfallens der Störung die Ausläufer der Satanella-Überschiebung erst südlich des Mergelsberger Sattels zu erwarten.

Tatsächlich treten hier nach RICHTER (1977: Abb. 206) im Bereich der Nordflanke des Rhodenhauser Sattels (bzw. der Südflanke der Schmachtenberg-Mulde) im Bereich der Grenze Massenkalk/Flinzschiefer ebenfalls streichende Störungen auf, die zumindest zum Teil als Aufschiebungen zu deuten sind. Die streichende Entwicklung dieser Störungen über das Massenkalk-Gebiet hinaus ist aber nicht bekannt.

Andererseits besteht auch die Möglichkeit, den Mergelsberger Sattel in den Holthauser Sattel des südlichen Ruhrkarbons zu verlängern, so daß die westliche Fortsetzung der Satanella in der Nordflanke oder dem Kernbereich des Mergelsberger Sattels zu erwarten wäre – etwa dort, wo die beschriebene Unterbrechung des Massenkalk-Zuges auftritt.

Zieht man darüber hinaus in Betracht, daß mit abnehmendem Verwurfsmaß der Störung sich auch ihr Tiefgang vermindern dürfte, so ist eventuell sogar mit einem völligen Aussetzen der Überschiebung im achsial relativ stark herausgehobenen Kern des Velberter Sattels zu rechnen. Für den Bereich des Ruhrkarbons wird eine Erstreckung der Satanella-Überschiebung bis in das Devon hinein nicht für wahrscheinlich gehalten (vgl. die Schnitte der Geol. Kt. Ruhrkarbon 1 : 100 000, 1982).

Die insgesamt gesehen sicherlich sehr unsicheren Hinweise auf eine Überschiebungszone im Bereich des Velberter Sattels lassen somit verschiedene Interpretationen zu: Wahrscheinlich treten mehrere, mehr oder weniger parallele Überschiebungen nicht allzugroßen Verwurfes auf, die im Zusammenhang mit den starken streichenden Veränderungen des Faltenbaues wechselnd einsetzen und auslaufen. Zusammengefaßt könnten sie als Wurzelzone einer größeren Überschiebung im erodierten höheren tektonischen Stockwerk aufgefaßt werden und somit eine Verbindung herstellen zwischen den von Westen her zu erwartenden Ausläufern der Aachener Überschiebung

einerseits und den mitgefalteten Überschiebungen des Ruhrkarbons - hier speziell der Satanella-Überschiebung - andererseits.

3. Folgerungen

Sollten die dargelegten Vorstellungen über die strukturellen Zusammenhänge der Falten- und Überschiebungstektonik im variscischen Untergrund der Niederrheinischen Bucht zutreffen und sich insbesondere die Annahme einer bedeutenden Längsstörung im Velberter Sattel bestätigen lassen, so wären damit gewichtige Argumente gegeben, die Fortsetzung der Aachener Überschiebung in der Satanella-Überschiebung des rechtsrheinischen Schiefergebirges zu suchen.

Die Feststellung einer hiermit markierten durchgängigen Überschiebungszone am Nordrand des Variscikums, wie sie schon von MICHELAU (1962) vermutet wurde, hätte sicher weitreichende Konsequenzen, auf die hier im einzelnen nicht eingegangen werden soll.

Es sei aber darauf hingewiesen, daß im Bereich der Satanella-Überschiebung schon die relativ geringen Verwürfe (ca. 200 - 250 m bankrecht im westlichen Ruhrkarbon) den Gedanken an eine Deckennatur dieser Störung ausschließen. Auch der geringe Tiefgang dieser Störung, auf den bereits hingewiesen wurde, spricht gegen eine solche Deutung. Die Satanella stellt vielmehr analog zum Sutan und zur Gelsenkirchener Überschiebung eine der großen, faltungsbedingt entstandenen, südfallenden Überschiebungen dar, die die Hauptsättel des Ruhrkarbons begleiten (DROZDZEWSKI et al. 1980) und die sicher keine Deckenbahnen im Sinne der Definition (Dt. Handwörterb. Tektonik 1969) darstellen.

Andererseits ist zumindest auch für die eigentliche Aachener Überschiebung die Deckennatur bisher nicht nachgewiesen und in der Schnittkonstruktion nicht zwingend erforderlich (vgl. z. B. WALTER 1982: Abb. 2). Dafür zeigt die Form der Störungsfläche der Faille du Midi in Belgien offensichtliche Anklänge an eine „Mitfaltung" über dem Becken von Namur - unabhängig von der Frage, ob sich dieses Becken durch Lösung oder Abwanderung evaporitischer Gesteine im tieferen Untergrund stärker herausmodelliert hat (BOUCKAERT & DELMER & GRAULICH 1977). Es könnte also durchaus sein, daß die für die großen Überschiebungen des Ruhrkarbons festgestellten Zusammenhänge mit der Faltung (WREDE 1980, 1982 b) auch für die Überschiebungen am Nordrand der Ardennen Gültigkeit besitzen, denen von Verwurfsmaß und Ausdehnung her wahrscheinlich Deckennatur zukommt.

Solange jedoch die vorgeschlagene Hypothese eines Zusammenhanges von Aachener Überschiebung und Satanella-Überschiebung nicht durch Aufschlüsse oder geophysikalische Nachweise bestätigt oder widerlegt ist, müssen derartige Überlegungen zwangsläufig Spekulation bleiben. Aufgabe vorstehender Zeilen soll es sein, zu derartigen Untersuchungen anzuregen.

Dank: Dr. K.-H. RIBBERT (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) bin ich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, für wichtige Hinweise und eine anregende Diskussion über die geologischen Verhältnisse des Velberter Sattels sehr dankbar.

4. Schriftenverzeichnis

BLESS, M. J. M., & BOUCKAERT, J., & BOUZET, PH., & CONIL, R., & CORNET, P., & FAIRON-DEMARET, M., & GROESSENS, E., & LONERSTAEY, P. J., & MEESSEN, J. P. M. TH., & PAPROTH, E., & PIRLET, H., & STREEL, M., & VAN AMEROM, H. W. J., & WOLF, M. (1976): Dinantian rocks in the subsurface North of the Brabant and Ardenno-Rhenish massifs in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. - Meded. Rijks Geol. Dienst, N. S., **27**: 81 - 195, 41 Abb., 20 Taf., 3 Anl.; Haarlem.

BLESS, M. J. M., & BOUCKAERT, J., & PAPROTH, E. (1982): Recent exploration in pre-permian rocks around the Brabant massif in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. - 63 S., 37 Abb.; Maastricht (Mus. Nat. Hist.).

BOUCKAERT, J., & DELMER, A., & GRAULICH, J. M. (1977): La structure varisque de l'Ardenne: Essai d'interpretation. - Meded. Rijks Geol. Dienst, N. S., **28**: 133 - 134, 1 Abb.; Haarlem.

Deutsches Handwörterbuch der Tektonik (1969): Stichwort: Decke, tektonische. - 2. Lfg.; Hannover (B.-Anst. Bodenforsch.).

DROZDZEWSKI, G., & BORNEMANN, O., & KUNZ, E., & WREDE, V. (1980): Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons. - 192 S., 108 Abb., 7 Tab., 31 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

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.

Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000, m. Erl. - Hrsg. Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.; Krefeld.
Blatt C 4706 Düsseldorf - Essen (1980), Bearb. BOLSENKÖTTER, H., & GRABERT, H., & DROZDZEWSKI, G., & JANSEN, F., & PAPROTH, E., & PIEPER, B., & RIBBERT, K.-H., & STEHN, O., & SUCHAN, K. H., & THOME, K. N.

HERBST, G. (1962): Ein Aufschluß im Oberkarbon an der Aachener Überschiebung. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 155 - 1 158, 1 Abb.; Krefeld.

HERBST, G., & THOME, K. N. (1978): Gefalteter Untergrund. - In: Geologie am Niederrhein: 7 - 11, 1 Abb.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

HOLZAPFEL, E. (1911 a): Erläuterungen zu Blatt Herzogenrath. - Geol. Kt. Preußen u. benachb. Bundesstaaten 1 : 25 000: 78 S., 2 Tab., 1 Taf.; Berlin.

- (1911 b): Erläuterungen zu Blatt Eschweiler. - Geol. Kt. Preußen u. benachb. Bundesstaaten 1 : 25 000: 122 S., 2 Taf.; Berlin.

KARRENBERG, H. (1954): Zur Stratigraphie und Tektonik des Velberter Sattels. - Geol. Jb., **69**: 11 - 26, 6 Abb.; Hannover.

KELLER, G. (1941): Der Bau des Stockumer Hauptsattels und das Verhalten der Satanella im Deilbachtal bei Nierendorf (Rhld.). - Jb. Reichsst. Bodenforsch., **60**: 121 - 142, 1 Abb., 1 Taf.; Berlin.

KNAPP, G. (1980), mit Beitr. von HAGER, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel 1 : 100 000. - 3. Aufl.: 155 S., 9 Abb., 9 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).

KUNZ, E., & NÖTH, H.-O. (1978): Bearbeitung der Tektonik in der Bohrung Jackerather Horst 1. - 7 S., 7 Anl.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). - [Unveröff.]

MEISSNER, R., & BARTELSEN, H., & MURAWSKI, H. (1981): Thin-skinned tectonics in the northern Rhenish Massif, Germany. - Nature, **290**: 399 - 401, 5 Abb.; London.

MICHELAU, P. (1956): Die Satanella - oder Hattinger Überschiebung im Rahmen der Tektonik des südlichen Ruhrkarbons. - Z. dt. geol. Ges., **107**: 202 - 205, 2 Abb.; Hannover.

- (1962): Zusammenfassende Bemerkungen zur Tektonik des Subvariscikums. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (3): 1 233 - 1 236, 1 Abb.; Krefeld.

PAPROTH, E., & STRUVE, W. (1982): Bemerkungen zur Entwicklung des Givetiums am Niederrhein. Paläogeographischer Rahmen der Bohrung Schwarzbachtal 1. - Senckenb. leth., **63**: 359 - 376, 6 Abb.; Frankfurt.

RICHTER, D. (1977): Ruhrgebiet und Bergisches Land. - Slg. geol. Führer, **55**: 186 S., 47 Abb., 1 Kt.; Stuttgart.

TÜMER, Ü. (1960): Die Tektonik im Ostteil des Velberter Sattels (Rheinland). - Forsch.-Ber. Land Nordrh.-Westf., **893**: 30 S., 28 Abb., 1 Taf.; Köln, Opladen.

WALTER, R. (1982): Europe-1: proposal for a deep test-hole through the Stavelot-Venn Anticline, Federal Republic of Germany. - Public. Natuurhist. Gen. Limburg, **32**: 59 - 62, 3 Abb.; Maastricht.

WREDE, V. (1980): Zusammenhänge zwischen Faltung und Überschiebungstektonik, dargestellt am Beispiel der Bochumer Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet. - Diss. Techn. Univ. Clausthal: 128 S., 41 Abb., 1 Taf.; Clausthal-Zellerfeld.

- (1982 a): Neue Ergebnisse zur Tektonik des Erkelenzer Horstes. - Nachr. dt. geol. Ges., **27**: 60 - 61; Hannover.

- (1982 b): Genetische Zusammenhänge zwischen Falten- und Überschiebungstektonik im Ruhrkarbon. - Z. dt. geol. Ges., **133**: 185 - 199, 10 Abb.; Hannover.

WREDE, V., & ZELLER, M. (1983): 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: 18. 5. 1984

Namenregister

Allan, J. 199, 205, 214, 215
Altebäumer, A. M. 208
Andrae, C. 284
Artis, E. T. 282 - 285

Bachmann, M. 109, 268, 269, 274
Bärtling, R. 266
Bässler, R. 245
Bartelsen, H. 295, 298
Bartenstein, H. 244, 250
Bartle, K. D. 199, 214
Bean, W. 111, 116
Becker, K. 131
Berner, R. A. 144
Bertrand, P. 214
Biscaye, P. E. 135
Bjorøy, M. 205
Bless, M. J. M. 295, 298
Böhne, H. W. 35
Böttcher, H. 70, 80
Born, W. 266
Bornemann, O. 14, 27, 29, 43, 44, 52, 54, 90, 103
Bouckaert, J. 295, 298, 304
Boulay, N. 282
Brelie, G. von der 142
Brimberg, K. 269
Brix, M. 102
Broche, H. 185
Brongniart, A. 282 - 284, 286
Brooks, J. D. 199
Brown, H. R. 206, 273
Bruch, G. 228
Bunbury, C. J. F. 285
Buntebarth, G. 75, 232, 233, 246, 255 - 261
Burger, K. 59, 135
Bustin, R. M. 143

Casparie, W. A. 141
Chapman, R. E. 228
Cohen, A. D. 137, 138, 142, 143
Conze, R. 144
Cornford, C. 215

Damberger, H.-H. 144, 206
Damon, P. E. 135
Davis, J. H. 18, 272
Delmer, A. 304
Demanet, F. 272
Derichs, M. 228
Deutloff, O. 252
Dewar, W. 111, 276
Dickel, U. 14, 28
Diessel, C. 131, 143
Disko, U. 228
Dix, E. 110
Dolsen, C. P. 142
Douglas, A. G. 199, 205
Drafehn, R. 252
Drozdzewski, G. 14, 23, 24, 29, 35, 44, 45, 47, 51, 52, 54, 64, 90, 91, 95, 99, 102, 103, 120, 121, 199, 248, 252, 304
Dryden, I. G. C. 206
Duckstein, H. W. 30
Durand, B. 199, 205, 214, 215, 220

Eckardt, F. J. 135
Elsing, J. 131, 252
Epstein, S. 167
Espitalié, J. 221
Estep, M. E. 167

Fertl, W. H. 228
Fiebig, H. 14, 59, 106, 120, 121, 171, 228, 266, 267
Fiedler, H. J. 141
Finsterwalder, R. 35
Fischer, A. 228
Fischer, F. 185
Fiseni, F. 268, 274, 277, 279, 291
Flache, D. 52, 60, 89
Frisch, H. 52, 91
Füchtbauer, H. 144, 167

Germar, R. 283 - 285
Gijzel, P. van 172
Göttlich, K. 141
Gothan, W. 268, 278, 282 - 286
Gould, K. W. 162
Grady, W. C. 140, 144
Graulich, J. M. 304
Grebe, H. 116, 132
Green, T. 206
Groscurth, J. 35, 171, 267
Groth, P. K. H. 132
Grotowsky, U. 30
Gutbier, A. von 282 - 284

Habib, D. 132
Hädicke, M. 233, 252
Hahne, C. 13, 268, 274, 277, 279, 285, 286, 290, 291, 294

Hartung, W. 268, 274, 282
Heide, S. van der 273
Heidelbach, G. 52, 90
Heil, R. 14, 28
Heising, F. 30
Herbst, G. 268, 269, 271-274, 277-279, 282, 284, 285, 291, 294, 298, 299
Hewig, R. 44, 45, 51, 52, 90, 91, 95, 99
Hilt, C. 73
Hind, W. 111, 272, 273, 276, 284, 285, 286, 294
Hölthemeier, H. 228
Hoering, T. C. 167
Hoeppener, R. 102
Hollerbach, A. 199
Holzapfel, E. 290-292, 299
Hoyer, P. 232, 234, 243, 247, 258
Hower, J. 135
Hudewentz, D. 30
Hunt, J. M. 220
Hutton, A. C. 176, 285
Hutton, W. 282, 283

Jacob, H. 181
Jankowski, B. 144, 167
Jessen, W. 59, 106, 109, 111, 112, 268, 271, 272, 274, 276, 279
Jones, T. R. 111, 115, 116, 283-286
Josten, K.-H. 132, 248, 282
Juch, D. 14, 21, 27, 29, 35, 43, 54, 90, 95, 97, 103
Jüntgen, H. 215

Kammer, B. 215, 228
Karrenberg, H. 302
Keammel, T. 162
Keller, G. 303
Kidston, R. 283
Kimpe, W. F. M. 268, 274
Kirkby, J. W. 111, 115, 283, 285, 286, 294
Klare, B. 131
Klemp, W. 35
Klinge, U. 35, 53, 90, 145, 167, 190
Knapp, G. 290, 298
Knauff, W. 17, 52, 92, 105, 106, 108, 110-112, 269, 271, 273, 274, 277
Köwing, K. 233, 252, 257
Koerner, K. 179, 282
Koninck, L. G. de 291
Koppe, I. 75, 258, 259
Krause, H.-F. 35
Kremp, G. 116
Kröger, C. 206
Kummerow, E. 111
Kunz, E. 11, 13, 14, 24, 26-29, 35, 54, 102, 103, 300
Kutzner, R. 131

Lappe, F. J. 30
Larter, S. R. 214
Laumer, W. 215
Lautsch, H. 44, 52, 55, 90, 91
Lehmann, G. 30
Leisser, J. 232, 243, 247, 258
Leythaeuser, D. 197, 199, 205, 208, 211, 219, 220, 222, 223, 226, 227
Lindley, J. 282, 283, 285
Littke, R. 129, 131
Ludwig, H. 17, 273

Maass, I. 162
Mackenzie, A. S. 222, 223
Magara, K. 228
Malmsheimer, K. 91
Martin, T. 214, 272
Meissner, R. 295, 298
Mensink, H. 92
Meyer, H. 266, 271, 273
Meyer, H. jun. 274, 278, 285
Michel, W. 259
Michelau, P. 59, 109, 268, 269, 279, 303
Monnier, F. 228
Mukhopadhyay, P. K. 199, 205
Muller, A. 295
Mundry, E. 256, 257, 261
Murawski, H. 295
Murchison, R. J. 283

Nentwig, E. 70
Nöth, H.-O. 300

Ottenjann, K. 169, 172, 182, 187, 215
Ouchi, K. 206

Pankhurst, K. S. 206
Paproth, E. 52, 92, 110, 271, 272, 295, 298
Parratte, M. 214
Patteisky, K. 70, 72-75, 78, 80
Peppers, R. A. 131, 137, 140, 142-144
Peters, H. 258
Pfaffenberg, K. 141
Pfisterer, W. 59, 140, 144, 190, 222
Philippi, G. T. 226
Phillips, R. A. 140, 142, 143, 290, 291
Pieper, B. 105, 106, 108, 110, 112, 277
Pooch, H. 228
Portlock, J. E. 291
Potonié, H. 283, 284
Powell, T. G. 215, 228
Prüfert, J. 35

Rabitz, A. 60, 106, 109, 111, 114, 268, 279
Rack, P. 14
Radforth, N. W. 285
Radke, M. 197, 200, 204-206, 208, 211-213, 219-221, 223, 227
Ramdohr, P. 124
Rauhut, F. 31
Redding, C. 162, 163
Reichelt, H. 106
Reissig, H. 141
Rescher, C. K. 271, 273
Reynolds, R. C. 135
Ribbert, K.-H. 302, 304

Richter, D. 303
Richter, R. 111
Riegel, W. L. 142
Rigby, D. 162
Runge, A. 163

Sanio, H. P. 31
Sauder, M. 35
Sauveur, J. 283, 284
Schaefer, R. G. 197, 208, 219, 220, 222, 223, 226, 227
Scheidt, G. 144
Schiegel, W. E. 162
Schlotheim, E. F. 282–284
Schlüter, R. 35
Schmitz, D. 14
Schnitzler, J. 228
Schoell, M. 161
Schuster, A. 14, 233, 248, 252
Schwarzkopf, Th. 161
Sittardt, H. G. 204, 221
Smith, A. H. V. 133, 143, 144
Smith, J. W. 161, 199
Snowdon, L. R. 229
Sowerby, J. C. 59, 271, 273, 276, 278, 282–285, 290, 291, 294
Spackman, W. 137, 138, 142, 143
Sperper, M. von 35
Stach, E. 72, 75, 144, 172, 233
Stadler, G. 52, 59, 92, 119, 125, 135, 232, 233, 245, 250, 257, 276, 277, 279
Stahl, W. 167
Steingrobe, B. 295
Sternberg, K. von 282–286
Steuerwald, K. 33, 35, 52, 68
Stockmans, F. 283–285
Strauch, J. 185
Strehlau, K. 131
Struve, W. 298
Styan, W. 143
Stumpfl, E. 124
Stur, D. 284

Teichmüller, M. 59, 70, 73, 74, 75, 78, 80, 131, 134, 140, 143, 167, 171, 172, 176, 183, 185, 187, 188, 197, 199–201, 204, 214, 231–233, 244, 245, 248, 251, 252, 256–260, 263, 290, 294
Teichmüller, R. 70, 73, 75, 78, 80, 131, 135, 141, 143, 231–233, 243, 244, 246–248, 250, 251, 256–262, 290, 294
Thiermann, A. 233, 249, 252, 257, 260
Thomas, J. 206
Thome, K. N. 298
Tissot, B. 220, 222, 228
Trueman, A. E. 18, 110, 272
Tümer, Ü. 303

Vahrman, M. 199, 206
Vangerow, E. F. 274
Vennemann, N. 269
Vieth-Redemann, A. 44, 45, 51, 70, 90–92, 95, 99
Vogel, J. C. 162
Vollbrecht, A. 102

Walter, B. 304
Walter, R. 298
Wand, V. 162
Walters, P. L. 206
Weber, K. 248, 256
Wefels, H. G. 70
Wegehaupt, H. 260
Weiss, Ch. E. 284
Welte, D. H. 204, 205, 211–213, 220, 221, 228
Westermann, H. 268, 290
Whitmore, T. C. 141–143
Wickman, F. E. 162
Wilke, F. L. 30
Williams, D. F. 206
Willsch, H. 204, 211, 213, 215, 221, 228
Wolf, M. 142, 144, 172, 177, 182, 187, 277
Wolff, M. 33, 41, 52, 68
Wolff-Fischer, E. 172, 177, 182
Wrede, V. 11, 102, 103, 115, 259, 271, 273, 274, 284, 290, 291, 297, 299, 304
Wright, W. B. 110
Wustorf, W. 268, 294

Yeh, H. W. 167

Zeiller, R. 282, 285
Zeller, M. 115, 265, 267, 271, 273, 274, 284, 289–292, 299, 302

Sach- und Ortsregister

Aachen 294, 298, 299
Aachen - Erkelenzer Steinkohlenrevier 115, 266 - 268, 277, 290, 298
Aachener Karbon 73
- Sattel 294, 298, 299, 301, 302
- Überschiebung 294, 297, 298, 301 - 303
Achenbach-Mulde 16, 22, 24, 26
- -Sattel 24
- -Sprung 48
Achsenaufwölbung, Dortmunder 24
Achsendepression, Hammer 24
Adorf 299
Ägir-Horizont 236, 240, 242, 267
Agathamminoides sp. 111, 276
Alb 257, 261
Albert-4-Horizont 105 - 108, 111, 113 - 116, 277
Alethopteris lonchitica 282
- sp. 283
- *valida* 282
Alginit 176
Alloiopteris coralloides 282
Alsdorfer Schichten 268, 269, 278 - 282, 284, 291
- - , Mittlere 282
- - , Untere 291
Alstedder Schichten 260, 263
Alteration (Fluoreszenzstärke) 172, 173, 177, 181 - 186, 189 - 192
Altlüner Wechsel 14
Ammodiscidae 111
Ammodiscus cf. *incertus* 116
- sp. 17, 18, 111, 272, 273, 276 - 278
Annularia fertilis 285
- cf. *pseudostellata* 284
- sp. 283
Anthracoceras sp. 17, 272, 273
- *vanderbecki* 17, 273
Anthracomya acuta 294
- *aquilina* 294
- *minima* 284 - 286, 294
- *robusta* 294
Anthracosia sp. 271, 278
Anthrapalaemon-Horizont 267
- sp. 277
Anthrazit 232, 233, 237, 241, 243, 245, 252
- -Stadium 72, 243, 249, 250
Antruper Sprung 48
Ardennen 297, 298, 304
Aromaten 204, 205, 211, 213, 221, 223, 233, 239
Asterophyllites equisetiformis 284
Auguste-Victoria-Hauptsattel (-Anticlinorium, -Sattel) 34, 35, 37, 41, 44 - 46, 52, 58, 60, 61, 63, 68, 70, 72 - 74, 76 - 78, 80 - 82, 90, 91, 94 - 103
- - -Überschiebung 41, 45, 46, 58, 60, 63, 64, 81
Australien, Nordost- 185
Autun 261
Aviculapecten gentilis 291
- *papyraceus* 291

Baummoorfazies 142
Baesweiler Sattel 299
Becken von Namur 304
- ‚Niedersächsisches 257
Becklemer Sprung 58, 65, 81
Belgien 294, 298, 304
Beloraphe kochi 271
Bergkamen 12
Binnenwerke 290, 291, 294
Biodegradation 226
Bitumen 181 - 185, 190, 194
- -gehalt 177
Bituminisierung 171
Bituminisierungsgrad 179
Bituminit 134, 176
Blähgrad (Swelling-Index) 170, 171, 174, 179, 184, 189, 190
- -test 171
Blumenthal-Hauptsattel 41, 44, 47
- -sprung 35, 38, 40
Bochumer Hauptmulde 12, 16, 23, 24
- Schichten 16, 18, 19, 41, 47, 55, 59, 75, 80, 83, 105, 106, 111, 115
- - , Mittlere 41, 47, 58, 74
- - , Obere 47, 58, 59
- - , Untere 58, 125
Boghead-Cännelschiefer 201, 204
Bockrader Graben 234, 235
Bohrkernaufnahme 40, 54
Bohrkernbearbeitung 49
Bohrlochmessung, geophysikalische 28
Bohrung Ahsen 2 48
- - 3 46
- Alfhausen Z1 233, 256, 261
- Altdorf 299
- Alte Fahrt 1 41

- Annaberg 1 38, 62
- - 2 38
- - 3 38
- - 4 36
- Antrup 1 46
- - 2 45, 46, 164
- Bochum A 26
- - 2 13
- Bork 4 28
- Bromberg 1 39
- Buddenberg 2 108, 109
- Diller Mark 1 53
- - - 2 53
- Drostenfeld 1 38
- Eggenberg 1 60, 62
- Elmworth (Westkanada) 212
- Ennenberg 1 38, 39
- Eppendorf 3 37
- Erberich 2 299
- Finkenberg 1 53
- Galgenberg 1 38
- Gerneberg 2 46, 165
- Hagen 1 164, 165
- Hagenfeld 1 38
- Haltern 5 39
- - 8 39
- - 13 53
- Hammerberg 1 54, 62, 114
- - 2 37, 54, 60, 62, 108, 109
- - 3 37, 38
- Haniel & Lueg 302
- Hasselsfeld 1 116
- Heilkamp 1 107, 108, 113
- Heitkämpe 1 39, 40
- Hemig 1 45
- - 2 45, 46
- Hohenholz 299
- Holtkamp 1 54
- - 2 54, 55, 61, 62
- Holtwick 1 36, 38, 120-122, 124-126
- - 2 38
- Horbach 2 294
- Hünxerwald 3 107, 108, 113, 115
- Hullern 1 46
- - 2 45
- Ibbenbüren UB 150 233, 244, 245, 248-252, 257-261, 262
- - UB 251 233, 247-251, 258-261, 262
- - -Westfeld 1 233, 236, 237, 240, 242-245, 247, 249, 250, 252, 257-262
- - - 2 233, 238-244, 247-250, 252
- - - 3 233, 240, 242-244, 247-250, 257-262
- Jackerather Horst 1/1a 300
- Jeumont 298
- Kalfhaus 1 53, 65
- Kinzweiler 299
- Köhl 2 121-124, 126
- Kökelsum 1 49
- Kökelsumer Heide 1 46, 220, 221, 223, 224, 227, 228
- König Wilhelm A, B 13
- Kohlhaus 1 171, 199, 200, 202, 206-210, 212-215
- Kortenberg 1 60
- Kusenhorst 2 40
- Lanzerath 1 302
- Lembeck 2 164, 165
- Loisberg 1 107, 108, 114, 115
- Loverich 3 274, 278
- Lünzumer Mark 1 38
- Max Planck 165
- Mehrum 2 107, 108, 110, 114, 116
- Möllenwinkel 1 45, 46
- Münsterland 1 59, 248, 250, 252
- Oberemmelsum 1 115
- Ork 1 107-109, 112, 116
- Puffendorf 5 276
- Reckelsumer Heide 1 45, 46
- - - 2 46, 164, 165
- Ripsheide 2 41
- Rödgen 1 273
- Rosenthal 273
- Saar 1 250, 252
- Scherpenseel 271, 272
- Schlenke 1 37, 39
- Schlüsselacker 1 107-110
- Schorfheide 1 48
- - 2 48
- Schrammberg 2 45
- Sinser Mähre 1 53, 58, 65, 66, 68, 81
- Sölten 1 107, 108, 114
- Specking 1 170, 171, 173, 177, 185-187, 189, 190
- St. Johannes 1 53, 57, 64, 67
- - -2 41, 53, 66, 69
- Steinegger Heide 1 53
- Stemmerberg 1 37, 38
- Stever 1 46
- - 2 46
- - 3 43, 48
- - 4 45
- Südkirchen 1 27
- Tannenberg 1 37, 38
- - 3 38
- - 5 38
- Uedem 1 115, 171, 199, 200, 202, 207-215
- Uhlenbrock 1 53
- Venn 1 165
- Versmold 250, 252
- Vogelsang 1 43
- - 2 48
- - 3 48
- Vogelsheide 1 38, 39
- Weisweiler 291
- Werne 2 20, 26, 29
- - 8 18
- - 21 22
- Weseler Berge 1/1a 41, 53, 57, 59, 60, 90, 95, 97, 99, 100, 102
- Westleven 2 43
- - 3 46, 48

- Wienheide 1 39, 40
- Wilhelmine Catharina A-D 13
- Willich 1001 302
- Wulfener Heide 1 130, 131, 140, 165
Bohrungsbearbeitung, tektonische 29
Borker Sprung 49
Botryococcus-Algen 201
Bottrop 106
Brabanter Massiv 298
Brachiopoden 106, 278, 291
Bramscher Massiv (Intrusiv) 232, 233, 239, 243, 244, 248, 250-252, 256-258
Breitgang-Schichten 290, 291
Brennwert 70-72, 84-88
Brockenscheidter Mulde 24
- Sattel 24, 26
Burtscheider Überschiebung 299
Bythocypris sp. 111

Calamiten 137
Calamites cisti 282, 283, 285
- *ramosus* 282, 283, 285
- sp. 283
- *suckowi* 283, 285
- *undulatus* 284
Calamostachya germanica 284
- sp. 283
Cappenberger Mulde 25
- Sattel 14, 16, 21, 22, 25, 26, 29
- Überschiebung 14, 16, 20-23, 25-27
Carbonia fabulina 283-286, 294
Carbonicola acuta 284, 294
- *aquilina* 282, 283, 285
- *communis* 18, 272
- *cristagalli* 110
- *oslancis* 110
- cf. *pseudorobusta* 18, 110, 272
- *robusta* 294
- sp. 110, 271, 283
Carbonita agnes 111, 116
- *fabulina* s. *Carbonia*
- *humilis* 111
- *inflata* 111
- cf. *pungens* 115
- sp. 111, 273, 276, 279, 282
Carl-Friedrich-Schichten, Obere 269
Clarit 142, 200, 201
Clarodurit 142
Conodonten 17, 18, 62, 113-116, 272-274, 276, 278
Cordaianthus pitcairniae 283
Cordaites principalis 283-285
Corpovitrinit 175
Crassidurit 142
Crastatisporites sp. 137
Curvirimula belgica 111, 272, 284-286, 294
- *candela* 111, 276
- sp. 110, 276
Cutinit 132, 149, 150, 158, 176, 179, 180, 200
Cyclopteris 282, 283

Datteln 41
Dattelner Sprung 58, 65-67, 81
Deckgebirgsbasis (s. auch Karbon-Oberfläche) 37, 43, 44
Deckgebirgstektonik 43
Densosporites sp. 137, 200
Desmocollinit 131, 138, 143, 144, 149, 173, 175-180, 182-185, 188, 190
Deuterium 162, 163, 167
Devon 299, 302, 303
Dichtemessung 14
Dilatation 170, 179, 186, 190
Dilatometertest 171, 174
Dillermark-Überschiebung 44-48
Dinant 298
Dipmetermessung 28, 54, 55, 300
Discina nitida 290
Dogger 228
Domina-Horizont 240, 267, 285
Dorsten 121, 131
Dorstener Hauptsattel (-Sattel) 35-38, 40, 107
- Schichten 36, 39, 130, 132, 163, 171
- - , Obere 200
- - , Untere 36
Dortmunder Achsenaufwölbung 24
Drevenacker Störung 115
Düsseldorf 302
Duisburg-Hamborn 106
Dunbarella papyracea 273
- sp. 17, 272
Durit 142, 162, 201, 204

Ehringhausen 27
Ehringhausener Sprung 16
Eifel 297
Eifeler Nord-Süd-Zone 298
Eilendorfer Überschiebung 299
Elementaranalyse 170, 172, 204
Emscher-Mulde 66
Erdgasbildung 228
Erdgasfeld Elmworth 215
Erdöl 199, 220, 222, 226
- -bildung 199, 228
- -kohlenwasserstoffe 220
- -lagerstätten 214
- -muttergestein 199, 214, 220, 222-224, 226-228
- -speichergestein 222, 227
Erkelenzer Horst 229, 300
- Steinkohlenrevier 266-268, 271, 273, 276, 277, 284, 291
Essen 59
Essener Hauptmulde (-Mulde) 12-14, 16, 23-27, 107
- Schichten 16, 17, 19, 58, 80, 130-132, 236, 240-243, 248
- - , Mittlere 36, 73
- - , Obere 200
- - , Untere 41, 47
Esskohle 73, 201, 232, 243
Esskohlenstadium 72, 81, 243, 257

Eversumer Sprung 43, 44, 48
- Staffel 47, 48
Exinit 163-165, 167
Exploration 13, 14, 16, 24, 26, 29-31, 34, 40, 46, 52, 90, 171, 199, 220
Explorations
- -aufwand 30
- -bohrung 18, 34, 37, 46, 54, 55, 81, 162
- -nutzen 30
- -zone 114
Exsudat 182, 184, 186, 188-190
Exsudatinit 134, 140

Faille du Midi 294, 297, 298, 304
- Eifelienne 297
Famenne 299
Fettkohle 201
Fettkohlenstadium 72, 243
Finefrau-Horizont 95
- -Konglomerat 120, 122, 125, 126
- -Nbk-Horizont 267, 272, 290
- -Sandstein 97, 99, 121, 124, 272, 291
Fischzähne 111, 116
Flächenseismik (3-D-Seismik) 14, 27, 28, 30
Flaesheimer Mulde 37, 58, 61, 62, 73, 74, 80
- Sattel 37, 54, 60-62, 81
- Überschiebung 54, 61, 62
Flammkohle 173, 189
Flinzschiefer 303
Flöz (-gruppe, -niveau; s. auch Kohlenflöz)
- A 131, 132, 137-139, 143, 148, 149, 157, 158, 278
- Aegir 171
- Albert 1 19, 29
- - 1/2 70, 88
- - 2 Obk 19
- - 3 88, 165
- - 4 18, 41, 88, 106-109, 111, 113-115
- - 4 Obk 109-115
- - 4 Ubk 109-111
- Angelika 18, 68
- Anna 200, 202
- - 1 18, 88
- - 2 88
- B 245, 278
- Baldur 164, 237
- Bentingsbank 237, 238
- Blücher 1 41, 88
- - 2 88
- Breitgang 290
- Buchholz 240
- C 165, 200-202, 278
- C 2 132, 134, 139, 140, 144, 148, 149, 157
- Chriemhilt 170, 174, 175, 178, 184, 188, 202, 237
- - 2/3 202
- Croath 277
- D 278
- Dickebank 18
- - 1 68, 202
- - 2 64, 68, 87
- Dickenberg 240, 242
- Donar 36, 164, 170, 175, 178, 184, 188, 237
- Dünnebank 18, 64
- E 277, 294
- Erda 170, 175, 178, 184, 188, 237, 245
- Ernestine 59, 67, 74, 80, 87
- - 2 201, 202
- F 277
- Finefrau 74, 97, 99, 120, 121, 272, 290, 291
- - 1 59, 76, 85
- - - Obk 76
- - 2 76, 85, 86, 99
- - -Nebenbank 58-60, 76, 85, 86, 90, 95, 99, 299
- - - 1 272
- - - 2 272, 290, 295
- Fink 86, 95, 96
- Fornegel 294
- Freya 164, 165
- Furth 294
- G 277
- Geitling 1 85, 271
- - 2 85, 86, 101, 121, 271
- Girondelle 16, 19, 268
- - 1 59, 271, 272
- - 2 76, 84-86, 272
- - 3 17, 76, 85, 86, 272
- - 4 17, 272
- - 5 84, 87, 192, 202, 272
- - - Obk 59, 76, 85
- - - Ubk 76, 85
- - 6 76, 84-86, 272, 273
- - 7 202
- - 8 273
- Glücksburg 236-238
- Grauweck 277
- Gretchen 18
- Grimberg 17
- Groß-Athwerk 276
- Großbruch 277
- Groß-Langenberg 277
- Groß-Mühlenbach 291
- Gustav 1 62, 88
- - 2 88
- Gyr 291
- H 277
- Häring 294
- Hagen 1 165, 237, 244, 245
- - - Obk 132, 135, 148, 149, 152
- - - Ubk 135, 136, 138, 139, 141, 148, 149, 153
- - 1/2 202
- - 2/3 170, 175, 178, 184, 188
- Hartekohl 294 295
- Helene 77, 87, 201, 202
- Hermann 62, 88
- - 1 62
- Hüls 278

- Hugo 62, 106, 165, 267
- - 1 88, 202
- Huppenbroich 291
- Ida 87
- Iduna 202, 237, 260
- Jakob 2 201, 202
- Johann 1 84, 87
- - 2 87
- K 277
- K2 202
- -/I1 134, 139, 148, 149, 156, 157
- Karl 35, 41, 42, 45, 47, 88
- - 1 41
- - 2 202, 204
- Karoline 18, 68, 87
- Katharina 14, 17, 62, 71, 88, 111, 208, 278
- Klein-Athwerk 276
- Klein-Langenberg 277
- Kleinekohl 290, 291
- Kobold 164, 237
- Kreftenscheer 103
- - 1 85
- - 2 85
- - 3 59, 85, 95, 101, 271
- L/K 248
- -/K1 201, 202
- Laura 248
- - 1/2 88
- - 2/3 62
- - 3 88
- Ley 276
- Loki 164, 202
- - Mbk 134, 140, 148, 149, 151
- - Obk 134, 140, 148, 149, 151
- Luise 18, 87, 113, 276, 294
- M 277
- Mathilde 59, 62, 88, 165
- - 1 18
- Matthias 59
- - 1 88, 202, 204
- - 2 202, 204
- - 3 88
- Mausegatt 85, 86
- Meister 277
- Mentor 36, 86, 98, 121
- - 1 Obk 271
- - - Ubk 271
- - 2 99, 101, 272
- Merl 276
- - Nebenbank 276
- Midgard 149, 170, 175, 176, 178, 184, 188
- - 2 133, 134, 148, 150, 202
- Mosel 240
- - 1 240
- Mühlenbach 276, 291
- Mumm 294
- N 135, 138, 148, 149, 155, 156, 202, 277, 294
- Nibelung 170, 174, 175, 178, 180, 181, 184, 188-190, 201, 202
- - 1 200
- N/M 245
- O 138, 148, 149, 155, 245, 277, 294
- Odin 264
- P 248, 276
- P4 165
- - Ubk 135, 137-139, 148, 149, 154, 155
- Padtkohl 290, 291
- Parsifal 164, 165, 170, 174, 175, 178, 184, 188-190
- Plaßhofsbank 58-60, 63, 64, 71, 76, 84, 87, 273, 291
- Präsident 59, 68, 77, 78, 84, 87, 201, 202, 267
- Q 245, 276
- - 1/2 202
- R 276
- Rapp 291
- Rauschenwerk 276
- Reden 232, 234, 240, 243, 247, 248
- Robert 19, 29, 47, 70, 88
- Röttgersbank 1 87
- - 1/2 Obk 87
- - 2 Ubk 87
- Rübezahl 165
- S 164, 202, 276, 294
- S1 276, 294
- Saar 237, 240
- - 1 240
- Sandberg 278
- Sarnsbank 41
- Schöttelchen 64, 273, 291
- - 1 85
- - 1 1/2 84, 85, 273
- - 2 84, 85
- Senteweck 277
- Siegfried 164
- S0 276
- Sonnenschein 17, 19, 43, 64, 65, 77-79, 84, 87, 201, 202, 290
- - 1 84
- - 2 63, 84
- Steinknipp 274
- Stinkert 277
- T 267, 276
- T1 276
- T2 276, 294, 295
- Theodor 240
- - 2 237, 240
- Tristan 164, 165, 170, 174, 178, 184, 188
- U 276
- V 276
- V1 291
- V2 291
- Viktoria 88, 248
- Volker 170, 174, 178, 184, 188, 189
- W 122, 123, 126, 276, 291
- W1 121, 126, 291
- W2 121

- Wasserfall 43, 201, 202, 269, 274, 276, 290
- - 2 59, 64, 65, 84, 87
- Wellington 41, 88, 106
- - 1 109-111, 113, 114
- Wilhelm 18, 294
- - 1 Obk 87
- - - Ubk 59, 62, 68, 87
- - 2 87
- X 41
- X1 135, 136, 148, 149, 153
- X2 134, 137, 140, 148, 149, 154
- Xanten 171
- Y 41, 291
- Z 164, 202, 245, 274, 290, 291
- Zollverein 1 267
- - - Ubk 88
- - 2 164, 165
- - 2/3 88
- - 3 130, 131, 134, 140, 148, 149, 158, 159, 164, 165
- - 5 88
- - 6 88
- - 7 165
- - 7/8 35-38, 73, 88
- - 8 88, 267, 279
- 1 278, 279
- 1a 240
- 1b 240
- 2/2a 240
- 1-12 279
- 10-37 282
- 16 284
- 17-25 283
- 26-30 284
- 30-35 285
- 36-41 286
- 41 285
- -abspaltung 115
- -aufbau 130, 131, 140
- -bildung 141
- -folge 52, 80
- -führung 28
- -gleichstellung (-konnektierung) 55, 106, 267
- -gruppe s. Flöz
- -niveau s. Flöz
- -scharung 115
- -struktur 55
- -typen 131, 132

Flüchtige Bestandteile 17, 19, 70-78, 80, 81, 170, 173, 174, 176-178, 180, 189, 190, 205, 232, 234, 237, 243, 245, 247
Fluoreszenz 183, 185, 187, 188, 192, 194, 201, 204
- -eigenschaften 170, 171, 190, 200
- -intensität 172, 179-181, 190
- -messung 171, 172, 175, 189, 190
- -mikroskopie 170, 175, 176, 190, 204
- -stärke s. Alteration
Fluorinit 200
Foraminiferen 17, 18, 60, 64, 106, 111, 115, 272-274, 276-278
Frankreich 294
- , Nord- 298
Frasnes 298, 299
Fusinit 131-134, 137, 141-144, 149-158, 162, 175, 204
Fusit 201

Gammastrahlung, natürliche 14
Gas s. Erdgas
- -chromatogramm 204, 205
- -chromatographie 221
- -flammkohle 19, 173, 190
- -kohle 73, 174
- -kohlenstadium 72, 81, 248
Gastrioceras circumnodosum 272
- *weristerense* 272
Gastropoden 106, 111, 116, 272
Gebirgsschichtenaufnahme 29, 55
Gehn 256, 261
Geitling-Sandstein 96, 101
- -2-Horizont 121
Gelsenkirchener Hauptsattel (Sattel) 13, 16, 24, 26, 27
- Überschiebung 304
Geologische Karte des Ruhrkarbons 1:100000 26, 303
Gerneberg-Sprung 48
Girondelle-6-Horizont 271
Givet 299
Glomospira sp. 17, 18, 111, 116, 272, 273, 276, 278
Glomospirella sp. 18, 111, 272, 273, 276-278
Goniatiten 106, 111, 113, 278
Graben, Bockrader 234, 235
- , Lippramsdorfer 37, 39, 40
Graupentonstein 134, 279

Haard 35, 39, 41, 52
- -Sprung 39, 65, 81
Habighorster Mulde 24
- Sattel 24, 26
Haltern 35, 41, 52, 59, 91, 111, 114, 120
- , Steinkohlenfeld 52-54, 90, 91
Halterner Sprung 35, 37, 38, 41, 44-48
Hammer Achsendepression 24
Hauptinkohlung 81, 82
Hauptmulde s. Mulde
Hauptsattel s. Sattel
Haus-Aden-Sattel 19, 24
Heizwert 84-88, 170
Herner Sprung 39
Hinnebecke-Horizont 267
Hohemark 35, 37-40
Hollinellen 111
Holthauser Sattel 26, 303
- Überschiebung 16, 26
Holtwicker Mulde 37, 38
- Sattel 35, 37, 38
- Sprung 37-39, 68

Horizont, Ägir- 236, 240, 242, 267
- , Albert-4- 105-108, 111, 113-116, 277
- , *Anthrapalaemon*- 267
- , Domina- 240, 267, 285
- , Finefrau- 95
- , - -Nebenbank- 267, 272, 290
- , Geitling-2- 96, 121
- , Girondelle-6- 271
- , Hinnebecke- 267
- , Katharina- 60, 113, 115, 221, 223, 267, 278-291
- , Kreftenscheer-3- 269
- , Luise- 294, 295
- , Plaßhofsbank- 267, 271
- , Sarnsbank- 267
- , Schöttelchen-1- 274
- , Wasserfall- 18, 64, 113, 115, 267, 290
- , Wasserfall-1- 60
- , Wijshagen- 282
Horst, Erkelenzer 229, 300
- , Hülser 36, 38, 40
- , Jackerather 299, 301
- , Kamener 16, 26
Horster Schichten 41, 47, 132, 240, 245, 248
- - , Obere 121, 124
Hückelhoven 299
Hülser Horst 36, 38, 40
Hullern-2-Überschiebung 45
Hyperamina sp. 18, 111, 116, 273, 276-278
Hyperaminidae 111

Ibbenbüren 232, 257
Ibbenbürener Steinkohlenrevier (Karbon, Karbon-Scholle) 115, 232, 233, 244, 248, 249, 252, 256-261, 263
- Schichten 263
- - , Obere 260
- - , Untere 260
Illit-Kristallinität 256
Inde-Mulde (-Synklinorium) 294, 299
- -Revier 267, 290-292, 294, 295
Inertinit 131-136, 138-140, 142-144, 149-158, 164, 165, 167, 171, 174, 203, 204
Inertodetrinit 132-134, 137, 141, 142, 144, 149, 150, 158
Inkohlung 17, 19, 52, 70, 72-77, 80, 82, 91, 130, 162, 163, 166, 167, 170, 171, 180, 182, 186, 187, 189, 190, 199, 201, 205, 208, 209, 214, 232, 233, 239, 248-250, 258, 259, 262, 263, 294
- , Haupt- 81, 82
- , Nach- 77, 80, 82
Inkohlungs
- -abnahme 77, 78
- -änderung 70, 73, 77, 78
- -bild 70, 80
- -daten 80, 82
- -fortschritt 170
- -grad 72, 73, 80, 170, 177, 179, 181, 189, 204, 205, 209, 214, 215, 232, 243, 248, 256, 258, 261-263, 290
- -gradient 74, 75, 82, 212, 213, 233, 241, 245, 247, 249, 250, 252
- -intervall 174
- -karte 78, 79, 234, 243
- -maßstab 233
- -parameter 171, 187, 189, 190, 205, 211, 245, 249
- -sprung 17
- -temperatur 257
- -untersuchung 70, 81
- -zunahme 73, 75, 188, 241, 256
Intrusionstemperatur 261
Intrusivkörper 232, 239, 251, 252, 260, 261
Inversionsstörung (Umkehrverwerfer) 37, 39, 47
Isotopenmessung 164, 167
- -untersuchung 162, 163

Jackerather Horst 299, 301
Jonesina arcuata 111, 116
- -Gruppe 271, 273
- *robusta* 111
- sp. 115, 272, 273, 276
Jonesinen 111

Kamener Horst 16, 26
Kaolin-Kohlentonstein 52, 59, 106, 115, 132, 135, 139, 141, 276, 277, 279, 282, 298
- , Girondelle 5 59
- , Karl 2 277
- , Wilhelm 276
- , Graupen- 134, 279
- , Kristall- 277
Karbon-Oberfläche 27, 36-40, 70, 99
- -Scholle, Ibbenbürener 232, 244, 248, 249, 256-258, 261
Katharina-Horizont 60, 113, 115, 221, 223, 267, 278, 279, 290, 291
Kernbohrung 27, 28, 107
Kerogen 199
Königsborner Sprung 12, 16, 24, 27
Kohlen (s. auch Steinkohlen)
- -flöz (s. auch Flöz) 14, 16-18, 29, 36, 39, 59, 60, 62, 70, 72, 73, 76, 77, 80-82, 97, 98, 101, 106, 232, 257, 259
- -gas 163
- -kalk 302
- -tonstein s. Kaolin-Kohlentonstein
- -qualität 28, 72
- -stoff, organischer 199, 205, 222, 224
- - -gehalt 70-73, 81, 204
- - -isotopen 162, 166
- -vorrat 12, 18, 30, 52
- -wasserstoff 163, 200, 204, 206, 208, 209, 211, 213, 221, 222, 225-227
- - , aromatischer 204, 205, 211, 213, 221, 223, 233, 239

- - -bildung 163, 209, 212-215, 220, 222, 228
- - -lagerstätte 220
Kohlscheider Schichten 268, 269, 274, 275, 290-292, 295
Kokungseigenschaften 170-172
Kokungsvermögen 175, 176, 179, 180, 184, 186, 188, 190
Krefelder Gewölbe 259
Kreftenscheer-3-Horizont 269
Kristalltonstein 277

Langerner Überschiebung 14, 16, 22, 23, 26, 27, 29
Leiopteria laminosa 291
Leitvermögen, elektrisches 14
Lenkerbecker Mulde 44-46, 58, 63, 64
- Sattel 44-46, 58, 63, 64
Lepidodendron aculeatum 283, 284
- *lycopodioides* 282, 286
- *obovatum* 285, 286
- cf. *ophiurus* 283
- *rimosum* 285
- sp. 283, 284
Lepidophyllum triangularis 285
Lepidostrobus ornatus 283, 285
- sp. 283
- *variabilis* 282, 283, 285
Lias 227
Lingula mytilloides 59, 271-273, 276, 278, 285, 290
- sp. 17, 121
Liguliden 106
Linienseismik 13, 14, 30, 34, 41
Linopteris neuropteroides 283, 284
Lippe-Hauptmulde (-Mulde) 34-38, 40, 52, 54, 58, 61, 80, 81, 107, 131
Lippramsdorfer Graben 37, 39, 40
- Sprung 39
Liptinit 131, 133-140, 142, 149-158, 171, 174-181, 186, 190, 200, 203, 204, 206, 208, 211
Liptodetrinit 134, 141, 149-158, 177, 190
Lonchopteris rugosa 282-284, 286
Lüdinghausen 34
Lüdinghausener Hauptmulde (Mulde) 34, 35, 38, 40-42, 44-48, 52, 81, 107
Lünen 14
Luise-Horizont 294, 295
Lycopoden 137
Lamellibranchiaten (s. auch Muscheln) 111, 272

Maceral
- -gruppe 74, 162, 163, 166, 167
- -gruppenanalyse 68, 131, 162, 164, 170, 172, 175-177, 179, 200, 203, 204
- -zusammensetzung 199
Magerkohle 232, 237, 243
Magerkohlenstadium 72, 243
Makrinit 131-133, 137, 138, 140, 142, 144, 149-158, 175
Marl 34, 35
Mariopteris daviesi 283
- *muricata* 282, 283
- *nervosa* 283, 284
- *sauveuri* 284
- sp. 285
Massenkalk 302, 303
Massiv, Brabanter 298
- , Bramscher 232, 233, 239, 243, 244, 248, 250-252, 256-258
- , Stavelot-Venn- 295
Mattkohle 201, 202
Mausegatt-Sandstein 80, 96
Mentor-Sandstein 101
Mergelsberger Sattel 302, 303
Merksteiner Schichten 268, 269, 281, 284, 286
Mesolepis sp. 111
Meta-Anthrazit 241
- - -stadium 232, 237
Methylphenanthren-Index 211
Mikrinit 132, 133, 135, 137, 149-158, 167, 200, 201
Mikrolithotypen 131, 142
Mikrofauna 105-116
Mikrosporen 175
Mitteleuropa 141
Moortypen 141
Münsterland 34
Mulde (Hauptmulde, Synklinorium),
- , Achenbach- 16, 22, 24, 26
- , Bochumer 12, 16, 23, 24
- , Brockenscheidter 24
- , Cappenberger 25
- , Emscher- 66
- , Essener 12-14, 16, 23-27, 107
- , Flaesheimer 37, 58, 61, 62, 73, 74, 80
- , Habighorster 24
- , Holtwicker 37, 38
- , Inde- 294, 299
- , Lenkerbecker 44-46, 58, 63, 64
- , Lippe- 34-38, 40, 52, 54, 58, 61, 80, 81, 107, 131
- , Lüdinghausener 34, 35, 38, 40-42, 44-48, 52, 81, 107
- , Raesfelder 171
- , Schlägel-&-Eisen- 44
- , Schmachtenberg- 303
- , Stever- 44, 46-48
- , Westerholter, Nördliche 43, 46, 47, 58, 63, 64, 81
- , - , Südliche 44
- , Wittener 303
- , Wulfener 37
- , Wurm- 294, 298, 299
Muscheln, marine 278, 291
- , nichtmarine 106, 110-114, 272, 274, 276-279, 282, 284, 294

Nachinkohlung 77, 80, 82
Nahe-Senke 261
Naiadites flexuosus 110

- sp. 110, 271, 276, 283, 286, 294
Namur 267, 298, 299, 301
- , Becken von 304
Neuropteris gigantea 283
- *heterophylla* 282, 283
- *hollandica* 283 - 285
- *obliqua* 282, 283
- cf. *rarinervis* 285
Niederrhein 111, 115, 259, 291
Niederrheinisch-Westfälisches Steinkohlenrevier (-bezirk, -gebiet) 13, 18, 19, 23, 27, 34, 37, 54, 70, 73, 75, 81, 102, 103, 162, 164, 208, 214, 220, 248, 266, 267, 276, 277, 279, 294, 301 - 304
Niederrheinische Bucht 297, 298, 301, 304
Niedersächsisches Becken 257
- Tektogen 256
Nordeifel 298, 299, 301
Nordfrankreich 298
Nordostaustralien 185
Nordschacht (Ibbenbüren) 233, 244
Nordwestdeutschland 227
Nucula sp. 291

Oberdevon 299, 301
Oberhausen 106, 111
Oberkreide 249
Ölschiefer 184, 185
Olfen 35, 41 - 45, 48
Olfener Staffel 47, 49
Olfener-Heide-Sprung 41, 43 - 47, 49
Orthotetes crenistria 291
Osnabrück 232
Osning-System 250
Ostendorf-Sprung 37, 40
Osticker Sprung 16, 22
Ostracoden 17, 18, 111, 115, 271 - 273, 276, 277, 279, 282, 294

Palaeonisciden 271
Paläotemperatur 233
- -gradient (s. auch Temperaturgradient) 261
Paläowärmeflußdichte (s. auch Wärmeflußdichte) 258, 259
Paläozän 227
Paläesterien 106
Palmatopteris furcata 284
Pannesheider Schichten 269
Paripteris gigantea 282 - 286
Pecopteris miltoni 283 - 285
- *plumosa* 285
- *volkmanni* 283, 284
Perm 205
Piesberg 232, 233, 256, 261
Planolites montanus 274
- *ophtalmoides* 106, 111, 112, 271 - 273, 276
Plaßhofsbank-Horizont 267, 271
Pluton 232
Polidevcia sp. 272
Pollenspektrum 142
Posidonia sulcata 273
Posidoniella laevis 273
Productus carbonarius 291
- *concinnus* 291
Protoschizodus axiniformis 291
Pterinopecten papyraceus 273, 278
- sp. 278
Pyrophyllit 256
Pyrolyse 221

Radiolarien 122
Raesfelder Mulde 171
Ravelsberg 299
Reflexionsseismik 27, 28, 30, 37
Resinit 200
Rhabdoderma sp. 271
Rhadinichtys sp. 111
Rheinberg 107
Rheinisches Schiefergebirge 102, 298, 304
Rhizodopsis sp. 111
Rhodenhauser Sattel 303
Riedmoorfazies 142
Rock-Eval-Analyse 228
Röntgenbeugungsanalyse 122, 131
Rotliegend-Vulkanismus 261
Ruhrgebiet (-karbon, -revier) s. Niederrheinisch-Westfälisches Steinkohlenrevier
Rur-Scholle 299

Sapropelkohle 134, 135, 167
Satanella-Überschiebung 301, 303, 304
Sarnsbank-Horizont 267
Sattel (Hauptsattel, Anticlinorium),
- , Aachener 294, 298, 299, 301, 302
- , Achenbach- 24
- , Auguste-Victoria- 34, 35, 37, 41, 44 - 46, 52, 58, 60, 61, 63, 68, 70, 72 - 74, 76 - 78, 80 - 82, 90, 91, 94 - 103
- , Baesweiler 299
- , Blumenthal- 41, 44, 47
- , Brockenscheidter 24, 26
- , Cappenberger 14, 16, 21, 22, 25, 26, 29
- , Dorstener 35 - 38, 40, 107
- , Flaesheimer 37, 54, 60 - 62, 81
- , Gelsenkirchener 13, 16, 24, 26, 27
- , Habighorster 24, 26
- , Haus-Aden- 19, 24
- , Holthauser 26, 303
- , Holtwicker 35, 37, 38
- , Lenkerbecker 44 - 46, 58, 63, 64
- , Mergelsberger 302, 303
- , Rhodenhauser 303
- , Stockumer 302, 303
- , Velberter 301 - 304
- , Venn- 295
- , Vestischer 44, 80
- , Walstädder 26

- , Wattenscheider 12, 14, 18, 20, 21, 24-27, 302
- , Westerholter, Nördlicher 58, 63, 64
- , -, Südlicher 44
- , Wulfener 35, 37, 38
Schacht Auguste Victoria (Victoria) 1 63
- - - 2 63
- - - 3 40
- - - 6 39
- - - 7 40
- - - 8 39
- Emil Mayrisch 2 273
- General Blumenthal 8 44, 45, 52, 60, 70, 80
- Haltern 1 44, 45, 52, 57, 59, 68, 80
- - 2 44, 45, 52, 53, 59, 68, 80
- Langern 18
- Marianne 243
- , Nord- (Ibbenbüren) 233, 244
- Rudolf 240
Schachtanlage Adolf 278, 282, 285
- Anna 271, 273, 274, 276, 278, 279
- Auguste Victoria 39, 52, 58-60, 65, 70, 81
- Atsch 291
- Centrum-Morgensonne 64
- Concordia 111
- General Blumenthal 52, 53, 58, 59, 70, 90, 91
- Fürst Leopold 37, 38, 40
- Emil Mayrisch 268, 269, 271, 274, 276, 299
- Eschweiler-Reserve 291, 294
- Friedrich Thyssen 106
- Gneisenau (Victoria 1/2) 24
- Gouley 277
- Haard 44, 59, 67
- Haus Aden 12-14, 16, 19-28, 30
- Hermann 27
- Laurweg 277
- Minister Achenbach 14, 24-26
- Sophia Jacoba 299
- Victoria 1/2 14, 25
- Zollverein 59
Schachtvorbohrung 95
Schallaufzeit 24
Schichten, Alsdorfer 268, 269, 278-282, 284, 291
- , Alstedder 260, 263
- , Bochumer 16, 18, 19, 41, 47, 55, 58, 59, 74, 75, 80, 83, 105, 106, 111, 115, 125
- , Carl-Friedrich- 269
- , Dorstener 36, 39, 130, 132, 163, 171, 200
- , Essener 16, 17, 19, 36, 41, 47, 58, 73, 80, 130-132, 200, 236, 240-243, 248
- , Horster 41, 47, 121, 124, 132, 240, 245, 248
- , Kohlscheider 268, 269, 274, 275, 290-292, 295
- , Ibbenbürener 260, 263
- , Merksteiner 268, 269, 281, 284, 286
- , Pannesheider 269
- , Stolberger 267-270, 274, 290-292
- , Wittener 16, 36, 41, 55, 58, 73-75, 80, 83, 90, 95, 120, 125
Schlägel-&-Eisen-Mulde 44
Schmachtenberg-Mulde 303
Schöttelchen-1-Horizont 274
Schwefelgehalt 17, 171, 178, 180
Seismik 13, 14, 21, 27-30, 34, 37, 39-41, 43, 45, 48
Semifusinit 131, 175, 204
Sigillaria cf. *deutschi* 283
- *elongata* 284
- *mammillaris* 284
- *reniformis* 284
- *scutellata* 283, 284
- sp. 284
- cf. *tesselata* 282-284
Sigillariostrobus sp. 282
Sigillariensporen 285
Sklerotinit 175
Speckhorner Sprung 44, 58, 65
Spaerellarien 122
Sphenophyllum cuneifolium 283, 285
Sphenopteris laurenti 284
- *mimmularia* 283
- *optusiloba* 282, 284, 285
- (*Renaultia*) *gracilis* 284
- (*Zeilleria*) *advoldensis* 284
Spirorbis carbonarius 283
- *principalis* 285
- *pusilla* 272
Spitzbergen 227
Sporenanalyse (-bestimmung) 131, 137
Sporenassoziation 142
Sporinit 142, 150-158, 176, 180, 182-184, 186-188, 190, 200, 204, 205
Sprung, Achenbach- 48
- , Antruper 48
- , Blumenthal- 35, 38, 40
- , Borker 49
- , Dattelner 58, 65-67, 81
- , Ehringhausener 16
- , Eversumer 43, 44, 48
- , Gerneberg- 48
- , Haard- 39, 65, 81
- , Halterner 35, 37, 38, 41, 44-48
- , Herner 39
- , Holtwicker 37-39, 68
- , Königsborner 12, 16, 24, 27
- , Lippramsdorfer 39
- , Olfener-Heide- 41, 43-47, 49
- , Ostendorf- 37, 40
- , Osticker 16, 22
- , Speckhorner 44, 58, 65
- , Unnaer 12, 14, 16, 26, 27
- , Varnhöveler 16
- , Waltroper 47, 48
- , Westleverner 41, 43, 47, 48
Stavelot-Venn-Massiv 295
Steinkohlen (s. auch Kohlen)
- -bergwerk s. Schachtanlage

- -exploration s. Exploration
- -feld Aachen I - IV 14
- - Altlünen 14
- - An der Haard 53
- - Carolus Magnus 271, 272
- - Donar 26, 109
- - Emil Mayrisch 279
- - Ewald-Fortsetzung 66
- - Gouley 279
- - Haltern 52 - 54, 90, 91
- - Hermann I - IV 14
- - König Wilhelm 14
- - Röchling 26
- - Wilhelmine-Catharina 14
- -flöz s. Flöz, Kohlenflöz
- -grube s. Schachtanlage
- -revier, Aachen - Erkelenzer 115, 266 - 268, 277, 290, 298
- - , Erkelenzer 266 - 268, 271, 273, 276, 277, 284, 291
- - , Ibbenbürener 115, 232, 233, 244, 248, 249, 252, 256 - 261, 263
- - , Inde- 267, 290 - 292, 294, 295
- - , Niederrheinisch-Westfälisches 13, 18, 19, 23, 27, 34, 37, 54, 70, 73, 75, 81, 102, 103, 162, 164, 208, 214, 220, 248, 266, 267, 276, 277, 279, 294, 301 - 304
- - Südlimburg 268, 277
- - , Wurm- 266 - 268, 271, 274, 276, 277, 284, 286, 290 - 292, 294, 295, 299 - 301
- -vorrat 12, 18, 30, 52
- -zeche s. Schachtanlage

Stever-Mulde 44, 46 - 48
- -Überschiebung 45 - 47
Stigmaria cf. *rugulosa* 284
Stimberg-Blatt 47, 58, 66 - 68, 81
St.-Johannes-Überschiebung 45, 46, 64, 81
Stockumer Hauptsattel 302, 303
Stockwerkstektonik 47
Störung, Drevenacker 115
Störungstektonik 94
Stolberg 290, 291
Stolberger Schichten 274
- - , Obere 267 - 270, 290 - 292
Streckenauffahrung 12, 13, 16, 24, 29, 52, 54, 66, 80, 90, 92
Streckenaufnahme, geologische 55, 58, 81, 93
Streckenvortrieb 17, 18, 31
Strukturkarte 35, 47
Südlimburg 267, 268, 277
Südostasien 141, 142
Sutan-Überschiebung 14, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 64

Tektonische Übersichtskarte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1 : 10 000, Blatt
- Lünen 13
- Werne - Varnhövel 13

Telinit 175, 176
Telocollinit 132, 134, 143, 175 - 177, 179, 180
Temperatur
- -gradient 258, 259, 261 - 263
- , Inkohlungs- 257
- , Intrusions- 261

Tertiär 249, 299
Tiefbohrung 12, 13, 18, 30, 34, 43, 52, 53, 67, 81, 90, 95, 100
Tonstein s. Kaolin-Kohlentonstein
Topographische Karte 1 : 25 000, Blatt
- 3612 Mettingen 236, 240, 242, 244
- 4208 Wulfen 35, 120, 131, 171
- 4209 Haltern 35, 41
- 4210 Lüdinghausen 41
- 4301 Dorsten 199
- 4303 Uedem 199
- 4305 Wesel 115
- 4309 Recklinghausen 40
- 4802 Birgelen 273
- 4803 Wegberg 273
- 5002 Geilenkirchen 271, 278, 285
- 5003 Linnich 269, 271, 273, 276, 278
- 5102 Herzogenrath 274, 278, 294
- 5103 Eschweiler 271, 291

Trimacerit 201
Trogmulde 13, 24, 26, 40, 44, 47
Turon 257, 261

Überschiebung, Aachener 294, 297, 298, 301 - 303
- , Auguste-Victoria- 41, 45, 46, 58, 60, 63, 64, 81
- , Burtscheider 299
- , Cappenberger 14, 16, 20 - 23, 25 - 27
- , Dillermark- 44 - 48
- , Eilendorfer 299
- , Flaesheimer 54, 61, 62
- , Gelsenkirchener 13, 16, 24, 26, 27
- , Holthauser 16, 26
- , Hullern-2- 45
- , Langerner 14, 16, 22, 23, 26, 27, 29
- , Satanella- 301, 303, 304
- , Stever- 45 - 47
- , St.-Johannes- 45, 46, 64, 81
- , Sutan- 14, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 64
- , Waltroper 14, 24, 26
- , Weseler-Berge- 60, 81, 95, 97 - 103

Überschiebungstektonik 81, 95
Unnaer Sprung 12, 14, 16, 26, 27
Unterdevon 298
Unterkarbon 301
Unterkreide 249, 257
Untersuchung, geochemische 192
- , kohlenpetrologische 70, 81, 170
- , Isotopen- 162, 163
- , Maceralgruppen- 68, 131, 162, 164, 170, 172, 175 - 177, 179, 200, 203, 204
- , Röntgenbeugungs- 122, 131
- , seismische 27, 28, 30, 42, 52
- , Sporen- 131, 137

Varnhöveler Sprung 16
Velberter Sattel 301 - 304
Venn-Sattel 295
Vestischer Hauptsattel (Sattel) 44, 80
Virimula belgica 276
Vitrinit 70, 74, 95, 131 - 141, 143, 144, 149 - 158, 162 - 165, 167, 174 - 177, 179 - 181, 183, 184, 186, 188 - 190, 192, 194, 201 - 205, 208, 209, 214, 215, 233, 250
- -Reflexion 17, 70, 74, 75, 77, 78, 81, 84, 86, 164, 165, 173, 188, 200, 207, 210 - 213, 215, 222, 233, 236 - 240, 243 - 249, 257, 258, 262
- -Reflexionsgrad 72, 73, 76, 172, 177, 180, 189, 190
Vitrit 142
Voerde 109

Wärmeflußdichte 260, 261
Wärmeleitfähigkeit 260, 263
Walstedder Sattel 26
Waltroper Sprung 47, 48
Waltroper Überschiebung 14, 24, 26
Wasserfall-Horizont 18, 60, 64, 113, 115, 267, 290
Wasserstoffgehalt 174
Wasserstoffisotopen 162, 166
Wattenscheider Hauptsattel (Sattel) 12, 14, 18, 20, 21, 24 - 27, 302
Werne 14
Weseler-Berge-Überschiebung 60, 81, 95, 97 - 103
Westerholt 259
Westerholter Mulde, Nördliche 43, 46, 47, 58, 63, 64, 81
- - , Südliche 44
- Sattel, Nördlicher 58, 63, 64
- - , Südlicher 44
Westfal 258, 261, 263, 267, 298
- A 16, 18, 75, 80, 90, 95, 105, 120, 200, 268, 298, 299
- B 80, 200, 220, 222, 232, 233, 236, 240 - 242, 245, 248, 250, 257, 259, 263, 268
- C 170, 171, 173, 189, 200, 232 - 234, 236, 240, 242, 244, 245, 247, 250, 259
- D 232, 240, 242, 250, 259
Westleverner Sprung 41, 43, 47, 48
Westkanada 212, 215
Whipplella cenisa 111, 116
- *rhenana* 111
Wijshagen-Horizont 282
Wittener Hauptmulde 303
- Schichten 16, 41, 55, 58, 75, 80, 83, 120, 125
- - , Mittlere 36
- - , Obere 58, 95
- - , Untere 58, 73, 74, 90, 95
Wulfen 37, 38, 40, 121
Wulfener Mulde 37
- Sattel 35, 37, 38
Würselen 299
Wurm-Mulde 294, 298, 299
- -Revier 266 - 268, 271, 274, 276, 277, 284, 286, 290 - 292, 294, 295, 299 - 301
Wurzelboden 98, 137, 272, 278, 282

Zeche s. Schachtanlage
Zechstein 248

Verzeichnis der Tafeln in der Anlage

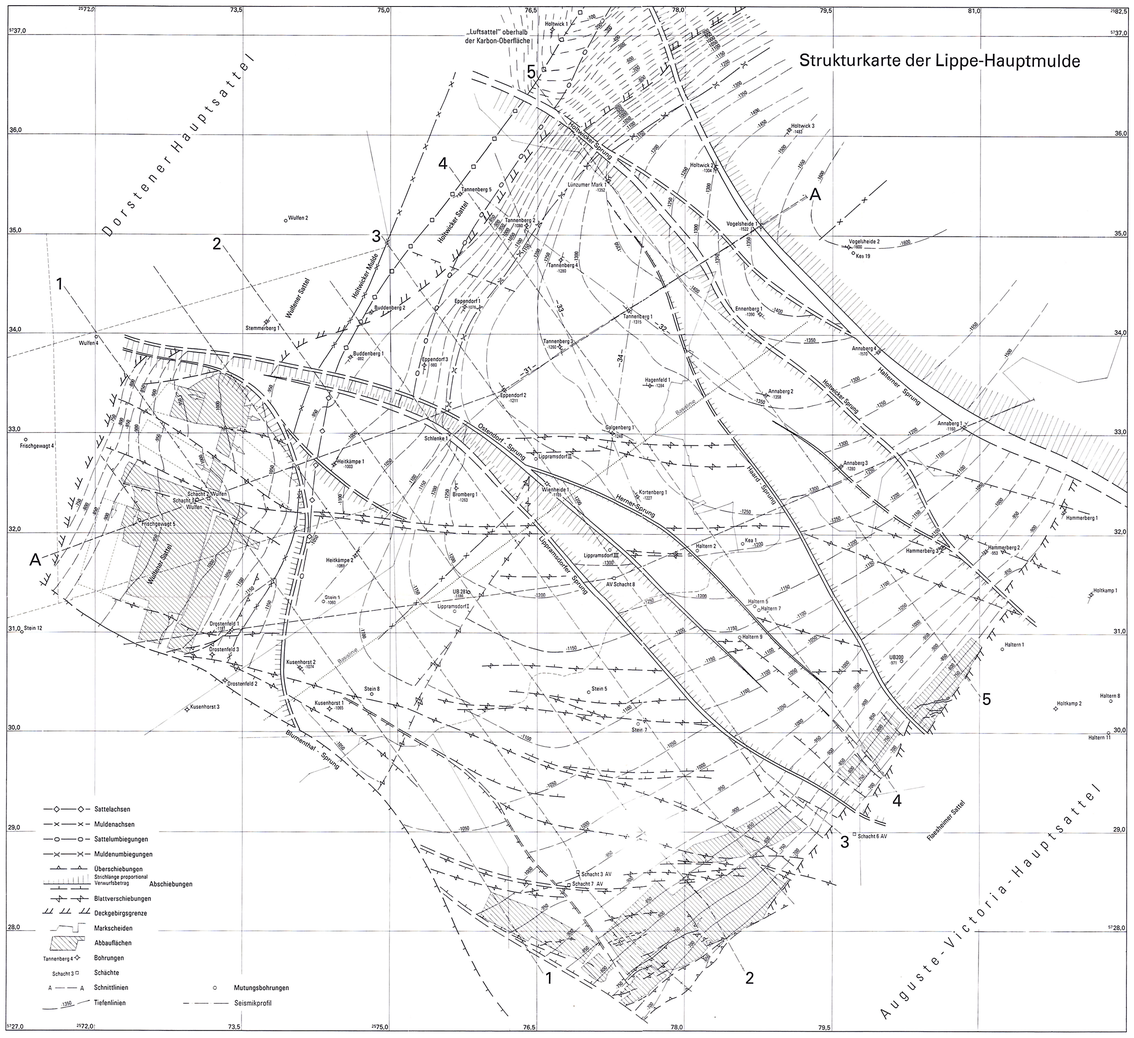
Tektonischer Bau der Lippe- und der Lüdinghausener Hauptmulde (Tafel 1)
Zu: K. STEUERWALD & M. WOLFF: Der tektonische Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen) S. 33 - 50

Schichtenschnitte Wittener Schichten (Tafel 1)
Schichtenschnitte Bochumer Schichten (Tafel 2)
Zu: G. DROZDZEWSKI & R. HEWIG & A. VIETH-REDEMANN: Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon) S. 51 - 88

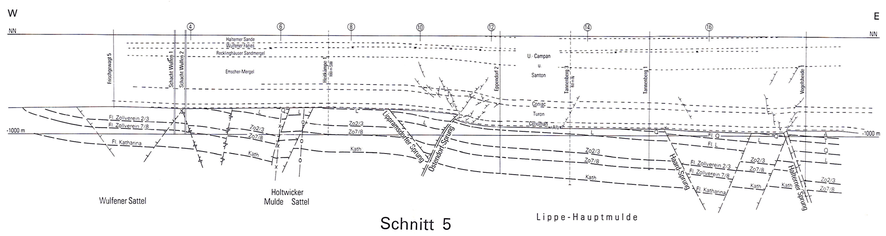
Inhaltsübersicht des Bandes 32 (Nordwestdeutsches Oberkarbon, Teil 1)

M. TEICHMÜLLER, R. TEICHMÜLLER und H. BARTENSTEIN: Inkohlung und Erdgas - eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland. - G. STANCU-KRISTOFF und O. STEHN: Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in die Nordsee. - H.-A. HEDEMANN, A. SCHUSTER, G. STANCU-KRISTOFF und J. LÖSCH: Die Verbreitung der Kohlenflöze des Oberkarbons in Nordwestdeutschland und ihre stratigraphische Einstufung. - K.-H. JOSTEN und J.-P. LAVEINE: Paläobotanisch-stratigraphische Untersuchungen im Westfal C - D von Nordfrankreich und Nordwestdeutschland. - H. J. LIPPOLT, J. C. HESS und K. BURGER: Isotopische Alter von pyroklastischen Sanidinen aus Kaolin-Kohlentonsteinen als Korrelationsmarken für das mitteleuropäische Oberkarbon. - K. BURGER, H. FIEBIG und G. STADLER: Kaolin-Kohlentonsteine in den Explorationsräumen des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. - K. BURGER und G. STADLER: Vulkanogene Glasscherbenrelikte im Z-1-Kohlentonstein des Ruhrkarbons. - R. CONZE: Sedimentologische Typisierung der feinklastischen Gesteine des Ruhrkarbons. - D. SCHMITZ: Das Erscheinungsbild von Kohlenflözen in geophysikalischen Bohrlochmessungen. - Ä. STRACK und U. FREUDENBERG: Schichtenmächtigkeiten und Kohleninhalte im Westfal des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenreviers. - H. FIEBIG und J. GROSCURTH: Das Westfal C im nördlichen Ruhrgebiet. - G. BUNTEBARTH und I. KOPPE: Abschätzung von Westfal-C-Mächtigkeiten im Ruhrrevier aus paläogeothermischen Untersuchungen. - G. BUNTEBARTH und I. KOPPE: Erwärmung der Flöze Sonnenschein und Zollverein 2 im Ruhrkarbon bei maximaler Versenkung. - V. WEBER: Vorausberechnung der Gebirgstemperaturen im Ruhrkarbon in Abhängigkeit vom Schichtenaufbau. - M. HOFFMANN, B. KREGE, R. RÖDER und L. STEINBERG: Arbeitsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben Kohlenvorratsberechnung - dargestellt an Beispielen aus dem Ruhrkarbon.

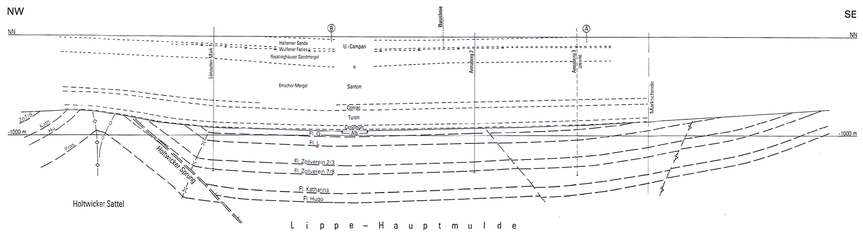
Tektonischer Bau der Lippe- und der Lüdinghausener Hauptmulde



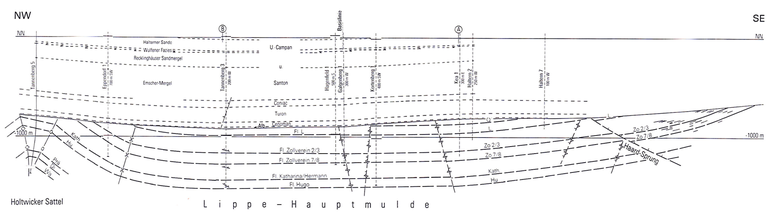
Längsschnitt A—A



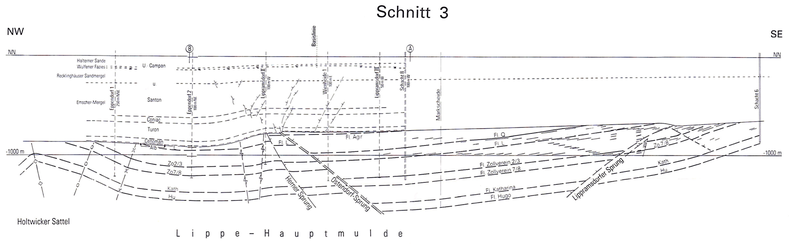
Schnitt 5



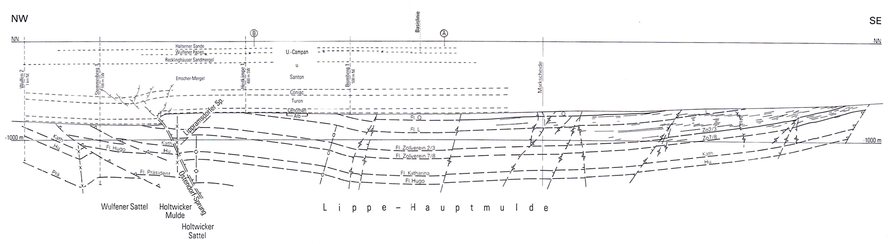
Schnitt 4



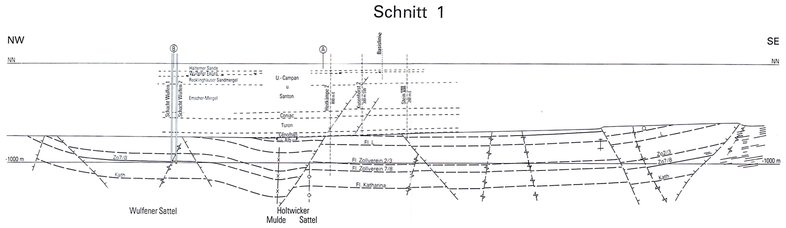
Schnitt 3

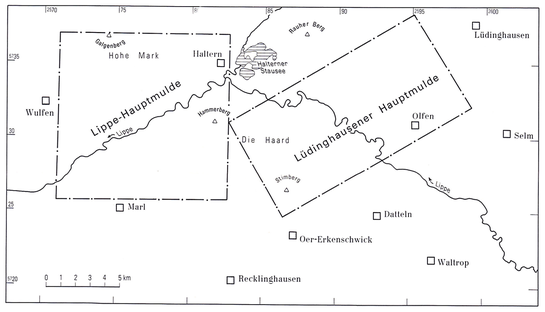


Schnitt 2

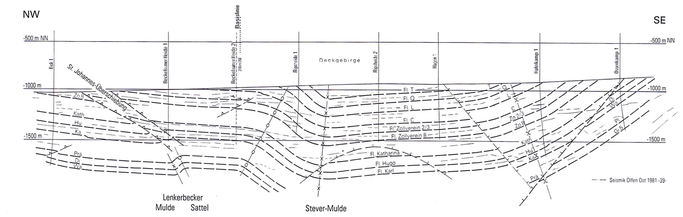


Schnitt 1

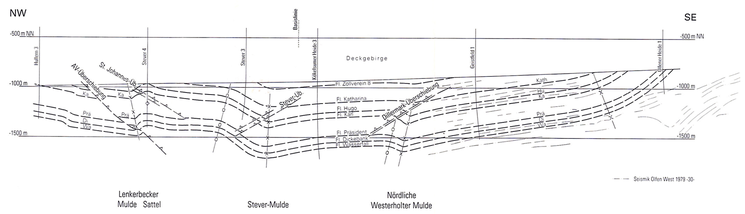




Schnitt 11



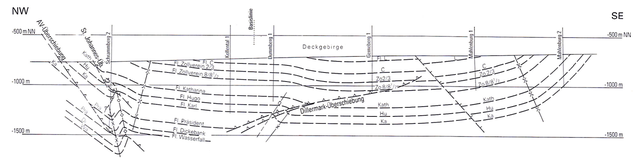
Schnitt 10



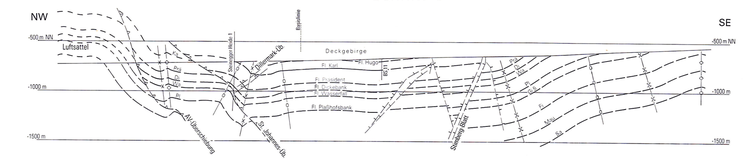
Schnitt 9

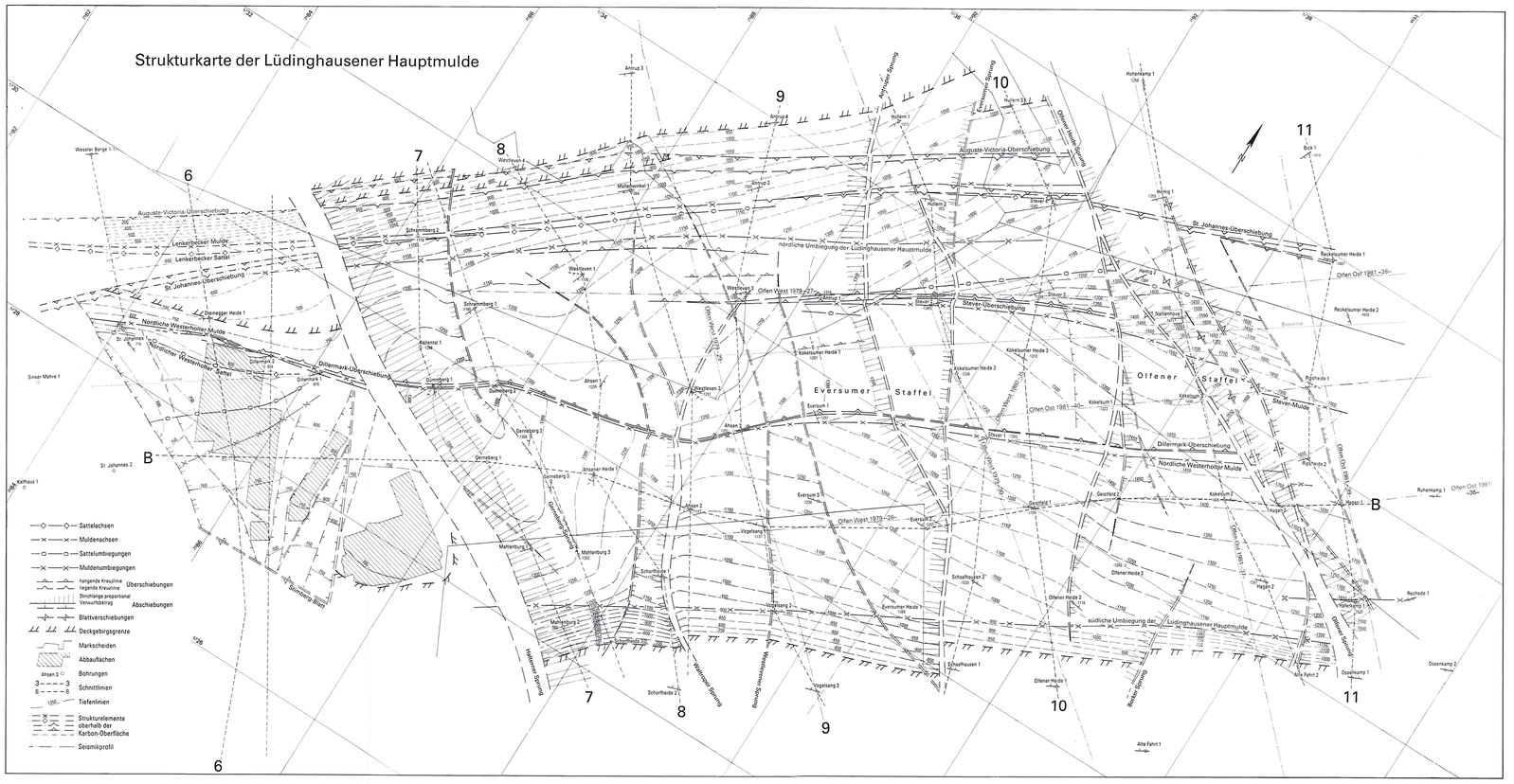
Schnitt 8

Schnitt 7

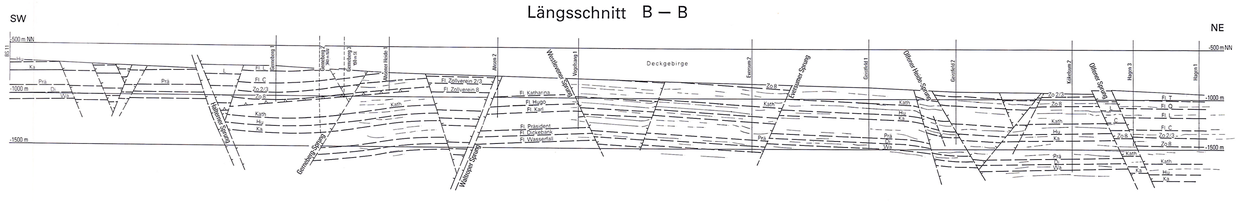


Schnitt 6





Längsschnitt B — B

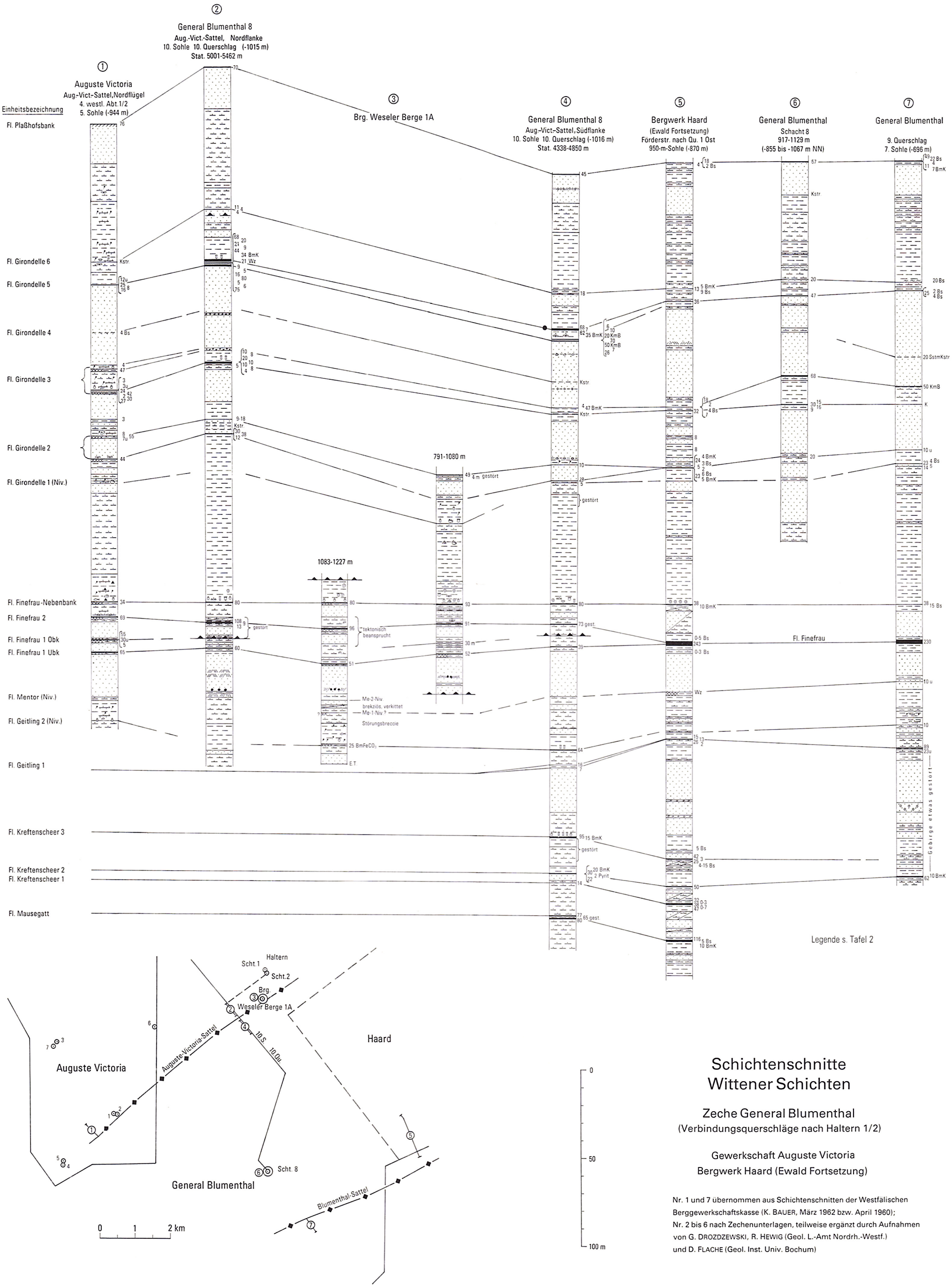


Maßstab 1 : 30 000

0 500 1 000 1 500 2 000 2 500 3 000 m

K. Steuerwald & M. Wolff: Der tektonische Bau der Lippe- und Lüdinghausener Hauptmulde zwischen Marl und Lüdinghausen (Westfalen) (Tafel 1)

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1985



Schichtenschnitte Wittener Schichten

Zeche General Blumenthal

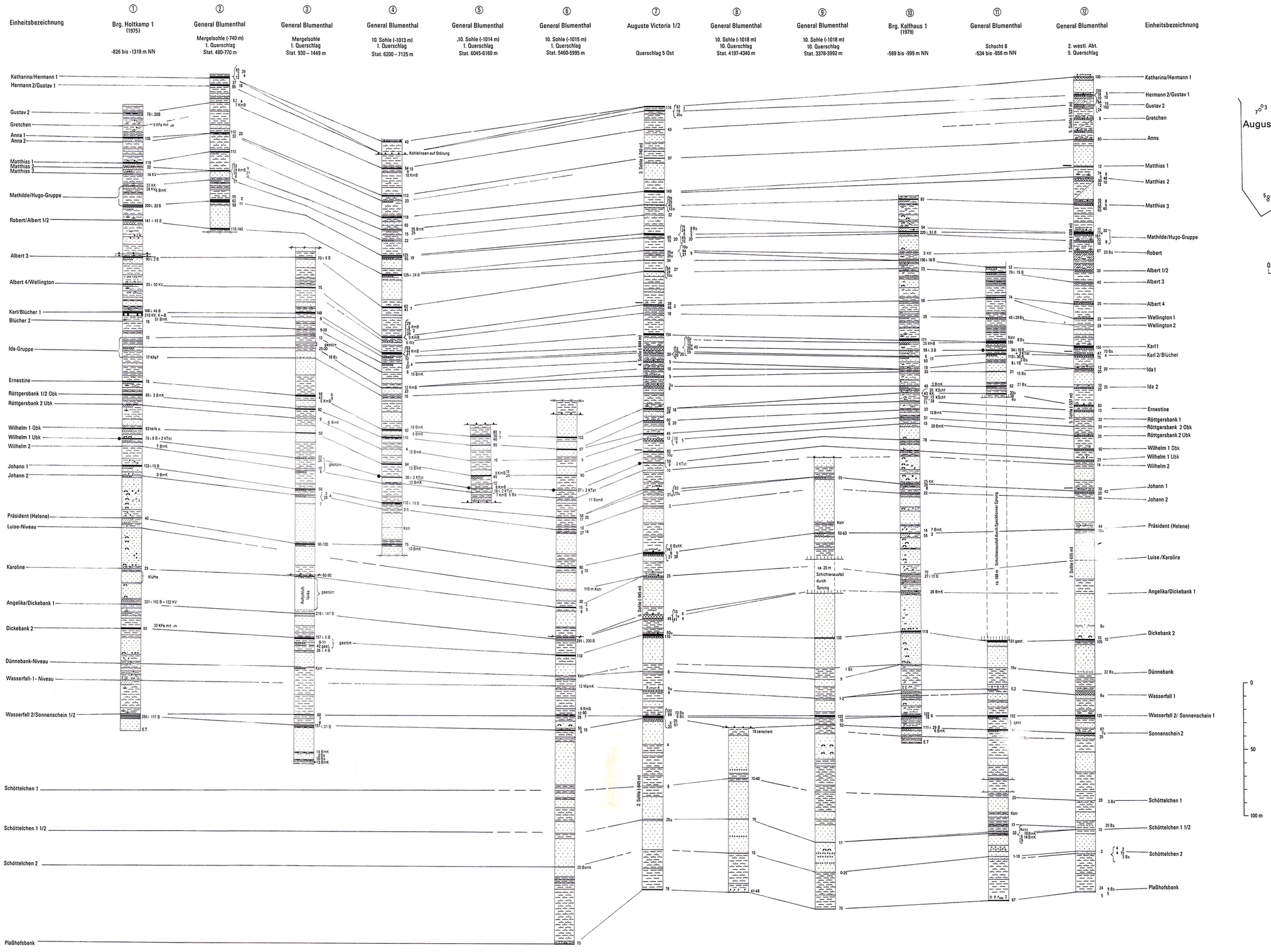
(Verbindungsquerschläge nach Haltern 1/2)

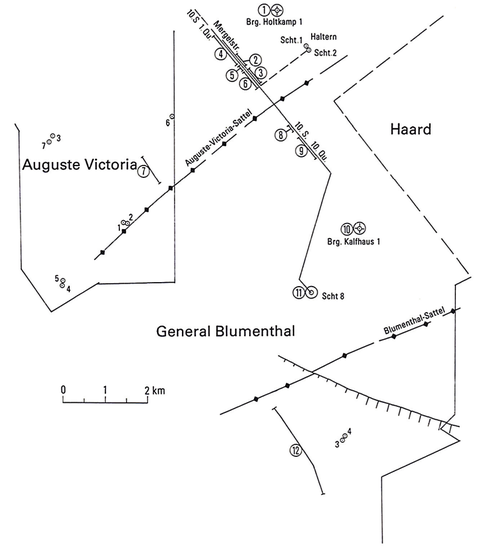
Gewerkschaft Auguste Victoria
Bergwerk Haard (Ewald Fortsetzung)

Nr. 1 und 7 übernommen aus Schichtenschnitten der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (K. BAUER, März 1962 bzw. April 1960);
Nr. 2 bis 6 nach Zechenunterlagen, teilweise ergänzt durch Aufnahmen von G. DROZDZEWSKI, R. HEWIG (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) und D. FLACHE (Geol. Inst. Univ. Bochum)

G. DROZDZEWSKI & R. HEWIG & A. VIETH-REDEMANN: Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon) (Tafel 1)

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1985





Schichtenschnitte Bochumer Schichten

Zeche General Blumenthal

(Verbindungsquerschläge nach Haltern 1/2)

Gewerkschaft Auguste Victoria

Nr. 7 und 12 übernommen aus Schichtenschnitten der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (K. BAUER) vom April 1960 bzw. März/April 1963; Nr. 2 bis 6, 8, 9 und 11 nach Zechenunterlagen, teilweise ergänzt.
Die Benennung der Flöze ist vorwiegend an die Bohrungen Holtkamp 1, Hammerberg 2 und Kalfhaus 1 angeglichen.

Flözstrukturen (rechts vom Schnitt in cm)

linke Reihe: Kohle

rechte Reihe: Berge

= 215 Kohle inclusive 43 Berge

u = unreine (verwachsene) Kohle
KmB = Kohle mit Berge
Kstr = Kohlenstreifen
KK = Kennelkohle
KV = Kernverlust
BmK = Berge mit Kohle
Bs = Brandschiefer
Wz = Wurzelboden
KTst = Kaolin-Kohlentonstein
KFe = Kohleneisenstein
KSchf = Kennelschiefer

petrographische Unterteilung

Kohle
Brandschiefer (Bs) (verwachsene Kohle)
Berge mit Kohlenstreifen (Kstr.)
Sandstein
Sandschieferton
Schieferton
Quarzkonglomerat
Toneisensteinkonglomerat
Schieferton-konglomerat
schwach bituminös
Toneisensteinlagen
Kaolin-Kohlentonstein

Fossilien

Goniatiten
marine Muscheln (*Pteronpecten* u.a.)
marine Muscheln (Taxodonta)
nichtmarine Muscheln
Brachiopoden (*Lingula*, Orbiculoidea)
marine Schnecken
Fischreste
Planolites ophthalmoides
Planolites montanus
Belorhaphe
Grabgangzapfen
Foraminiferen
Ostracoden
Ostracoden (*Jonesina*-Gruppe)
Conodonten
reiche Pflanzenführung
arme Pflanzenführung
Pflanzenhäcksel
Wurzelboden
durchwurzelt
Driftholzlagen

G. DROZDZEWSKI & R.HEWIG & A.VIETH-REDEMANN: Struktur und Inkohlung des Auguste-Victoria-Antiklinoriums bei Haltern (nördliches Ruhrkarbon) (Tafel 2)

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld 1985